We are made of star-stuff. Carl Sagan (1934 – 1996)

Изградени сме от звезден прах. Карл Сейгън (1934-1996)

© Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences

p-ISSN 2603 – 3313
e-ISSN 2603 – 3321
2022

SES 2022

SES 2022

Eighteenth International Scientific Conference

SPACE, ECOLOGY, SAFETY

19 - 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
Space Research and Technology Institute

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY

EIGHTEENTH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

DEDICATED TO

50 YEARS OF BULGARIA IN SPACE

S P A C E
E C O L O G Y
S A F E T Y

S E S 2022

PROCEEDINGS

The Conference is supported by Bulgarian National Science Fund
Contract № КП-06-МНФ/23 - 21.09.2022

2022

Organizational Committee

Honoured Chairman: Acad. Julian Revalski

Chairman
Corr. Member Petar Getsov, DSc

Vice-Chairman
Prof. Garo Mardirossian, DSc

Secretary
Assoc. Prof. Dr. Lachezar Filchev

Members:
Prof. Tsvetan Dachev, DSc
Prof. Dr. Vladya Borissova
Assoc. Prof. Dr. Hristo Nikolov
Dr. Konstantin Peev
Dr. Krassimir Stoyanov
Valeri Vassev, MS
Mariyana Toncheva, MS
Adelina Kuzeva

Scientific-Programming Council

Acad. Lev Zelenyi – Russia
Acad. Valeriy Bondur – Russia
Prof. Serge Koutchmy – France
Prof. Gerasimos Papadopoulos – Greece
Prof. Zdenek Nemetchek – Czech Republic
Prof. Stefano Tinti – Italy
Prof. Richard Haigh – United Kingdom
Prof. Stefan Manegold – Netherlands
Assoc. Prof. Beshir Marzouk – Egypt
Assoc. Prof. Bogdan Zagajewski – Poland
Prof. Ruben Paul Borg – Malta

General Dr. Georgi Ivanov
General Dr. Alexander Alexandrov
Corr. Member Petar Getsov, DSc
Corr. Member Peter Velinov, DSc
Corr. Member Nikolay Miloshev, DSc
Prof. Garo Mardirossian, DSc
Prof. Nikola Vichev, DSc
Prof. Dr. Georgi Jelev
Prof. Dr. Boyko Ranguelov
Assoc. Prof. Alexey Stoev
Tsveta Srebrova, MS

PROCEEDINGS

Editors:
Garo Mardirossian and Petar Getsov

Technical Editor
Tsveta Srebrova

Cover Design
Georgi Jelev

This Collection contains reports presented orally, or in the form of posters during the Eighteenth International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety - SES 2022", which was held in October 2022, Sofia.

The Collection includes reports which were sent within the due term and were drafted in accordance with the preliminarily announced instructions.

The reports and the accompanying abstracts are published in one of the three working languages of the Conference after the authors' choice.

© Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

p-ISSN 2603 – 3313 **e-ISSN 2603 – 3321**

Bulgaria, Sofia 1113, *Acad. G. Bonchev* St., bl. 1
Phone/fax: (+359 2) 988 35 03
e-mail: office@space.bas.bg; http://www.space.bas.bg

CONTENTS

Session 1

Space Physics

Tsvetan Dachev, Borislav Tomov, Yuri Matviichuk, Mityo Mitev, Nikolay Bankov, Malina Jordanova, Jordanka Semkova, Rositza Koleva, Stefan Malchev, Igor Mitrofanov, Alexey Malakhov, Dmitry Golovin, Maxim Mokrousov, Anton Sanin, Maxim Litvak, Alexander Kozyrev, Sergey Nikiforov, Denis Lisov, Artem Anikin, Donat-Peter Häder, Gerda Hornek, Guenther Reitz, Viacheslav Shurshakov, Victor Benghin, Premkumar Saganti, Doug Holland, Kei-Ichi Okuyama, Isai Tapia, Ondrej Ploc
New Results for the Space Radiation Environment, Obtained with the Liulin Type Spectrometers since 2014. 9

Красимир Кръстев, Йорданка Семкова, Росица Колева, Виктор Бенгин, Сергей Дробишев
Числено моделиране на прибора Liulin-MO. 18

Irina Despirak, Tamara Kozelova, Boris Kozelov, Andris Lubchich
Observations of Substorm Activity near the Harang Discontinuity. 23

Irina Despirak, Natalia Kleimenova, Lyudmila Gromova, Andris Lubchich
Spatial Features of Electojets Development during Non-Storm Supersubstorms: Case Study. 28

Veneta Guineva, Rolf Werner, Atanas Atanassov, Rumiana Bojilova, Lyubomira Raykova, Dimitar Valev
Assessment of Some Substorm Parameters Based on the Midlatitude Positive Bays and the MPB Index Maxima. 33

Любомира Райкова
Отражение на слънчевата активност върху динамиката на температурния режим в пещери и карстови масиви през 23 и 24 слънчев цикъл. 39

Peter Tonev
Hypothetical Mesospheric Modifications during Sep Events Providing Consistency with Atmospheric Electrical Response. 42

Красимира Янкова
Изследване и развитие на адвективната концепция във фундамента на теоретичната физика. 47

Daniela Boneva, Krasimira Yankova
Variable Mechanisms of Mass Transfer in Four Binary Stars Systems. 51

Митьо Митев, Людмил Цанков, Цветан Дачев, Борислав Томов, Юрий Матвийчук, Николай Томчев
Калибриране по енергия на спектрометричен дозиметър без използване на йонизиращи лъчения. 56

Atanas Atanassov
An Application of the Situational Solver to Problems Containing Condition Related to Visibility of the Moon by a Satellite. 62

Stanimir Karapetkov, Philip Philipoff, Venkatanathan Natarajan, Mario Muñoz, Mehmet Salih Bayraktutan, Simeon Panev, Blagovest Panev, Venelin Kondov, Diana Bankova, Dimo Dimov
Wave Propagation Problems through Multi-Layered Media. 68

Велко Велков
Космологията по пътя към обща физическа теория. 74

Димитър Стойнов, Дилян Стойнов
Опитни установки на база на Мах-Зендер интерферометър, чрез които може да се открие „Етерен вятър” и да се определи неговата скорост. 79

Session 2

Aerospace Technologies and Biotechnologies

Петър Гецов
Моделиране и изследване разпределението на вниманието на оператора при управление на надлъжното движение на безпилотен летателен апарат. 89

Димитър Йорданов, Петър Гецов
Проблеми с устойчивост и управляемост на самолета при въздушен старт на наноспътници. 94

Павел Пенев
Нови направления в развитието на военнокосмическите системи. 100

Павлин Граматиков, Райчо Тодоров
Проектиране и параметри на работещ при екстремални условия електрически квадрокоптер. 108

Павлин Граматиков, Райчо Тодоров
Летателни и електрически параметри на X8 октокоптер с излитане и кацане от водни басейни. 115

Konstantin Metodiev
Simulation of a Reaction Wheel Inverted Pendulum. 121

Георги Сотиров, Евгений Хубенов, Зоя Чифлиджанова
Агрегиране на услуги, базирани на изкуствен интелект, в интегрирани мобилни системи за мониторинг в интернет среда. 127

Мелани Пиргова, Антон Атанасов, Габриел Дичев, Бора Доган, Гергана Николова
Приложение на полуавтономен космически робот за реанимация в суборбитални полети. 134

Николай Загорски
Изследване на динамиката на полет на хеликоптер с външно пожарогасително устройство и на безопасността на полета на тази система. 140

Николай Загорски
Безопасност на полета на хеликоптер с външно пожарогасително устройство и влияние на параметрите на устройството на общата стъпка на носещия винт. 146

Николай Загорски
Сили и моменти, действащи в полет на корпуса на хеликоптер с външно пожарогасително устройство. Сили и моменти, създавани от опашния винт. 151

Христофор Скандалиев, Калин Крумов, Весислава Тотева, Томислав Скандалиев
Биоракети от четвърто поколение „БИО-4”. 157

Илияна Илиева
Изследване на взаимовръзката физиологичен отговор на растения Pisum sativum и Lactuca sativa към условие хипоксия възникващо в „космическата почва” при култивиране в космическа среда 162

Malina Jordanova, Frank Lievens
A Century of Telemedicine: Curatio Sine Distantia et Tempora. 168

Геннадий Маклаков, Надежда Георгиева, Момчил Караиванов
Прилагане на биофотонен метод за изследване на сакрални зони в Смолянска област с цел стабилизиране психо-физиологичното състояние на операторите на ергатични комплекси. 173

Маргарита Димитрова, Аделина Митева
Материалознание и Космос. 179

Session 3

Remote Sensing and Geoinformation Systems

Paraskevi Gkatzioura, Konstantinos Perakis
Analysis of Urban Heat Island (UHI) through Climate Engine and Arcgis Pro in Different Cities of Bulgaria. 187

Svetoslav Zabunov, Garo Mardirossian
Comparison between Spiral Antenna and Magnetic Loop Antenna for the Purpose of Multistatic Passive Radar. 198

Искрен Иванов, Лъчезар Филчев
Дистанционни изследвания на полезни изкопаеми на Луната. 204

Милен Чанев, Лъчезар Филчев, Богдан Бончев, Дарина Вълчева
Приложение на вегетационните индекси генерирани от БЛА за определяне добива на биологичен лимец (*Triticum Monococcum* L.). 211

Милен Чанев, Лъчезар Филчев, Богдан Бончев, Дарина Вълчева, Георги Желев
Сравнителен анализ между два типа на обработка на данни, получени чрез БЛА от биологично поле от лимец (*Triticum Monococcum* L.) 216

Милен Чанев, Лъчезар Филчев
Дистанционни методи в зоологията. 223

Венцеслав Димитров, Юлия Крумова, Йордан Цветков
Създаване на опростен тематичен слой с атрибути на земеползването на България за целите на сектор „Земеползване, промени в земеползването и горско стопанство“. 228

Живко Узунов, Боян Думанов, Ирена Димитрова, Ралица Берберова
Използване на безпилотни летящи устройства в археологическите теренни издирвания. Локализиране на римска пътна станция „Казалет“ разположена на пътя Анхиало-Марцианопол. 234

Maria Dimitrova, Plamen Trenchev, Deyan Gochev, Lachezar Filchev, Georgi Jelev
Impact of Air Pollution on Cov-19 Contamination in Sofia for the Period 2020-2022. 240

Ангел Манев, Веселин Ташев
Слънчевата активност и енергийният баланс на повърхността на Черно и Каспийско морета. 245

Session 4

Ecology and Risk Management

Петър Гецов, Бойко Рангелов, Гаро Мардиросян, Георги Сотиров, Димитър Недялков, Димо Зафиров, Зоя Хубенова, Павел Пенев, Павлин Граматиков, Евгени Хубенов, Николай Загорски
Анализ на риска и заплахите, върху критичната инфраструктура при природни бедствия, аварии и кризи на територията на Република България. 251

Boyko Ranguelov, Atanas Kisiov, Stefan Dimovsky, Edelways Spassov, Yulia Krumova
Seismic Hazard Assessment of High Seismic Risk Located Setlements. 261

Димитър Димитров
Изследване на сеизмогенния Витошки разлом с космически технологии и моделиране. 267

Bilyana Kostova, Boyan Dumanov, Zhivko Uzunov, Ralitza Berberova, Ventseslav Stoyanov
Reconstruction of Knowledge of the Environment in Late Antiquity in the Area of Gorno Novo Selo Village 272

Веселин Ташев, Ангел Манев, Димитър Вълев
Изследване на инфрачервеното топлинно излъчване от промишлени и битови сгради
с помощта на уред монтиран на дрон. 278

Цветелина Величкова
Множествена регресия за оценка на влиянието на някои фактори
върху Северо-Атлантическата осцилация. 284

Геннадий Маклаков, Надежда Георгиева, Момчил Караиванов
Влияние на водата като екологичен фактор върху състоянието на човека в Родопите. 289

Димитър Димитров, Димитър Николов
Заплахи пред киберустойчивостта на сателитния сектор. 295

Димитър Димитров, Евгени Андреев
Компютърни симулации по програмата Simulation Exploration Experience. 300

Надя Маринова
Оценка на екологичната безопасност и екологичния риск. 306

Session 1

Space Physics

Chairmen: Prof. Tsvetan Dachev
Corr. Member Peter Velinov
Secretary: Assoc. Prof. Daniela Boneva

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

NEW RESULTS FOR THE SPACE RADIATION ENVIRONMENT, OBTAINED WITH THE LIULIN TYPE SPECTROMETERS SINCE 2014

Tsvetan Dachev[1], Borislav Tomov[1], Yuri Matviichuk[1], Mityo Mitev[1], Nikolay Bankov[1], Malina Jordanova[1], Jordanka Semkova[1], Rositza Koleva[1], Stefan Malchev[1], Igor Mitrofanov[2], Alexey Malakhov[2], Dmitry Golovin[2], Maxim Mokrousov[2], Anton Sanin[2], Maxim Litvak[2], Alexander Kozyrev[2], Sergey Nikiforov[2], Denis Lisov[2], Artem Anikin[2], Donat-Peter Häder[3], Gerda Hornek[4], Guenther Reitz[4], Viacheslav Shurshakov[5], Victor Benghin[5], Premkumar Saganti[6], Doug Holland[7], Kei-Ichi Okuyama[8], Isai Tapia[8], Ondrej Ploc[9]

[1]Space Research & Technology Institute, Bulgarian Academy of Science (SRTI-BAS)
tdachev@bas.bg, btomov@bas.bg, ymat@bas.bg, m_g_mitev@abv.bg , ngb43@abv.bg, mjordan@bas.bg
[2]Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
imitrofa@space.ru, malakhov@iki.rssi.ru, golovin@l503.iki.rssi.ru, mlitvak.iki@gmail.com,
[3]Neue Str. 9, 91096 Möhrendorf, Germany, donat@dphaeder.de
[4]DLR, Institute of Aerospace Medicine, Köln, Germany, gerda.horneck@dlr.de, Guenther.Reitz@dlr.de
[5]State Research Center Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Science, Moscow, Russia,
slava-ibmp@mail.ru, v_benghin@mail.ru,
[6]Radiation Institute for Science and Engineering Prairie View A&M University, Prairie View, TX, USA
pbsaganti@pvamu.edu
[7]Holland-Space LLC, Houston, TX, USA, sdholland777@yahoo.com
[8]Department of Aerospace Engineering, College of Science and Technology, Nihon University, Chiba, JAPAN
okuyama@ise.kyutech.ac.jp, fajardo.isai@nihon-u.ac.jp
[9]Nuclear Physics Institute, Czech AS, Prague, Czech Republic, ploc@ujf.cas.cz

Keywords: *Space radiation, Space weather, Dosimetry, Spectrometry*

Abstract: *The paper presents some of the new results for the space radiation environment obtained with the following 3 Liulin type spectrometers (LTS) since 2014. The Bulgaria-German R3DR2 spectrometer inside the ESA EXPOSE-R2 platform outside the Russian segment of the International Space station (ISS), The Bulgaria-Russian Liulin-MO spectrometer outside the ESA-ROSCOSMOS ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO) and The Bulgarian-USA Liulin-Ten-Koh spectrometer in the Japanize small satellite Ten-Koh.*

НОВИ РЕЗУЛТАТИ ЗА КОСМИЧЕСКАТА РАДИАЦИОННА СРЕДА, ПОЛУЧЕНИ СЪС СПЕКТРОМЕТРИ ОТ ТИПА ЛЮЛИН СЛЕД 2014 г.

Цветан Дачев[1], Борислав Томов[1], Юрий Матвийчук, Митьо Митев[1], Малина Йорданова[1], Йорданка Семкова[1], Росица Колева[1], Николай Банков[1], Стефан Малчев[1], Игор Митрофанов[2], Алексей Малахов[2], Дмитрий Головин[2], Максим Мокроусов[2], Антон Санин[2], Максим Литвак[2], Александър Козирев[2], Сергей Никифоров[2], Донат-Петер Хедер[3], Герда Хорнек[4], Гюнтер Райц[4], Вячеслав Шуршаков[5], Виктор Бенгин[5], Премкумар Саганти[6], Дъг Холанд[7], Кей-Ичи Окуяма[8], Исай Тапиа[8], Ондреж Плоц[9]

Ключови думи: *Космическа радиация, космическо време, дозиметрия, спектрометрия*

Резюме: *Статията представя някои от новите резултати за космическата радиационна среда, получени със спектрометри тип "Люлин" след 2014 г. Представени са нови резултати от следните 3 експеримента: българо-германският спектрометър R3DR2 извън руския сегмент на Международната космическа станция (МКС), българо-руският спектрометър Люлин-МО извън спътника ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO) и българо-американският спектрометър Liulin-Ten-Koh на малкия японски спътник Ten-Koh.*

Introduction

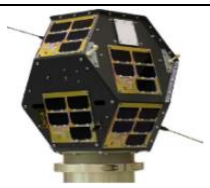
In last 30 years, the Liulin type spectrometers (LTS) are routinely used for the monitoring of the radiation environment at aircraft, balloons and spacecraft. Dachev et al., [1] presented an overview of the LTS, developed and used in space between 1989 and 2014. Table 1 presents the LTS, developed and used in space since 2014 by colleagues from Solar-Terrestrial Department at the Space Research and Technology Institute of Bulgarian Academy of Sciences (SRTI-BAS).

Liulin spectrometers developed for space experiments since 2014

A total of 3 different space instruments were developed, qualified and used in 3 space missions between 2014 and 2022 [2–5]. The paper presents new data from these 3 missions (Table 1, items 1-3).

The forth instrument listed in the table is Liulin-SET [3]. It is part of the ARMAS FM9 module (https://spacewx.com/wp-content/uploads/2021/05/FM9-overview.pdf). It was launched to the ISS on 19 February 2022 and mounted outside the Japanize Experimental Module on March 3, 2022. It will work 12 months against internal memory of the instrument. The data will be extracted and analyzed after returning of the spectrometer to the ground.

Table 1. Liulin type experiments performed during satellite missions since 2014

Item No	Satellite/Station Date begin-Date end Avail. number of meas.	Experiment name PI CoPI Described in Cooperation	Instrument Size [mm]/Mass [kg] Place Shielding [g cm^{-2}] Resolution [sec]/[min]	Instrument Location image	External view of the instrument
1	Outside ISS, Zvezda module 24/10/2014-11/01/2016 3,810,240	ESA, EXPOSE-R2 facility G. Horneck, DLR; D. Häder, UE; T. Dachev, SRTI [2] Bulgaria, Germany	R3DR2 1 DU (76x76x36 mm, 0.19 kg) of the ISS Zvezda module in the EXPOSE-R2 facility >0.6 g cm^{-2}; 10 sec		
2	ExoMars-TGO 22 April 2016 – till now	Liulin-MO I. Mitrofanov, SRI-RAS J. Semkova, SRTI-BAS (Semkova, et al., 2020). Bulgaria, Russia	Liulin-MO 2x2 dosimetric telescopes (172x114x45 mm 0.5 kg) Outside the ExoMars-TGO satellite; >2 g cm^{-2}		
3	Ten-Koh satellite 22/10/2088-29/09/2019 650 spectra	Liulin-Ten-Koh P. Saganti, PVAMU T. Dachev, SRTI. (Dachev et al., 2021) Bulgaria, USA, Japan	Liulin-Ten-Koh 1 DU (110x40x20 mm, 0.098 kg) Inside of the Ten-Koh satellite; >0.6 g cm^{-2}; 30 sec		
4	ISS, Outside Japanize experimental module Installed 03/03/2022	ARMAS Module K. Tobiska, SET, T. Dachev, SRTI. (Dachev, 2021) Bulgaria, USA	Liulin-SET in ARMAS Module, 1 DU (78x60x37 mm, 0.16 kg) >0.6 g cm^{-2}; 10 s		

New results from LTS instruments since 2014

Instrumentation

In the mentioned above instruments (including the first detector of the Liulin-MO dosimetric telescope [4]) the doses (deposited energies) are determined by the Hamamatsu S2744-08 silicon PIN photodiodes (Si PIN photodiode S2744-08 | Hamamatsu Photonics). The pulse amplitudes from the ionized particles, gamma quanta and neutrons first pass the charge-sensitive preamplifier, than a 12-bit fast analogue-to-digital (A/D) converter digitizes them. The pulse amplitudes are proportional by a factor of 240 mV/MeV to the deposited energy according to the AMPTEK A225F preamplifier specifications (A225 Specs for pdf (fastcomtec.com). The deposited energy in the detector and respectively the dose are transformed into digital signals and sorted into 256 channels by a

multichannel analyser. For every exposure interval of 10 sec, a single 256 channels energy deposition spectrum is collected.

A system international (SI) determination of the dose is used to calculate the absorbed dose in the silicon detector. The dose in SI is the energy in Joules deposited in one kilogram of a matter. The dose *D* (Gy) in the silicon detector is calculated from the spectrum as:

(1) $$D = K * \sum_1^{256}(Ei * Ai)/MD$$

MD is the mass of the detector (in kg), *Ei* is the energy loss (in J) in the channel *i*, *Ai* is the number of events in it, and *K* is a coefficient. The details of the dose calculation procedures were published by Dachev et al., in [1, 2] and by Semkova et al. [4].

The calibration procedures of the three instruments are analogical to those described in [1-3]. The response curve of these instrument is expected to be similar to that published by [6], because all Liulin dosimeter - spectrometers are manufactured using the same electronic parts and schematic.

The data selection procedures [1, 2], recognize in the near Earth space the following four primary radiation sources: 1) The globally distributed primary Galactic Cosmic Rays (GCR) particles and their secondary products; 2) The Inner radiation belt (IRB) protons in the region of the SAA; 3) The relativistic electrons and/or bremsstrahlung in the high latitudes of the station orbits, where the horns of the outer radiation belt (ORB) are situated; 4) The solar energetic particles (SEP) were recognized in the R3DR2 instrument ISS data [7].

Analysis of the variations of the radiation absorbed doses from different radiation sources on the ISS in the period October 2014 - January 2016

The first row of Table 1 present the most informative experiment, performed with LTS on the ISS. The dosimeters-spectrometers of R3D/E/R/R2 type monitor the radiation situation at the International Space Station (ISS) on the European Space Agency (ESA) platforms Expose-E/R1/R2. They were developed in cooperation between the Bulgarian and German teams in 2001–2009 [2].

The simplest method for the source separation in the R3DR2 data is described in [1, 2]. It is based on the Heffner formulae [8] and shows that the data can be simply split in two parts by the value of the dose to flux (D/F) ratio or by the specific dose (SD). When the SD is 1.12 nGy cm2 particle−1, the expected predominant types of radiation are IRB or SEP protons. The GCR source, which has contributions in both ranges, will be divided between the two ranges.

The R3DR2 data were sorted into four separate categories by presumed source: (1) globally distributed galactic cosmic ray (GCR) particles and their secondary products; (2) protons in the South Atlantic Anomaly region of the inner radiation belt (IRB); (3) relativistic electrons and/or bremsstrahlung in the high latitudes of the ISS orbit where the outer radiation belt (ORB) is situated; (4) solar energetic protons (SEP) in the high latitudes of the ISS orbit. Together with the real SEP particles, a low flux of most probably secondary protons were observed in the data.

Fig. 1 presents the daily averaged dose rate data for the four separate sources from 24 October 2014 to 16 January 2016. There are five panels in the figure. From top to bottom the different panels presents the variations of the following parameters [9]:

- Fig. 1a, the upper part of the panel presents the Dst index variations against the right hand vertical axes. The Dst index were obtained online from the World Data Center for Geomagnetism, Kyoto, Japan (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.Html). Three magnetic storms with Dst index less than minus 100 nT are found in the graphic. The time of the main phases of the storms are extended with red dashed lines over the other 4 panels. This gives the opportunity to correlate the main phase storm time with the variations of the studied parameters;

- Fig. 1a: the lover part presents the R3DR2 daily averaged GCR dose rate against the left hand vertical axes. The major finding is that the R3DR2 daily averaged GCR dose rate did have an ascending linear trend because the measurements were performed in the declining phase of the 24th solar cycle. The effect of solar modulation [10] (Potgieter, 2013) assumes a rising trends in the R3DR2 GCR dose rate measurements (please see the magenta line in the Fig. 1a panels). The daily average dose rate data trend has a minimum value of 71 μGy d^{-1} at the beginning of the measurements in October of 2014 and a maximum of 72 μGy d^{-1} at the end of observations in January of 2016.

The averaged R3DR2 GCR daily dose rate also exhibited short-term variations, which generally correlate with the Dst index and reflect the periods with Forbush decreases [11], connected with the magnetic storm and substorm periods in the GCR data. Most remarkable are the decreases that coincide with the two largest in the data magnetic storms on 16 of March and 22 of June 2015.

Fig. 1b presents the ORB radiation source variations from 24 of October 2014 till January 11, 2016. Two periods are clearly seen in the data. In the relatively “quiet” period between 24 October 2014 and the middle of March 2015, the ORB daily dose rate was relatively small and varied during the interval by 2-200 μGy h^{-1}. During the second period, between the middle of March 2015 and the

end of the observations, strong variations in the ORB daily dose rate were observed. The largest maxima (up to 3000 μGy h^{-1}) in the ORB source anti-correlate well with the largest negative Dst index in the upper panel of Fig. 1a (red line).

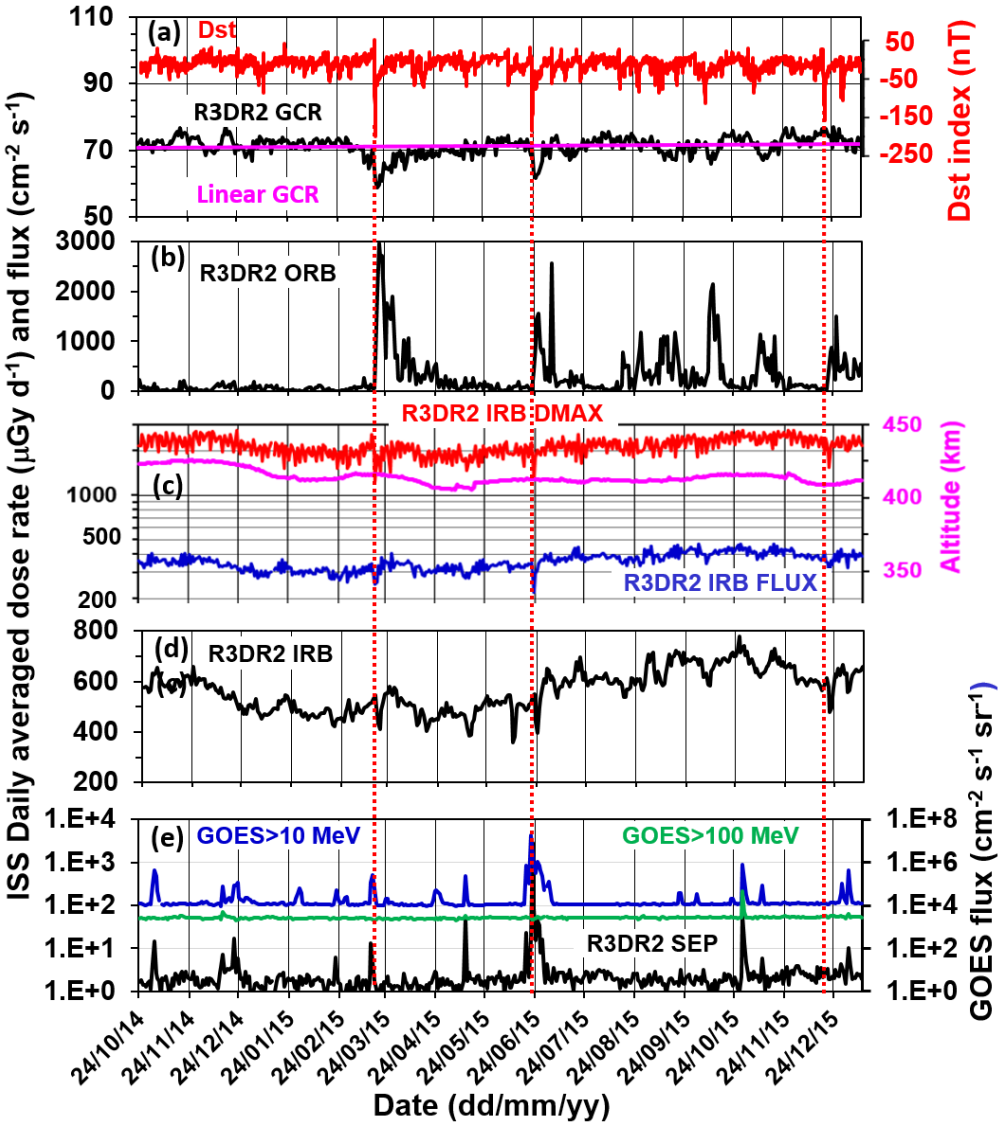


Fig. 1. Results of the separation of the R3DR2 instrument data
for the period 24 October 2014-11 January 2016 in four radiation sources

The R3DR2 ORB daily dose rate averaged over 442 days was calculated to be 278 μGy d^{-1} with a minimal value of 2 μGy d^{-1} and a maximal value of 2,962 μGy d^{-1}. The total accumulated dose for 442 days is 123 mGy.

Fig. 1c and 1d plots the IRB fluxes (in cm^{-2} s^{-1}) (blue), the maximal hourly dose rate (red) and the daily average IRB dose rate values (black), measured by the R3DR2 instrument on the ISS from 24 October 2014 to 11 January 2016. These values are plotted according to the left vertical axes. Along the right axes the average altitude of the station is plotted (magenta line), which was obtained together with the average daily values of the flux and dose rate.

The IRB flux and dose rate were large during the interval October-December of 2014; then, they fell till the end of June 2015 and increased again until the end of the measurements. These long-term variations correlated well with the variations in the average altitude of the station. The altitudinal dependence in the bottom part of the IRB was investigated by the R3DR data [12]. This is a well-known phenomenon, described in details in [13] and will not be discussed here agin.

The R3DR2 IRB daily dose rate averaged over 442 days was calculated to be 567 μGy d^{-1} with a minimal value of 340 μGy d^{-1} and maximal value of 844 μGy d^{-1}. The total accumulated dose for 442 days is 251 mGy.

Fig. 1e presents the averaged SEP daily dose rate variations (black line), measured with R3DR2 on the ISS for the period from 24 October 2014–11 January 2016. These are plotted together with the solar proton fluxes measured in the geosynchronous orbit with the GOES 15 Space Environment Monitor (SEM) instrument (http://goes.gsfc.nasa.gov/text/databook/section05.pdf), with energies more than 10 (blue curve) to 100 MeV (green curve) plotted. We call the low dose rates of a few μGy d^{-1} seen along the bottom of Fig. 1e secondary particle (SP) sources. They are generated by the GCR particles inside the instrument and in the surrounding EXPOSE-R2 material and consists mainly of protons and neutrons.

Eleven maxima are seen in the R3DR2 SEP daily dose rate variations in the bottom of Fig. 1e. All of them coincide well with the >10 MeV GOES SEM maxima. The >100 MeV proton flux channel on GOES had only one well-seen maximum on 29 October 2015, which is also measured with the R3DR2 instrument. The largest maximum, up to almost 3000 μGy d^{-1} on 22 June 2015, was not observed in the GOES >100 MeV channel. It is worth underlining that if a virtual extravehicular activity (EVA) was performed during the period of this SEP maximum, the obtained doses on the skin of the cosmonauts/astronauts could reach 2.84 mGy over six and a half hours. This is equal to the average absorbed dose, obtained inside of the ISS, over 15 days [14, 7].

The R3DR2 SEP+SP daily dose rate, averaged over 442 days, was calculated to be 9 μGy d^{-1} with a minimum value of 0.64 μGy d^{-1} and a maximum value of 2,848 μGy d^{-1}. The total accumulated dose for 442 days is 4 mGy.

Table 2 presents a comparison between the daily averaged absorbed doses rates, observed during the EXPOSE-E/R and R2 missions, behind 0.25–0.5 g cm^2 shielding. We consider that the flux and dose rate errors of the R3DR2 measurements on the ISS are within 10% on the base of the calibration results [15, 1].

Table 2. Comparison of the daily averaged absorbed dose rates measured during the EXPOSE-E/R and R2 missions

Daily averaged absorbed dose rate (in Si) (μGy d^{-1}) R3DE/R/**R2**	Minimum	Average	Maximum
GCR	76/79/**68**	91.1/81.4/**71.6**	102/90/**82**
IRB	110/326/**340**	426/506/**567**	685/704/**844**
ORB	0.25/0.64/**1.66**	8.64/89/**278**	212/2348/**2960**
SEP (only in **R3DR2** data)	**0**	**9**	**2846 (on 22/06/2015)**

It is evident that during the EXPOSE-R2 mission the IRB and the ORB doses are higher than those observed during the EXPOSE-E/R missions, while the GCR dose rate is smaller than that measured during the EXPOSE-E/R missions. The reason is the relatively higher solar and geomagnetic activity during the EXPOSE-R2 mission, which diminished the GCR doses but increased the population of the ORB and the dose rate respectively.

The registered with R3DR2 instrument total daily average dose rate during the EXPOSE-R2 mission is 916.6 μGy d^{-1}. It is larger than the obtained dose rate of 368 ± 27 μGy d^{-1} by passive thermoluminescence detectors (TLDs) during the EXPOSE-R mission. The R3DR2 detector was shielded behind 0.25–0.5 g cm^{-2}, while the TLDs was shielded behind a few g cm^{-2} and therefore saw a smaller dose rates.

Table 3. Comparison of the accumulated absorbed dose rates measured with R3DE/R/R2 instruments

Measured accumulated dose (mGy)			
Source	R3DE	R3DR	**R3DR2**
IRB	181.1 for 425 days	144.7 for 263 days	**250.7** for 442 days
ORB	3.2 for 432 days	22.9 for 286 days	**123.1** for 443 days
GCR	39.4 for 394 days	23.3 for 286 days	**31.8** for 444 days
SEP			**4.04** for 444 days
Total (mGy)	223.7	190.9	**409.5**

Table 3 compares the accumulated absorbed doses measured during the EXPOSE-E/R and R2 missions. The EXPOSE-R2 mission accumulated doses are the highest because of the higher altitude of the ISS, which increases the IRB doses and of the higher geomagnetic activity that increase the ORB doses.

Long-term variations of the dose rate and flux measured by Liulin-MO instrument in the circular orbit around Mars

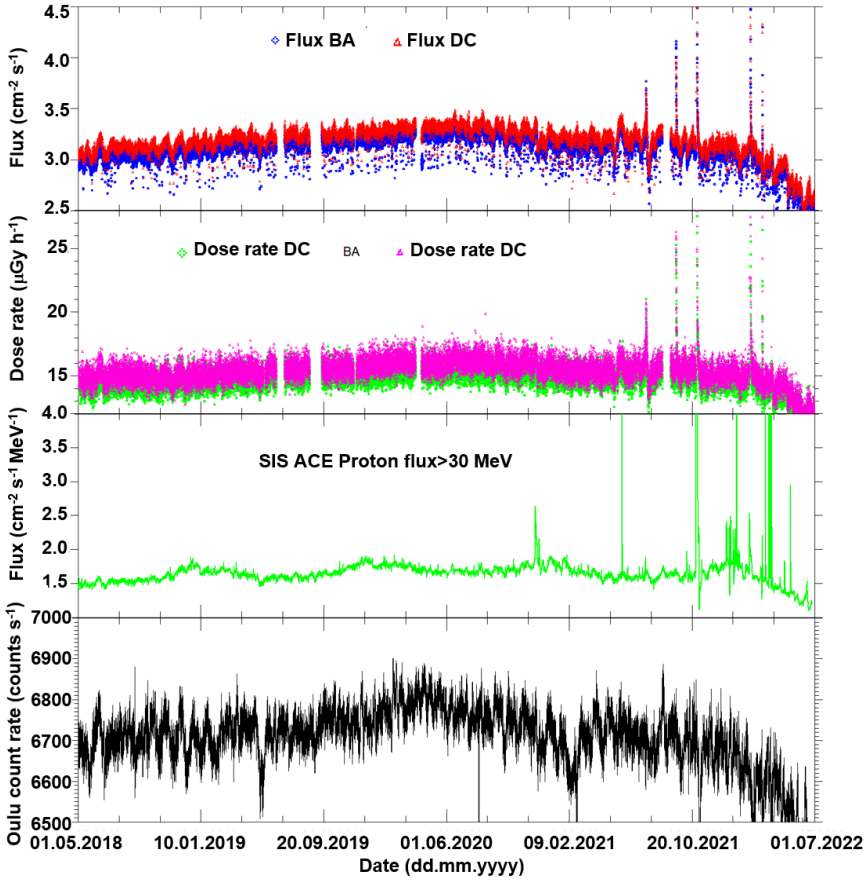


Fig. 2. Variations of the measured with Liulin-MO dosimetric telescope flux and dose rate in circular orbit around Mars between 1 May 2018 and 1 July 2022

ExoMars is a joint ESA - ROSSCOSMOS program for the investigating Mars. The first ExoMars mission, named Trace Gas Orbiter (TGO), was launched on March 14, 2016. In March 2018 TGO was inserted into circular Mars science orbit with a 400 km altitude. The dosimetric telescope Liulin-MO for measuring the radiation environment onboard the ExoMars TGO is a module of the Russian Fine Resolution Epithermal Neutron Detector (FREND). In this section we discuss the measurements in a Mars circular orbit with 400 km altitude obtained in the period from 1 May 2018 to 1 July 2022.

The fluxes and dose rates recorded in the 2 perpendicular detectors BA and DC of Liulin-MO, the proton flux>30 MeV, measured by SIS instrument on ACE satellite (located at L1 point), and the neutron count rate of OULU, Finland neutron monitor on Earth from May 2018 to June 2022, are shown in Fig. 2. Increase of the dose rates and fluxes from May 2018 to February 2020, which corresponds to the increase of the galactic cosmic rays (GCR) intensity during the declining of the 24th solar cycle, is observed. The averaged dose rate for the period is 15 µGy h^{-1}, the averaged particle flux is 3.14 cm^{-2} s^{-1}. In March-August 2020 the radiation values are maximal, corresponding to the minimum of the 24th cycle and of the transition to the 25th cycle. The dose rate is 15.9 µGy h^{-1} and the flux is 3.3 cm^{-2} s^{-1}. Since September 2020, a decrease of the dose rates and fluxes is seen corresponding to the increasing phase of the 25th solar cycle.

Until July 2021 the dosimeter has measured the dosimetric parameters of the GCR. No solar particle events (SPE) were registered. Five SPEs are observed from July 2021 to March 2022. SPEs in October 2021 and February 2022 are observed also on the ACE. During all these SPEs, the Earth and Mars are on the opposite sides from Sun. The October SPE was observed over a wide longitude range from the Earth, STEREO-A, to Mars [16]. During this event the first ground level enhancement of the Solar Cycle 25 was observed [17]. The February 2022 SPE is the most powerful event observed in our data. The SEP dose measured by Liulin-MO during this event is 14.2 mGy - equal to the dose for 38.5 days from GCR in quite conditions. At the peak of the event the dose rate is about 2 orders larger than the dose rate in quite conditions.

Latitudinal distributions of the Liulin Ten-Koh data

The Liulin Ten-Koh spectrometer main purpose is to measure the spectrum (in 256 channels) of the deposited energy from primary and secondary particles in the Ten-Koh satellite radiation environment.

It is designed as spectrometer-dosimeter for a continuous monitoring of the satellite radiation environment, which can consist of GCR particle, Inner radiation belt (IRB) protons, outer radiation belt (ORB) relativistic electrons and energetic protons from solar origin (SEP).

The last sources selection procedure was developed and published recently in [2].

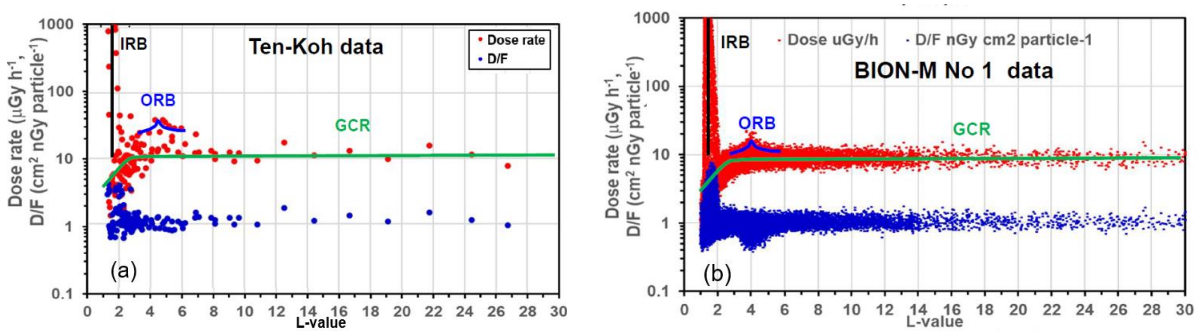


Fig. 3a. Variations of the measured with Liulin-Ten-Koh instrument dose rate in dependence from the L-value in comparison with the analogical data from BION-M No 1 satellite in Fig 3b

Fig. 3a presents the distribution of the obtained dose data and the calculated specific dose (SD) values in nGy cm^2 part^{-1} against the L value up to 30 [18].

The dose rate and flux data in Figure 3 have two obvious maxima – one at L values of about 1.25 and another at about 4. The lower L value maximum corresponds to the inner (proton) radiation belt, which is populated mainly by protons with energies from a few tens to a few hundred MeV. The higher L value maximum corresponds with the outer (electron) radiation belt, which is populated mainly by electrons with energies from hundreds of keV to a few MeV.

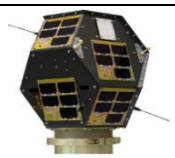
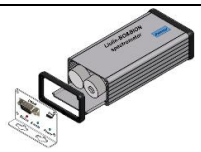
The SD value is provisionally divided into two parts – below and above 1 nGy cm^2 part^{-1}. This value divides the range of the SD delivered by relativistic electrons and/or bremsstrahlung below about 0.7 nGy cm^2 part^{-1} and by protons above 1.12 nGy cm^2 part^{-1}.

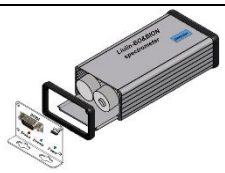
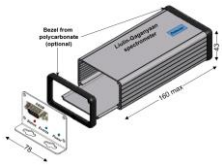
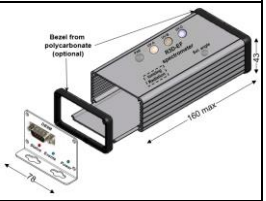
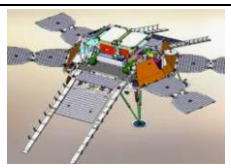
The comparison (Fig. 3b) with analogical data from BION-M No 1 satellite [19] shows a good coincidence of the main features in both figures.

Planned LTS instruments

Table 4 presents information about the planed space missions with the LTS. It is structured in the same way as Table 1.

Table 4. Planned Liulin type experiments on satellite missions

Item No	Satellite/Station Date begin-Date end Avail. number of meas.	Experiment name PI CoPI References	Instrument Size [mm]/Mass [kg] Place Shielding [g cm^{-2}] Resolution [sec]/[min]	Instrument Location image	External view of the instrument
1	Inside Virgin Galactic SpaceShip II. Launch late 2022.	Liulin-CNR-VG Lucia Paciucci, (CNR-DIITET; Ts. Dachev, SRTI (Dachev et al., 2021) Bulgaria, Italia	Liulin-CNR-VG (66x56x26 mm, 0.098 kg.) 1 battery operated DU >2 [g cm^{-2}]; 60 s		
2	Inside the Japanize Ten-Koh-2 satellite Launch in 2023.	Liulin-Ten-Koh-2 T. Dachev, SRTI (Dachev et al., 2021) Bulgaria, USA, Japan	Liulin-Ten-Koh-2 1 DU (110x40x20 mm, 0.098 kg) Inside of the Ten-Koh satellite; >0.6 g cm^{-2}; 30 sec		
3	Blue Origin New Shepard rocket. Launch 2023.	Liulin-BO	Liulin-BO (120x78x43 mm, 0.25 kg) 1 battery operated DU >2 [g cm^{-2}]; 60 s		

4	Outside of the Argentina-Brazilian SABIA-Mar 1 satellite at circular 700 km orbit. Launch in 2024.	Liulin-AR A. Zanini, INFN, Torino, Italy Ts. Dachev, SRTI Bulgarian, Argentina, Italy	Liulin-AR (110x40x20 mm, 0.1 kg)		
5	Inside BION-M № 2 Satellite. Launch in 2024 for 1 month at 800 km circ. orbit. Incl.=64.9°.	Liulin-BION Bulgaria, Russia,	Liulin-BION (120x78x43 mm, 0.25 kg) 1 battery operated DU. >2 [g cm^{-2}]; 60 s		
6	Inside Indian Gaganiaan space station. Launch in 2024.	Liulin-Gaganiaan Ts. Dachev, SRTI	Liulin-Gaganiaan (80x78x43 mm, 0.25 kg) >2 [g cm^{-2}]; 10 s		
7	Inside ESA Exobiology Facility at ISS Launch in 2025.	R3D-EF Ts. Dachev, SRTI	R3D-EF (80x78x43 mm, 0.25 kg) >2 [g cm^{-2}]; 10 s		
8	Kazachok platform Launch in September 2026? Land on Mars in March 2027?	Liulin-ML I. Mitrofanov, SRI-RAS J. Semkova, SRTI-BAS (Semkova, et al., 2020). Bulgaria, Russia	Liulin-ML 2x2 dosimetric telescopes (172x114x45 mm 0.5 kg) Outside the Kazachok platform; >2 g cm^{-2} Dose and flux 60 s		

The stage of readiness of the instruments in Table 4 is as follows:

- Liulin-CNR-VG instrument is developed, calibrated and delivered to colleagues from the National Research Council of Italy (CNR), the Department of Engineering Information and Communication Technologies and Technologies for Energy and Transport. It is expected that in the fall of 2022 (or in 2023) Liulin-CNR-VG will be used to measure the dose of space radiation during a new Virgin Galactic flight at altitudes up to 86 km;

- Liulin-Ten-Koh-2 instrument was developed in SRTI for Prof. P. Saganti, PVAMU, USA. Later it was delivered to Doctor of Engineering and Professional Engineer in Aerospace, Kei-Ichi Okuyama, Professor in the Department of Aerospace Engineering, College of Science and Technology, Nihon University, Japan for integration within the Ten-Koh-2 satellite;

- Liulin-BO instrument is under development based on a Scientific Cooperation between the Space Research and Technology Institute of the Bulgarian Academy of Sciences and Prof E. Benton from Oklahoma State University (OSU), Radiation Physics Laboratory, Oklahoma, USA. It has to be delivered till the end of 2022. After the flight of Liulin-BO Blue Origin New Shepard rocket it will be returned to SRTI-BAS for use on .

- Liulin-AR instrument was developed for Prof A. Zanini from Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sezione di Torino. It worked between 2017 and 2020 in ground based experiments. Later it was delivered to Dr. Mariano Sanahuja, Unidad de Servicios de Ingeniería Gerencia de Proyectos Satelitales, Comisión Nacional de Actividades Espaciales (National Space Activities Commission), Argentina. Now the instrument is undergoing an integration with the Argentina-Brazilian SABIA-Mar 1 satellite;

- Liulin-BION instrument is in fact the Liulin-BO instrument after its return from OSU;

- Liulin-Gaganiaan instrument is under development and the agreement between SRTI-BAS and Indian Space Research Organization (ISRO) is expected to be officially signed till the end of November 2022;

- R3D-EF instrument will be part of ESA Exobiology Facility (EF) at the Columbus module of the ISS. The negotiations for its development of it with KAYSER ITALIA S.r.l. are in progress;

- Liulin-ML instrument was constructed, calibrated and qualified for space. It was delivered to the colleagues from Space Research Institute, Russia.

Conclusions

The paper presents some of the new results for the space radiation environment, obtained with 3 Liulin type spectrometers since 2014.

The ionizing radiation data obtained by the Liulin type instruments in space are part of the "Unified web-based database with Liulin-type instruments", available online, free of charge at the following URL: http://esa-pro.space.bas.bg/database [20]. The data are stored along with the orbital parameters of the satellites. The User Manual of the database is also available online at: http://esa-pro.space.bas.bg/manual.

Acknowledgements

A part of the work in Bulgaria is supported by grant KP-06-Russia 24 (Project No. 129 for bilateral projects with Russia) of the National Science Fund of Bulgaria.

References:

1. Dachev, T. P., et al., 2015. Overview of the Liulin type instruments for space radiation measurement and their scientific results, Life Sciences in Space Research, 4, 92–114, 2015. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.lssr.2015.01.005.
2. Dachev, T. P., et al., 2017. Overview of the ISS radiation environment observed during the ESA EXPOSE-R2 mission in 2014–2016. Space Weather, 15, 1475–1489, https://doi.org/10.1002/2016SW001580
3. Dachev, T.P. et al., 2021. Space missions with Liulin instruments during 2021, Proceeding of SES2021, Seventeenth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY, 20–22 October, 2021, Sofia, Bulgaria, 25–30, 2021. http://www.space.bas.bg/SES/archive/SES%202021_DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202021.pdf
4. Semkova, J., et al. 2020. Results from radiation environment measurements aboard ExoMars Trace Gas Orbiter in Mars science orbit in May 2018–December 2019. *Icarus*, *361*, p.114264. https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114264
5. Dachev, T. P. et al., 2021. Description of the "Liulin Ten-Koh" charged particles spectrometer for the Japanese "Ten-Koh" satellite, Aerospace Research in Bulgaria. 33, 5–24. http://journal.space.bas.bg/arhiv/n%2033/Articles/1_Dachev.pdf
6. Uchihori, Y., et al., Analysis of the calibration results obtained with Liulin-4J spectrometer-dosimeter on protons and heavy ions, Radiation Measurements, 35, 127–134, 2002. http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00286-4
7. Dachev, T. P., Tomov, B.T., Matviichuk, Y.N., Dimitrov, P.G., & Bankov, N.G., 2016. High dose rates obtained outside ISS in June 2015 during SEP event, Life Sciences in Space Research, 9, 84–92. http://dx.doi.org/10.1016/j.lssr.2016.03.004.
8. Heffner, J. Nuclear radiation and safety in space. M, Atomizdat. pp 115 (1971). (in Russian).
9. Dachev, T. P., N. G. Bankov, G. Horneck, D.-P. Häder; Letter to the Editor. Radiat Prot. Dosimetry, 2017. 174 (2), 292-295. https://doi.org/10.1093/rpd/ncw123.
10. Potgieter, M. S. (2013). Solar modulation of cosmic rays. Living Reviews in Solar Physics, 10, 3.
11. Forbush, S. E. (1954). World-wide cosmic ray variations, 1937–1952. Journal of Geophysical Research, 59, 525–542. https://doi.org/10.1029/JZ059i004p00525
12. Dachev, Ts., G. Horneck, D.-P. Häder, M. Schuster, and M. Lebert, (2015). EXPOSE-R cosmic radiation time profile, Journal of Astrobilogy, 14, 17–25, 2015. http://dx.doi.org/10.1017/S1473550414000093
13. Filz, R., & Holeman, E. (1965). Time and altitude dependence of 55-MeV trapped protons, August 1961 to June 1964. Journal of Geophysical Research, 70, 5807–5822. https://doi.org/10.1029/JZ070i023p05807
14. Reitz, G., Beaujean, R., Benton, E., Burmeister, S., Dachev, T., Deme, S., … Olko, P. (2005). Space radiation measurements on-board ISS-the DOSMAP experiment. Radiation Protection Dosimetry, 116, 374–379.
15. Dachev, T. P. et al. (2002). Calibration results obtained with Liulin-4 type dosimeters. Adv. Space Res. 30, 917–925. http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1177(02)004.
16. Xiaolei Li et al, (2022). Solar Energetic Particles Produced during Two Fast Coronal Mass Ejections, The Astrophysical Journal Letters, 928:L6 (8pp), March 20, https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac5b7211-8
17. Papaioannou, A. et al, (2022). Characteristics of the First Ground Level Enhancement (GLE) of Solar Cycle 25 on 28 October 2021, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-5504, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-5504.
18. McIlwain, C. E. (1961). Coordinates for mapping the distribution of magnetically trapped particles. Journal of Geophysical Research, 66, 3681–3691. https://doi.org/10.1029/JZ066i011p03681
19. Dachev, T. P., B. T. Tomov, Yu. N. Matviichuk, Pl. G. Dimitrov, NG. Bankov, V. V. Shurshakov, O.A. Ivanova, D.-P. Häder, M.T. Schuster, G. Reitz, G. Horneck, "BION-M" №1 spacecraft radiation environment as observed by the RD3-B3 radiometer-dosimeter in April-May 2013, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 123, 82-91, 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2014.12.011
20. Dachev, T. P. et al. (2018). Description of the database with Liulin type instruments' cosmic radiation data, Proceedings from the Fourteenth International Scientific Conference "SPACE, ECOLOGY, SAFETY" – SES 2018, 30–36, Sofia, Bulgaria, 7-9 November, 2018. http://www.space.bas.bg/SES/archive/SES%202018%20DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202018.pdf

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ЧИСЛЕНО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРИБОРА LIULIN-MO

Красимир Кръстев[1], Йорданка Семкова[1], Росица Колева[1], Виктор Бенгин[2], Сергей Дробишев[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]State Scientific Center of Russian Federation, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences
e-mail: werholak@abv.bg

Ключови думи: *Числено моделиране, геометричен фактор, галактични космични лъчи (ГКЛ)*

Резюме: *Представени са резултатите от численото моделиране на дозиметъра Liulin-MO, работещ на борда на спътника Trace Gas Orbiter (TGO) на мисията ExoMars-2016 към Марс [1] с помощта на пакета Geant4. Направена е оценка за приноса на различните компоненти на спектъра на галактичните космични лъчи върху измерваните дози и потоци. Периодът, за който са направени разглежданите симулации, е полетът до Марс от мисията ExoMars-2016.*

NUMERICAL SIMULATION OF THE LIULIN-MO DEVICE

Krasimir Krastev[1], Jordanka Semkova[1], Rositza Koleva[1], Viktor Benghin[1], Sergej Drobijshev[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]State Scientific Center of Russian Federation, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences
e-mail: werholak@abv.bg

Keywords: *Numerical simulation, geometric factor, galactic cosmic rays (GCR)*

Abstract: *In this paper we present the results of numerical simulation of the Lyulin-MO dosimeter onboard Trace Gas Orbiter (TGO) of ExoMars-2016 mission to Mars [1] using the Geant4 package. The contribution of the individual components of the spectrum of galactic cosmic rays is estimated. The specific period under consideration is the flight to Mars of the ExoMars-2016 mission.*

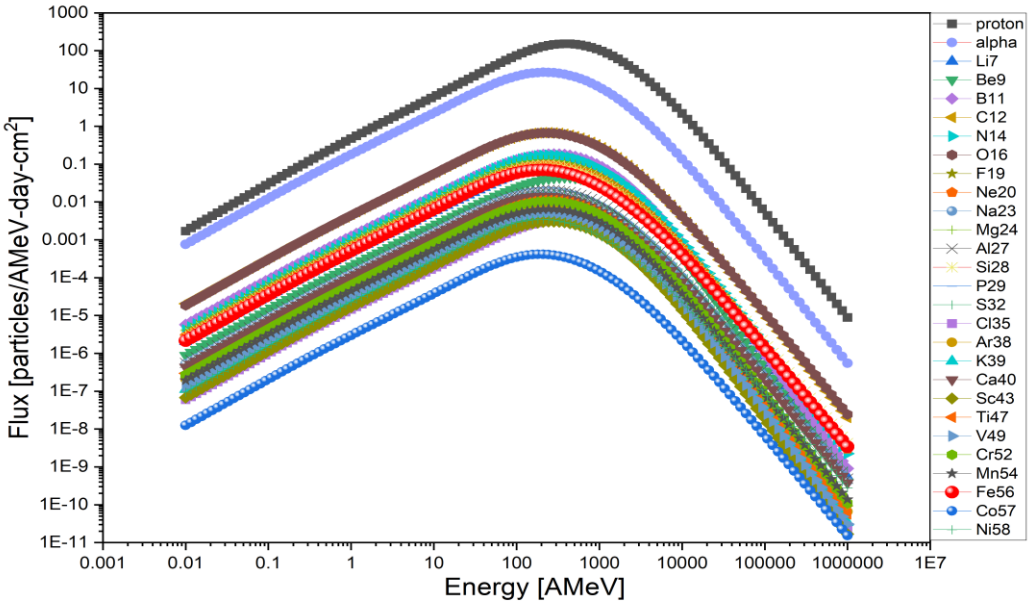
Въведение

Основните причини поради които се налага числено моделиране на даден физически процес или устройство са икономия на ресурси, време и човешки труд. Друга основна причина за прилагането на числени модели е, че по този начин може да бъде оценено влиянието на даден фактор.

Особено наложително е използването на числени симулации при конструирането на регистратори на йонизиращо лъчение. Необходимостта от моделиране, тук е продиктувана от сложността на физическите процеси, които протичат, както в самия детектор така и в обкръжаващата го среда. Интерпретацията на получените експериментални резултати трябва да отчита множество фактори като геометрията и материалите на конструкцията на прибора, геометрията на потока и състава йонизиращо лъчение и т.н. Съществуват множество програмни пакети за моделиране на преминаване на лъчението през веществото. Някои от тях са предназначени за конкретни задачи и лъчения. Geant4 е един от най-мощните пакети, който включва голям набор от възможности и дава голяма свобода при моделирането на най-различни задачи [2]. Той е разработен от Geant4 Collaboration (CERN и други институти) на обектно ориентирания език C++. Областта на приложение на Geant4 включва физика на елементарните частици и изследване на ядрените реакции, медицина, ускорители на частици и космически изследвания.

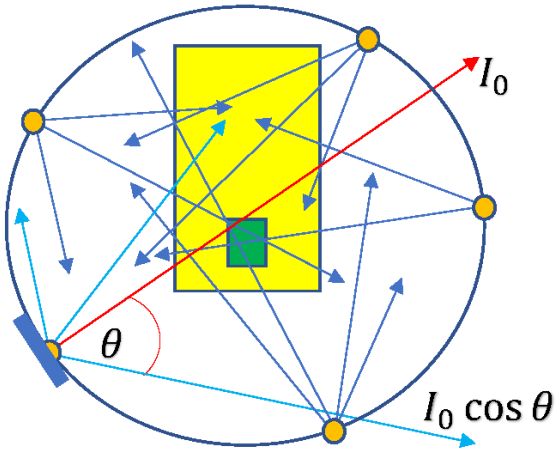
Методология на моделиране на дозиметъра Liulin-MO

Подходът, който се използва при моделирането на прибора е изложен в [3, 4]. За всяка частица и съответната и енергия от спектъра на галактичните космични лъчи (ГКЛ), се генерира изотропен поток частици с еквивалентни на дадената частица характеристики. Източник на генерираните частици се явява сфера с радиус 15 cm. Центърът на сферата съвпада с центъра на детекторната система. Целият прибор се намира вътре в сферата. Размерът на сферата се избира от съображения за икономия на броя генерирани частици и съответно машинно време. Разпределението на изотропния поток, генериран от сферата, трябва да бъде косинусово [3]. Периодът от време, който разглеждаме е полетът до Марс от мисията *ExoMars-2016.* Съответното разпределение за потока ГКЛ се взима от базата данни на НАСА OLTARIS (https://oltaris.larc.nasa.gov/), Фиг. 1. Използува се моделът на ГКЛ на Badhwar O'Neil (BON 2020).



Фиг. 1. Спектър на галактичните космични лъчи на разстояние 1 AU, Oltaris, BO-20, Exomars 2016 - cruise

Броят частици, които се генерират за всяка компонента от спектъра на ГКЛ е различен. За протоните и алфа частиците се генерират по 10^8, а за всяка от останалите компоненти по10^7 частици. На Фиг. 2 е показана принципната схема на симулацията. Корпусът на прибора Liulin-MO е показан в жълт цвят, детекторната система е обозначена със зелен цвят. Точките от сферата служат като източници на генерирани частици, разпределението на генерираните частици се явява косинусово.



Фиг. 2. Принципна схема на числената симулация

Следвайки [3] може да се изведат следните формули за геометричния фактор и скоростта на броене (count rate) на детектора:

(1) $$G = \frac{n}{N} 4\pi^2 R^2$$

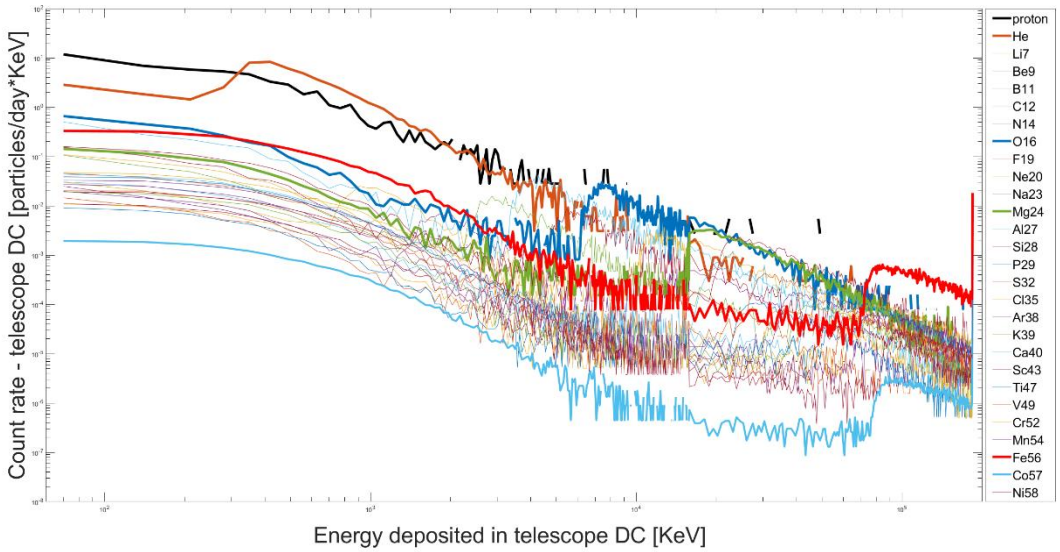
тук G е геометричният фактор, n е броят на регистрираните частици, N – броят генерирани частици, R – радиусът на окръжността.

(2) $$C = \frac{n}{N} \pi R^2 J$$

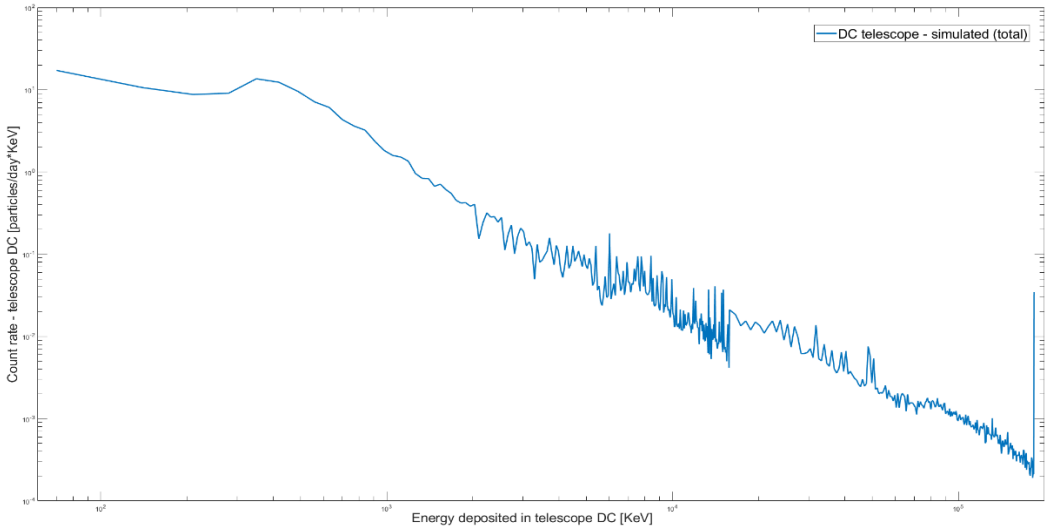
където C е count rate на детектора, J е потокът ГКЛ получен от Oltaris.

Резултати

Основна цел на настоящата работа е да даде качествена и количествена оценка за приноса на отделните компоненти на ГКЛ в общия измерен спектър от прибора. На Фиг. 3 е показано в кой енергиен диапазон попада и какъв count rate има всяка компонента от Фиг. 1. Сумарният спектър е показан на Фиг. 4.



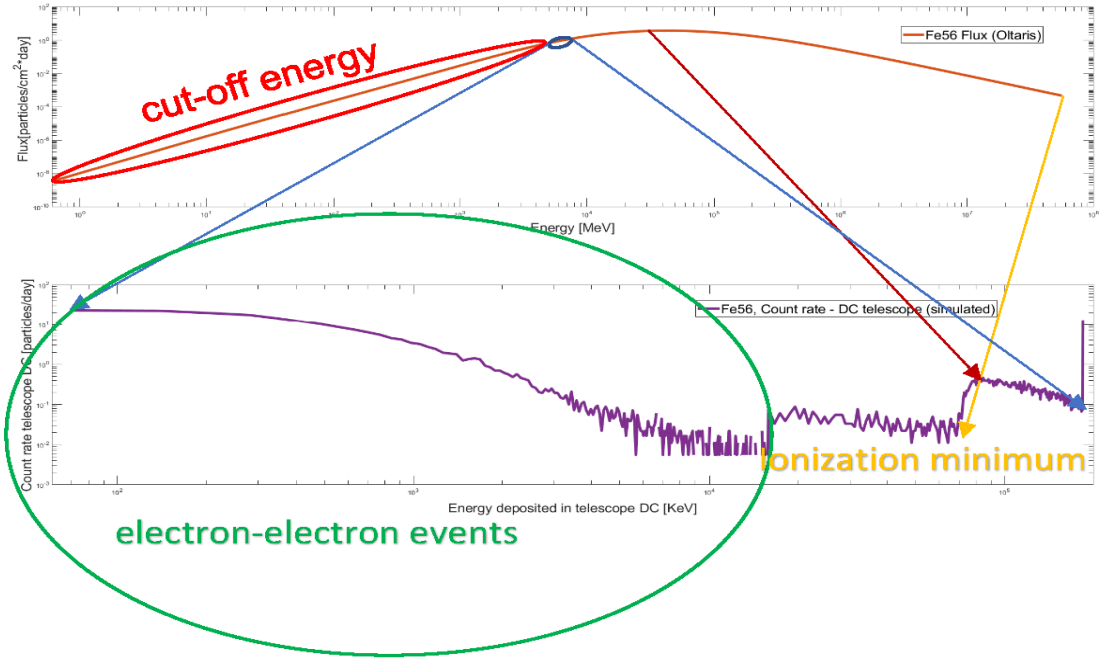
Фиг. 3. Симулирания count rate на компонентите на ГКЛ за телескопа DC на прибора Liulin



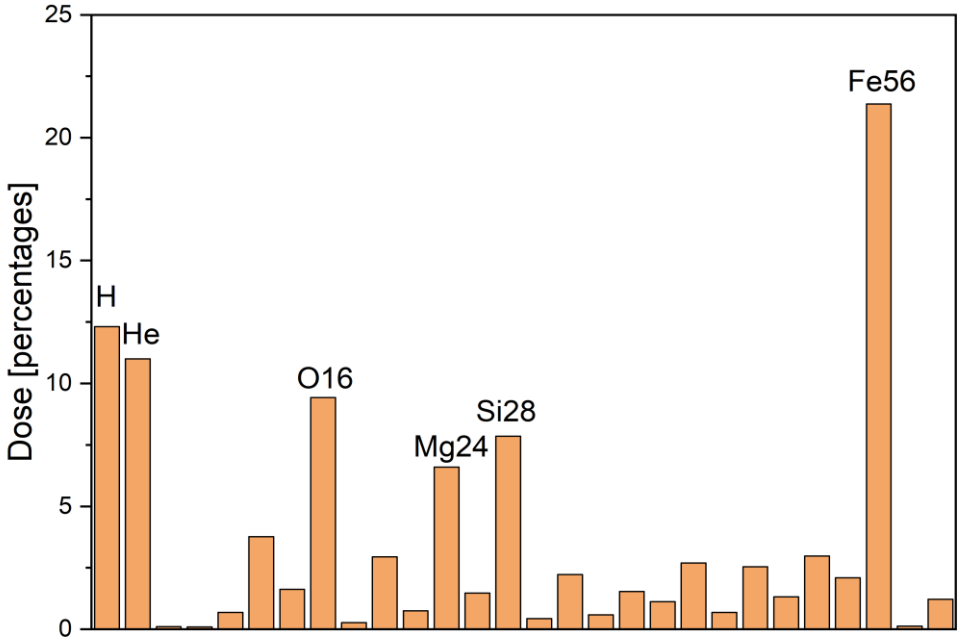
Фиг. 4. Сумарен спектър (симулиран)

На Фиг. 5 е показано съответствието между входния и симулирания спектър на желязото. Най-високоенергийната част от входния спектър се проектира в точката около йонизационния минимум. Областта заградена в зелено отразява предимно случаите, в които във всеки от

двата детектора на телескопа се регистрират само вторични електрони. От Фиг. 6 може да се види какъв принос има всяка компонента от спектъра на ГКЛ при определяне на дозата.

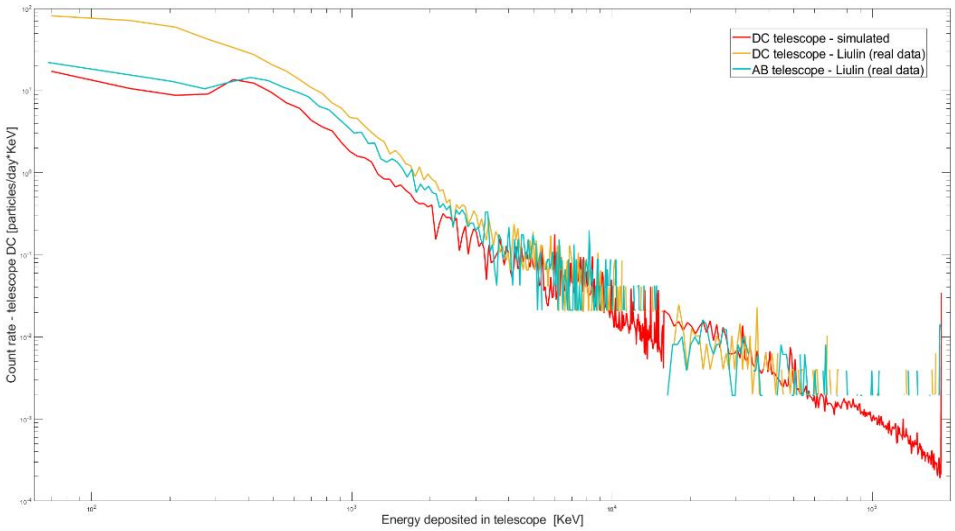


Фиг. 5. Входен и изходен (симулиран) спектър на желязото



Фиг. 6. Дозата за всяка компонента на ГКЛ в проценти

На Фиг. 7 е показан резултатът от сравнение на моделираните и измерените спектри на линейно поглъщане на енергията (ЛПЕ) в 2-та дозиметрични телескопа на Люлин-МО, получени по време на полета до Марс от мисията *ExoMars-2016*. Вижда се добро съвпадение, с изключение на високоенергетичната част на спектрите, което ще се използва при верификацията на измерените спектри на ЛПЕ от дозиметъра Люлин-МО.



Фиг. 7. Сравнение между моделни и експериментални спектри на ЛПЕ от Liulin-MO на TGO по време на полета към Марс.

Заключение

Получените резултати показват какви възможности предоставя численото моделиране при анализа на експерименталните данни, получени при регистрация на йонизиращо лъчение.

Освен приноса на първичните частици, симулацията позволява да се оцени приноса към измерваните радиационни величини от вторичните частици, получени при взаимодействието на лъчението с конструкцията на прибора.

Резултатите от моделирането ще бъдат използвани за верификация и корекция на измерените спектри на линейно поглъщане на енергията на борда на ЕкзоМарс 2016 от дозиметъра Люлин-МО.

Благодарности

В България работата е подкрепена от договор КП-06-РУСИЯ 24 на ИКИТ-БАН с Фонд за научни изследвания по „Конкурс за проекти по програми за двустранно сътрудничество 2018 г. – България – Русия 2018–2019 г.

Литература:

1. Semkova, J., et al, 2018. Charged particles radiation measurements with Liulin-MO dosimeter of FREND instrument aboard ExoMars Trace Gas Orbiter during the transit and in high elliptic Mars orbit, Icarus, Vol. 303, Pp 53-66, https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.12.034
2. S. Agostinelli et al., „Geant4 – a simulation toolkit“, Nuclear Instruments and Methods in PhysicsResearch Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 506, Issue 3, Pages 250-303, 2003.
3. X. Zhao et al., „A Geometric Factor Calculation Method Based on the Isotropic Flux Assumption”, CP, 37, 126201, 2013.
4. S. Pak et al., „A numerical method to analyze geometric factors of a space particle detector relative to omnidirectional proton and electron fluxes”, Journal of the Korean Astronomical Society, August 2018

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

OBSERVATIONS OF SUBSTORM ACTIVITY NEAR THE HARANG DISCONTINUITY

Irina Despirak, Tamara Kozelova, Boris Kozelov, Andris Lubchich

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia
e-mail: despirak@gmail.com

Keywords: *Substorm, Westward and eastward electojets, Brekup, Aurora, Harang discontinuity*

Abstract: *In our work we analyzed one interesting event, when the development of substorm injection occurs near the Harang discontinuity. It was the event, which was registered on 24 December 2014 from ~ 19: 00 to ~20:00 UT. Note, that this event was registered during very complicated conditions of space weather: there were series of shock waves, one of them was at the front of magnetic cloud (MC), and then the high speed stream (HSS) was observed. As result, two geomagnetic storms developed on 21 and 23 December 2014. We analyzed the substorm observed at the recovery phase of the second magnetic storm. The space-time dynamics of substorm was considered by simultaneous observations of the THEMIS satellites, the ground-based observations of aurora (MAIN camera system) and magnetic disturbances (IMAGE network) on the Kola Peninsula. During considered interval from ~ 19: 00 to ~20:00 UT, the THD was located at |X|~ 6 R_E and the projection of THD orbit crossed the Kola Peninsula. According to the THD data, four dipolarization fronts (DF) are distinguished and according to the IMAGE magnetometers data, the development of substorm occurs near the Harang discontinuity. It was shown that the pre-onset auroral forms were moved accordingly the two-cell ionospheric convection, which usually develop during the growth phase of the substorm.*

НАБЛЮДЕНИЯ СУББУРЕВОЙ АКТИВНОСТИ ОКОЛО РАЗРЫВА ХАРАНГА

Ирина Дэспирак, Тамара Козелова, Борис Козелов, Андрис Любчич

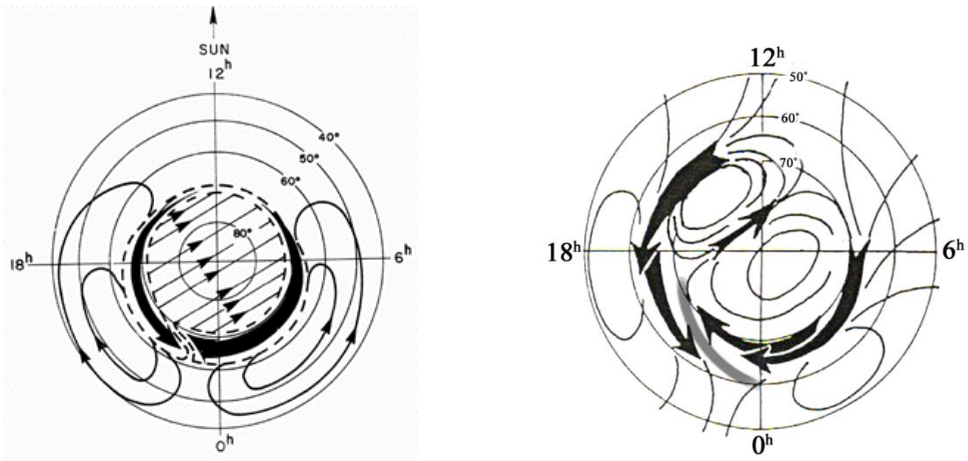
Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия
e-mail: despirak@gmail.com

Абстракт: *В нашей работе мы проанализировали одно интересное событие, когда развитие суббуревой инжекции происходит вблизи границы Харанга. Это событие наблюдалось с ~19:00 до ~20:00 UT 24 декабря 2014 г. Отметим, что оно происходило в очень сложных условиях космической погоды: наблюдалась серия ударных волн, одна из них была на фронте магнитного облака (MC), а затем начался высокоскоростной поток (HSS). В результате 21 и 23 декабря 2014 развивались две магнитные бури. Мы исследовали суббуревую активность, наблюдавшуюся на фазе восстановления второй магнитной бури. Пространственно-временная динамика суббури рассматривалась с помощью одновременных наблюдений со спутников THEMIS, наземных наблюдений полярных сияний (система камер MAIN) и магнитных возмущений (сеть магнитометров IMAGE) на Кольском полуострове. В течение рассматриваемого интервала от ~ 19:00 до ~20:00 UT спутник THD располагался на |X|~ 6 R_E, а проекция его орбиты пересекала Кольский полуостров. По данным спутника выделяются четыре фронта диполяризации (DF), по данным магнитометров IMAGE развитие суббури происходит вблизи разрыва Харанга. Показано, что предбрейкаповые авроральные формы двигались соответственно двухячеечной ионосферной конвекции, которая обычно развивается на предварительной фазе суббури.*

Introduction

The study of substorms, their dynamics and fine structure is important for the space weather investigations. The Harang discontinuity (HD) is an important part of the current systems in the case of the development of magnetic substorms [1], [2], [3]. Note, that the nature of the equivalent current systems of a magnetic substorm is formed by three sources: the eastward and westward electrojets flowing along the auroral oval and currents in the polar cap [4]. By using a large set of ground data (magnetometers, all-sky cameras, radars) and satellite observations, it was possible to establish that the Harang discontinuity is the complex structure that varies in space and time, depending on the time of day and season, and changing under the influence of conditions in the E layer of the ionosphere [5]. Fig. 1 shows the most common schemes of equivalent current systems in the ionosphere for cases of

substorms, which show the position of the Harang discontinuity. Fig 1a shows the scheme of currents, where the Harang discontinuity represents the transition between polar electrojets (the figure was taken from [6]). The scheme shows two types of substorms, corresponding to two types of the electricrojets with currents of the opposite direction. Fig.1a corresponds to expansion substorms, when the electrojets are observed that converge closely in the evening-near midnight hours. Fig.1b corresponds to the case of convective substorms associated with the convection motions.



a) **b)**

Fig. 1. The position of the Harang discontinuity on two diagrams of equivalent current systems a): transition between polar electrojets; b): reversal or reverse in the convection parameters. The picture was taken from [6].

However, it should be noted that despite a large number of studies, there is significant uncertainty regarding the space-time relations between the magnetosphere and the ionosphere during substorm expansions, and further research is needed using combined satellite and terrestrial data.

We found one interesting event, when the development of substorm injection occurs near the Harang discontinuity. It is the event on 24 December 2014, when simultaneous observations of the THEMIS satellites (THE and THD), the ground-based observations of aurora in Apatity and magnetic disturbances on the IMAGE magnetometers network and Russian Siberian stations (Dixon, Tiksi and Amderma) were available. Note, that the initial case of substorm activity in this day, during interval from ~ 16: 00 to ~ 17: 00 UT, was considered in our previous work [7]. During time interval from 14:30 to 20:50 UT on 24 December 2014, THE and THD satellites were located at r ~ 8.0–10.3 R_E in the midnight sector of the magnetosphere and crossed over Siberia and Kola Peninsula. Fig.2 shown the geographic map with projections of the THD (red line) and THE (blue line) and the locations of magnetic stations. The first case of substorm activity (~ 16 ~ 17 UT) marked by a blue oval and inscription "1)"; the second case (19- 20 UT), marked as "2)".

In this work, we considered substorm activity from ~ 19: 00 to 20:00 UT, when THD was at a distance | X | ~ 6 R_E in the plasma sheet, and its projection crossed the Kola Peninsula.

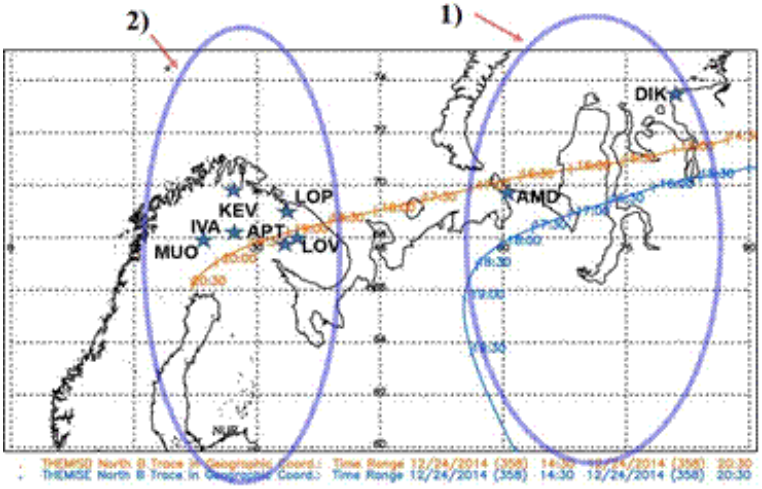


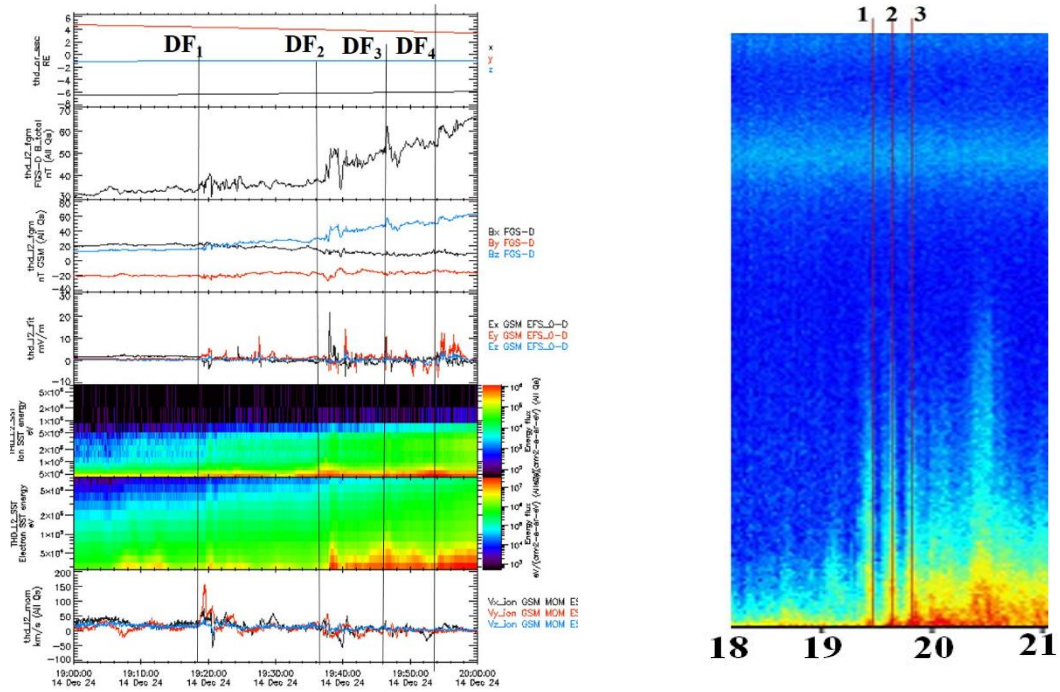
Fig. 2. Projections of the THD (red line) and THE (blue line) from 14:30 to 20:50 UT on 24 December 2014. The locations of magnetic stations are marked by stars, the time intervals under study - by blue ovals.

Data

For our analysis we used complex ground-based and satellites data. The solar wind and IMF parameters are taken from the CDAWeb database and the catalog of large-scale solar wind types ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog [8]. Global magnetometer networks IMAGE and SuperMAG, including data of Russian Siberian stations (Dixon, Tiksi, Amderma etc.) data were used for determination of the substorm development. The IMAGE magnetometer data are taken from http://space.fmi.fi/image/, SuperMAG magnetometers data - from http://supermag.jhuapl.edu/ [9], [10]. Geomagnetic pulsations were observed by data from the induction magnetometer located in Lovozero. The data used here are the spectrograms in frequency range from 0.01 to 16 Hz, where the whole spectrum of natural pulsations Pi1B is well seen, if their existed. The auroras observations on MAIN cameras in Apatity (APT), to study the substorm development, we used the keograms and the selected full-frame images from the Apatity all-sky camera (APT, 67°34N; 33°24E). The camera specifications, their mutual location and the measurement process are described in detail in [11]. The variations of fields and particles in the magnetosphere were studied by THEMIS satellites (THD) data. During the time period from 19:00-20:00 UT the THD was located at r ~ 6.3–8.5 R_E, in the midnight sector: in 19:30 UT GSM coordinates were (-6.3; 4.0; -1.06) R_E.

1. Observations from THD satellite and Lovozero data

The data of FGM, EFI, SST, MOM instruments of the THD satellite are shown in the Figure 3a. It is seen that four dipolarization fronts (DF) were registered by THD data (DF_1 =19:18; DF_2 =19:37; DF_3 =19:45, DF_4 =19:54 UT). DFs were determined by sudden jumps of the magnitude and B_Z component of the magnetic field, the strong variations in the electric field, the growth of the plasma velocity and the increasing of ion and electron fluxes (e.g. [12]. Four vertical black lines marked the DFs moments. As will be shown below, DF_1 was observed during the growth phase of the substorm, the last three dipolization fronts were associated with the development of the expansion phase of the substorm and connected with brightening of arcs near the THD projection. In the Fig. 3b shown the Pi1B pulsations (the period τ = 0.2-15 sec) observed in Lovozero. Note, that these pulsations are associated with substorm expansion phase and correlated with precipitations of auroral electrons. Three peaks of Pi1B pulsations were recorded in Lovozero: 19:22–19:25, 19:34–19:37 and 19:46–19:49 UT. The first peak was observed in connection with the appearance of beads at the growth phase arc located south of LOZ latitude. The second and third peaks were associated with the expansion phase of the substorm.

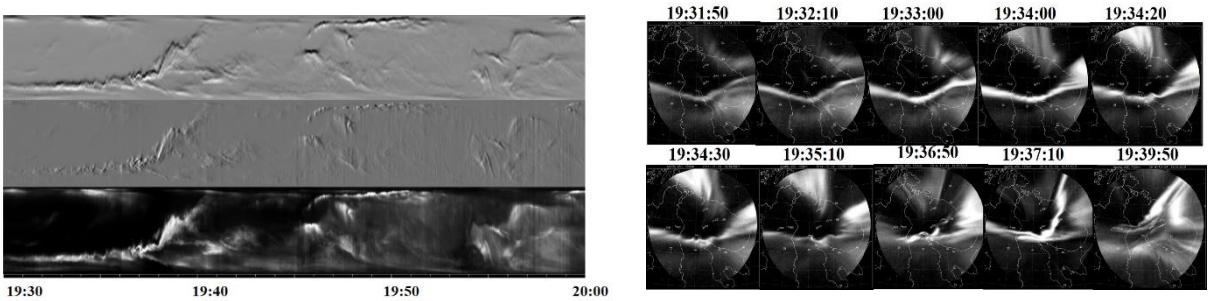


a) b)

Fig. 3. Data of FGM, EFI, SST, MOM instruments of THD from 19:00 to 20:00 UT (a) and geomagnetic pulsations at Lovozero from 18 to 21 UT on 24 December 2014 (b). Moments of four dipolarization fronts (DF) marked by vertical black lines (a), moments of three peaks in Pi1B pulsations – by red vertical lines (b).

2. MAIN camera system observations

Auroral activity captured by all-sky camera at the station Apatity (APT) is presented in Fig. 4. Left three panels of Fig. 4 illustrate the temporal dynamics of the camera field of view as keogram: top panels - the keograms filtered by the horizontal-time difference and by the vertical-spatial difference; bottom panel - non-filtered keogram for interval 19:30 - 20:00 UT. Some selected images of all-sky camera are shown in Fig. 4b. During growth phase of substorm were registered "beads" in aurora ~ from 19:18 UT, which are visible both on the arc near the zenith and on the southern arc (picture not presented here). At this time, THD registered the first dipolarization front (DF_1) (Fig. 3a) and there were some weak disturbances in the ground-based magnetograms (Fig. 5a). Note, that the first peak in Pi1B pulsations at Lovozero was recorded a little later (~ 19:22 UT), when the auroras approached to LOZ latitude. At the end of the growth phase (~ 19:31:50 UT) a brightening of the most equatorial from all arcs was observed. Then on the arc, azimuthally spaced auroral folds are formed, moving from East to the West. This corresponds to the first phase of the breakup (or pseudo-breakup). At ~ 19:33:50 UT, the equatorial arc again became brighter, ~ 19:34 UT rapidly expand to the pole. This moment concerns to the onset of the second peak in Pi1B pulsations in LOZ (Fig. 3b). At ~ 19:37 UT (the maximum of second peak of Pi1B pulsations) an N-S arc occurred, then this arc moves equatorward and reaches E-W aligned arcs.

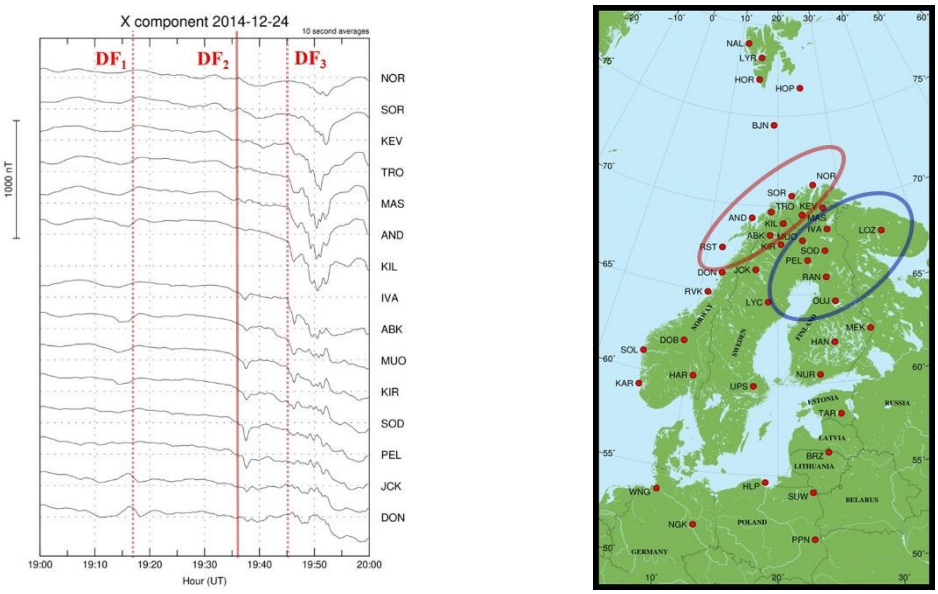


a) b)

Fig. 4. Data of all-sky camera at the Apatity: a) keograms for time period from 19:30 to 20:00 UT: filtered (top panels) and non-filtered (bottom panel) keograms for 19:30-20:00 UT (a) and some images of all-sky camera for period 19:31:50-19:39:50 UT (b).

3. Ground-based magnetic observations

Fig. 5 presented the variations of X-component of magnetic field by IMAGE data. Vertical red lines corresponded to 3 moments of dipolarization fronts (DFs) registered by THD satellite (Fig. 3a), solid line DF_2 marked also the onset of expansion phase.



a) b)

Fig. 5. X- component of geomagnetic field from IMAGE magnetometers, the DFs moments are marked by red vertical line (a); the map of locations of IMAGE magnetometers, red and blue ovals marked the region of positive and negative bays accordingly (b)

It is seen that near DF_2 moment were observed two different regions containing positive magnetic bays and negative magnetic bays, which marked also as red and blue ovals in the Fig. 5b. So, accordingly IMAGE magnetometers observations, the development of substorm occurs near the Harang flow shear.

Conclusions

Analysis of substorm activity using THD satellite data on / X / ~ 6 R_E and ground-based data led to the following results:

1) the fronts of dipolarization and injection of energetic electrons into the magnetosphere were observed near the moments of sudden intensification of auroras: brightening of arcs, breakup in aurora.

2) according to the magnetometers data, the development of substorm occurs near the Harang discontinuity

3) the development of aurora was organized according to the preceding two-vortex pattern of ionospheric convection observed in the growth phase around the Harang discontinuity.

Acknowledgements

The authors are grateful to the creators of the databases SuperMAG (SuperMAG: Products (jhuapl.edu)), IMAGE (http://space.fmi.fi/image/) for the opportunity to use them in this work. We are grateful to staff of Lovozero observatory of Polar Geophysical Institute for data of ground-based observations. THEMIS satellites data were taken from NASA CDAWeb https://cdaweb.sci.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/eval1.cgi. We are grateful the heads of the experiments conducted with these instruments. The work was carried out within the framework of the State assignment for Polar Geophysical Institute (PGI).

References:

1. Harang, L., The mean field of disturbance of polar geomagnetic storms, *J. Geophys. Res.* 51(3), 353. doi:10.1029/te051i003p00353, 1946.
2. Kamide, Y., B.-H. Ahn, S.-I. Akasofu et al., Global distribution of ionospheric and field-aligned currents during substorms as determined from six IMS meridian chains of magnetometers: Initial results, *J. Geophys. Res*., 87, doi: 10.1029/JA087iA10p08228, 1982.
3. Untied, J., W. Baumjohann, Studies of polar current systems using the IMS Scandinavian magnetometer array, *Space Sci. Rev.*, 63, 245–390, 1993.
4. Feldstein, Y. I., A. N. Zaitzev, Sd-variation of the magnetic field in high latitudes with different intensity of magnetic disturbances, Annales Geoph. 24, 2, 1–8. 1968.
5. Kunkel, T., J, Untiedt, W, Baumjohann, R. Greenwald, Electric fields and currents at the Harang discontinuity: a case study, *J. Geophysics,* 59. 73–86. 1986.
6. Zaitsev, A. H., K. Kh. Kanonidi, V. G. Petrov, Superposition of auroral currents in the region of the Harang discontinuity, *Geomag. Aeron.,* 62, 5, 607–616, 2022.
7. Despirak, I. V., Kozelova T. V., Kozelov B. V., Lubchich A. A. (2020) Westward propagation of substorm by THEMIS and ground-based observations, *J. Atmosph. Solar-Terr. Phys.*, 206, № 105325. doi: 10.1016/j.jastp.2020.105325.
8. Yermolaev, Yu. I ., N. S. Nikolaeva, I. G. Lodkina, M. Yu. Yermolaev, Catalog of large-scale solar wind phenomena during 1976–2000, *Cosmic Res*., 47, 2, 81–94, 2009.
9. Viljanen, A., L. Häkkinen, IMAGE magnetometer network, Satellite-ground based coordination sourcebook, ed. Lockwood M., Wild M. N., Opgenoorth H.J. ESA publications SP-1198, 111–117. 1997.
10. Gjerloev, J. W. The SuperMAG data processing technique, *J. Geophys. Res.*, 117(A9), A09213, 2012, https://doi.org/10.1029/2012JA017683
11. Kozelov, B. V., Pilgaev S. V., Borovkov L. P., Yurov V. E., Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010-2011, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*, 1, 1–6, doi:10.5194/ gi-1-1-2012, 2012.
12. Kozelova, T. V., B. V. Kozelov, Substorm-associated explosive magnetic field stretching near the earthward edge of the plasma sheet, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 118(6), 3323–3335, doi:10.1002/jgra.50344, 2013.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

SPATIAL FEATURES OF ELECTOJETS DEVELOPMENT DURING NON-STORM SUPERSUBSTORMS: CASE STUDY

Irina Despirak[1], Natalia Kleimenova[2], Lyudmila Gromova[3], Andris Lubchich[1]

[1]Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia
[2]Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia
[3]IZMIRAN, RAS, Troitsk, Moscow, Russia
e-mail: despirak@gmail.com

Keywords: *Storm, Supersubstorm, Westward and eastward electojets, Field-aligned currents (FAC)*

Abstract: *In In our work we analyzed the magnetic disturbances and the global maps of field-aligned currents (FAC) during very intense substorm (SML<-2100 nT) on 22 April 2017 by the data from the global magnetometer networks SuperMAG, INTERMAGNET, IMAGE and data of from AMPERE projects. This event was selected because it was observed during non-storm conditions (SYM/H~-40 nT), while before that, all the considered events of supesubstorms (SSS) were observed against the background of the development of moderate or strong magnetic storms caused by coronal mass ejections (CME). We compare the spatio-temporal development of the electrojets during the storm and non-storm SSS events. It was shown that some specific features of the electojets development, which were found for the storm SSS events, coincided with the behavior of the non-storm event of SSS. Namely, the global development of the westward electrojet was recorded from the dusk side (Alaska stations) to the dayside that, (IMAGE stations) of the Earth. Besides that, the strong eastward electrojet developed in the evening sector, which may be a result of the formation of an additional substorm current wedge (SCW) in the evening side. At the same time, the formation of this SCW and the occurrence of an additional upward field-aligned current were observed more strongly that during the storm-associated SSS events.*

Introduction

The term “supersubstorm~~s~~” was first introduced by investigations of very intense magnetic substorms from -the data of the SuperMag magnetometer~~s~~ network, the events with high negative values of SML index (< - 2500 nT) were called “supersubstorms” [1]. The SML index is calculated across the network of the SuperMAG stations [2].

The first studies indicated that SSSs have some features both in the space weather conditions during the appearance of SSSs and in the development of ground-based geomagnetic disturbances at this time. According to the papers [3, 4, 5], the SSSs are observed only under certain conditions in the solar wind: namely, the passage of magnetic clouds (MCs) or regions of compressed plasma in front of magnetic clouds (SHEATH), when there are jumps in the solar-wind pressure and large negative values of the Bz components of the Interplanetary Magnetic Field (IMF). In general, these conditions are also characteristic of the development of large magnetic storms. However, SSS events are not always associated with intense magnetic storms, as it would be logical to assume; they can also be observed during moderate magnetic storms and sometimes under non-storm conditions [1, 3]. The electojets development during the SSSs, registered under the storm conditions, has been considered in some works, e.g., [4, 6, 7]. It was shown that the westward electrojet developed on a global scale by the longitude from the midnight to the afternoon sector surrounding the Earth. The highest intensity of the electrojet was observed at the auroral latitudes in the post-midnight time [4]. It is also shown that the strong eastward current was observed from after-noon to evening sector. The occurrence of an intense eastward electrojet supports the hypothesis of the formation of the additional ring current in the evening sector during the SSS [8].

We selected the events of the supersubstorms observed during the non-storm conditions, i.e. under the SYM/H- index > -50 nT. Only six such SSS events have been found in the 2010–2020 period, when the AMPERE observations were available. The SSS event of 22 April 2017 is studied in detail in this paper.

Data

The solar wind and IMF parameters are taken from the CDAWeb database and the catalog of large-scale solar wind types ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog [9]. Supersubstorm onset and

development were determined using the IMAGE and SuperMAG magnetometer data (http://space.fmi.fi/image/; http://supermag.jhuapl.edu/), besides some geomagnetic indexes SML, SMR and SMR_LT were used. SMR index calculation (as SYM/H index) is based on data of the N component with the baseline removed at available (~100 stations) ground magnetometer stations at geomagnetic latitudes between -50 and +50 degrees. Four local time sectors are defined with centers at 00, 06, 12, 18 MLT; the SMR value is (SMR-00 + SMR-06 + SMR-12 + SMR-18)/4/ [10]. The global spatial distribution of electrojets was determined from the maps of magnetic field vectors obtained on the SuperMAG network, maps of spherical harmonic analysis of the distribution of magnetic vectors in the ionosphere and field-aligned currents obtained from the data of the low-apogee communication satellites Iridium of the AMPERE system (Active Magnetosphere and Planetary Electrodynamics Response Experiment, http://ampere.jhuapl.edu).

1. Interplanetary and geomagnetic conditions

Solar wind and interplanetary magnetic field (IMF) conditions for period of 21-26 April 2017 are shown in the Fig. 1a, from top to bottom: IMF magnitude (B_T), the IMF Y- and Z- components (B_Y, B_Z), the flow velocity (V), the dynamic pressure (P) and some geomagnetic indexes SYM/H and SML. It is seen that the features of the recurrent high-speed stream from coronal holes are observed in this period. At the front of the HSS, the region of the comprssed plasma – the CIR- was registered. CIR and HSS boundaries are marked by the green and blue rectangles, respectively. The CIR contains the intervals of the negative values of the IMF Bz, but a magnetic storm was not developed (SYM/H~-40 nT). Against the background of CIR, at ~09:30 UT, one intense substorm (SML ~-2100 nT) began to develop. The moment of the substorm onset is shown by the vertical red line. To describe the global development of a magnetic supersubstorm, we used the geomagnetic symmetric ring current index (SMR), divided by the MLT sectors (SMR_LT), which is shown in Fig. 1b. Different MLT sectors are shown with different colors on the SMR_LT plots: SMR_00 (blue), SMR_06 (green); SMR_12 (orange); SMR_18 (red). The index SML is shown for comparison. It is seen that the SMR_18, and SMR_12 ring-current intensities steadily increases and reach values ~–80 nT at ~08 UT, before substorm. Then the SMR_18 plot shows the minimum at around ~09:30 UT, it corresponds to the SSS development. This proves that the ring current increased in the evening region of the magnetosphere during the SSS development.

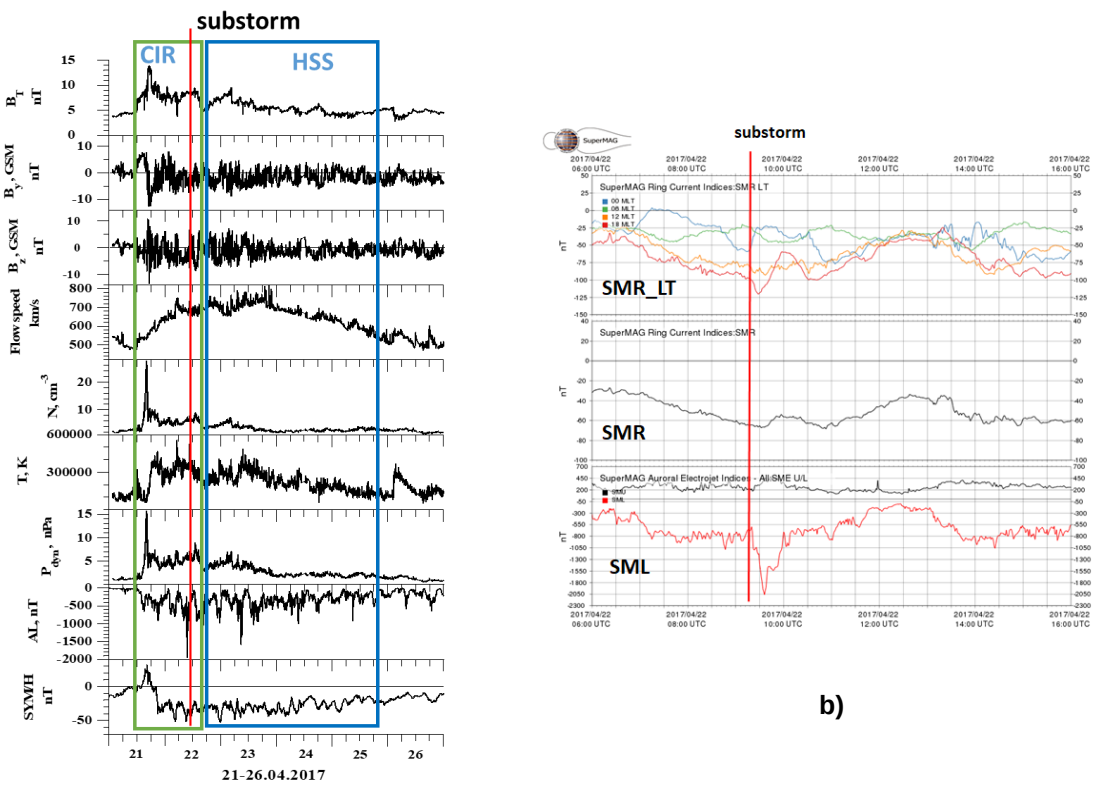


Fig. 1. a): Solar wind and IMF parameters on 21-26 April 2017. The CIR and HSS boundaries are marked by the green and blue rectangles, respectively; b): SMR-, SMR_LT and SML- indexes from 06 to 16 UT on 22 April 2017. The SSS onset is shown by the vertical red lines.

2. Magnetic observations

Ground-based magnetic disturbances during SSS are shown in Fig. 2. At the top panel, there is shown the global maps of the magnetic field vectors from the SuperMag data for 3 time moments, from the onset to maximal statement of the SSS development (Fig. 2a). It is seen that very strong disturbances were registered at Alaska stations (~-2000 nT), the intense negative magnetic bays start at ~ 09:15 UT at DAW (66.2°MLAT; -85.3°MLON), CMO (65.4°MLAT; -93.8°MLON), BRW (70.6°MLAT; -106.5°MLON) and SIT (59.9°MLAT; -77.8°MLON) stations; the intensity of the negative bays was ~ -1300-2100 nT (Fig. 2c). Fig. 2b demonstrated that the negative bays in the X-component were registered at the BJN-NAL stations of the IMAGE network at ~9-10 UT, at the day sector (b). It is seen, that simultaneously with very intense disturbances in the night sector at Alaska stations, there were observed the bay-like magnetic disturbances located at the polar latitudes, at the stations BIN-NAL (near noon) (Fig. 2b and c).

Thus, during the SSS, the westward electrojet developed in the global scale (from before midnight, through the night and morning, into the day sector).

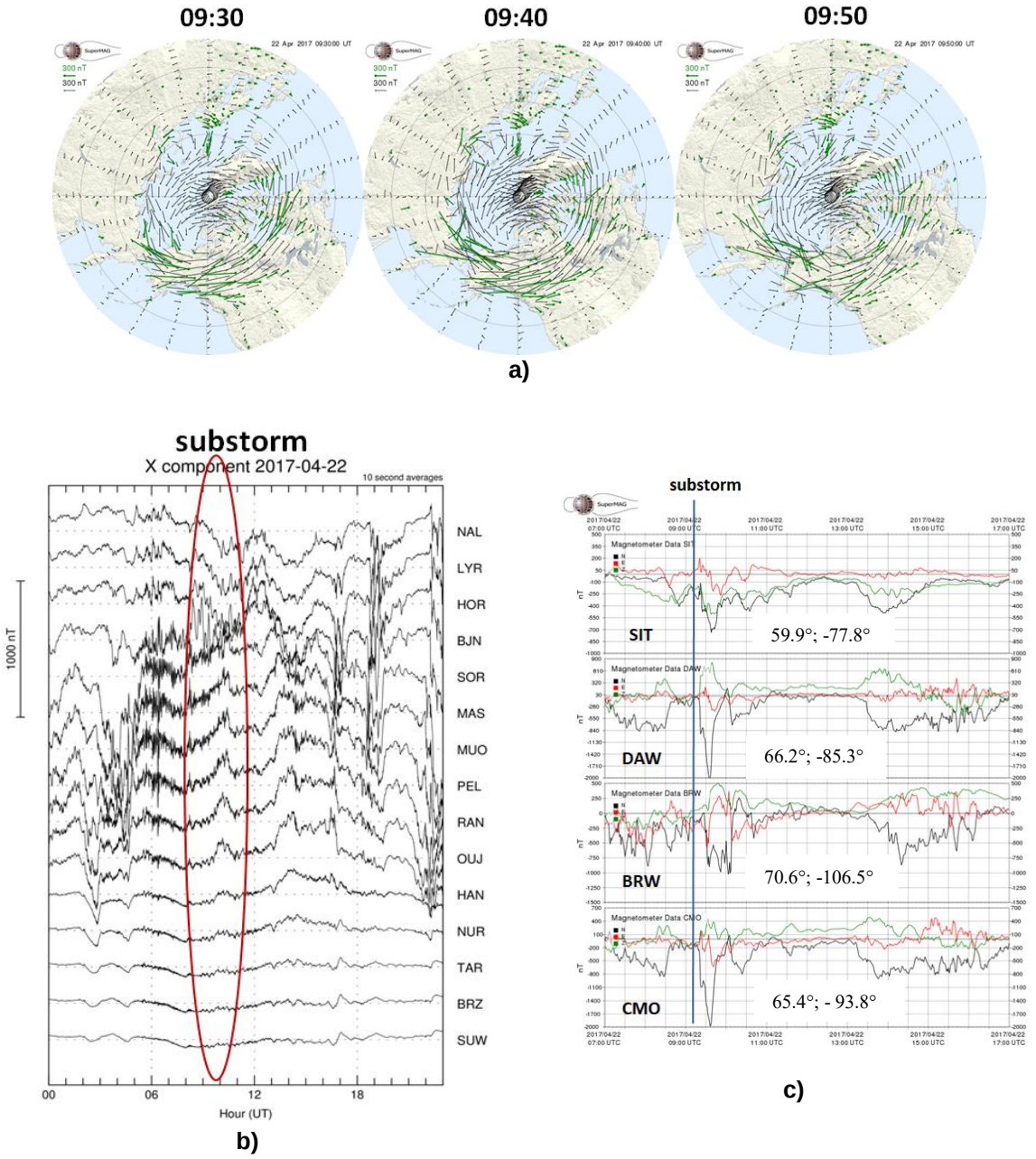


Fig. 2. Global maps of spatial distribution of the magnetic field vectors from the SuperMAG network during the onset and maximal phase of the SSS (a); X-component of magnetic field on SUW-NAL meridional chain of the IMAGE nerwork on 22 April 2017 (b); N- (black line), E- (red line), Z- (green line) components of some stations of SuperMAG from 07 to 17 UT on 22 April 2017 (c)

3. Field-aligned currents from AMPERE observations

The AMPERE project represents the results of the magnetic registrations by the 66 satellites at 700 km altitude. In the Fig. 3, it is shown two maps of the spherical harmonic analysis of the magnetic registrations (the left panel) and calculated Field Aligned Currents (FAC) distribution (the right panel). The maps of the time of the SSS onset (~ 09:25 UT) and SSS maximal phase (~ 09:28 UT) are presented on the top and bottom panels. The upward Field Aligned Currents mark by red, the downward ones – by blue. Note, that the westward electrojet was located between the upward (red) and downward (blue) FAC; the eastward electrojet was located between downward (blue) and upward (red) currents.

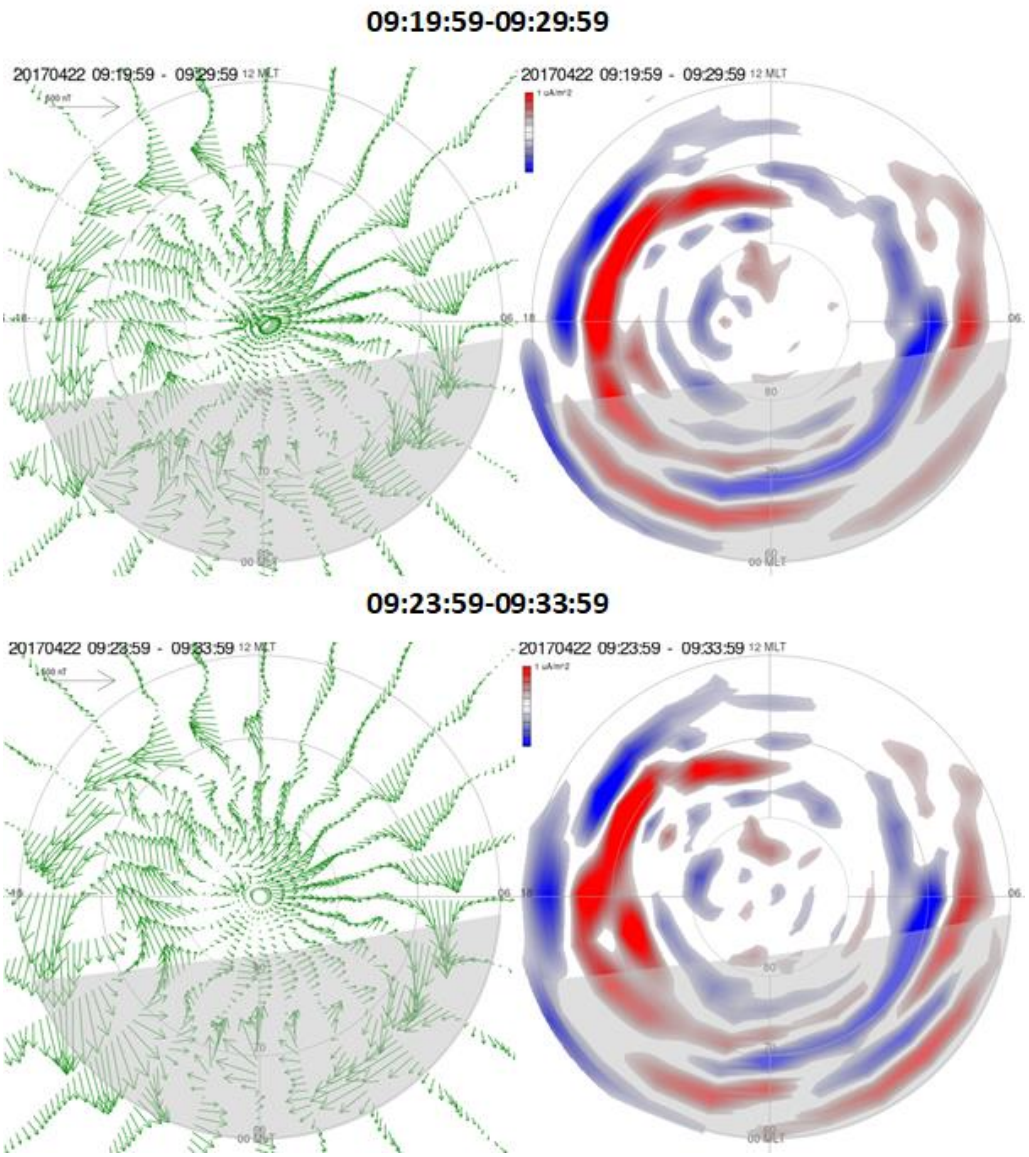


Fig. 3. Maps of the spherical harmonic analysis of the magnetic disturbance vectors and the Field Aligned Current distribution, calculated from the magnetic registrations according of the AMPERE data for two moments: at ~ 09:25 UT (top panels) and at ~ 09:28 UT (bottom panels) on April 22, 2017

The AMPERE maps demonstrate the global longitude expansion of the westward electrojet - from the pre-midnight sector of the auroral latitudes to the dayside of the polar area through the morning sector. In the evening sector (~18 MLT), there was observed the occurrence of an additional upward (red color) current, its growth and development is clearly seen in the bottom panel of Figure 3. Thus, the AMPERE maps also demonstrate the very strong enhancement of the eastward electrojet in the afternoon-evening sector. Note, that this fact supports the hypothesis of the formation of the additional ring current in the evening sector during SSS [8]. Zong et al. 2021 proposed, that the substorm current wedge (SCW) of supersubstorms significantly differs from the classical pattern of a SCW development.

We may estimate the development of the ring current using the SMR and SMR_LT-indexes calculated by SuperMAG data. The plots of the variations of the SMR- and SMR_LT- indexes on 22 April 2017 presented in Fig.1b. The moment of the SSS onset is shown by the vertical red line. It is seen that the SMR_18, and SMR_12 ring-current intensities steadily increases and reach values ~–80 nT at ~08 UT, before the supersubstorm. The SMR_18 plot shows the minimum at around ~09:30 UT, which was corresponds to the SSS development. This proves the ring current increasing in the evening region of the magnetosphere during the SSS development. Note, that, probably, this phenomenon is characteristic of the supersubstorms; this was also shown in [6], [7], [11]. However, in the considered event, observed during non-storm conditions, the occurrence of an additional upward FAC (Fig.3) and an additional ring current (Fig.1) were much stronger that during the storm-associated SSS events.

Summary

The comparison the behavior of the storm-associated and non-storm SSSs showed that some specific features of electojets development are typical for both types of SSS events,-namely:

1) The global development of westward electrojet from the dusk side (Alaska stations) to the day side (IMAGE stations;
2) The strong eastward electrojet ~~develop~~ in the evening sector, probably, connected with the formation of an additional substorm current wedge in the evening side;
3) The occurrence of an additional upward Field Aligned Current in the evening sector.

Acknowledgements. The authors are grateful to the creators of the databases SuperMAG (SuperMAG: Products (jhuapl.edu)), IMAGE (http://space.fmi.fi/image/), AMPERE (http://supermag.jhuapl.edu/) for the opportunity to use them in this work. This study was supported by the RFBR (project number 20-55-18003) and National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15).

References:

1. Tsurutani, B.T., R. Hajra, E. Echer, J.W. Gjerloev, Extremely intense (SML≤ −2500 nT) substorms: isolated events that are externally triggered? *Ann. Geophys.* 33, 519–524, 2015.
2. Gjerloev, J.W. The SuperMAG data processing technique, *J. Geophys. Res.*, 117(A9), A09213, 2012, https://doi.org/10.1029/2012JA017683
3. Despirak, I.V., A.A. Lyubchich, N.G. Kleimenova, Supersubstorms and conditions in the solar wind, *Geomag. Aeron*., 59, no 2, 170–176, 2019.
4. Despirak, I.V., N.G. Kleimenova, L.I. Gromova, S.V. Gromov, L.M. Malysheva, Supersubstorms during storms of September 7–8, 2017, *Geomag. Aeron.,* 60, no 3, 308–317, 2020.
5. Hajra R., B.T. Tsurutani, E. Echer, W.D. Gonzalez, J.W. Gjerloev, Supersubstorms (SML <-2500 nT): Magnetic storm and solar cycle dependences, *J. Geophys. Res*. *Space Physics*. 121, 7805–7816, 2016, doi:10.1002/ 2015JA021835.
6. Despirak I.V., A.A. Lubchich, N.G. Kleimenova, L.I. Gromova, S.V. Gromov, L.M. Malysheva, Longitude geomagnetic effects of the supersubstorms during the magnetic storm of March 9, 2012. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 85, 3, 246–251, 2021.
7. Despirak I.V., N.G. Kleimenova, L.I. Gromova, A.A. Lubchich, V. Guineva, P.V Setsko, Spatial features of supersubstorm in the main phase of the magnetic storm on 5 April 2010. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 86, 3, 249–255, 2022.
8. Zong, Q.-G., C. Yue, S.-Y. Fu, Shock induced strong substorms and super substorms: Preconditions and associated oxygen ion dynamics, *Space Sci. Rev*, 217. https://doi.org/10.1007/s11214-021-00806-x, 2021.
9. Yermolaev, Yu.I., N.S. Nikolaeva, I.G. Lodkina, M.Yu. Yermolaev, Catalog of large-scale solar wind phenomena during 1976–2000, Cosmic Res., 47, 2, 81–94, 2009.
10. Newell P.T., J.W., Gjerloev Evaluation of SuperMAG auroral electrojet indices as indicators of substorms and auroral power, *J. Geophys. Res.: Space Phys.*, 116, A12, A12211, 2011.
11. Despirak, I.V., N.G. Kleimenova, A.A. Lyubchich, P.V. Setsko, L.I. Gromova, R. Werner, Global Development of the Supersubstorm of May 28, 2011, *Geomag. Aeron.,* 62, 3, 308-317, 2022.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ASSESSMENT OF SOME SUBSTORM PARAMETERS BASED ON THE MIDLATITUDE POSITIVE BAYS AND THE MPB INDEX MAXIMA

Veneta Guineva[1], Rolf Werner[1], Atanas Atanassov[1], Rumiana Bojilova[2], Lyubomira Raykova[1], Dimitar Valev[1]

[1]Space Research and Technology Institute (SRTI) – Bulgarian Academy of Sciences
[2]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography (NIGGG) - Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: v_guineva@yahoo.com

Keywords: *Magnetospheric substorms, midlatitude positive bays (MPB), MPB index*

Abstract: *Magnetospheric substorms effect on the ground magnetic field is expressed as negative bays at auroral latitudes and positive bays (MPB) at midlatitudes. In most of the cases the magnetic disturbances at high latitudes are accompanied by midlatitude positive bays. The MPB index, recently introduced by McPherron and Chu, is a measure of the field aligned currents, connected to the electrojet. The magnetic disturbances during two substorms, at 23:10 UT on 22.03.2013 and at 22:49 UT on 11.05.2015 were examined in detail. The MPB index for both events was computed by data of 16 European stations. The beginning and end of the MPB index maxima were determined, based on smoothing by moving average and by inspection of the consecutive minima before and after the MPB index maximum, calculated by the first derivative of the MPB index variations. Criteria to choose the minima of the beginning and end of the MPB index maximum have been discussed and set. Some basic substorm parameters have been determined by the MPB index. The variations in the X magnetic component series from more than 30 European stations in the range 25°-55° GMlat have been studied in the same way. Graphs of the midlatitude onset delay in reference to the first onset as a function of the longitude have been constructed and analysed.*

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НЯКОИ ПАРАМЕТРИ НА СУББУРЯТА ПО СРЕДНОШИРОТНИТЕ МАКСИМУМИ И МАКСИМУМИТЕ В MPB ИНДЕКСА

Венета Гинева[1], Ролф Вернер[1], Атанас Атанасов[1], Румяна Божилова[2], Любомира Райкова[1], Димитър Вълев[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии (ИКИТ) – Българска академия на науките
[2]Национален институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) – Българска академия на науките
е-мейл: v_guineva@yahoo.com

Ключови думи: *Магнитосферни суббури, средноширотни максимуми, индекс на средноширотните максимуми*

Резюме: *Влиянието на магнитосферните суббури върху магнитното поле на земната повърхност се изразява във вид на минимуми в X компонентата му на аврорални ширини и максимуми на средни ширини. В повечето случаи магнитните смущения на високи ширини са съпътствани от максимуми (MPB) на средни ширини. MPB индексът, въведен наскоро от McPherron and Chu, е мярка за надлъжните токове, свързани с електроджета. Разгледани са подробно магнитните смущения по време на две суббури, в 23:10 UT на 22.03.2013г. и в 22:49 UT на 11.05.2015 г. MPB индексът за двете събития е пресметнат по данни от 16 европейски станции. Определени са началото и краят на максимума в MPB индекса след прилагане на изглаждане по метода на пълзящите средни и разглеждане на последователните минимуми преди и след максимума на MPB индекса, пресметнати по първата производна на вариациите на MPB индекса. Дискутирани са критериите за избор на началния и крайния минимуми на пика на MPB индекса. По MPB индекса са определени някои основни параметри на суббурите. По същия начин са изследвани вариациите на X компонентата на магнитното поле, определени по данни от повече от 30 европейски станции в областта от 25° до 55° геомагнитна ширина. Построени и анализирани са зависимостите на закъснението на началото на смущението на средни ширини по отношение на най-ранното смущение в зависимост от географската дължина.*

Introduction

Magnetospheric substorms are a substantial feature of the space weather. They are a considerable source of magnetic activity [1]. An electric current, originated in the tail of the magnetosphere, flows along the magnetic field lines and through the ionosphere, forming the substorm current wedge [2]. The effect of magnetospheric substorms on the surface magnetic field consists of disturbances, representing negative bays at auroral latitudes and positive bays at midlatitudes in the X component of the magnetic field. The midlatitude positive bays have been used in a number of papers for the study of substorms. The onset of the midlatitude positive bays (MPB) can be used as a sign of the beginning of the substorm expansion phase [e.g. 2, 3, 4]. Lately a new index was built, the MPB index, which represents the average horizontal power of the magnetic field at midlatitudes [4]. It can be used to determine the time of auroral expansion onset and as a measure of the substorm strength. Different kinds of maps and profiles of the temporal and spatial distribution of the magnetic disturbances have been created in the purpose to study the substorm development and to estimate some substorm parameters [e.g. 5, 6].

This study is orientated to the formation of a way to assess the beginning and end of the midlatitude positive bays (MPB) and of the peak in the MPB index associated with substorms, as well as to study the substorm expansion by the MPB onsets in a large area. Two isolated substorm events with central meridian over Europe have been chosen for the study: at 23:10 UT on 22.03.2013 and at 22:49 UT on 11.05.2015.

Data used and processing method

For the study, magnetic field data from the INTERMAGNET, IMAGE and SuperMAG databases have been used. Data from 38 midlatitude European stations and from 4 Asian stations in the range 25°-55° GMlat have been used. The following stations have been included in the study: BDV, BEL, BOX, BRZ, CLF, DUR, EBR, ESK, FUR, HAD, HLP, HRB, IZN, KIV, KRT, LVV, MNK, MOS, NGK, PAG, PEG, SFS, SPT, SUA, SUW, THY, VAL, WNG, KAR, BFO, ROE, BFE, ARS, NVS, IRT, CNH.

Two isolated substorms in non-storm conditions with central meridians over Europe have been chosen: a usual substorm, at 22:49 UT on 11.05.2015, and an expanded substorm, at 23:10 UT on 22.03.2013.

To obtain the magnetic variations at the earth surface, the main field and the mean Solar quiet magnetic variations taken away, we used the created processing tool, described in [7,8], based on the algorithm by McPherron and Chu [4]. The program was applied to process the magnetic field components registered at the stations enumerated above in order to examine the midlatitude positive bays and to determine their basic characteristics. For each of the examined substorms data for 25 consecutive days centered on the substorm day have been used. The variations of the X, Y components and the horizontal power have been computed. The European MPB index was obtained by averaging the horizontal power of the magnetic field at 16 stations located in Middle Europe. In Fig. 1 the locations and the abbreviations of the station names are given. The red ellipses indicate the stations which data were used to compute the MPB index of the substorm on 22.03.2013, and the blue ones – the MPB index of the substorm on 11.05.2015.

Determination of the onset and end of the MPB index peak and X component positive bays

To determine the extrema marking the onset and end of the peaks in the MPB index and X magnetic component series associated with the examined substorms, the first derivative of these series has been computed. The derivative points intersecting the zero line from negative to positive values mark the times of data minima, and the points, intersecting the zero line from positive to negative values indicate the times of data maxima. Our experience has shown that some additional smoothing of the MPB index and X component variations was needed in order to avoid some false extrema. After the study carried out a smoothing by the use of 5 points moving averages method has been applied.

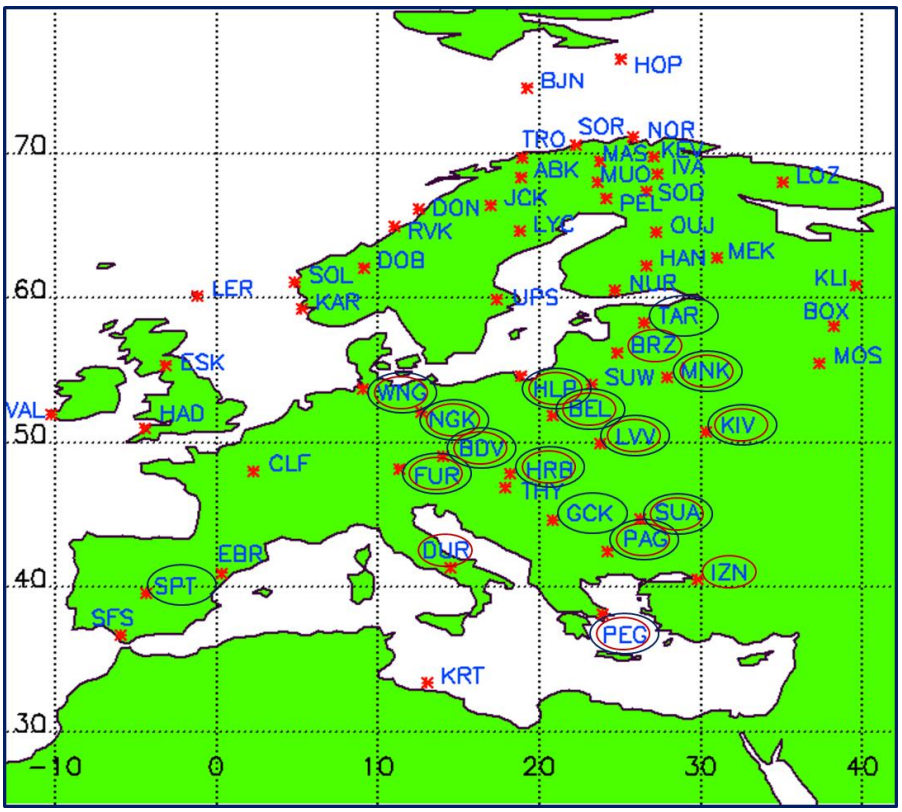


Fig. 1. Stations, used to compute the European MPB index. The red and blue ellipses indicate the stations, which data were used to obtain the MPB index of the substorms on 22.03.2013 and 11.05.2015, respectively.

Several conditions to choose the onset and end minima have been set. They can be summarized as follows:

- Criterion (1) to accept a following minimum: the ratio of the X component drop from the maximum to this minimum to the X drop to the previous minimum is greater or equal to 1.2:

$$(X_{max}-X_{min,n})/(X_{max}-X_{min,n-1})\geq 1.2,$$

  where X_{max} is the value of the MPB maximum, $X_{min,n}$ is the nth minimum earlier or later from X_{max} time, and $X_{min,n-1}$ is the $(n-1)^{th}$ minimum.
- Criterion (2): if criterion (1) is not met, but $X_{min,n}>0$, then the following check is made: the ratio of the current minimal to the maximal values is greater or equal to 0.4:
  $X_{min,n}/X_{max} \geq 0.4$
- The search for a minimum is no longer than one hour before or after the X time maximum;
- If the minimum is of a single value, it can be neglected, and the search continue;
- If the values of the consecutive ratios, described above, are steadily decreasing the search can stop;
- If $X_{min,n}>X_{min,n-1}$ and continue to increase, the search can stop.

These conditions are set to obtain the beginning and end minima of the midlatitude positive bays in the X component of the magnetic field. The same conditions are used to obtain the onset and end minima of the MPB index peak.

In Fig. 2 and Fig. 3, the determination of the onset and end minima of the MPB index peaks on 11.05.2015 and 22.03.2013, respectively, based on the enumerated above conditions, is illustrated.

The MPB index peak on 11.05.2015 has a simple form (fig.2). So, the first derivative crosses the zero line only 3 times during the peak and the extrema are easily assessed. The red vertical lines mark the onset (1) at 22:49 UT, the maximum (2) at 23:03 UT (609 nT^2), and the end of the peak (3) at 23:33 UT. The green horizontal line indicates the 2σ level (σ=61.55 nT^2). The duration of the peak from the onset to the end is 44 min., the duration at 2σ level is 22 min. and the area of the peak is 9034.

The MPB peak on 22.03.2013 has more complicated shape, including 3 consecutive maxima (Fig. 3). This example gives an idea about the difficulties to determine the onset and end of the peak, especially by computer simulations and about the need of imposing some conditions to the onset and end minima. This shape is may be connected to the strong indentation of the negative disturbanses in the X component at auroral latitudes (not presented here).

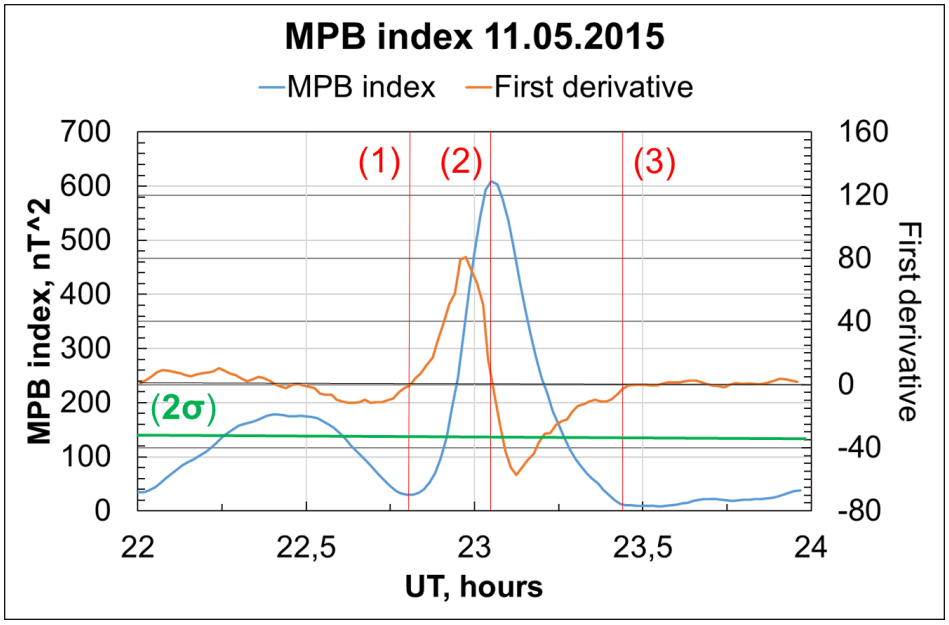


Fig. 3. Determination of the onset, max and end times of the MPB index peak on 11.05.2015: (1) onset time, 22:49 UT; (2) time of the maximum 23:03 UT, 609 nT^2; (3) end time 23:33 UT

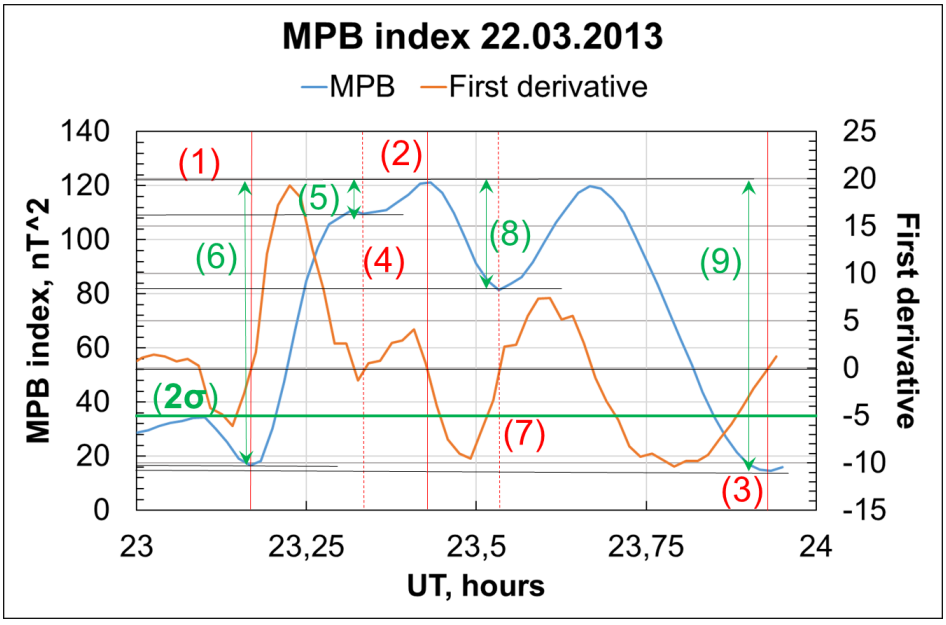


Fig. 3. Determination of the onset, max and end times of the MPB index peak on 22.03.2013: (1) onset time, 23:10 UT; (2) time of the maximum 23:26 UT, 121 nT^2; (3) end time 23:56 UT; (4) intermediate min 1; (5) drop to the intermediate min 1; (6) drop to the beginning min [(6)/(5)=9.09>1.2]; (7) intermediate min 2; (8) drop to the intermediate min 2; (9) drop to the final min [(9)/(8)=2.68>1.2].

The red vertical lines mark the determined onset (1) at 23:10 UT, maximum (2) at 23:26 UT (121 nT^2), and end of the peak (3) at 23:56 UT. Two intermediate minima at both sides of the maximum are indicated by red dotted lines numbered (4) and (7). Criterion (1) was applied for minimum (4). The differences between the maximum and minimum (4) and the onset minimum, named “drop” in the criterion definition, are marked by green arrowed lines (5) and (6), respectively. The obtained ratio of these differences, namely (6)/(5)=9.09 and meet the condition to be greater than 1.2. This result ensure that the slope of the peak continues to decrease fast and minimum (4) doesn’t represent the onset of the peak. The same procedure was implemented for minimum (7). The differences ratio (9)/(8)=2.68 is greater than 1.2 and shows that minimum (7) is not the end of the MPB index peak. The green horizontal line indicates the 2σ level (σ=17.7 nT^2). The duration of the peak

from the onset to the end is 46 min., the duration at 2σ level is 39 min. and the area of the peak is 3878.

Applying the specified conditions to the examined midlatitude positive bays (MPB) registered at the 42 magnetic stations during the two substorms has shown, that they are adequate to determine the onset and end of the peaks and some other peaks characteristics.

MPB onsets distribution

In an ideal case, the substorm onset occurs near local midnight, it is sharp and isolated. But in previous studies it was shown, that substorm onsets and the subsequent substorm development can be quite various and complicated [e.g., 5, 6]. In most of the cases, during the substorm there are several consecutive intensifications, resulting in several expansion onsets. Moreover, the consecutive onsets may be located at the same meridian, but they may also shift to different longitudinal sectors thus giving the expression of a westward or eastward motion of the substorm [5].

We constructed the dependence of the midlatitude onset delay in regard to the earliest onset from the degrees of longitude away from the longitude of the first onset for the examined substorms. The obtained dependences for the substorms on 11.05.2015 and 22.03.2013 are presented in Fig. 4 and Fig. 5, respectively. On the secondary y axis the onset time in UT is given, and on the secondary x axis – the geographic longitude of the stations.

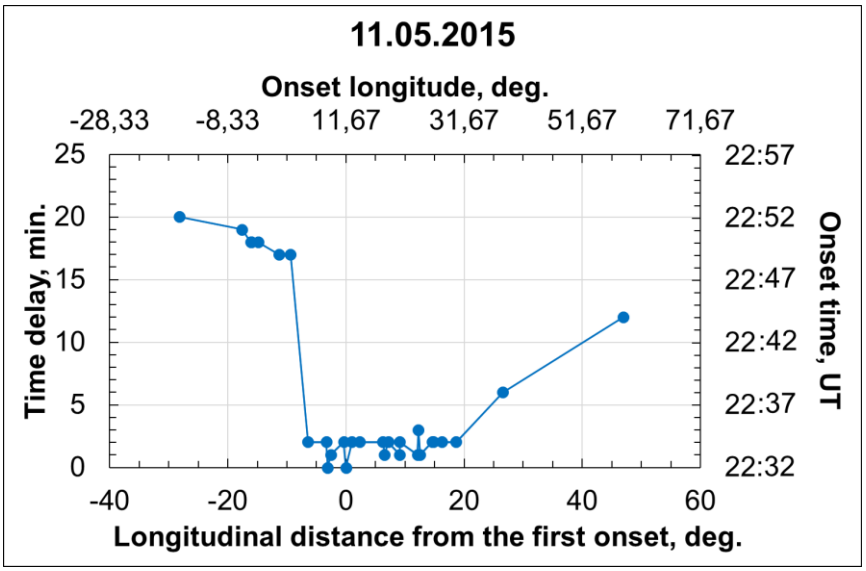


Fig. 4. Midlatitude onset delay depending on the longitudinal distance from the first onset for the substorm on 11.05.2015

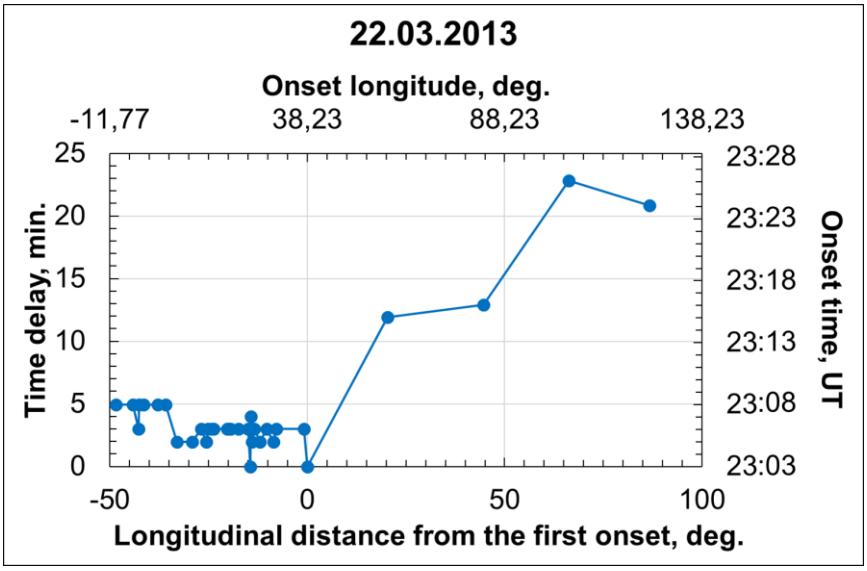


Fig. 5. Midlatitude onset delay depending on the longitudinal distance from the first onset for the substorm on 22.03.2013.

The graph of the substorm onset delay for the substorm on 11.05.2015 (fig.4) shows, that the substorm has begun first in a longitudinal area of about 30° (~0° - 30° lon.). About 15 min. later, a second onset is observed, in a different local time sector (in the range of ~ -20° to ~0° lon.). In the range from~30° to ~55° lon. a supple motion of the onset is observed for about 10 minutes, may be related to a supple movement of the eastern edge of the current wedge further to the East. This complicated substorm onset distribution is not expressed in the MPB index shape, because the MPB index is computed for the region of Middle Europe, and west Europe and Asia stations are not included in the computations by reason of the less number of magnetic stations in these regions.

In fig.5 it is seen, that the MPB onsets on 22.03.2013 were first in the range from ~5° to ~40° lon. About 2-3 min. later, one other onset is observed to the west (~ -10° - ~5° lon.). Motion of the onsets to the East is observed as well, but in this case it is not smooth. May be there are several onsets, and the eastern edge of the current wedge is propagating to the east with each onset. Such behavior is described by Clauer and McPherron [5].

Summary

The midlatituide positive bays during two substorms, on 11.05.2015 and 22.05.2015 have been studied in detail. Conditions to choose the onset and end minima of the MPB index peaks and of the MPB's have been specified. In the process of determination of the onsets and ands of the peaks it was found out, that they are adequate to determine the onset and end of the peaks and some other peaks characteristics. Thus, this way to determine the MPB's and MPB index peaks parameters may be used to develop a program for computer computation of these quantities.

The onsets distribution has been examined. It was shown that in both cases, there were two or more onsets in different longitudinal ranges, e.g. in different local time sectors.

Acknowledgements. The authors are grateful to the creators of the databases OMNI (http://omniweb.gsfc.nasa.gov), IMAGE (http://space.fmi.fi/image/), INTERMAGNET (http://intermagnet.org/), SuperMAG (http://supermag.jhuapl.edu/), and the solar wind large-scale phenomena catalog (http://www.iki.rssi.ru/omni/) for the opportunity to use them in this work.

This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and by the RFBR (project number 20-55-18003Болг_а).

References:

1. Akasofu, S.-I. (1968). Polar and magnetospheric substorms, D.Reidel, Norwell, Mass., DOI: 10.1007/978-94-010-3461-6
2. McPherron, R.L., C.T. Russel, M. Aubry, (1973). Satellite studies of magnetospheric substorms on August 15, 1968, 9: phenomenological model for substrms, J. Geophys. Res., Vol. 78, No16, pp. 3131–3149, DOI: 10.1029/JA078i016p03131.
3. Mende, S. B., R.D. Sharp, E.G. Shelley, G. Haerendel, E.W. Hones, (1972). Coordinated observations of the magnetosphere: The development of a substorm, J. Geophys. Res., Vol. 77, No 25, pp. 4682–4699, DOI: 10.1029/JA077i025p04682
4. McPherron, R.L., X. Chu, (2017). The midlatitude positive bay and the MPB index of substorm activity, Space Sci. Rev., Vol. 206, pp. 91–122, DOI: 10.1007/s11214-016-0316-6.
5. Clauer, C.R., R.L. McPherron, (1974). Mapping the local time – universal time development of magnetospheric substorms using midlatitude magnetic observations, J. Geophys. Res., Vol. 79, No 19, pp. 2811–2820, DOI: 10.1029/JA079i019p02811.
6. Pothier, N. M., D.R. Weimer, W.B. Moore, (2015). Quantitative maps of geomagnetic perturbation vectors during substorm onset and recovery, J. Geophys. Res. Space Physics, Vol. 120, pp. 1197–1214, doi:10.1002/2014JA020602.
7. Werner, R., V. Guineva, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, A. Lubchich, I. Despirak, (2021a). Calculation of the horizontal power perturbations of the Earth surface magnetic field, Proc. Of the Thirteenth Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere", pp. 159–164, DOI: 10.31401/ws.2021.proc.
8. Werner, R., V. Guineva, A. Lubchich, I. Despirak, R. Bojilova, D. Valev, A. Atanassov, L. Raykova, (2021b). Determination of power perturbations of the horizontal magnetic field on the Earth surface, Proc. Of the Seventeenth International Scientific Conference Space, Ecology, Safety, pp. 34–38.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ОТРАЖЕНИЕ НА СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ ВЪРХУ ДИНАМИКАТА НА ТЕМПЕРАТУРНИЯ РЕЖИМ В ПЕЩЕРИ И КАРСТОВИ МАСИВИ ПРЕЗ 23 И 24 СЛЪНЧЕВ ЦИКЪЛ

Любомира Райкова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: foundation@prikazka-igra

REFLECTION OF SOLAR ACTIVITY ON THE DYNAMICS OF THE TEMPERATURE REGIME IN CAVES AND KARST MASSIFS DURING SOLAR CYCLE 23 AND 24

Lyubomira Raykova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: foundation@prikazka-igra

Ключови думи: *Слънчева активност, пещери, карстови масиви, температурен режим*

Резюме: *В настоящето изследване се анализира влиянието на динамиката на слънчевата активност върху климата на Земята. Използвани са данни от подземни измервателни станции. Изследванията обхващат 23 и 24 слънчев цикъл. Открити са корелационни връзки между аномалиите в слънчевата активност и температурния режим на подземната среда в две пещери*

Въведение

Физическите процеси, които определят температурата в пещерата показват, че тя обикновено е тясно свързана с външния приземен климат. Изследванията през 90-те години на растежа на вторичните карстови образувания показват, че те имат вътрешен слоест строеж подобен на годишните пръстени на дърветата. В хода на тези изследвания е установена зависимост на дебелината на пръстените и циклите на слънчевата активност.

Италианския изследовател Дж. Бадино [1] и други автори регистрират проява на въздействието на глобалните климатични промени върху подземния климат. Планинската топлинна инерция води до забавяне между климатичната реакция на приземния слой и климата в дълбочина на карстовия масив. На лице е топлинен дисбаланс между температурите в пещерата и атмосферата, в резултат на това се формира енергиен поток от атмосферата към планината, по-голям от геотермалния. Този поток се проявява в промени в епидермалните части на пещерите [1].

В свои работи Дерменджиев и Шопов правят опит да моделират пренос на слънчевата енергия чрез поредица от процеси образуващи вторичните карстови образования по време на промяна на слънчевата активност [2, 3, 9]. При обработка на дълъг ред от микрометеорологични данни за няколко пещери е установена циклична зависимост в температурните режими в зоната на константната температура (ЗКТ) на изследваните пещери.

Климатичните тенденции, свързани с кратко- и дългопериодичните вариации на слънчевата активност на повърхността, се проявяват като ответна реакция и в такива консервативни среди като въздушните обеми на карстовите пещери. Средногодишните температури на въздуха в зоната на постоянните температури на четири пещери в България са изследвани за период от 36 години (1968–2003 г. [4]). Изследването е направено чрез ежедневни температурни измервания по пладне в пещерите Леденика, Съева дупка, Снежанка и Ухловица. Пещерите са разположени на различна надморска височина и географска ширина. Сезонни колебания на средногодишната температура на въздуха в зоната на константната температура (ЗКТ) на проучените пещери са установени чрез Фурие-анализ на температурните данни.

Същият анализ е направен и за промяната на броя на слънчевите петна и Ар индексите за същия период от време.Автокорелограмите са използвани за изследване на сезонните модели на температурите на въздуха в ЗКТ във всяка пещера и индексите на броя на слънчевите петна W и Ap_{max} [5].

Изследователска част

Връзката между динамиката на изменението на слънчевата активност и Ар индекса е причинно следствена. Съществува висок коефициент на корелация, при анализа на данните за изменението на енергийния поток и регистрирания Ар индекс.

В настоящото изследване влиянието на слънчевата активност се осъществява чрез броя на слънчевите петна и тяхното разпределение по групи. Регистрацията на слънчевата активност реализирана по този начин се отличава от реалната енергийна промяна на слънчевия поток. Поради тази причина корелационната връзка между изменението на слънчевите петна и Ар индекса естествено няма да съвпада точно с връзката между слънчевата енергия (проникваща в пещерата чрез топлината на влизащия в нея приземен въздух) и Ар индекса. Ето защо, в този случай за достоверна корелация е допустимо да се приемат корелационни коефициенти по-малки от 0.7. За периода от 1996 до 2019 г. корелационната връзка между стойностите на броя на слънчевите петна и Ар индекса е 0.61.

Измерванията на температурите в зоната на константната температура в пещерите Снежанка и Ухловица са продължени до 2019 г. 2019-та година е последната година от 24-ят слънчев цикъл. Характеристиките на изследваните две пещери са следните :

Данни за пещерите

Пещера Снежанка

Координати: 42.004202 с. ш., 24.278611 и. д.

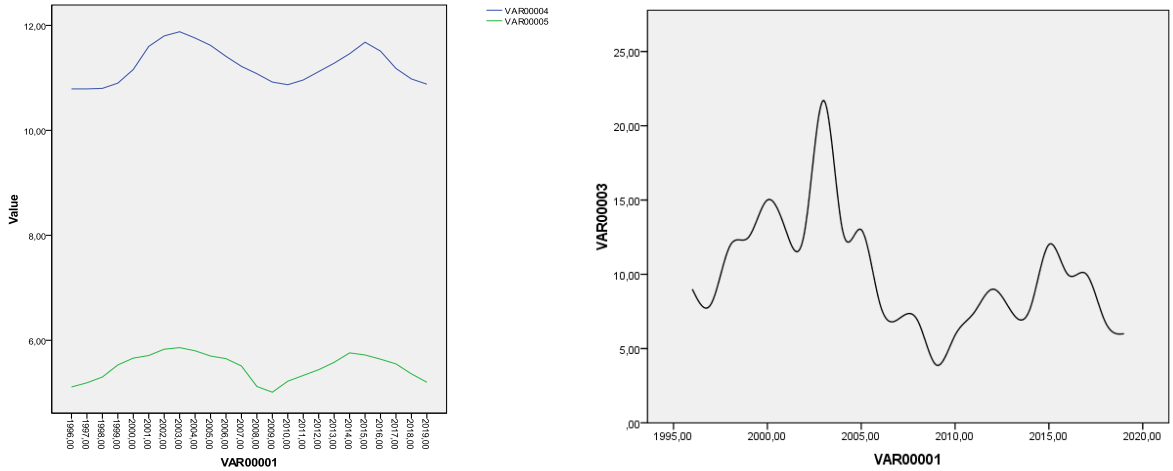
Разположена е в Баташката планина в Родопите и се намира на 5 km от град Пещера. Открита през 1968 г. Дължината ѝ е 370 m, денивелация 17 m, с постоянна годишна температура средно около 10 – 11 °C. Надморската височина е 855 m. Образувана е от Новомахленската река през епохата на леванта и дооформена през кватернера.

Пещера Ухловица

Координати: 41.514161 с. ш., 24.060061 и. д.

Намира се на 3 km североизточно от село Могилица, Област Смолян. Пещерата е открита през 1968 г. Дълга е около 460 m, с денивелация от около 70 m. Намира се на 1040 m надморска височина. Средната температура е 5 – 6 °C. Пещерата е на няколко етажа.

Методът на изследване на получените данни е осъществен чрез температурни детектори и съответните им характеристики. Измененията на слънчевите петна и температурите в двете пещери са показани на Фиг. 1.



Фиг. 1

От фигурата е видно, че температурите в дълбочина като цяло са по-ниски (крива 1 и 2). Забелязва се и филтриращия ефект на земния слой над пещерата върху амплитудата на

температурните промени. Ефектът на филтрация в карстови слоеве е изследван и се предполага се, че в по-дълбоките пещери измерваната температура ще бъде постоянна и няма да зависи от активните процеси на Слънцето.

В слънчевата активност са наблюдавани циклични изменения с различни периоди [6]. Най-силно е изразен цикъл с период около 11 години, и този цикъл се наблюдава в характера на изменение на крива 3 от Фиг. 1.

Филтриращият ефект на земния слой се проявява както в дълбочина, така и времево. Регистрира се забавена реакция на температурите в пещерите спрямо възникналите аномалии в слънчевата активност. Фазовото отместване във времето се изследва чрез корелационен анализ. Съпоставят се измененията в броя на слънчевите петна и температурата във всяка пещера като температурния ред в пещерата се измества последователно с 1 година. Резултатите от този анализ са показани в Табл. 1. Корелационните коефициенти за пещера Снежанка се изменят в по-голям диапазон. И за двете пещери обаче се наблюдава повишаване и спад на корелационния коефициент. При изместване с две години корелационният коефициент и за двете пещери е максимален. Това налага изводът, че филтриращият ефект се проявява в постоянно забавяне на реакцията на температурите точност с около 2 години и е явно устойчиво изразено.

Регистрираното времево-фазово отместване предстои да се изследва, като се събират данни за температурите на пещери с по-големи дълбочини и обеми.

Таблица 1

Фазово отместване във времето	Пещера Снежанка	Пещера Ухловица
Без отместване в годините	0.401	0.616
-1 год.	0.767	0.836
-2 год.	0.936	0.868
-3 год.	0.846	0.692
-4 год.	0.502	0.366

Заключение

Налична е корелационна връзка между оценката на слънчевата активност и Ap.

Регистрира се забавена реакция на температурите в пещерите спрямо възникналите аномалии в слънчевата активност. Също така имаме времево фазово отместване на влиянието на слънчевата активност върху температурите на изследваните пещери, като филтриращият ефект се проявява в постоянно забавяне на реакцията на температурите точност с около 2 години и е явно устойчиво изразено.

Литература:

1. Giovanni Badino. CAVE TEMPERATURES AND GLOBAL CLIMATIC CHANG.
2. Shopov, Y. Y, Dermendjiev V, Buyukliev G. (1993) A New Method for Dating of Natural Materials with Periodical Macrostructure. B. Patent 51012 from v.8 1, 1990, Patent office bulletin, 1993, 1, pp. 20–21
3. Шопов, Я .Й., Дерменджиев Вл., Буюклиев Г. Нов метод за датиране на природни материали с периодична макроструктура. Авторско свидетелство за изобретение 51012, Бюлетин на ИНРА, т. 8, 1, с. 20–21.
4. P. Stoeva and A. Stoev. Cave air temperature response to climate and solar and geomagnetic activity.
5. Penka Stoeva, Alexey Stoev, Nadya Kiskinova, Long-term changes in the cave atmosphere air temperature as a result of periodic heliophysical processes.
6. Shopov, Y. Y, Dermendjiev V, Buyukliev G. A New Method for Dating of Natural Materials with Periodical Macrostructure by Autocalibration and it's Application for Study of the Solar Activity in the Past.- Quaderni del Dipartimento di Geo., n. 13 Universita di Padova, pp. 23–30 ISSN 1120–9682

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

HYPOTHETICAL MESOSPHERIC MODIFICATIONS DURING SEP EVENTS PROVIDING CONSISTENCY WITH ATMOSPHERIC ELECTRICAL RESPONSE

Peter Tonev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: peterton@abv.bg

Keywords: *Aerosol, Atmospheric conductivity, Spatial electric charges, Fair-weather electric current.*

Abstract: *The experimentally documented electrical response in stratosphere and at surface at high latitudes during major SEP events demonstrates significant inconsistency with theory of global atmospheric electrical circuit (GEC). In particular, such is represented by non-transient variations of the atmospheric electric field (AEF) E_z at surface with unusually large amplitude. These variations indicate for accumulation of spatial electric charges in specific atmospheric layers which could form electric currents superimposed to fair-weather current J_z in GEC. Such case can be caused by hypothetical (and paradoxical) occurrence of dramatic decrease of conductivity in these layers during SEP. A hypothetical mechanism of such conductivity modification at high latitudes in mesosphere and higher altitudes is proposed and discussed here as result of major SEP. This mechanism is based on creation and growth of multi-charged aerosol particles during SEP. Experimental evidence for dramatic decrease of conductivity in strato/mesosphere during major SEP is also demonstrated.*

ХИПОТЕТИЧНИ МЕЗОСФЕРНИ МОДИФИКАЦИИ ПРИ СЛЪНЧЕВИ ПРОТОННИ СЪБИТИЯ СЪГЛАСУВАНИ С ОТКЛИКА НА АТМОСФЕРНОТО ЕЛЕКТРИЧЕСТВО

Петър Тонев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: peterton@abv.bg

Ключови думи: *Аерозоли, атмосферна проводимост, пространствени електрически заряди, електрически ток при ясно време.*

Резюме: *Експериментално документираният електрически отклик в стратосферата и на земната повърхност на високи ширини по време на големи слънчеви протонни събития (СПС) демонстрира несъответствие с теорията на глобалната атмосферна електрическа верига (ГЕВ). По-специално, атмосферното електрическо поле Ez на повърхността при ясно време има нетранзиентни варации с необичайно голяма амплитуда. Това показва, че има натрупване на пространствени заряди в опредерени атмосферни слоеве, които могат да предизвикат протичането на допълнителни електрически токове в ГЕВ. Подобен случай е възможно да възникне при парадоксално силно снижаване на проводимостта в тези слоеве. Предложен и дискутиран е хипотетичен механизъм за такава модификация на проводимостта в мезосферата и над нея на високи ширини, причинена от СПС, която се основава на образуването и растежа на електрозаредени аерозолни частици. Съществува експериментално доказателство, че по време на голямо СПС проводимостта в мезо/стратосферата може силно да намалее.*

Introduction

The response of the global atmospheric electrical circuit (GEC) to major solar proton events (SPE) has well expressed typical peculiarities which cannot be explained in terms of GEC theory. The accent in this paper is put on unusually large atmospheric electric field (AEF) E_z experimentally observed at surface at high latitudes which persists for long time period indicating for non-transient behavior. Such periods of excessive disturbance of the atmospheric electric field (AEF) E_z at ground level are met

actually in all experiments during SPE/GLE (on its first phase) at high latitudes [1]. We consider hypothetical changes in upper atmosphere up to ~150 km caused by SPE which could lead to the observed response of GEC. We assume that uncompensated positive spatial electric charge (UC) is accumulated in mesosphere and above it at polar latitudes due to creation and growth of aerosol in these regions during SPE. Principal mechanism of processes is described below.

AEF behavior at high latitudes during SEP – an example of contradiction with theory

We study experimentally demonstrated peculiarities of variations of atmospheric electric field E_z at high latitudes (Apatity, Russia, geomagnetic latitude 63.3°) during major SPEs accompanied by ground level enhancement (SPE/GLE) obtained in [1]. Two cases of SPE/GLE are considered here, respectively, on: *a*) 15.04.2001; *b*) 18.04.2001. For these cases variations of AEF E_z at high latitudes obtained by Shumilov et al. (2016) are presented in Figs.1, 2 (upper panels), respectively. Lower panels show the integrated proton flux from GOES-10 data. AEF E_z reach unusually large values exceeding usual E_z values by several times for time intervals well longer than the relaxation time in GEC (τ_R~8 min). Such time intervals are: in (a) from 1630 until 1710 UT; in (b) from 02:20 to 0800 UT.

Therefore, the relative electric current J_z to the surface during these time intervals is not a result only of the inner source of GEC (thunderstorms and electrified clouds on the globe), but also an external source is needed. J_z can be represented as follows:

(1) $$J_z = J_{FW} + J_{UC}$$

In Eq.(1) J_z is superposition of fair-weather current J_{FW} and an additional current J_{UC} which is caused by an outer source. We note that J_{UC} is not a result of ionospheric transpolar (dawn-to-dusk) potential difference - mapping of polar cap ionospheric potential distribution downwards to surface is ineffective.

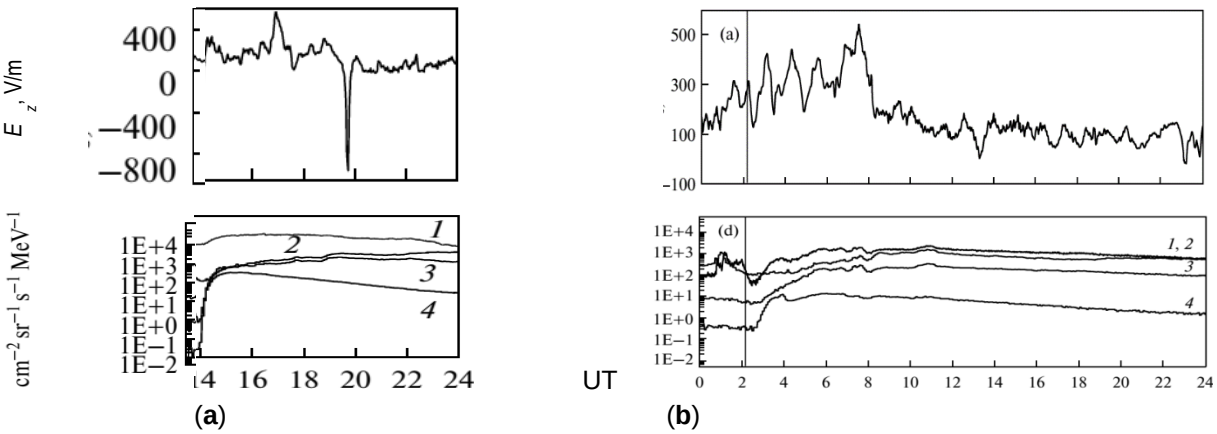


Fig. 1. AEF E_z measured at surface at high latitudes (Apatity, geomagnetic latitude 63.3°) during two SPE / GLE in 2001: on 15 April (**a**), and 18 April (**b**) [1]. Upper graphics show E_z variations during SPE. Lower ones are for integral fluxes of E>2 MeV electrons (curve 1) and protons of energies E>1 MeV, >10 MeV, and E>100 MeV (curves 2-4, respectively) from GOES-10 data.

Hypothetical assumptions [2, 3]

We assume that the outer source which generates the electric current J_{UC} is represented by uncompensated positive elementary electric charges (UC) injected into the atmosphere by solar protons where they can be accumulated within up to few hours or more (the time can be comparable to that of SPE). Electric current J_{UC} is a result of re-distribution (slow) of these charges in GEC in supporting global charge balance. The following requirements take place in our hypothesis:

1) For accumulation of large spatial uncompensated charge (UC) Q_{UC} at altitudes where energetic solar protons of different energies E>~0.2 MeV stop (mostly, in mesosphere and above up to 150 km at polar and high latitudes which could persist for about one or few hours. This can take place if the charge relaxation time $\tau_R=\varepsilon_0/\sigma$ is respectively large (ε_0 = 8.85x10^{-12} Fm^{-1} is the dielectric constant). This means that conductivity should be extremely low: σ~10^{-15} S/m. At first glance, this is a paradox:

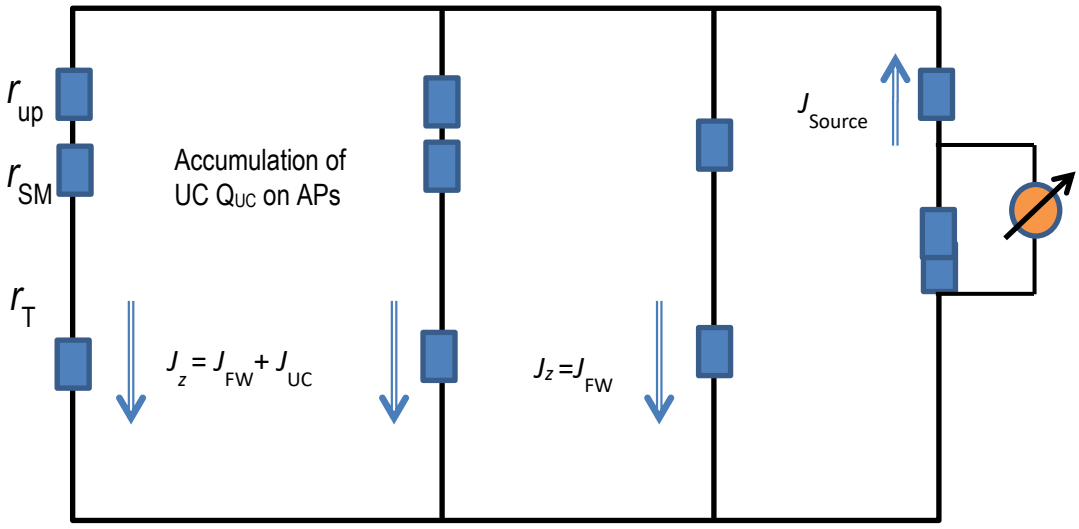


Fig. 3. Equivalent electrical circuit used. Vertical links 1 - 3 correspond to polar, high, and lower latitudes; 4 is for the region of tropospheric electric source to GEC. Columnar resistances r_T are for height interval 0 - 20 km; r_{SM} and r_{up} are for strato/mesosphere and higher, respectively. Usually r_{SM} and r_{up} are negligible compared with r_T; during SPE they can strongly increase with corresponding reciprocal decrease of σ due to formation and growth of aerosol particles and the accumulation of the spatial electric charges on them.

in mesosphere and above since conductivity σ exceeds 10^{-8} S/m under quiet conditions; yet, during SPE σ is expected to be even much larger due to enhanced ionization. Here we consider possible mechanism which explains dramatic decrease of conductivity during SPE with the key role of formation and growth of charged aerosol particles (AP). This assumption is indirectly supported experimentally: AP increase has been observed in stratosphere one day after SPE [4].

2) Gradual expansion of area of accumulated spatial charge Q_{UC} from polar to high latitudes will take place by electric current of positively charged aerosol particles J_{AP} driven by horizontal equator-ward electric field E_{AP} generated by UC Q_{UC}.

Qualitative study of hypothetical conductivity changes during SPE

AP is characterized by number k of charges carried by it: k>0 for positively, k<0 for negatively charged AP; k=0 for a neutral AP. Presence of APs under quiet conditions has been experimentally demonstrated []. In such case the total electric conductivity σ in these regions is:

(2) $$\sigma = \sigma_e + \sigma_i^- + \sigma_i^+ + \sigma_{AP}^- + \sigma_{AP}^+$$

Terms in right hand of Eq.(2) represent conductivities due to electrons, negative and positive ions, and negatively and positively charged aerosol particles, respectively. Conductivity of type m σ_m is $\sigma_m = q_m \mu_m n_m$ where μ_m is the mobility of respective particles, n_m is their density, and q_m is the mean electric charge carried by a particle. The mobility μ_m is reciprocal to the mean mass of the particles. The last two terms in Eq.(2) are usually negligible since the mass of an AP is much bigger than those of electrons and ions; yet, their density S is small. Above ~80 km the first term σ_e dominates over σ_i. We assume here that SPE causes creation and succeeding growth of APs to which elementary charges are transferred from electrons and ions by recombination and attachment. This transfer leads to a decrease of electron n_e and positive n_i^+ and negative n_i^- ion densities, hence to a decrease of first three terms in Eq.(2), and thus of total conductivity σ. We hypothesize further that SPE can cause a gradual increase of APs density S and their mass in mesosphere and above, and increased transfer of electric charges to APs as consequence leading to gradual decrease of the first three terms in Eq.(2). If they become comparable with last two terms, dramatic decrease of total conductivity σ is the result.

We consider principal way of realization such situation. [5] and other authors demonstrate presence of aerosol particles in summer mesopuse by quiet conditions in order to explain phenomena as noctilucent clouds (NLC) in mesopause at high latitudes, and polar mesospheric summer echoes (PMSE). In a rocket experiment [5] show dramatic (about five orders of magnitude) decrease of conductivity σ in NLC and assume presence of aerosol particles to explain related electron-ion density changes. Ice crystals in summer mesopause and cosmic dust can play role of nuclei used by APs.

Hence, structures of large density of multi-charged APs (regions R_{AP}) can exist in mesosphere before SPE onset. We show that SPE can initialize processes of aerosol multiplication and growth which

start in (or close to) mesopause at polar latitudes from such structures, so that their characteristics determine dramatic diminishing of conductivity to similar values. Later during SPE these processes can be extended to alternative altitudes and lower latitudes, as well.

There is big variety of reactions between different particles (electrons, ions, neutral molecules, and APs - neutral or charged) when AP exist. While recombination, attachment, detachment between electrons, ions and neutral molecules and their parameters are described relatively well, reactions of small particles with APs and their rates are still not completely known: we note that these last parameters are function of many additional characteristics, such as the AP size and mass, as well as the number k and sign of elementary charges carried by it. These reactions are determinative for variations of electron and ion densities during SPE which are of main interest here. In order to examine the initial changes in a region R_{AP} we analyze the following equation for balance between densities of electrons, ions and APs written in its simplest form which is used for qualitative analysis:

(3) $$dn^{\pm}/dt = q - n^{+}\alpha_{eff}n^{-} - \beta_e n_e - (n^{\pm}\beta_{eff}^{\pm} + n\beta_{eff})S$$

This equation is for densities of positive ions n^+ and n^- for electrons and negative ions. Here q is the ionization rate; for simplicity we assume that $q = const$ during the time period of interest; α_{eff} is the effective recombination rates of positive ions with both negative ions and electrons. S is the total density of aerosol particles; $\beta^{\pm}_{eff}$ is the effective coefficient of attachment of positive and negative ions to AP, and $\beta^{\pm}_{eff}$ is the effective coefficient of attachment. Each AP is characterized by its radius r_{AP} and also by number k of elementary electric charges carried by it: k>0 by positive charges; k<0 by negative charges, and k=0 corresponds to a neutral AP. The interplay between second and third terms in Eq.(3) is of key importance for variations of $n^{\pm}$ in our case.

It is important to note that initial conditions to Eq.(3) at the SPE onset t_0 strongly differ in dependence of the region in which Eq.(3) is considered. In a region R_{AP} the last terms is not negligible and it is significant for the type of solution, in contrast to other regions where this is not the case.

One should note that coefficients β_{eff} of attachment to APs are functions of AP parameters r and k. According to [6,7] in the upper stratosphere $\beta^{\pm}_{eff}$ depends linearly on the AP's radius r_{AP} for r_{AP} >10 nm which is usually the case in R_{AP}. Actually, for large enough r_{AP} $\beta^{\pm}_{eff} \sim 4.36\times10^{-11}\, r_{AP}$, i.e. it increases proportionally with r_{AP}. For the mesopause we assume that this dependence is even of the more common form $\beta^{\pm}_{eff} \sim c^{\pm}\,(r_{AP})^{\gamma}$ where γ can be larger than 1. For example, γ= 2 if attachment rate is proportional to the surface. The effective coefficient of attachment of neutral particle to an AP β_{eff} assumingly depends on radius r_{AP} in similar way. The dependence of the rate of attachment to AP on r_{AP} determines the growth of an individual AP with time t while detachment from AP or its destruction determine the term of losses L; this last is assumed to be small compared to AP growth. If neglect L, the increase of the volume V_{AP} of an individual AP with time can be principally represented as dependent on the total effective coefficient β (for electrons, ions and neutral particles) by the following equation 'in average':

(4) $$dV_{AP}/dt = c_{AP}\beta N$$

Here N is the total density of particles which take part in the AP's building by attachment, c_{AP} = const. If $\beta = c\,(r_{AP})^{\gamma}$, r_{AP} can be obtained from the solution to Eq.(4) as function of time t which depends on γ.

1) For γ= 1 $r_{AP} = C_1 \ln(t)$;
2) For γ> 1 $r_{AP} = C_2\, t^{\gamma-1}$;

where C_i = const. These dependences demonstrate that the AP growth in R_{AP} can accelerate in time.
Another important factor is the transfer of elementary electric charges to APs. An individual AP is characterized by the number k of charges k on it, where k>0 if these are positive, and vice-versa. Because of the presence of positive uncompensated spatial charge, the mean charge k_m carried by APs is positive, k_m>0. Since larger APs can accept larger number of charges (assumingly, proportional to their mass), k_m increases in time, as well as the maximum number of charges k_{max}.

We assume that when k_{max} reaches a critical value, the respective AP splits to two or more smaller APs due to the enhanced inner electric field. Initially this splitting occurs when the AP reaches also critical radius r_{AP} which allows transfer of bigger charge to this AP. If the result of splitting is presented by two AP's successors, they are also big enough to have large speed of growth, as follows by solution to Eq.(4). Hence, they will grow themselves to critical size in relatively short time t_G when they also can undergo splitting. Such mechanism of APs multiplication can be effective initially for quasi-exponential increase of AP's density S: in time $10t_S$ S can increase by three orders of magnitude. This increase is limited by the density of positive UC in region R_{AP}. Initially this multiplication is limited to a region R_{AP}.

The quasi-exponential increase of S in region R_{AP}, as well as increase of the mean r_{AP} leads to change of significance of terms in Eq.(3): gradually the last term becomes dominant. This changes the form of solution for ion-electron densities $n^{\pm}$. Initially, under steady-state conditions, the derivatives in left parts tend to zero, and $n^{\pm}$ tend to positive constant values. On the other hand, when the last term in right side becomes dominant, $n^{\pm}$ tends to zero. This solution determines fast decrease of conductivities σ_e, $\sigma^{\pm}_i$ in Eq.(2) which means also dramatic drop of the total conductivity σ.

Another important process during SPE is driven by the electric field $\mathbf{E}_{UC}$ generated by positive UC situated on APs. This electric field causes distribution of positively charged APs to regions R out of R_{AP}. This transmission determines transformation of Eq.(3) in R to such where its last term become significant. Hence, in region R the mechanism of aerosol enhancement and decrease of conductivity can be repeated. In this way the region of decreased conductivity comprises alternative altitudes and lower latitudes.

Conclusion

- The observed peculiar persisting of unusually large atmospheric electric field (AEF) at high latitudes during SPE/GLE are explained hypothetically as result of accumulation of uncompensated positive charge in polar and high-latitudinal mesosphere and above originated from injected protons.
- Such accumulation of uncompensated positive charge can occur due to creation, quasi-exponential density increase and growth of aerosol particles during SPE which become principal charge carriers.
- These hypothetical processes give consistent explanation of unusually large AEF reached for times longer than the charge relaxation time.

References:

1. Shumilov, O. I., Kasatkina E. A., and A. V. Frank-Kamenetsky (2015). Effects of Extraordinary Solar Cosmic Ray Events on Variations in the Atmospheric Electric Field at High Latitudes, Geomag. Aeron., 2015, 55, 666–674, doi: 10.1134/S0016793215050151.
2. Tonev, P. T. (2021). Detecting Common Origin of Atmospheric Electric Responses during SEP, Proc. 13-th Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere” Primorsko, Bulgaria, 13-17 September, 2021.
3. Tonev, P. T. (2022). Peculiar atmospheric electric field response at high latitude to three major SEP events in 2001 and possible interpretation, Proc. 14-th Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere” Primorsko, Bulgaria, 6-10 June, 2021.
4. Mironova, I. A., I. G. Usoskin, G. A. Kovaltsov, and S. V. Petelina (2012), Possible effect of extreme solar energetic particle event of 20 January 2005 on polar stratospheric aerosols: direct observational evidence, Atmos. Chem. Phys., 12, 769–778, 2012, doi:10.5194/acp-12-769-2012
5. Holzworth, R. H, and R. A. Golberg (2004). Electric field measurements in noctilucent clouds, J. Geophys. Res., VOL. 109, D16203, 2004, doi:10.1029/2003JD004468.
6. Hoppel, W. A. (1985), Ion-aerosol attachment coefficients, ion depletion, and the charge distribution on aerosols, J. Geophys. Res., 90(D4), 5917–5923.
7. Tinsley, B. A., and L. Zhou (2006). Initial results of a global circuit model with variable stratospheric and tropospheric aerosols, J. geophys. Res.,111, D16205, doi:10.1029/2005JD006988.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ИЗСЛЕДВАНЕ И РАЗВИТИЕ НА АДВЕКТИВНАТА КОНЦЕПЦИЯ ВЪВ ФУНДАМЕНТА НА ТЕОРЕТИЧНАТА ФИЗИКА

Красимира Янкова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: f7@space.bas.bg

Ключови думи: *адвекция, термодинамика; релативизъм, космология*

Резюме: *Разгръщаме концепцията на фундаментална адвекция (ФА) във водещите направления от съвременната теоретична физика. Проучваме начина, по който действа механизма върху еволюцията на връзките, които създава. Обобщаваме принципите на термодинамиката. Адвекция е по същността си ТД-механизъм: Анализира се, как това се отразява в поведението на каскадите многообразия и произхождащите от тях под-многообразия.*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE ADVECTIVE CONCEPTION IN THE THEORETICAL PHYSICS FUNDAMENT

Krasimira Yankova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: f7@space.bas.bg

Keywords: *Advection, Thermodynamics; Relativism, Cosmology*

Abstract: *We develop the concept of fundamental advection (FA) in the leading directions of modern theoretical physics. We investigate how the mechanism action on the evolution of the connections that advection forms. We summarize the thermodynamics principles. Advection is essentially a TD-mechanism: It is analyse how this affects in the behaviour of the cascades manifolds and the sub-manifolds originating from them.*

Въведение

В поредица от статии [10–15] разглеждаме основните аргументи в подкрепа за фундаментален характер на механизма на адвекция. Въз основа на нашата разработка търсихме начините по които механизма се развива в теорията на различните направления на физиката. До момента в изследванията си по проблема не засягахме конкретиката за ТД-природа на адвекция. Затова тук ще се фокусираме именно върху този въпрос. А в процеса на изследване установихме и общ признак в поведението на механизъма – механизъма проявява склонност да създава каскади. Интересно е да се обсъдят особеностите в ТД-поведение на тези многопластови структури. За целта наред с ТД – формулировки от [13] ще работим и с обобщени принципи на термодинамиката.

Формулировки на принципите в термините на ТД на пространство време:

1. *Нулевият принцип на термодинамиката гласи:*

Ако две термодинамични системи са поотделно в топлинно равновесие с трета система, то те са в топлинно равновесие и помежду си. Всички термодинамични системи в топлинно равновесие имат еднаква температура.

Обобщение за ТД на пространство време:

Ако две термодинамични системи са поотделно в равновесие с трета система, то те са в равновесие и помежду си. Всички системи в ТД-равновесие помежду си имат еднакви енергетични характеристики.

2. *Първият принцип на термодинамиката:*

Промяната във вътрешната енергия на една термодинамична система при произволен термодинамичен процес е сумата от количеството топлина, получено от системата, и работата, извършена върху системата. Ако броят на частиците е променлив, в дясната страна на уравнението се добавя събираемо, отчитащо тази промяна.

Обобщение за ТД на пространство време

Вътрешната енергия на затворена система се запазва.

Вътрешната енергия на отворена система зависи от допълнителни фактори, един от които е изменението на броя подсистеми.

3. *Вторият принцип на термодинамиката:*

Ентропията на една изолирана термодинамична система може само да се увеличава с течение на времето или да остава същата.

Подходящо обобщение дава Формулировката на Болцман: Природата преминава от състояния с по-малка вероятност към състояния с по-голяма вероятност.

4. *Третият принцип на термодинамиката се формулира по следния начин:*

При нула Келвина системата е в състояние с най-малко енергия. Ентропията е свързана с броя на възможните микросъстояния и е нула само ако има единствено микросъстояние при нула Келвина.

По-обща форма на закона съществува при системи, притежаващи повече от едно минимално енергийно равнище:

Ентропията на системата клони към постоянна величина, когато температурата клони към абсолютната нула. Постоянната величина се нарича остатъчна ентропия на системата. Тя може да не е нула.

Следствие от този закон е невъзможността за достигане на абсолютната нула.

Обобщение в термините на ТД на пространство време:

Ентропията на системата клони към постоянна величина, когато състоянието на системата клони към (абсолютното) минимално енергийно равнище (ниво).

Третият принцип на термодинамиката се отнася само за равновесни състояния.

Въз основа на втория принцип ентропията може да се определи само с точност до произволна адитивна константа. Третият принцип на термодинамиката позволява определянето на неизвестната константа, а с това и точното определяне на ентропията.

Времето като обект на термодинамиката

Теоретични изследвания [1, 6, 7] и налични наблюдения сочат че константата на скоростта на светлината търпи вековo изменение през космологичните епохи. Ако скоростта на светлината се мени, то времето предхожда раждането на нашето (и други) пространство, по старо е от Вселената и ще остане след нея.

- Тогава времето (неограничен брой измерения) може да се разглежда като фон, а също като основно (минимално) термодинамично състояние – аналог на вакуум; Времето като квантова среда→ енергиини инфо-структури без причинно-следствена връзка в непрекъсната среда, в която обаче могат да се пренареждат свободно; структурите преминават едни през други, а информацията се пренарежда в тях без да предизвиква ТД-откат: *E~~information*

Произхода на времето като основно многообразие без пространствени измерения е чисто теоретичен проблем на абстрактната математика. Затова ние ще се позовем на Теоремата на Гьодел за непълнотата – фундаменталните основи на математиката са недоказуеми; и ще оставим този въпрос открит. Тук ще се ограничим с ТД-интерпретация.

- Пространствените многообразия в него, ще разглеждаме като нагнетено време – аналог идеален газ под налягане;
- А масите в тях – като втечняване на времето.

Освен това като ТД-обект времето може да съществува в две възможни чисти състояния, които принадлежат като участъци към общото многообразие:

- Подредено време – измеренията в тези участъци са ортогонални и линейно независими всяко от всички останали; и
- Хаотично време в което измеренията са наплетени едно в друго на случаен принцип.

Приема се че пространствените многообразия възникват само в първия тип време.

Теория на прехода

1. Грешният въпрос – каква е причината да възникне Вселена (локален мултиверс)?
2. Правилният въпрос – каква е вероятността?
3. Верният отговор – вероятността е ≠ 0.

В качеството си на основно състояние времето се намира в равновесие. Но няма причини това равновесие да се счита за устойчиво. Времето е много гъвкаво, времевите измерения са еластичнии повечето естествени смущения се изглаждат. Съществува обаче вероятност дадено смущение да е достатъчно ефективно и да предизвика самопресичане в някоя времева компонента. Тогава времето трансмутира – ражда се инстантон. Това е особено решение на стояща вълна във времето и представлява област от чисто времеви измерения покрити с пространствена обвивка (напомня хоризонт на черна дупка). Пространствените измерения са пластични. Пластичната деформация за разлика от еластичната е необратима. Отрицателната ентропия води до необратим фазов преход. Така през фазов преход в термодинамиката на пространство-време възниква първично е многообразие(локален мултиверс) – нова Вселена.

По смисъла на II принцип на ТДПВ вероятността от прехода t→x е безкрайно голяма т.к. това е преход от състояние с нулева (липсваща) към нарастваща ентропия и градиента на ентропията е винаги положителен. Ентропията от самопресичането (заплитането на степени на свобода [4, 8, 9]) може да аргументира базисен механизъм за възникващо пространство-време. Загубата на симетрии в основното многообразие води появата на класически свързани пространство-времена.

Повърхностната гравитация к ≥ 0, е константа по целия инстантон в момента на образуването. Фактът, че к е константа по целия хоризонт отразява Нулевия закон на термодинамиката на пространство-време, който гласи, че при система в равновесие, има равноразпределени енергетични характеристики.

Втория принцип ТДПВ гарантира разнообразието на локални мултивселени т.к. вероятността измеренията да се наредят (не фрактала на нагъване той остава подобен) по един и същи начин →0! Това важи и за клоните на първично разцепление в 10D/11D начините да се разпределят (нагънати и разгърнати) измеренията са достатъчно много за да осигурят клони с разнообразни свойства в един и същ локален мултиверс!

Заключение

В заключение ще зададем още някои интересни въпроси:

4. Отворена система ли е Вселената?
5. Има ли акустика между клоновете – звънти ли Вселената?

Честота на моментна реалност – местоположението, формата и трептенето на дадена брана-алтернатива относно останалите структури в локален мултиверс, в конкретен момент на разширението (като математическа формация – ротационна повърхнина, виж (1)):

(1) $g_0 = \sum_1^3 dx_i - \sum_1^2 d\tau_j$ Където (x_1, . . . , x_m) са регулярна координатна система на R_m [2] – m- мерната сфера. Те характеризират Лоренцови повърхнини-клони с паралелно нормирано векторно поле на средната кривина в псевдо-Евклидовото пространство E^4_2 чрез система от три функции, които определят повърхнината с точност до движение (rot?).

Защо това е толкова важно, понеже това са измерими физически величини и чрез тях придобиваме част от необходимите инструменти, които да позволят изследване отвътре навън в собственото многообразие.

Литература:

1. Albrecht, A., J. Magueijo, 1999, A time varying speed of light as a solution to cosmological puzzles, https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9811018.pdf
2. Алексиева, Я., 2017, Лоренцови повърхнини в четиримерното псевдо-евклидово пространство с неутрална метрика, АВТОРЕФЕРАТ. 3
3. Giancoli, D. C., General physics, Prentis hall Inc. 1984
4. Hooft, G.'t , 2000, The Holographic Principle, https://arxiv.org/pdf/hep-th/0003004.pdf
5. Hooft, G.'t , 2009, https://arxiv.org/pdf/gr-qc/9310026.pdf
6. Magueijo, J., Lee Smolin, 2001, Lorentz invariance with an invariant energy scale, https://arxiv.org/pdf/hep-th/0112090.pdf
7. Magueijo, J., 2003, New varying speed of light theories, https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0305457.pdf
8. Raamsdonk, M. V., Gen. Rel. Grav. 42 (2010) 2323. https://arxiv.org/pdf/1005.3035.pdf
9. Susskind, L.,1995, J. Math. Phys.36, 6377–6396. https://arxiv.org/pdf/hep-th/9409089.pdf
10. Yankova, Kr., 2016, Proceedings SES 2016, ISSN 1313-3888, 58–61.
11. Yankova, Kr., 2017, Proceedings SES 2017, ISSN 1313-3888, 85–88.
12. Yankova, Kr., 2018, Proceedings SES 2018, ISSN 1313-3888, 85–89.
13. Yankova, Kr., 2019, Proceedings SES 2019, ISSN 1313-3888, 62–65.
14. Yankova, Kr., 2020, Proceedings SES 2020, ISSN 1313-3888, 81–83.
15. Yankova, Kr., 2021, Proceedings SES 2021, ISSN 1313-3888, 77–80.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

VARIABLE MECHANISMS OF MASS TRANSFER IN FOUR BINARY STARS SYSTEMS

Daniela Boneva, Krasimira Yankova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: danvasan@space.bas.bg

Keywords: *Stars – Binary stars; Stars – cataclysmic variables; Stars – symbiotic binaries; Accretion*

Abstract: *In this paper, we summarize our analysis of accretion properties in four binary stars of different types: AG Dra (Draco), NQ Gem (Gemini), V 592 Cas (Cassiopeia) and 61 Cyg (Cygnus). An accretion efficiency as a useful measure that illustrates the power of accretion as an energy generator is applied. We showed of how the efficiency varies with the three suggested modes of accretion: disc accretion, spherical accretion and two-stream matter feeding. We found that the measured values of accretion efficiency increase in order of the accretion modes development, in the four objects in different ways.*

We discuss on the currently active mass transfer mechanisms between the binary components: via Roche Lobe Overflow and stellar wind. This could be relevant to the type of accretion - wind or disc is dominant for each of the objects.

АКТИВНИ МЕХАНИЗМИ ЗА ПРЕНОС НА МАСА ПРИ ЧЕТИРИ ДВОЙНИ ЗВЕЗДНИ СИСТЕМИ

Даниела Бонева, Красимира Янкова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: danvasan@space.bas.bg

Ключови думи: *Звезди: Двойни звезди; Звезди: симбиотични; Акреция*

Резюме: *В тази статия, ние представяме обобщен анализ от резултати върху свойствата на акреция при четири двойни звезди: AG Dra (Дракон), NQ Gem (Близнаци), V 592 Cas (Касиопея) и 61 Cyg (Лебед). Величината ефективност на акреция е въведена като мярка, която изразява силата на акретора като генератор на енергия. Показано е как ефективността се променя за трите предложени режима на акреция: дискова акреция, сферична акреция и двупоточно подаване на материя.*

Установихме, че измерените стойности на ефективността нарастват в реда на развитието на режимите на акреция в четирите обекта по различен начин.

Дискутирани са и активните механизми за пренос на маса между компонентите на двойната: през точката на Лагранж и чрез звезден вятър. Това може да е от значение за типа акреция, при който звездният вятър или дискът са доминиращи за всеки от обектите.

Introduction

1. The problem background

At some stage of the evolutionary path, binary stars' components start to interact and transfer matter between them. This could happen in two currently known ways. It depends on types of the studied objects or at which point of an evolutionary stage they are. When one of the stars (usually the secondary) in binary increases the radius enough to fill its Roche lobe and when the binary separation became smaller, the matter overflows through the Roche lobe and L_1 point (Lagrange point) [11].

In some binary stars, one of the components throws out much of its material in a form of a stellar wind, which is attracted by the gravitational field of the primary star. Further, as a product of interaction between the components in binary stars, an accretion flow forms. The accretion processes give possibilities to study the physical properties and conditions of astrophysical objects.

The variable mechanisms of mass transfer through the components could have further contribution to the amplitudes of the brightness variability.

To determine the possible mass-transfer mechanism, we first make a relation to the estimation of accretion efficiency (Section Results). An estimation of accretion efficiency is important, because it has a close relation to the emitted energy and has a further role in binaries evolution. An advantage to know the accretion rate is the possibility to estimate the mode of accretion and the possible transition between them.

2. Targets selection and details

For the purpose of this paper, four binary stars are selected. Two symbiotic binaries AG Dra and NQ Gem, a Nova like V 592 Cas and a visual binary 61 Cyg. Here we present short characteristics of each of them.

AG Dra is a classical type D symbiotic binary. The hot component of AG Dra is considered to be a white dwarf producing a high luminosity in order of $10^3 L_\odot$ and temperature of about $1-2\times10^5$K. The mass of the white dwarf is found to be $M_{wd} = 0.4 - 0.6 M_\odot$ [21] at a distance of 2.5kpc, and $0.5 M_\odot$ [27]. Mikolajewska et al. (1995) [21] have obtained for the radius of the white dwarf the values $R_{wd} \approx 0.06 - 0.08 R_\odot$ and they supposed it is a sub-dwarf. The secondary or the cool component of AG Dra is of early spectral type in the range K0-K4 with metal deficiency (Smith et al. 1996) and has also been classified as a Barium star. Its mass was estimated as $1.5 M_\odot$ by Kenyon & Fernandez-Castro (1987) and radius $\approx 35 R_\odot$ [30]. The orbital period of AG Dra is Porb ≈ 550days [25].

NQ Gem is classified as a suspected symbiotic star (catalogue of Belczyński et al. (2000) [2]) and belongs to the family of Symbiotic variables of the Z Andromedae type. They are close binaries that consist of a hot star, a star of a late type, and the existence of extended envelope is very possible, which is influenced by the hot star's radiation.

On the other hand, the Spectral types of those objects are usually C6 or CH3. They are known as "carbon stars" with an excess of carbon in their atmosphere [3], usually red giants. Its SiIII/CIII ratio is similar to that of other symbiotic stars.

The orbital period of NQ Gem is found to be 1308 days [7], and its eccentricity is e = 0.182. The mass of the white dwarf or the object's primary component is estimated as $M_1 \sim 0.6 M_\odot$.

NQ Gem is a type of Semi-regular variables, which are giants or supergiants of intermediate and late spectral types. The variabilities in its light curves sometimes are interrupted by various irregularities, possible to be detected for a long period of observations. These observational periods could prolong in the range from 20 to more than 2000 days. The object's brightness usually displays irregular variations and the amplitudes may vary with 1-2 mag, and its magnitude range is 7.4−8.18 in V. The light curves of NQ Gem manifest pulsations, with a pulsation period Ppul ~ 58(±1) days [12].

NQ Gem has also been attached to the group of X-Ray symbiotic binaries [20]. In the X-ray spectrum two components, at the soft part with energies below ≈ 1.5keV and at hard part above 2.5 keV, are clearly distinguished.

The Cataclysmic variable V592 Cas consists the late-type main-sequence secondary and white dwarf primary. The components in V592 Cas are interacting by a warped and tilted accretion disc, according to observations of negative and positive superhumps [22, 26, 29].

V592 Cas, is a low-inclination (i =28 ±10−11 degrees, [15]) type CV, with an orbital period of 0.115063(1) d [26], [28] at a distance of 360 pc. Taylor et al. [26] estimate an accretion rate for V592 Cas of about $9 \times 10^{-9} M_\odot\ yr^{-1}$.

The visual binary 61 Cyg has two components: V1803 Cyg (hereafter 61 Cyg A) is a primary component and it is a solar-type dwarf of spectral type K5. The secondary component is a K7 dwarf 61 Cyg B. 61 Cyg A is an average active star [9] and its activity cycle was estimated as ~ 7.35(±0.1) yr. [1]. This star was also defined with its solar-type variability [13, 19].

Both components of 61 Cyg are slow rotators and the periods of their rotation are: ~ 35(±1.7) days for the primary and ~ 38(±1.5) days for the secondary, respectively [8, 24]. 61 Cyg A belongs to BY Draconis type variables [16], which are emission-line dwarfs of dKe-dMe spectral type and they usually show quasiperiodic changes in the light curves. 61 Cyg A is also known as a strong X-ray source [14, 23].

Equations

In general, the efficiency $\boldsymbol{\eta}$ expresses the amount of energy gained from the matter with mass $\boldsymbol{m}$, in units of its mass energy [17]. It measures how efficiently the rest mass energy, c^2 per unit mass, of the accreted material is converted into radiation. The accretion efficiency η_{acc} is defined by the expression:

(1) $$\eta_{acc} = \frac{GM_1}{R_1 c^2}$$

obtained by the expressions of accretion luminosity:

(2) $$L_{acc} = \frac{GM_1\dot{M}}{R_1} \text{ and } L_{acc} = \eta_{acc}\dot{M}c^2$$

Where M_1 and R_1 are the mass and radius of the central object or the primary star; G is the gravitational constant; c is the speed of light; $\dot{M}$ is the accretion rate.

We can trace the change in efficiency in the three possible modes – disc accretion - ***η***, spherical-like accretion - ***ξ*** and a two-stream feeding **ξ+η**.

Equation 1 expresses the efficiency of the disc' accretion. Now to obtain such expressions for the other two modes, we will use equations of the related accretion rates.

The accretion rate is different in different type of binary star objects and their stellar components.

Let denote the accretion rate in general case with $\dot{M}$, then $\dot{M}_d$ expresses the disc accretion, by the equation (3), based on[11]:

(3) $$\dot{M}_d = 2\pi R_{R1}\Sigma(-V_r),$$

where *Vr* is the radial velocity of the stream, Σ is the surface density;

R_{R1} the distance to the central object (sometimes coincides with the radius of the primary or the disc inner radius).

Further, the spherical accretion rate could be expressed as [3, 10]:

(4) $$\dot{M}_{sph} = \pi R_{R1}^2 \rho(-V_r),$$

where ***ρ*** is a volume density in this case.

The ratio of the spherical accretion efficiency ***ξ*** to the efficiency of the disc accretion - ***η*** can be expressed as a relation between the two types of accretion rate:

(5) $$\frac{\xi}{\eta} = \frac{\dot{M}_d}{\dot{M}_{sph}}$$

Then for the efficiency of the spherical accretion we can write:

(6) $$\xi \approx \left(\frac{4H_d}{R_d}\right)\eta$$

Now, the whole disc radius R_d and the full half disc thickness H_d are also included into the calculations.

When using the equation of accretion efficiency, the important relation between the luminosity ***L*** and the effective temperature ***Teff*** should also be applied, by the Stefan-Boltzmann's law:

(7) $$L = 4\pi R_{R1}^2 \sigma T_{eff}$$

Results

Following the equations from the previous section and the values of the objects' parameters given above, we calculate the accretion efficiency for the four objects.

The obtained value of the disc-accretion efficiency for AG Dra is [4] (Boneva 2020):

η_{accr} [AGDra] = 1.445105 $\times 10^{-5}$.

For NQ Gem and 61 Cyg A we have from Boneva & Yankova (2021) [5]: η [NQ Gem] = 1.28 (±0.12) × 10^{-4}; η [61 Cyg A] = 2.4 (±0.01) × 10^{-4} .

The results of accretion efficiency for V 592 Cas are obtained in Boneva & Yankova (2022) [6]: η [V592Cas] = 1.17 (±0.11) × 10^{-4} .

Table 1. Mean values of accretion efficiency calculated for both objects in the three suggested accretion modes: ξ for spherical accretion, η - for disc accretion, and a sum of both η + ξ expresses the two-stream feed accretion

Object / Mode	1	2	3
X 10^{-4}	ξ	η	ξ+η
AG Dra	0.00578 ± 0.00006	0.145 ± 0.001	0.15 ± 0.001
NQ Gem	0.20 ± 0.02	1.28 ± 0.12	1.50 ± 0.14
V 592 Cas	0.16 ± 0.02	1.17 ± 0.11	1.28 ± 0.13
61 Cyg A	0.4 ± 0.2	2.4 (±0.01)	2.8 ± 0.002

The values in table show that the efficiency for the three modes of AG Dra is almost ten times less than the values of NQ Gem and V 592 Cas. In comparison, 61 Cyg is much more active in disc accretion mode.

The distribution of accretion efficiency throughout the development of accretion modes is clearly seen at the Fig. 1. It is seen from the empirically created figure that the spherical accretion efficiency for all the four objects has lower values than the efficiency in the disc accretion mode.

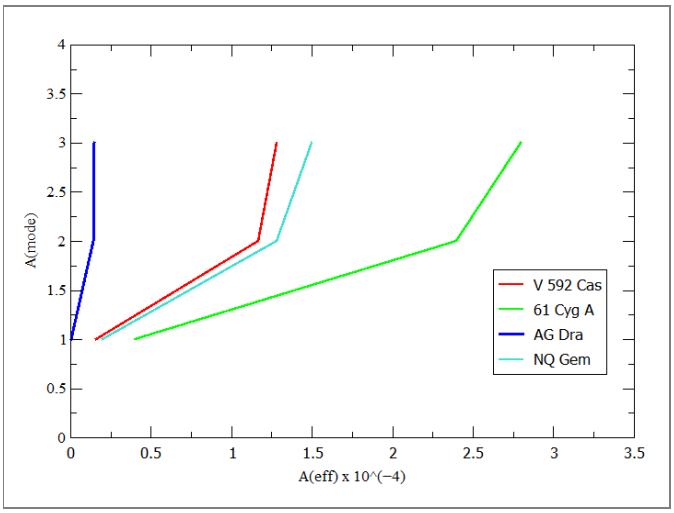


Fig. 1. A growth of accretion efficiency A(eff) against the development of accretion modes 1(ξ), 2(η) and 3(η + ξ) A(mode)

Except for AG Dra, a smoothly growing transition between the modes is observed. It is mostly ++ at the slow rotating accretor of 61 Cyg A.

Discussion and Conclusion

An estimation of accretion efficiency is important, because it has a close relation to the emitted energy and has a further role in binaries' evolution. Its rate is different in different type of binary star objects and their stellar components. One advantage to know the accretion rate gives the possibility to estimate the mode of accretion and the possible transition between them.

Based on the results, we discuss on the type of accretion efficiency dominated for the concrete object. We give a point to an active mass-transfer mechanism for each of the considered binary stars.

In the CV Novae like object V 592 Cas, the primary component has a precessing accretion disc [18]. This could be a reason for the relatively low values of the disc's accretion efficiency. The stream from the secondary is going through the Lagrange point L_1, then a pseudo-spherical inflow contacts the outer parts of the accretion disc. In this way, the Roche lobe overflow together with the wind transfer are most likely possible to be active in this object.

The mass losing and in the same time the matter scattering in 61 Cyg A are possible to be realized by not very high accretion efficiency on the disc surface, but an approximately high accretion rate [5] (Boneva & Yankova 2021). We could suppose about double feeding mass transfer in this object: via the wind and Roche Lobe Overflow.

The symbiotic binary NQ Gem produces an average disc accretion efficiency in comparison to other three objects. The activity of NQ Gem in X-ray luminosity could be contributed by the mass transfer via the stellar wind [5].

As we have seen in the figure, the data for the other symbiotic binary in this survey AG Dra show low rate of accretion efficiency for all three modes.

Acknowledgements: This work is partially supported by the grant КП-06-Н28/2 08.12.2018 (Bulgarian National Science Fund).

References:

1. Baliunas, S. L., R. A. Donahue, W. H. Soon, J. H. Horne, J. Frazer, et al. 1995, ApJ, 438, 269.
2. Belczyński, K., J. Mikołajewska, U. Munari, R. J. Ivison, M. Friedjung, 2000, A&AS, 146, 407.
3. Bondi, H. 1952, MNRAS, 112, 195.
4. Boneva, D., 2020, BgAJ, v. 33, p. 109.
5. Boneva, D., Kr. Yankova, 2021, CS20.5, 10.5281/zenodo.4748796, id. 328.
6. Boneva, D., Kr. Yankova, 2022, BSACXIII,
7. Carquillat, J. M., J. L. Prieur, 2008, AN, 329, 44.
8. Donahue, R. A., S. H. Saar, S. L. Baliunas, 1996, ApJ, 466, 384.
9. Duncan, D. K., A. H. Vaughan, O. C. Wilson, G. W. Preston, J. Frazer, et al. 1991, ApJS, 76, 383.
10. Edgar, R. 2004, New Astr. Rev., 48, 843.
11. Frank, J., A. King, D. J. Raine, 2002, Accretion Power in Astrophysics: Third Edition.
12. Gromadzki, M., J. Mikołajewska, I. Soszyński, 2013, AcA, 63, 405.
13. Hall, J. C., G. W. Lockwood, B. A. Skiff, 2007, AJ, 133, 862.
14. Hempelmann, A., J. Robrade, J. H. M. M. Schmitt, F. Favata, S. L. Baliunas, et al. 2006, A&A, 460, 261.
15. Huber, M. E., S. B. Howell, D. R. Ciardi, R. Fried, 1998, PASP, 110, 784.
16. Kholopov, P. N., N. N. Samus, M. S. Frolov, V. P. Goranskij, N. A. Gorynya, et al. 1999, VizieR Online Data Catalog, II/214A.
17. Kolb, U. 2010, Extreme Environment Astrophysics, Cambridge University Press.
18. Long, K., 2003, FUSE Proposal ID D11, 2003fuse.prop.D114L.
19. Lockwood, G. W., B. A. Skiff, G. W. Henry, S. Henry, R. R. Radick, et al. 2007, ApJS, 171, 260.
20. Luna, G. J. M., J. L. Sokoloski, K. Mukai, T. Nelson, 2013, A&A, 559, A6.
21. Mikolajewska, J., S. J., Kenyon, M. Mikolajewski, M. R. Garcia, R. S. Polidan, 1995, ApJ, 109, 1289
22. Murray, J. R., D. Chakrabarty, G. Wynn, L. Kramer, 2002, MNRAS, 335, 247.
23. Robrade, J., J. H. M. M. Schmitt, F. Favata, 2012, a, 543, A84.
24. Saikia, S. B., S. V. Jeffers, J. Morin, P. Petit, C. P. Folsom et al., 2016, a, 594, A29.
25. Sion, E. M., J. Moreno, P. Godon, B. Sabra, J. Mikolajewska, 2012, AJ, 144, 171.
26. Taylor, C. J., J. R. Thorstensen, J. Patterson, et al., 1998, PASP, 110, 1148.
27. Tomov, N., M. Tomova, A. Ivanova, 2000, A&A, 364, 557.
28. Witherick, D. K., R. K. Prinja, S. B. Howell, R. M. Wagner, 2003, MNRAS, 346, 861, W03.
29. Wood, M. A., M. M. Montgomery, J. C. Simpson, 2000, ApJ, 535, L39.
30. Zamanov, R. K., M. F. Bode, C. H. F. Melo, R. Bachev, A. Gomboc, J. Porter, J. Pritchard, 2007, MNRAS, 380, 1053.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

КАЛИБРИРАНЕ ПО ЕНЕРГИЯ НА СПЕКТРОМЕТРИЧЕН ДОЗИМЕТЪР БЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЙОНИЗИРАЩИ ЛЪЧЕНИЯ

Митьо Митев[1,3], Людмил Цанков[2], Цветан Дачев[1], Борислав Томов[1], Юрий Матвийчук[1], Николай Томчев[3]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]ФзФ, Софийски университет "Св. Климент Охридски" - София
[3]ФЕТТ, Технически университет – София
e-mail: m_g_mitev@abv.bg

Ключови думи: *спектрометри, дозиметри, калибровка по енергия, светлинни импулси*

Резюме: ***Р****азглежда се възможността за провеждане на прецизна калибровка по енергия на спектрометрични и дозиметрични прибори с полупроводникови фотодетектори, чрез използване на светлинни импулси с променливи интензитет и продължителност.Обхваща се целият преобразователен тракт – фотодетектор, зарядочувствителен усилвател, линеен формирователи аналогово-цифров преобразувател. Дадени са основните зависимости за определяне на характеристиките на прибор и е описана последователността за провеждане на изследването. Приложени са резултати от експерименталните изследвания.*

ENERGY CALIBRATION OF A SPECTROMETRIC DOSIMETER WITHOUT USING IONIZING RADIATION

Mityo Mitev[1,3], Ludmil Tsankov[2], Tsvetan Dachev[1], Borislav Tomov[1], Yuri Matviichuk[1], Nikolay Tomchev[3]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Faculty of Physics, University of Sofia
[3]Technical University – Sofia
e-mail: m_g_mitev@abv.bg

Keywords: *spectrometers, dosimeters, energy calibration, light pulses*

Abstract: *The possibility for a precise energy calibration of spectrometric and dosimetric devices based on semiconductor photodetectors by means of light pulses with different intensity and length is investigated. The calibration process includes all components of the spectrometric system – the photodetector, the charge-sensitive amplifier, the shaping amplifier and the analog-to-digital converter. The main functional dependencies related to the device's parameters are presented, and the measurement sequence is described. Results from experimental investigations are discussed.*

Въведение

Точното привързване по енергия на обхватите на спектрометричните и на дозиметричните прибори е от съществено значение за точността на провежданите измервания 1. Типът на детекторната система, видът на регистрираните лъчения и използваните енергетични обхвати оказват съществено влияние и ограничават приложимостта на методите за калибровка [2, 3].

За извършване на ефективна калибровка по енергия са необходими източници на йони или заредени частици. Това са различни типове ускорители, достъпът до които е силно ограничен и скъп. Явно е, че прецизната калибровка на всеки дозиметричен прибор с използването на ускорител е невъзможна и неоправдана поради твърде високата цена.

Дозиметрите с аеро-космическо приложение от серията „Люлин" използват като детектор *Si p-i-n* фотодиоди тип *S2744-08* (Hamamatsu) с активна площ 2 cm^2 и ширина на прехода 300 μm. Сигналите се снемат и формират със зарядо-чувствителен усилвател/линеен формирователи (*CSA/LSA*) A225F на Amptek, след което се дискретизират с бърз 12-разряден аналогово-цифров

преобразувател (*ADC*). Определянето на мощността на абсорбираната доза от лъчението в обема на детектора се извършва на базата на данни от амплитудни разпределения, получени в резултат на спектрометрично регистриране на сигналите при възникналите взаимодействия. За това е необходимо е да се знае привързването на скалата на прибора по енергия. Два са параметрите на апаратурата, които определят тази зависимост:

1. ***Ширината на каналите по амплитуда***. Тя се определя от входния обхват по напрежение на аналогово-цифровия преобразувател и броя на използваните разряди. При обхват *Umax*=5 V и използване само на старшите 8 разряда на *ADC* (формиране на 256 канален спектър) за ширина на канала се получава ΔU_{Ch}=19.53 mV;
2. ***Ширина на каналите по енергия***. Тук се изхожда от зависимостта на амплитудата на изходния импулс на *CSA/LSA* от заряда, генериран в детектора (респективно отдадената енергия от йонизиращото лъчение в обема на детектора). Производителят на *CSA/LSA* тип *A225F* (Amptek Inc.) декларира типична входна чувствителност за *Si p-i-n* полупроводникови детектори IS_{Si}=240 mV/MeV. Оттук лесно се определя специфичната енергия ΔE_{Ch} за един канал:

(1) $$\Delta E_{Ch} = \frac{\Delta U_{Ch}}{IS_{Si}} = \frac{19{,}53}{240} = 0{,}081375 \text{ MeV/Ch}$$

Използвайки основни физични зависимости, за случай, в който спектрограмата е представена в скалата по канали, мощността на абсорбираната доза лъчение в детектора P_D е:

(2) $$P_D = \frac{D_a}{t_m} = \frac{\Delta \mathrm{E}}{\Delta \mathrm{m}} . \frac{1}{t_m} = 1.602.10^{-16} . \frac{1}{m.t_m} . \sum_{i=0}^{255} n_i \,.\, i . \Delta E_{Ch} \qquad Gy/h$$

където n_i е броят събития, регистрирани в даден канал;
i е съответният номер на канала;
ΔE_{Ch} е специфичната ширина на каналите по енергия, представена в keV*;*
масата *m* се изразява *kg;*
времето на измерване t_m – в часове.

От гореизброените факти следват следните основни изводи:

- точността на провежданите измервания зависи много силно от точността на определяне на специфичната енергия ΔE_{Ch} , отдадена в детектора;
- приема се, че връзката енергия/канал е линейна и минава през нулата. На практика за определяне на параметрите се използва само една точка, зададена от производителя на *CSA/LSA*, без да се отчита неопределеността от толеранса на параметъра IS_{Si}. Това може да доведе до съществена грешка при определяне на коефициентите;
- не се отчита влиянието и толерансите на електронните компоненти. При еднополярно захранване на *CSA/LSA* в околността на нулата (при регистриране на събития, породени от частици или кванти с малки енергии) характеристиката му вече не преминава през нула.

За определяне на действителните характеристики на приборите от серията „Люлин“ през годините са провеждани тестови изпитания на ускорители на тежки йони 4**Error! Reference source not found.**, при което регистрираните отклонения са в рамките на 5 -10 %.

Очаква се кривата на отговор на приборите „Люлин“ да бъде много подобна на тази, публикувана в 4, защото всички спектрометри тип „Люлин“ (*LTS*) се произвеждат с използване на еднотипни електронни компоненти. В конкретния пример за калибриране, извършено от д-р Юкио Учихори, е установено, че линейният коефициент на реакция, получен с протони, He+ и Ne+ йони, е равен на 81.3 keV, докато приборите „Люлин“ измерват 81.4 keV.

Опитна постановка

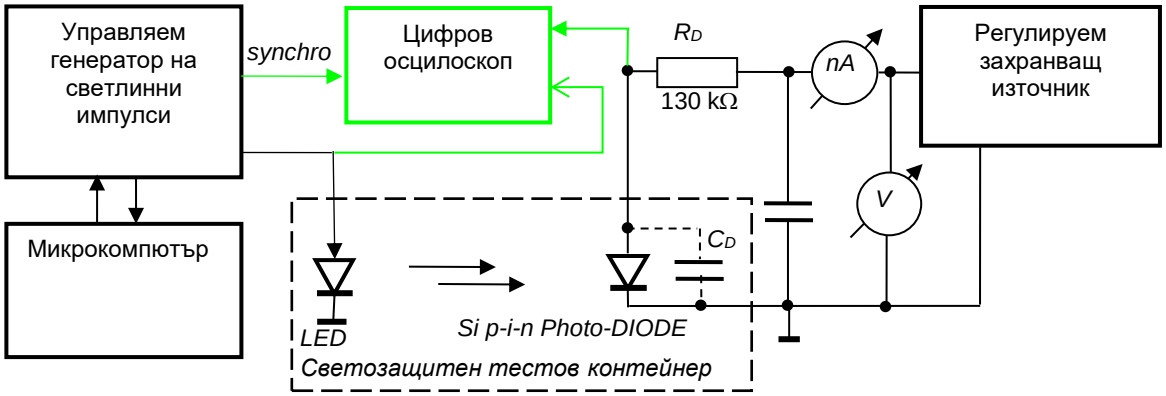
Изхождайки от принципа на суперпозицията, в изхода на полупроводниковия детектор би могло да бъде породено еквивалентното количество заряд, ако вместо с една частица с много висока енергия се въздейства с много по-голям брой фотони с ниска енергия (например във видимата област – 1.5 – 3 eV). За целта е създадена опитна постановка, която позволява дозиране на фотонния поток така, че в изхода на детектора да се получава еквивалентно количество заряд, съответстващ на работния обхват на изследвания прибор.

Структурната схема на опитната постановка, позволяваща да се определи количеството заряд в изхода на *Si p-i-n* фотодиод, е показана на Фиг.1. Тя съдържа следните функционални блокове, които трябва да отговарят на определени условия:

1. Изследваният *Si p-i-n* фотодиод, заедно с облъчващия светодиод, се поставят в светозащитен тестов контейнер, който осигурява оптична връзка между тях, както и предотвратява проникване на външни смущаващи светлинни потоци. Той има подходящи конектори, позволяващи както подаването на управляващия импулс към светодиода, така и снемането на заряда от фотодиода. Същевременно контейнерът играе и ролята на екран

за електромагнитни смущения и позволява в обема да се поставят допълнителни електронни схеми (напр. *CSA/LSA* и др.);

2. Управляемият генератор на светлинни импулси 5,6 е основен елемент в опитната постановка. Той служи за изработване на токови импулси към светодиода, осветяващ *Si p-i-n* фотодетектор. Изходът му е генератор на ток, чиято изходна стойност може да се задава в 15 дискретни стойности от 1 до 15 mA със стъпка 1 mA. Генераторът поддържа поне три режима:



Фиг. 1

a. непрекъснат режим – стойността на изходния ток за даден обхват ***k*** се поддържа постоянна и непрекъсната във времето;

b. импулсен режим – изработват се токови правоъгълни импулси с регулируема продължителност в наносекундния и микросекундния диапазони, чиято амплитуда е идентична с тази при непрекъснатия режим за съответния обхват. Периодът на повторение се избира в милисекундния диапазон;

c. режим с променлива амплитуда или продължителност – амплитудата или продължителността на импулсите периодично се променя в зададени граници;

3. Микрокомпютърът служи за управление режимите и параметрите на работа на управляемия генератор и за следваща обработка на резултатите;

4. Регулируемият захранващ източник осигурява обратно поляризиращо напрежение за фотодиода, такова, че да сведе до минимум рекомбинацията на токоносителите вътре в прехода. На практика, това условие се постига при стойности U_p>15 V;

5. Важен елемент от опитната постановка е галванометърът (наноампереметър), с който се измерва тока през фотодиода в непрекъснат режим на облъчване. Той трябва да има чувствителност поне 50 nA. От точността и дискретността му в голяма степен зависи точността на провеждане на калибровката;

6. Цифровият осцилоскоп позволява точно да се определи (измери) продължителността на импулса, подаван към светодиода. Ако входните му обхвати по напрежение позволяват, чрез него би могло да се наблюдава и изходния импулс, който генерираният заряд създава върху товарното съпротивление R_D (в схемата на Фиг.1 все още не е включен зарядо-чувствителния преобразувател).

Описание на метода за изследване

Необходимо е да се определи какъв заряд възниква в изхода на фотодиода при различни режими на управление на светодиода – по ток (обхват на генератора) и различна продължителност на управляващия импулс. За целта се извършват следните стъпки:

1. Задава се поляризиращо напрежение за фотодиода в интервала от 15 до 70 V;
2. Генераторът се настройва за работа в режим на непрекъснато излъчване;
3. За всеки обхват *k* се измерва тока I_k, който се възбужда във фотодиода;
4. Генераторът се превключва за работа в импулсен режим;
5. Задава се опредена продължителност t_u на светлинните импулси (200 – 400 ns).

Зарядът ΔQ_k, генериран в детектора, зависи от обхвата *k* и продължителността на импулса t_u :

(3) $$\Delta Q_k = \Delta I_k . \Delta t_u$$

Така за всеки обхват при дадена продължителност на импулса се определя какъв заряд се генерира в обема на детектора. Оттук се определя енергията на частицата или кванта ΔE_{eqv},

която би генерирала същия заряд ΔQ_k – т.е. на всяка комбинация обхват *k* / продължителност на импулс t_u се съпоставя точно определена енергия на абсорбираното лъчение:

(4) $$\Delta E_{eqv} = \frac{\Delta Q_k . \varepsilon_{Si}}{e^-}$$

където - ΔE_{eqv} е енергията на частицата или кванта, която при взаимодействие с детектора би довела до образуване на същия заряд;

ΔQ_k е зарядът за съответния обхват/продължителност на импулс;

ε_{Si} е средната енергия за образуване на двойка електрон/дупка за силиция;

e^- е зарядът на електрона, e^-=1.602.10^{-19} C.

Тази зависимост дава възможност да се направи еднозначна връзка между амплитудата на изходящия импулс от спектрометричния тракт (която е пропорционална на ΔQ_k) и еквивалентната енергия на частицата/кванта. **Респективно, така много лесно амплитудният спектър от пространството на каналите може да са прехвърли в пространството на енергиите.**

Коефициентите за връзка канал – енергия се определят по метода на най-малките квадрати (МНК) от 15 точки на базата на реални експериментални данни, които конкретизират линейната зависимост за изследвания спектрометричен тракт. В тази линейна функция вече има и реален свободен член, който отразява несиметрията на използваните електронни компоненти.

Последователност на измерване

Последователността на определяне на параметрите на системата включва няколко етапа, провеждани в различни конфигурации на работа на фотоприемника и режими на работа на генератора. Те се свеждат до:

I. Мащабиране на сигналите от детектора в конкретната опитна постановка

Целта на операцията е да се подбере такава геометрия на експерименталната постановка, че при максимален обхват от генератора формираните изходни импулси след *CSA/LSA* да покриват най-пълно входния обхват на използвания спектрометър. За целта:

1. Сигналът от фотоприемника се подава към *CSA/LSA*;
2. Генераторът на светлинни импулси се настройва в импулсен режим при период на изходните импулси 1 – 10 ms;
3. Задава се най-големият обхват (в случая – 15) за амплитуда на импулсите;
4. Настройва се минимална продължителност на импулсите (в случая – 200 ns);
5. Наблюдават се на осцилоскоп изходните импулси от *CSA*, като се следи основно за тяхната амплитуда. Ако тя е значително по-малка от входния обхват на спектрометъра, се увеличава продължителността на импулса (напр. 400 ns) и при следващите стъпки се работи при новата стойност. Ако амплитудата е по-голяма (или *CSA* достига до насищане), е необходимо да се редуцира светлинния поток върху фотоприемника. Това може да стане чрез:
   - промяна на разстоянието и/или ъгъла на облъчване;
   - поставяне на непрозрачна преграда (бленда) на пътя на лъча, при което част от площта на *Si p-i-n* фотодиод остава необлъчена.

След постигане на оптимална настройка, геометрията на системата трябва да се поддържа непроменена.

II. Измерване на тока през p-i-n диода в статичен режим

Целта на измерването е да се определи степента на връзката между светодиода и фотоприемника при конкретната геометрия на експерименталната постановка в непрекъснат режим на облъчване. Последователността на работа е следната:

1. Товарният резистор в катодната верига на фотодиода се изключва (откача се) от поляризиращото захранващо напрежение на прибора. Добавя се ограничителен резистор със стойност 15 – 150 KΩ и чувствителен наноамперметър (галванометър), които се свързват към външен добре филтриран стабилизиран токоизточник 10 – 30 V;
2. Измерва се токът на тъмно на фотодиода – при изключен импулсен генератор;
3. Импулсният генератор се привежда в режим на поддържане на непрекъснато ниво, при което светодиодът свети непрекъснато;
4. Сменят се обхватите по ниво на генератора, като за всеки обхват се измерва токът през галванометъра;
5. Резултатът за всеки обхват се коригира с тока на тъмно.

Прецизното снемане на тази характеристика е предпоставка за точно определяне на заряда, който се генерира във фотоприемника и е обект на определяне при следващите стъпки.

III. Измерване разпределението по канали в спектрометричната система

Целта на измерването е да се получи разпределението на импулсите от генератора по канали – в разглеждания случай на 15 обхвата спектрограмата съдържа 15 ясно различими пика, като всеки от тях е разположен в няколко канала вследствие на крайната амплитудна разделителна способност на спектрометъра, нестабилността на генератора и статистическия характер на процесите както в светодиода, така и във фотоприемника. Необходимо е да бъде реализирана следната последователност от действия:

1) Формираните изходни импулси от фотодетектора и *CSA* се подават към спектрометрична система (многоканален амплитуден анализатор);
2) Генераторът на светлинни импулси се превключва в импулсен режим;
3) Задава се постоянна продължителност на импулсите – 200 ns;
4) Задава се стойност на амплитудата, която се променя в хода на измерването така, че да се обхванат всички обхвати от 1 до 15;
5) Стартира се генераторът за работа с указаните по-горе параметри на сигналите;
6) Стартира се спектрометърът (многоканалният амплитуден анализатор) за натрупване на спектри за време, гарантиращо натрупване на достатъчен за статистическа обработка брой събития;
7) Данните от спектрометъра се записват за следваща обработка и определяне параметрите на системата детектор – CSA – формирователь - амплитуден анализатор.

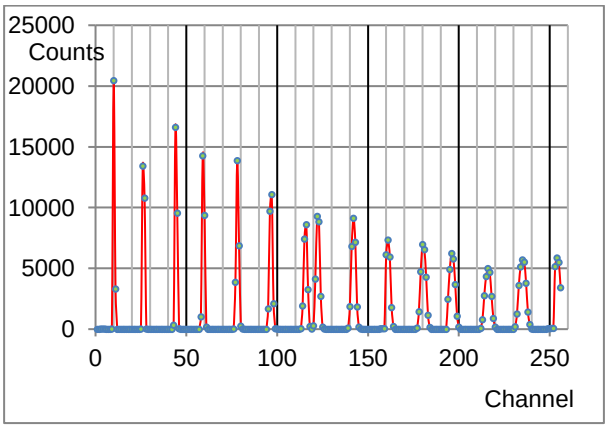
Една спектрограма, получена по описания начин, съдържа необходимите данни за точно и еднозначно определяне на връзката номер на канал – енергия на лъчението. Системата позволява да се изменят условията на експеримента – например температура на околната среда, захранващо напрежение и др., като по този начин може да се проследи хода на калибровката при промяна на съответните условия.

Определяне параметрите на системата от експерименталните данни

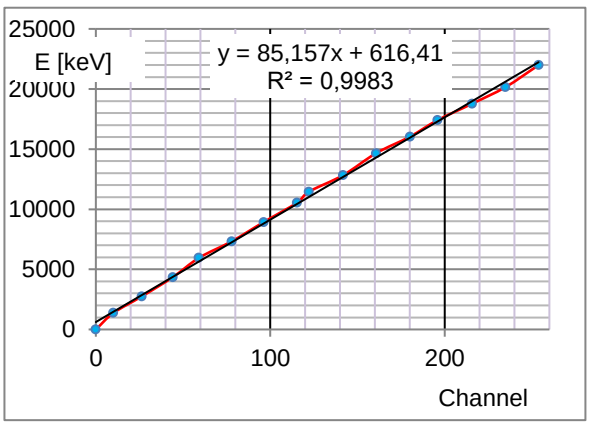
Получените данни позволяват да се извърши преминаване от скалата на каналите в скала по енергии с отчитане на индивидуалните особености и характеристики на тракта *детектор->CSA/LSA->ADC* на всяка конкретна система. Това става по следната методика:

1) От резултатите за изходния ток от фотодетектора в непрекъснат режим и продължителността на импулса от генератора се определя зарядът ΔQ, който възниква в детектора и се подава на входа на зарядо-чувствителния усилвател за всеки обхват по амплитуда на генератора;
2) От вида на материала на полупроводника и неговата средна енергия за образуване на двойка токови носители се изчислява еквивалентната енергия, отдадена от лъчението (фотонно или корпускулярно) в обема на фотодетектора. Така за конкретната геометрия на системата генератор-светодиод-фотоприемник на всеки обхват на генератора може да се съпостави енергията, която би трябвало съответното лъчение (фотонно или корпускулярно) да отдаде в обема на детектора. Това дава възможност при следващите преобразувания вместо номер на обхват да се използва еквивалентната депозирана енергия.

Спектрограмата в скалата на каналите е показана на Фиг. 2. Вижда се, че всички пикове заемат поне три канала. Това дава възможност за точно определяне центроидите на пиковете по някой от известните методи (например чрез първия момент на разпределението).



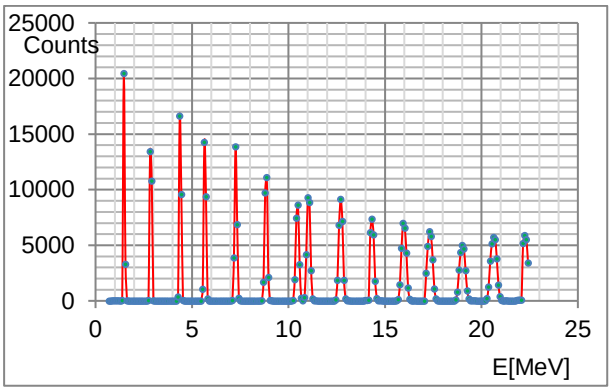
Фиг. 2



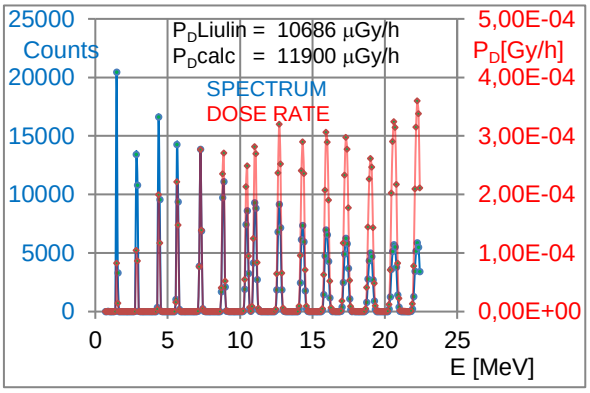
Фиг. 3

Съпоставяйки енергията на всеки пик, съответстваща на обхватите на генератора, и центроидите на тези пикове в спектъра, се стига до зависимостта на енергията от номера на канала, показана на Фиг.3. Снемането на заряда и формирането на сигнала става с линейни електронни схеми, очаквано и зависимостта $E=f(N_{Ch})$ е линейна функция. Тъй като са известни 15 точки от тази права, може да се приложи МНК, за да се определят преводните коефициенти за преминаване от номер на канал към енергия. В конкретния случай a=85.157 keV/Ch, а за свободния член b се получава 614.41 keV. По същество зависимостта $E=f(N_{Ch})$ е строго линейна (правата минава през 0 и би следвало b=0), но тъй като се работи с реални експериментални данни, се отчита и влиянието на параметрите на електронните схеми (напр. постоянотокови отмествания в усилвателя, нелинейност и пр.).

На Фиг. 4 е представена същата спектрограма, но вече в скалата на енергиите. Вижда се, че приборът покрива енергетичния обхват до 22.5 MeV.



Фиг. 4



Фиг. 5

Тази процедура е приложена за калибровка на системата Люлин 6F. При обработката на усреднени данни от 5 последователни спектъра (Фиг. 5), за които приборът определя за мощността на дозата стойност 10686.62 μGy/h, след прилагане на описаната методика се получава стойност 11900.12 μGy/h, като разликата между двете стойности е 10.2 %.

Изводи от проведените изследвания

От гореизложеното следва, че наличните експериментални данни са достатъчни, за да може да се извърши прецизна калибровка по енергия на цялата спектрометрична система, обхващаща както *CSA* и *ADC*, така и самия *Si p-i-n* фотодетектор.

Сходимостта на резултатите от двата метода (съществуващия и новопредложения) дават основания да се твърди, че предложената методика за калибриране без използване на йонизиращи лъчения може да бъде използвана за провеждане на прецизна калибровка по енергия на дозиметрични и спектрометрични прибори. Методиката е приложима и при други типове детектори, използващи фотосензори, напр. сцинтилационни детектори (базирани на вакуумни ФЕУ или Si-PMT).

Вграждането на минимална допълнителна схемотехнична част в прибора ще даде възможност за въвеждане на ефективни алгоритми за периодична автокалибровка и автодиагностика, което ще повиши точността на измерване и надеждността на прибора.

Литература:

1. Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons (1999).
2. Lutz, Gerhard, Semiconductor Radiation Detectors. Springer. Berlin Heidelberg New York, 1999, 353 p.
3. Ahmed, S.N., Physics and Engineering of Radiation Detection. Academic Press Inc. Published by Elsevier. Amsterdam, 2007, 764 p.
4. Uchihori, Y., Kitamura, H., Fujitaka, K., Dachev, Ts.P., Tomov, B.T., Dimitrov, P.G., Matviichuk, Y., 2002. Analysis of the calibration results obtained with Liulin-4J spectrometer–dosimeter on protons and heavy ions. Radiat. Meas.35, 127–134.
5. Mitev, G., L. Tsankov, M. Mitev. Light Pulse Generator for Photon Sensor Analysis. Annual Journal of Electronics, 2010, ISSN 1313-1842, Volume 4, Nº2, pp. 111–114.
6. Mitev, G., L. Tsankov, M. Mitev, E. Messomo. Light Pulse Generator for Multi-Element scintillation detectors testing. Proceedings of the 2016 XXV International Scientific Conference ELECTRONICS (ET), ISBN 978-1-5090-2882-5, IEEE Catalog Number CFP16H39-PRT, pp. 274–277.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

AN APPLICATION OF THE SITUATIONAL SOLVER TO PROBLEMS CONTAINING CONDITION RELATED TO VISIBILITY OF THE MOON BY A SATELLITE

Atanas Atanassov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: At_M_Atanassov@yahoo.com

Keywords: *Situational analysis; Orbital events; Moon-Earth shadow; Space mission analysis and design*

Abstract: *Computer simulations play an increasing role/importance in space mission design. Different conditions (visibility of the object, illumination from the Sun or the Moon, radiation background) determine the performance of different measurements with optical instruments. Various optical instruments make measurements when satellites are in the shadow of the Earth. In the absence of sunlight, it may be necessary to have no additional light pollution caused by reflected light from the Moon. This means imposing an additional condition that the Moon is below the visible horizon (behind the Earth) relative to a given satellite.*

Analogously to a model of the Earth's shadow concerning the Sun, a conical model of shadow was developed concerning the Moon as a source of reflected light. This geometric model is used for a situational condition for situational analysis purposes. Optimization has been made for application in multi-satellite analysisis.

ПРИЛАГАНЕ НА ПРОЦЕСОР ЗА СИТУАЦИОНЕН АНАЛИЗ ПРИ РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧИ СЪДЪРЖАЩИ УСЛОВИЕ СВЪРЗАНО С ВИДИМОСТ НА ЛУНАТА ОТ СПЪТНИК
Коничен модел на Лунно-Земна сянка

Атанас Атанасов

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: At_M_Atanassov@yahoo.com

Ключови думи: *ситуационен анализ; орбитални събития; анализ и проектиране на космически мисии*

Резюме: *Компютърните симулации играят нарастваща роля при проектиране на космически мисии. Различни условия (видимост на обекта, осветяване от Слънцето или Луната, радиационен фон) са определящи за провеждането на различни измервания с оптични инструменти. Различни оптични инструменти извършват измервания когато спътници се намират в условията на земната сянка. При отсъствието на слънчева светлина, може да е необходимо да няма и допълнително светлинно замърсяване от отразена от Луната светлина. Това ще рече да се наложи допълнително условие Луната да се намира под видимия хоризонт (зад Земята) спрямо даден спътник. Алгоритъма е оптимизиран за прилагане при много-спътникови анализи.*

Аналогично на модел на земната сянка по отношение на слънцето е разработен коничен модел на земна сянка и по отношение на Луната, като източник на отразена светлина. Този геометричен модел се използва за ситуационно условие за целите на ситуационен анализ.

1. Introduction

Space mission analysis and design are essential at different stages of preparation and implementation of satellite missions [1]. An essential part of the space missions' design and implementation is the so-called situational analysis. The situational analysis deals with determining optimal time intervals, suitable for the execution of satellite operations related to measurements and real-time experiments. The determination of such time intervals demands knowing the satellite

trajectories in consecutive moments and checking different situational conditions. The situational conditions are related to the objects of investigation (disposed on a planetary surface, celestial sphere or specific place of space), visibility and illumination of the objects. This type of analysis is applied to different stages of missions' preparation- starting with the conceptual study and preliminary analysis, going through missions' definition, design and development, and finishing with implementation.

Algorithms and calculation tools for space mission analysis and design are under development at the Space Research and Technology Institute at the Bulgarian Academy of Sciences. One such tool is a parallel solver for situational analysis [2]. Algorithms and program realization of the conical model of the Earth's shadow are discussed in the present work. Algorithms suitable for multi-satellite analysis are proposed.

2. Preliminary work

A parallel situation analysis solver was developed to determine time intervals when certain conditions of a geometric or physical nature are met. The goal was to solve a large number of situational problems, each with more than one independent condition. Some basic situational conditions have been developed, and the goal is to increase their number. This makes it possible to apply the situational processor in simulations of space missions using different scientific instruments and solving different scientific problems.

2.1. Situational task description model

A descriptor of situational tasks is a one-dimensional array whose elements are derived types containing the values of different attributes (parameters and constraints as well as results) of the conditions comprised in the task. The first (zero) element of the descriptor contains control information and results about the entire situational task. The following elements contain the values of different attributes (parameters and constraints as well as results) of the situational conditions.

2.2. Parallel situational analysis solver

A parallel solver for situational analysis was developed for this purpose. It is a processing program that consistently checks the feasibility of the conditions in a particular situational task. The parallelization is based on computational threads organized in a variant of the program model "pool of threads" [2]. In this variant, the threads are synchronized with each other while they receive situational tasks to solve (race condition). This excludes the solution of one situational task by more than one thread. The threads are also synchronized with the parent thread, which initiates the calculations and waits for them to complete at each step of the simulated time. Each thread takes one or more situational tasks for processing, according to the specified value of the parameter known as granularity.

2.3. Situational tasks designer

A dialogue editor of situational tasks is developed as an auxiliary tool. The compilation of a situational task is initiated, situational conditions are successively selected, and their respective parameters and restrictions are set with the help of dialogue controls. An already compiled situational task can be rejected or approved and saved as a template for future use. One already assembled situational task can be related to a particular satellite or all satellites of the respective multi-satellite system.

3. Conical model of the Lunar-Earth/earth's shadow concerning the moon

Usually, the "shadow of the Earth" is spoken of to the Sun, as the source of light. Similarly, we can consider a geometric shadow pattern when the moon is the source of reflected light (Fig. 1). Below, by "shadow of the Earth" we will understand a shadow caused by the Moon.

The lines $\overleftrightarrow{t_1}$ and $\overleftrightarrow{t_2}$ are tangent at the points $(\mathrm{T_{M,1}}, \mathrm{T_{M,2}})$ and $(\mathrm{T_{E,1}}, \mathrm{T_{E,2}})$ to the "Moon" and the "Earth " respectively in a plane defined by the vectors $\vec{R}_{ME}$ and $\vec{r}_{sat}$. From the similarity of the triangles $\Delta \mathrm{O}_M T_{M,1} H_M$ and $\Delta \mathrm{O}_E T_{E,1} H_M$ a formula can be derived for the length of the line segment $\overline{\mathrm{O_M H_M}} = \mathrm{H_M}$ which is analogous to the height of the conical shadow of the Earth caused by the Sun:

$$\mathrm{H_M} = \frac{\mathrm{R_E}.\left|\vec{R}_{ME}\right|}{\mathrm{R_M} - \mathrm{R_E}}.$$

In this formula, $\mathrm{R_E}$ denotes the Earth's radius, the distance between the Moon and the Earth **(**the magnitude of the vector $\vec{R}_{ME}$**)** varies during the synodic period in the interval from 363 104 km to 405 696 km**.** The length of the quantity $\mathrm{H_M}$, which is equivalent to the length of Earth's shadow and can be assumed to be a slowly changing quantity.

The next step is to determine whether the satellite is in the shadow of the Moon-Earth. One condition for this is that the sub-satellite point is located in the unlit part of the earth's surface (necessary condition). It is equivalent to checking if $\measuredangle \mathrm{H_M O_E T_{E,2}} < \measuredangle \mathrm{H_M O_E S}$:

$$\frac{\vec{R}_{ME}.\vec{r}_{sat}}{\left|\vec{R}_{ME}\right|.\left|\vec{r}_{sat}\right|} > \frac{\overline{\mathrm{O_M T_{M,2}}}}{\mathrm{H_M}},$$

because it compares the cosines of the indicated angles on both sides of the inequality without the use of arccosines.

To determine whether the satellite is in the shadow of the Moon-Earth, it remains to compare the segments $\overline{S'S''}$and $\overline{S'S}$ on the line $\overleftrightarrow{\mathrm{d}}$, perpendicular to the line $\overleftrightarrow{\mathrm{o}}$. From the similarity of the triangles $\Delta \mathrm{H_M} S'S''$and $\Delta H_M T_{M,2} O_M$ it follows:

$$\overline{S'S''} = \mathrm{R_M}.\frac{\mathrm{H_M} + R_{ME} + \overline{O_E S'}}{\overline{T_{M,2} H_M}} = \mathrm{R_E}.\frac{\mathrm{H_M} + R_{ME} + |\vec{r}_{sat}|.\cos(\measuredangle S' O_E S)}{\sqrt{\mathrm{H_M}^2 - \mathrm{R_M}^2}}.$$

The length of the line segment $\overline{T_{M,2} H_M}$, a leg in the right triangle $\Delta H_M T_{M,2} O_M$, is determined based on the length of the Moon-Earth's shadow $\mathrm{H_M}$ and the magnitude of the radius of the Moon $\mathrm{R_M}$ or finally:

$$\overline{S'S''} = \mathrm{R_M}.\frac{\mathrm{H_M} + R_{ME} + r_{sat}.\frac{\vec{R}_{ME}.\vec{r}_{sat}}{\mathrm{R_{ME}}\,.\,r_{sat}}}{\sqrt{\mathrm{H_M}^2 - \mathrm{R_M}^2}}.$$

or

$$\overline{S'S''} = \mathrm{R_M}.\frac{\mathrm{H_M} + R_{ME} - \vec{e}_{ME}.\vec{r}_{sat}}{\sqrt{\mathrm{H_M}^2 - \mathrm{R_M}^2}}$$

where $\vec{e}_{ME}$ is the unit radius vector of the Moon.

The length of $\overline{S'S}$ is determined by $\Delta O_E S'S$**:**

$$\overline{S'S} = |\vec{r}_{sat}|.\,sin\measuredangle S' O_E S$$

or

$$\overline{\mathrm{S'S}} = \mathrm{r_{sat}}.\sqrt{1 - \left(\frac{\vec{R}_{ME}.\vec{r}_{sat}}{\left|\vec{R}_{ME}\right|.\left|\vec{r}_{sat}\right|}\right)^2}.$$

The comparison between the sizes of the sections $\overline{S'S''}$ and $\overline{S'S}$ gives a final solution to the problem of the satellite falling into the Moon-Earth shadow.

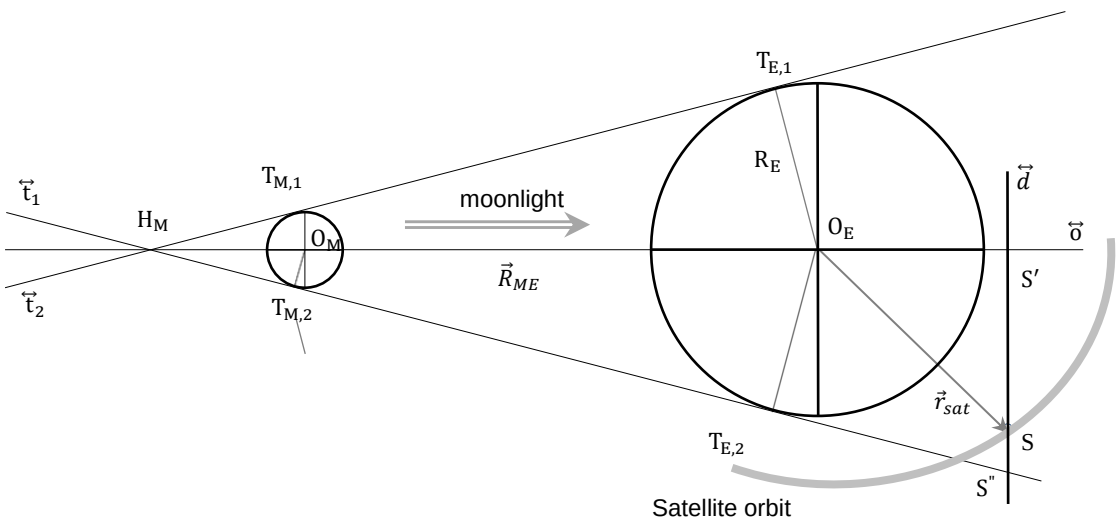


Fig. 1. Scheme of the Moon-Earth configuration and shadow zone

4. Program implementation

The checking of the situational condition is done in the Sit__76 subroutine written in the Fortran language (Appendix B). Calculations are performed on the model presented in chapter 3. To ensure parallel computations, all used local variables are declared in the **AUTOMATIC** statement.

In simulations of multi-satellite missions, some calculations about the geometry of the Moon-Earth's shadow are the same for all satellites. For this reason, the subroutine named **Preliminary_Calculations_Moon** is added to increase computational efficiency. It performs some calculations that depend on the Moon-Earth distance. Some subroutines (for determining the distance between the Earth and the Moon, as well as for a Julian day) are taken from [3]. The subroutine **If_Flag** has control functions and is called by all situational conditions functions.

5. Example of application

As an illustration of the conic model under consideration, figure 2 shows a timing diagram of the passage of a satellite through the shadow of the Earth with the source Sun and the shadow with the source Moon. Also shown is a passage over a circular area of the earth's surface with a latitude of the center 20° and an angular radius 10°. The orbit of the satellite has a semi-major axis a= 7200 km, eccentricity e= 0.001 and inclination i= 45°.

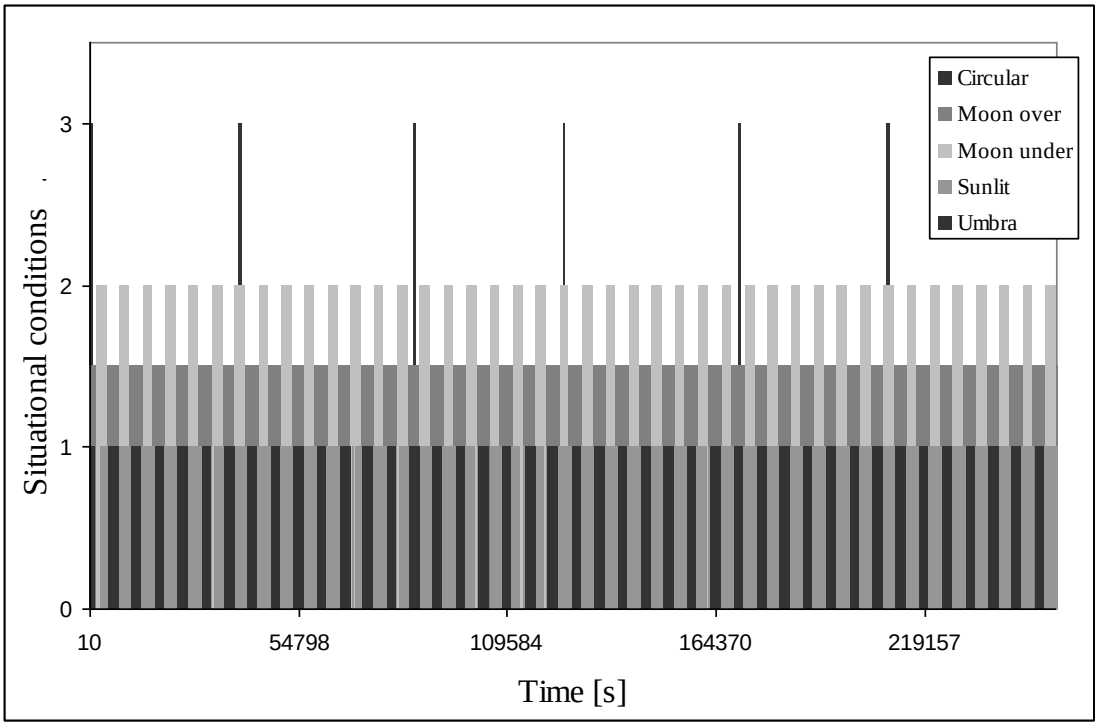


Fig. 2. Time diagram of the situational conditions. "Moon under" the earth's horizon; "Moon over" the earth's horizon relative to the satellite; the satellite is over the "Circular" region, the satellite is in "Umbra" and the satellite is in the "Sunlit" region around the Earth.

6. Conclusion and future work

Based on the Moon-Earth shadow model, a situational condition has been developed for the purposes of situational analysis. Incorporating this condition into situational tasks along with other situational conditions is practically important for solving remote sensing tasks as well as other areas of space exploration. Optimization methods of situational analysis are under progress for such tasks that contain more conditions.

References:

1. Wertz, J. R., Larson W. J., Space Mission Analysis and Design. Microcosm Press, Kluwer Academic Publishers, third ed., 1999.
2. Atanassov, A. M., 2016. Parallel satellite orbital situational problems solver for space missions design and control, *Advances in Space Research*, v. 58, 9, pp. 1819–1826.
3. Vallado, D. A., 2013 Fundamentals of Astrodynamics and Applications. Microcosm Press, third ed.

Appendix A. Situational condition descriptor

```
 type     SitCond
   integer        sit_code      ! code of the situation condition; every situation have some code
   integer        sat_num      ! which satellite concern this situation task
   logical        flag          ! satisfaction of sit.cond: .false. or .true.
   logical     begin_sit        ! local sit.cond parameter
   logical     fl_rezults       ! if .true. - flag za kraj na situacija i gotovi rezultati
   real*8      t12(2,3)         ! Start and final times when the condition is meet
   real        duration         ! duration of a current situacional condition/event
   real          dt_sit         ! acumulates “duration” of sit.cond before ending
   real      t_cond_total       ! acumulates total durations for the hole observational period
  UNION
  …
    MAP                         ! Sit_76: The Moon is under horizon
       logical     Moon_under       ! Moon's "umbra"
       logical     Moon_horizon     ! Moon on horizon (rise/set)
       logical     Moon_over        ! Moon's light
    END MAP
  …
  END UNION
 end type  SitCond

 TYPE     sit_task
  UNION
   MAP                          ! Only for sit.tasks control- contain number of situation conditions
      integer     SP_code          ! Contains serial number of the situation
      integer     SP_type          ! Contains unique number of situation task type
      integer     max_cond         ! Contains the number of conditions in the task
      logical     requirement      ! satisfaction of sit.task: .false. or .true.
      integer     opt_level        ! Optimization algorithm: 0- none, 1/2/3
      logical     begin_sit
      logical     fl_rezults       ! if .true. - end of interval
      real*8      t1,t2            ! Start and final times when the task is meet
      real        duration,dt_sit  ! duration of the time interval
      real      t_task_total       ! accumulates total durations for the hole simulation period
      integer     aim_code         ! kod na cel za situacijata
   END MAP
   MAP
     type (SitCond) sit_cond
   END MAP
  END UNION
 END TYPE  sit_task
```

Appendix B. Program code of the situational condition

```
FUNCTION     Sit__76(t,dt,xv,Moon_under,Moon_horizon,Moon_over,fl_rezults, &
                                                    duration,begin_sit,dt_sit,t12)
 USE  DFlib
 logical     Sit__76, Moon_under,Moon_horizon,Moon_over,fl_rezults, begin_sit
 real                                          duration,          t12*8(2,3)
 real*8          t,dt,xv(3)
!_____________________________________________________________________
 logical    flag
 real*8     Re/6378.388D3/,Rm_Moon/1737.4D3/
 real*8         Rm_M,cd_M(3) ! modul na rad.vek.; cosinus directions
 real*8      R_EM,H_shad,cos_psi,cos_psi0,S1S,S1S2,p
 real*8             xyz_Moon(3)!,rectasc,decl,JD,JD_frac
 common     /cMoon_Vall/xyz_Moon
 AUTOMATIC     flag,cos_psi,cos_psi0,p,S1S,S1S2
```

```
!.........................................

  r_sat= SQRT(xv(1)**2 + xv(2)**2 + xv(3)**2) ! a module of |radius - vektor| of the satellite
      cos_psi = (     xyz_Moon(1)*xv(1) + xyz_Moon(2)*xv(2) + xyz_Moon(3)*xv(3))/ &
           (SQRT(xyz_Moon(1)**2    + xyz_Moon(2)**2    + xyz_Moon(3)**2 )*r_sat)
a1:IF(cos_psi.LT.cos_psi0) THEN ! necessary condition checking
           p = -r_sat*cos_psi;
       S1S2= (R_EM + H_shad +  p )*Rm_Moon/SQRT(H_shad**2 - Rm_Moon**2)
       S1S= SQRT((r_sat - p)*(r_sat + p));
  a2:IF(S1S.LT.S1S2) THEN; flag=.true.
                              Moon_under=.true.;  Moon_over=.false.
                               ELSE;  flag=.false.
          ENDIF a2
               Moon_under=.false.; Moon_over=.true.
                 ELSE; flag=.false.
         Moon_under=.false.; Moon_over=.true.
     ENDIF a1;

     CALL  If_Flag(dt,Sit__76,flag,fl_rezults,duration,begin_sit,dt_sit,t12)

RETURN
ENTRY   preliminary_calculations_Moon()

  R_EM  = Re     *SQRT(xyz_Moon(1)**2 + xyz_Moon(2)**2 + xyz_Moon(3)**2)  ! Earth-Moon distance
  H_shad= Rm_Moon*R_EM/(Re - Rm_Moon);
cos_psi0= Rm_Moon/H_shad ! Neobhodimo uslovie

END FUNCTION  Sit__76
```

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

WAVE PROPAGATION PROBLEMS THROUGH MULTI-LAYERED MEDIA

Stanimir Karapetkov[1], Philip Philipoff[2], Venkatanathan Natarajan[3], Mario Muñoz[4], Mehmet Salih Bayraktutan[5], Simeon Panev[1] , Blagovest Panev[6], Venelin Kondov[7], Diana Bankova[1], Dimo Dimov[8]

[1]Technical University – Sofia
[2]Institute of Mechanics – BAS
[3]Sastra University, India
[4]Universidad Carlos III de Madrid, Spain
[5]Freelancer. Erzurum, Turkiye
[6]LevIns Insurance Company
[7]Kondov & Kliqi design team, Rome, Italy
[8]BestVet Clinic
e-mail: skarapetkov@yahoo.com

Keywords: *SH wave propagation problem, Oriented graph, Transfer functions, Integrals in space L_2.*

Abstract: *The mathematical description of wave boundary value problems contains functional equations. They can be: matrix differential, and/or partial differential, and/or integral, and/or integral-differential equations. They are associated with integral and/or integral-differential boundary conditions. The description can be algebraized by a suitable integral transformation. The derivatives and integrals in the functional equations with respect to the time variable "t" are transformed into polynomial functions of the complex variable "s". This transformation is performed according to the image acquisition rules. The general scheme of the solution can be visualized by building an ORIENTED GRAPH of the task - BLOCK DIAGRAM. This graph represents the core of the structural solution. From it, the general complex transfer function of the task can easily be determined ANALYTICALLY. This function can be multiplied in the complex domain by the representation of external loadings. As a result, the image of the sought solution (integral) will be obtained. From this image, by inverse integral transformation, the desired solution in the time domain can be obtained. The kernel of the structural solution (DIRECTED GRAPH) can also be created in the time domain without looking for a transfer function. In this case, an equivalent solution (integral) of the wave boundary value problem is obtained. The solving system of equations in this time domain is DIFFERENTIAL. Efforts to ANALYTICALLY obtain the general transfer function of the task in the complex area depend not so much on the type of derivatives and/or integrals over the time variable "t" involved in the initial mathematical description, as on the STRUCTURE AND TYPE of the considered limited or unlimited spaces (areas) and from the structure and type of their BOUNDARIES [10]. The sought integrals in the space L_2 can be obtained ANALYTICALLY or NUMERICALLY from the solving algebraic system of equations with considered boundary and initial conditions.*

РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ВЪЛНИ В МНОГОСЛОЙНИ СРЕДИ

Станимир Карапетков, Филип Филипов, Венканатхан Натараджан, Марио Муньос, Мехмет Салих Байрактутан, Симеон Панев, Благовест Панев, Венелин Кондов, Диана Банкова, Димо Димов

Технически университет – София
e-mail: skarapetkov@yahoo.com

Ключови думи: *Разпространение на SH вълни, Ориентиран граф, Предавателна функция, Интеграли в пространството L_2*

Резюме: *Математическото описание на вълнови гранични задачи съдържа функционални уравнения. Те могат да бъдат: матрични диференциални, и/или частни диференциални, и/или интегрални, и/или интегродиференциални уравнения. Свързани са с интегрални и/или интегродиференциални гранични условия. Описанието може да се алгебризира чрез подходящо интегрално преобразование. Производните и интегралите във функционалните уравнения по отношение на времевата променлива „t" се трансформират в полиномиални функции на комплексната*

променлива “s”. *Тази трансформация се извършва съгласно правилата за получаване на изображения. Общата схема на решението може да се визуализира чрез построяването на ОРИЕНТИРАН ГРАФ на задачата - БЛОКОВА СХЕМА. Този граф представлява ядро на структурното решение. От него лесно може да се определи АНАЛИТИЧНО общата комплексна предавателна функция на задачата. Тази функция може да бъде умножена в комплексната област по изображението на външните въздействия. В резултат ще се получи изображението на търсеното решение (интеграл). От това изображение чрез обратно интегрално преобразуване може да се получи самото търсено решение във времевата област. Ядрото на структурното решение (ОРИЕНТИРАН ГРАФ) може да се създаде и във временната област, без да се търси предавателна функция. В този случаи се получава еквивалентно решение (интеграл) на вълновата гранична задача. Разрешаващата система уравненя в тази временна област е ДИФЕРЕНЧНА. Усилията за АНАЛИТИЧНО получаване на общата предавателна функция на задачата в комплекснста област, зависят не толкова от вида на участващите в началното математическо описание производни и/или интеграли по времевата променлива „t”, колкото от СТРУКТУРАТА И ВИДА на разглежданите ограничени или неограничени пространства (области) и от структурата и вида на техните ГРАНИЦИ [10]. Търсените интеграли в пространството* L_2 *могат да се получат АНАЛИТИЧНО или ЧИСЛЕНО от разрешаващата алгебрична система уравнения с отчетени гранични и начални условия.*

1. SH (polarized in horizontal plane) wave propagation through multi layered media. The wave propagation process, at the direction of the axis *x* perpendicular to the investigated multilayered media (Fig. 1), could be described by the following equation:

(1) $$\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} - V_{SH}^2 \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} = 0\,,$$

където $V_{SH} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ is the wave propagation velocity for the shear waves SH, μ=const is the Lame coefficient, ρ=constant represents mass density. The function *w(x,t)* is the anti plane *(X, Y)* component of the displacement vector in the direction parallel to the axis *Z*. On the boundary between the two neighbouring layers “i” and “i+1” the corresponding boundary conditions are satisfied. These boundary conditions represent that the unknown displacements and forces (stresses) are continuous:

(2) $$w(x,t)^{i}_{boundary} = w(x,t)^{i+1}_{boundary}\,,$$

(3) $$P^{i}_{boundary} = \left(\sigma_{ij} n_j\right)^{i}_{boundary} = -\,P^{i+1}_{boundary} = -\left(\sigma_{ij} n_j\right)^{i+1}_{boundary}\,,$$

where Pi is the boundary force vector of the corresponding layer, “σ_{ij}” is the stress tensor, and “n_j” is the corresponding normal vector. The initial conditions with respect to the displacement and to the first difference are homogeneous. The both functions depend on the spatial variable “x” and time argument “t” in the initial moment “t=0”:

(4) $$w(x,t)\,|_{t=0} = 0, \qquad \left.\frac{\partial w(x,t)}{\partial t}\right|_{t=0} = 0.$$

2. For the DIRECT problem (identifying the free surface signal from a set signal in the bedrock) the displacement boundary conditions are set as a known function of the time variable “t”:

(5) $$w(0,t) = X_b\,(t)\,.$$

The boundary conditions in terms of forces on the free surface are homogeneous for both the DIRECT and the INVERSE (by a given signal on the free surface to identify what the signal was in the bed rock) problems are HOMOGENEOUS:

(6) $$P^{surface} = \left(\sigma_{ij} n_j\right)^{surface} = 0.$$

3. On the other hand, for the INVERSE problem on the free surface, the displacement boundary condition is given in the mode of the known time function “t”:

(7) $$w(l,t) = X_s\,(t).$$

4. Structural mathematical model of the multi layered structure. The structural model of the multilayer media is shown in Fig. 1. The SH Wave Propagation Reflect – Pass Perpendicular Process is illustrated on the Fig.1 a. The Block - Diagram Model of the media under investigation is shown in Fig.1 b. The Flow Graph of the system signals is shown in the Fig.1 c.

The above formulated SH wave boundary condition problem (1)–(7), could be solved by a system of differential equations, initial and boundary conditions. This differential system consists of following elements:

- n equations in the mode (1), one differential equations for each layer, because the velocity function $V(x)$ depending on spatial co-ordinate x is discontinued and is of a terrace-like type;
- 2(n - 1) boundary conditions in the mode (2), (3);
- surface boundary condition in the mode (6);
- initial conditions in the mode (4),
- and either of boundary conditions (cinematic excitation) (5) for the DIRECT problem or (7) for the INVERSE problem.

The above formulated wave boundary problem (1)–(7) can be transformed in the complex domain. The solution of the investigated problem (1)–(7) in the complex domain could be obtained by solving the following algebraic system of equations, which could be solved analitically (analitical solution of the DIRECT and INVERSE problems) as follows:

$$
\begin{aligned}
&\mathbf{X}_1(\mathbf{s}) = \mathbf{W}_1(\mathbf{s})\left[(\mathbf{1}+\beta_1(\mathbf{s}))\mathbf{X}_\mathbf{b}(\mathbf{s}) - \beta_1(\mathbf{s})\mathbf{X}_1^*(\mathbf{s})\right],\\
&* * * \quad * * * \quad * * *\\
&\mathbf{X}_\mathbf{i}(\mathbf{s}) = \mathbf{W}_\mathbf{i}(\mathbf{s})\left[(\mathbf{1}+\beta_\mathbf{i}(\mathbf{s}))\mathbf{X}_{\mathbf{i}-\mathbf{1}}(\mathbf{s}) - \beta_\mathbf{i}(\mathbf{s})\mathbf{X}_\mathbf{i}^*(\mathbf{s})\right],\\
&* * * \quad * * * \quad * * *\\
&\mathbf{X}_\mathbf{i}^*(\mathbf{s}) = \mathbf{W}_\mathbf{i}(\mathbf{s})\left[\beta_{\mathbf{i}+\mathbf{1}}(\mathbf{s})\mathbf{X}_\mathbf{i}(\mathbf{s}) + (\mathbf{1}-\beta_{\mathbf{i}+\mathbf{1}}(\mathbf{s}))\mathbf{X}_{\mathbf{i}+\mathbf{1}}^*(\mathbf{s})\right],\\
&* * * \quad * * * \quad * * *\\
&\mathbf{X}_\mathbf{n}^*(\mathbf{s}) = \mathbf{W}_\mathbf{n}(\mathbf{s})\ \mathbf{X}_\mathbf{n}(\mathbf{s})\ .
\end{aligned}
\tag{8}
$$

The unknown variables in the system (8) ($X_1, X_2,...,X_i.,...X_n, X^*_1, X^*_2,..., X^*_i,..., X^*_n$) represents the displacements, velocities or accelerations of the media particles under investigation. The coefficients β=β(s)= Re β (s)+ j Im β (s) in the system (8) are reflection and refraction layer ratios (see Fig. 1 b, Fig. 1 c). They are known complex functions of the parameter of integral transformation "s". The function matrix of the system (8) is asymmetric. Based on this fact, the common transfer function of the problem Ψ(s) could be obtained by recurrent elimination of the system parameters. This function physically represents the quotient between images of input and output signals of the geological structure under investigation:

$$
\Psi(\mathbf{s}) = \frac{\left\{\mathbf{X}_{\mathbf{output}}(\mathbf{s})\right\}}{\left\{\mathbf{X}_{\mathbf{input}}(\mathbf{s})\right\}} \tag{9}
$$

Substituting the analytical complex parameter "s" by the numerical imaginary parameter "jω" into system of equations (8), it is possible to calculate numerically the formulated DIRECT and INVERSE problems by means of Fourier integral transformation (numerical solution of the DIRECT and INVERSE problems).

5. Quadruple symmetric real functions - Fig.2. The coefficients β=β(jω)=Reβ(ω)+ jImβ(ω) in the system (8) are reflection and refraction layer ratios according to the Willebrord Snellius (1580–1626) low (see Fig. 1 b, Fig. 1 c). They are known complex functions of the frequency ω. The rheology properties of the layers under investigation from structural model in Fig. 1 are presented in the mathematical description (8) by corresponding layer transfer function signed $W_i(j\omega)$ and corresponding reflection and refraction coefficients signed $\beta_i(j\omega)$.

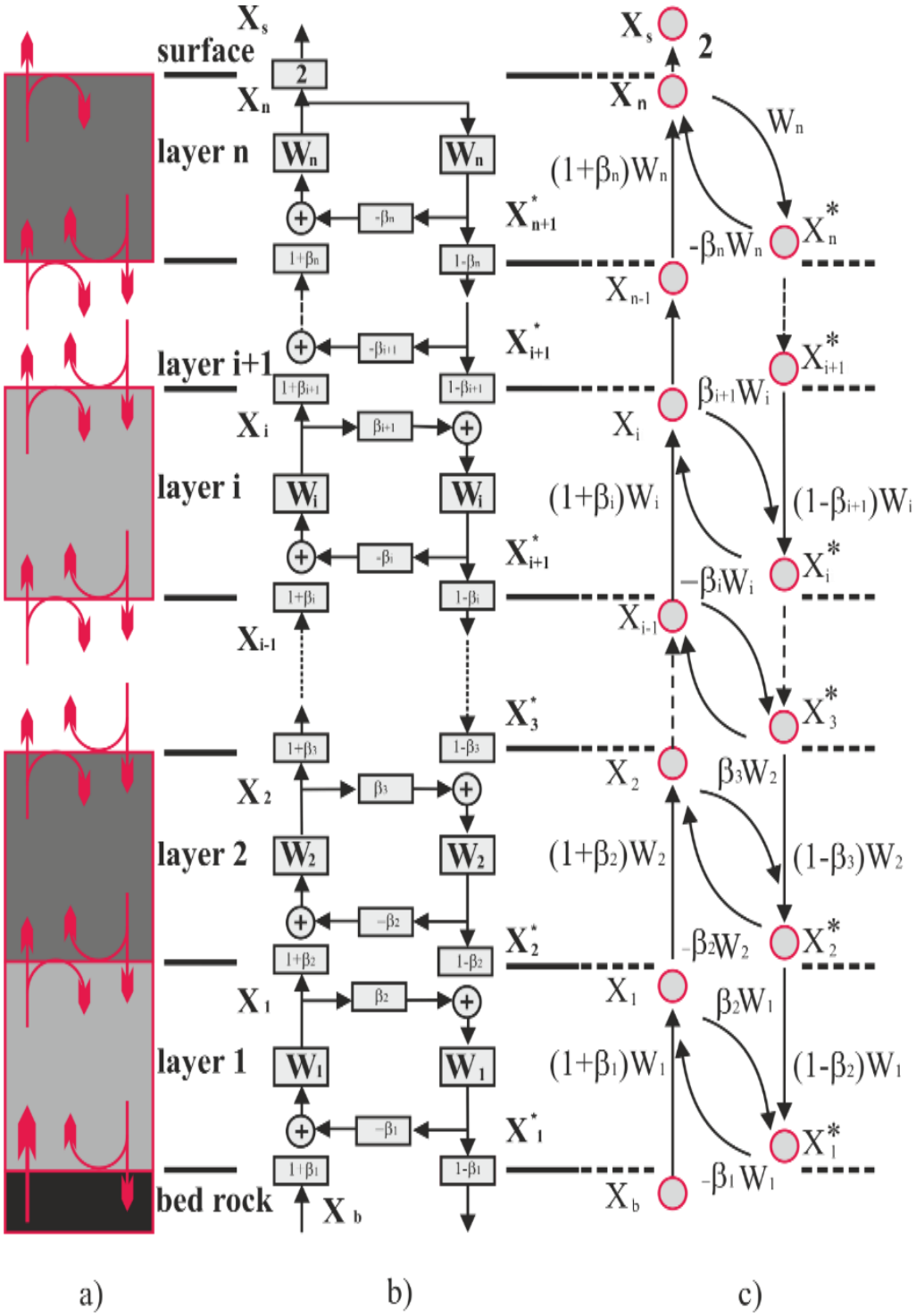


Fig. 1. Multilayered Media Structural Model. a) SH Wave Propagation Reflect – Pass
b) Perpendicular Process. c) Signal Flow Graph

By suitable selection of the real and imaginary parts of the coefficients $\beta_i(j\omega)$ can be obtained quadruple symmetric real functions presented in the first quadrant of the Fig. 2 in a capacity of searched problem solution. In case of real and imaginary parts of the coefficients β_i according to the conditions of Theorem 1 of the present paper, will get the signal in the second quadrant. In case of real and imaginary parts of the coefficients β_i according to the conditions of Theorem 3 of the previous paper, will get the signal in the third quadrant. The signals from third quadrant and from fourth quadrant can be obtained also in case of real and imaginary parts of the coefficients βi according to the conditions of Theorems 2 and 4 of the previous paper respectively. The first five theorems (they are published [8] as a sub

conditions in the theorem signed by * and here points) in previous publication describes the Symmetry - Conjugation relation [1-11]:

- **Theorem 1** (The phenomenon “Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Conjugation” in the frequency domain). The complex Fourier F(jω) spectra of the symmetric real functions in the first and second quadrants are conjugated as well as.
- **Theorem 2** The complex Fourier F(jω) spectra of the symmetric real functions in the third and fourth quadrants are conjugated respectively.
- **Theorem 3** (The phenomenon “Anti Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Anti Conjugation” in the frequency domain). The complex Fourier F(jω) spectra of the anti symmetric real functions in the first and third quadrant are anti conjugated as well as.
- **Theorem 4.** The amplitudes of the functions in first and second quadrants are both positive, while these of the amplitudes for the functions for third and four quadrants are both negative. The functions under investigation could be of arbitrary amplitudes – negative or positive. The corresponding complex Fourier F(jω) spectra also are of arbitrary type amplitudes - negative or positive.
- **Theorem 5** (Frequency indistinguishable). Four quadruple symmetric real functions are frequency indistinguishable.
- **Theorem 6** [9,11] (The phenomenon “Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Conjugation” in the frequency domain. The phenomenon “Anti Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Anti Conjugation” in the frequency domain. The simultaneous operation of the Theorems 1 and 3 leads to even and odd decomposition of the Fourier complex spectrum of the common function $F^{common\ function}(j\omega)$ with length N in the time domain. This result represents spectral function, composed by the equivalent nonzero real and imaginary spectral parts with length N/2 in the frequency domain $R_{\mathrm{e}}^{even\ left}(\omega)$ and $jI_m^{odd\ right}(\omega)$) as follows:

(10) $$F^{common\ function}(j\omega) = 2\left(R_{\mathrm{e}}^{even\ left}(\omega) + jI_m^{odd\ right}(\omega)\right).$$

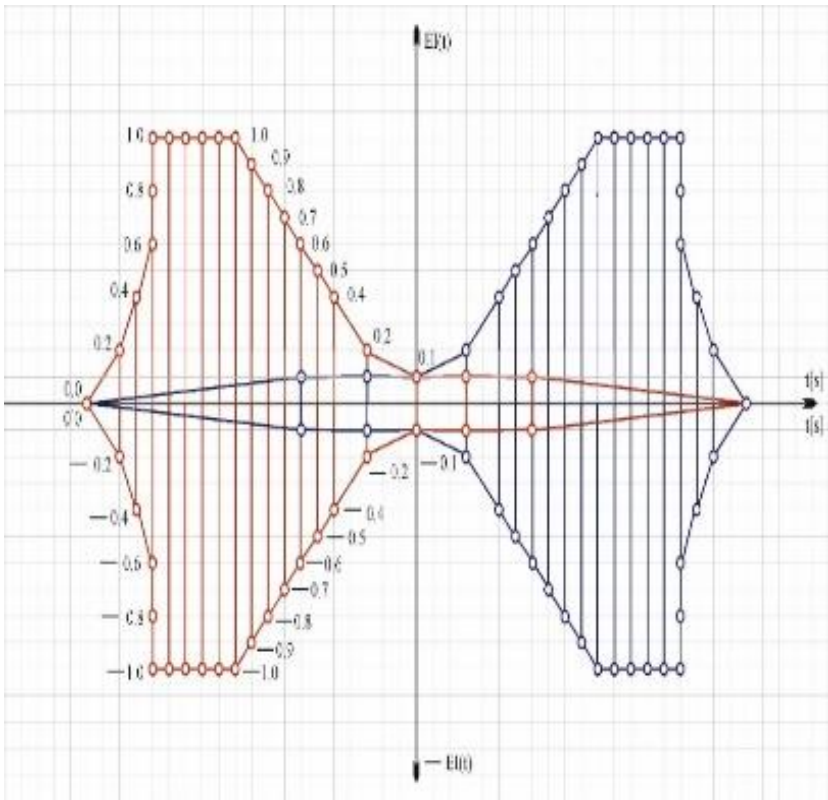


Fig. 2. Quadruple symmetric real functions

6. Conclusions. The report presents a structural analytical approach to solving wave boundary value problems - for example SH wave propagation in multi-layered structures [3,4,6,7,8,9,10,11]. The

complex algebraic system (8) admits an analytic solution, since the transfer functions of the individual layers are fractional-rational functions. The transfer function of the general boundary value problem, which can be obtained from (8), is also a fractional-rational function. Such an analytical solution of wave boundary value problems in multi-layered media is proposed here for the first time. The theorems proved in the report provide an opportunity for an effective study of the obtained final integrals in the time domain of the investigated wave boundary value problems. Theorem 6 [9, 11], for example, can be interpreted as an analog variant of the Cooley and Tuckey FFT scheme [5].

7. Acknowledgments: The authors of the report express their gratitude to the Bulgarian and foreign companies: СТРЕЗА ЕООД, ЗК ЛевИнс Младост 4, ПЕНТАХРОН ЕООД, GPS Control SA, Алтерко Роботикс ЕООД, Kondov & Kliqi Design Team – Italy, for the moral and financial support of this research.

References:

1. Smirnoff, V.I., (1974), Course of Higher Mathematics, v.1, “Nauka”, Moscow, 1974, (in Russian).
2. Belman, R., (1976), Introduction in Matrix Theory. —M.: Nauka, 1976 (in Russian).
3. Ph. Philipoff, (1987), Modeling of soil-structure interaction systems under seismic loadings, Ph. D Dissertation, Institute of Mechanics–BAS, Sofia, Bulgaria, 1987 (in Bulgarian).
4. Philipoff, Ph. (1990), Analysis and modeling of civil engineering structures under seismic loadings by the dynamic condensation method, Postdoc MSc. Dissertation, TU-Sofia, Bulgaria, 1990 (in Bulgarian).
5. Poularikas, A. D. (2000), The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing, CRC Press LLC, Springer Verlag, Boca Raton FL, New York, 2000, (in English).
6.Philipoff, Ph., Ph.Michaylov, (2007), „BELENE Nuclear Power Plant Numerical and Experimental Bedrock, Layers and Surface Signals“, J. Applied Mathematical Modeling, Elsevier, Volume 31, Issue 9, September 2007, Pages 1889–1898 (in English).
7. Philipoff, Ph, V.Tchobanov, M.Grammatikopoulos, Ph.Michaylov, (2009), „One Infinite Boundary Soil-Structure Interaction Mathematical Model“, Siberian Journal of Numerical Mathematics, RAN - Seberian branch of Russian academy of sciences, (Сибирский журнал вычислительной математики, РАН Сиб.отд-ние Новосибирск), Том 12, №2, pp. 221-230 (in Russian).
8. Jivkov, Venelin, Philip Philipoff, Anastas Ivanov, Mario Muñoz, Galerida Raikova, Mikhail Tatur, Philip Michaylov, (2013), Spectral properties of quadruple symmetric real functions. Applied Mathematics and Computation 221 (2013) pp. 344–350, (in English).
9. Jivkov, Venelin, Philip Philipoff, (2016), Quadruple Symmetric Real Signals Spectral Even and Odd Decomposition, Building Materials and Structures, UDK: 624.9.042.7, 699.841, doi: 10.5937/ grmk1603003M, N3 2016, (in English).
10. Живков, Венелин, Симеон Панев, Филип Филипов, (2020), Разпространение на вълни в ограничени и неограничени пространства (Wave propagation in limited and unlimited spaces), “СОФТТРАДЕ“, ISBN 978-954-334-341-9, (in Bulgarian).
11. Филипов, Филип, (2021), Структурен подход за решаване на някои вълнови гранини задачи (Structural Approach for Solving Some Boundary Condition Problems), Проект на дисертация за получаване на научната степен доктор на науките, ТУ–София (in Bulgarian).

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

КОСМОЛОГИЯТА ПО ПЪТЯ КЪМ ОБЩА ФИЗИЧЕСКА ТЕОРИЯ

Велко Велков

e-mail: velvel@mail.bg

Ключови думи: *космология, фундамент на физиката, обща физическа теория*

Резюме: *Докладът е посветен на ролята, мястото и значението на космологията по пътя на изграждане на липсващата обща физическа теория. Отхвърляйки следвания от наложилата се към момента линия във физическа наука за изграждане на обща физическа теория чрез обединяването или сливането на двете господстващи във физиката теории: Теорията на относителността и Квантовата механика, авторът предлага нов път за постигане на високата цел. Предложен е подход, основан на разкритата и теоретично обоснована от него реална физическа среда, която изпълва хомогенно, изоморфно и изотропно цялото космическо пространство, явява се фундамент на физическата реалност и общо физическо начало от микро до макро нивата на структурирането ѝ.*

THE COSMOLOGY ON THE WAY TO AN UNIFIED PHYSICAL THEORY

Velko Velkov

e-mail: velvel@mail.bg

Keywords: *cosmology, fundament of the physics, general physical theory*

Abstract: *The report is dedicated to the role, the place and the significance of the cosmology on the way to the missing unified physical theory creation. Rejecting the generally accepted stand point of the physical science to a unified physical theory through the unification or merging of the General Theory of Relativity and Quantum Mechanics, the author proposes a new way for the lofty goal achieving. An approach has been proposed, based on the real physical environment revealed and theoretically substantiated by the author, which fills homogeneously, isomorphically and isotropically the entire cosmic space and is the foundation of physical reality and a general physical beginning from micro to macro levels of its structuring.*

Настоящият доклад е насочен към активиране и актуализиране на темата за изграждане на обща физическа теория, защото е аномалия при големите достижения в научно-приложно, техническо и технологично отношение, физическата наука да изостава в научно-познавателно отношение, като няма цялостна физическа теория. Както и към това да представи алтернативен подход за постигането на тази цел, базиран на резултатите от актуални изследвания на автора. Впрочем, изграждането на единна физическа теория винаги е била високата цел на физическата наука, на която посветиха усилията, труда и дори мечтите си много видни учени физици. Тази цел все още не е достигната и за съжаление няма да бъде постигната скоро, ако се следва само и единствено избрания път за постигането ѝ а именно на обединяване или сливане на теоретичните основи и постановки на две от господстващите, приети и утвърдени теории във физиката. Те, съгласно преобладаващото мнение сред физическата научна общност, са изчерпателни по отношение изясняването на физическите явления и процеси на микро и макро нива на организация на физическата реалност, съответно Квантовата механика (КМ) и Теорията на относителността (ТО), специална и обща. И това, отново според авторитетите във физиката, е достатъчно основание за обединяването им в единна обща теория, като за целта вече доста време се следва тази линия, но без успех.

Изразените по-горе песимистично твърдение и резерви не са без основание, ако се вземат предвид следните обстоятелства. Първо, няма засега никаква сериозна научна

разработка, която да предпоставя и дава основание и надежда за изграждането на дълго чаканата физическа теория.

Второ, констатацията, че указаните две теории, въпреки, че изясняват някои от наблюдаваните физически явления и процеси в своята област, част от които спорно от физическа гледна точка, все още не могат да изяснят непротиворечиво, достоверно и най-вече в единство, друга още по-голяма група физически феномени. Например, не са изяснени еднозначно и точно природата и механизма на гравитацията, най-съществената и възлова част от областта на ТО, считана и за теория на гравитацията, както и придобиването на масата и другите свойства на елементарните частици на материята, основополагащи от областта на КМ. Както и невъзможността да бъдат обединени четирите известни на науката физически взаимодействия в така наречения Стандартен модел. Само тези слабости на двете теории са достатъчно основание за заключението, че нещо не е наред в научните схващания, подходи, разработки и трудове в областта на физиката, за да се върви и стигне до обща физическа теория. Така, че да се възлагат надежди и следва курса Квантова гравитация или Квантова относителност и други подобни комбинации изглежда непродуктивно и неперспективно. Въобще смесването на квантоване с гравитация и относителност изглежда някак си необичайно и нелогично, най-малкото защото те нямат никакво общо физическо начало, нещо с физическо естество, което да ги свързва и осигурява съвместяването им.

Какво произтича и следва от това. Очевидно се налага търсенето на алтернативни подходи и пътища за излизане от създалата се ситуация. Като начало е съвсем естествено и нормално да се тръгне именно от отбелязаните по-горе съществени бели петна на двете теории, те да бъдат запълнени, ако въобще е необходимо да се обединяват, при отбелязаните им недостатъци и пропуски. Защото е налице и друга възможност, за по-пряко придвижване към целта, чрез прилагането на съвсем нов подход, който едновременно да решава и проблемите на ТО и КМ. Такава възможност се разкрива пред един от основните клонове на физическата наука, космологията. Тя може да изиграе важна роля в това отношение по очевидното обстоятелство, че обхваща цялостно всички нива на структуриране на физическата реалност, от микро до макро, с които поотделно и изолирано една от друга, се занимават двете коментирани теории. Космологията е призвана да разкрие реалната физическа основа, фундамента, от който очевидно и естествено произтича, формира се и еволюира цялата физическа реалност. Без това е невъзможно изясняването й, както и построяване на общата физическа теория. Именно от тази позиция и с убеждението, че обезателно би трябвало да е обективно налична някаква физическа база или фундамент на физиката, и че е наложително нейното издирване и установяване, бяха проведени целенасочено изследвания и разработки по въпроса. Усилията осигуриха теоретично обосновани резултати, указващи наличието в космическото пространство на реална физическа среда със специфични физически параметри, която би могла да е фундамента или базата на физиката. Използването на фундаменталните физически величини и закони, проверени строго от сериозната физическа наука, осигурили разкриването на фундамента, дават убедителни основания, че това е именно така. Подходът, пътят на изследванията, разработките и получените резултати по установяването на фундамента на физическата реалност са представени подробно в поредица предшестващи публикации [1, 3, 4, 7], поради което в настоящия доклад няма да бъдат обсъждани допълнително. Те биха могли да осигурят на космологията надеждна платформа за решаването на фундаменталните въпроси, които тя е призвана да осветли и без които не може да се мисли и работи по изграждането на желаната физическа теория. Подредени по степен на обхватност и причинно-следствено, въпросите, с които космологията трябва да се справи по пътя към цялостна физическа теория са следните:

1. Изясняване на съдържанието на всемирното космическо пространство и свързания с него въпрос за състава на „космическия микс” от компоненти.

2. Обосноваване на еволюцията на физическата реалност въз основа на установените физически компоненти.

3. Определяне на параметрите на наличните в космическото пространство физически компоненти.

4. Изясняване на природата и механизма на основните процеси и явления във всемирното пространство въз основа на установените по горните направления физически предпоставки, в т.ч. произхода и механизма на формиране на елементарните частици на материята, барионното вещество, както и физическата природа и механизма на гравитацията.

Тези въпроси могат да се приемат за жалони при построяването на бъдещата физическа теория, а с висока степен на увереност може да се счита, че успешното им изясняване би заложило основите й. В тази връзка нека кратко проследим с какъв задел от научни резултати разполага към настоящия момент в това отношение физическата наука, общо наложилата се официално и според новите актуални изследвания. Ще ги опишем паралелно.

По първия въпрос, относно съдържанието на космическото пространство, според официалната физика съществуват две възможности за физическа база, континуума „пространство-време” или „космическия микс” в състав от три компоненти, „тъмна” енергия, „тъмна” материя и „светла” материя, при това в тегловно отношение (74:22:4)% съответно и приблизително. В указаните публикации са доказани строго научно несъстоятелността и физическата необоснованост на тези две възможности. В противовес на тях, проведените нови изследвания указват убедително, че първоизточник и основна компонента в космическото пространство е налична реална физическа среда, определена в публикациите като физическа същност или просто **Същност** (изписването ѝ с главна начална буква е с отчитане на ролята, мястото и основополагащото значение за физиката, и по подбие на изписването на важни и значими съществителни, например Земя, Вселена и т.н.). Теоретично е обоснована физическата необходимост от наличието на тази реална физическа среда, нейното състояние със специфични, присъщи ѝ физически параметри, изпълваща хомогенно, изоморфно и изотропно всемирното космическо пространство. Обективното наличие на тази Същност е доказана чрез определянето на реалните ѝ физически параметри и изчисляването на техните стойности. Установените и доказани параметри и стойностите им, като плътност, модул на еластичност, термодинамична величина, вътрешно налягане, температура, скорост на разпространение на светлината, както актуалните, така и в процеса на еволюцията на средата, предпоставят физически условия за синтез от нея, от нейната маса и в нейната среда на елементарни образувания с параметрите на познатите ни елементарни частици на материята, на барионното вещество. Така че, според актуалните изследвания, е по-вероятна възможността всемирното космическо пространство да съдържа две компоненти. Фундамента, основата, първоизточникът и физическото начало на съвкупната физическа реалност или накратко Всемирът, е новооткритата Същност, която сигурно е и издирваната „тъмна” материя, а познатата ни материя, в известната ни форма, е нейна производна или „светлата” компонента. На допълнителни изследвания подлежи въпросът за съотношенията, пропорциите и взаимодействието между тези две очевидно физически реални компоненти, „светла” и „тъмна” материи.

По втория поставен за изясняване от космологията въпрос, относно еволюцията на физическия свят, преобладаващата част от научната физическа общност, без ясно очертано физическо основание, приема така наречения модел Голям взрив (Big Bang, съкратено BB). С неприемливия от физическа гледна точка елемент в основата на модела сингурярност, като начало и еволюция на наблюдаваното състояние, с неизяснения генезис, а приемани за даденост елементарни частици и лъчение, с парадоксалните стойности на заложените в него параметри и със съмнителната му еманация Инфлационна Вселена, този модел не може да бъде сериозна отправна точка в изясняване на началото и еволюцията на Всемира. Налице са достатъчно сериозни доказателства за неговата несъстоятелност, например [8], както и указаните публикации на автора.

Алтернативен модел, базиран на определения фундамент, като среда с реални физически параметри, очертава следната последователност от органично свързани предпоставки, явления и процеси. От фундамента като физическа среда с еволюиращи във времето параметри и променящи се стойности, при определени условия, обусловени от известните физически закони на термодинамиката, по-конкретно в съответствие с уравнението на състоянието, установяващо съотношение между налягане, обем, термодинамична величина и температура (p.V=R.T), параметрите ѝ придобиват стойности, определяни във физиката като „критични” и предизвикващи фазов преход в състоянието и параметрите на средата. Като следствие, от масата на средата и в нея се формират образувания с плътност, значително по-висока от нейната. Това са елементарните частици на барионното вещество или познатата ни светла материя, от която се гради всичко материално. Логичното продължение на процеса е тези основни градивни елементи на материята да взаимодействат, да се конфигурират и изграждат структури на все по-крупно в пространствено отношение нива, от атоми, молекули и техни скупления, до планети, слънца и галактики. От взаимодействията между образуванията и конфигурациите на материята се поражда лъчението, чрез което част от масата на материята плавно се прелива, разтваря и влива обратно в първичната среда, в масата на фундамента. Процесът продължава с пълното отдаване на масата на материята обратно в Същността, до достигането отново на състояние с критични стойности на параметрите и нов фазов преход. По този начин се формира вечен и неспирен кръговрат на преобразуване или трансформация на Същност в материя и обратно, без точки на сингулярност, с напълно реални стойности на параметрите и без никакво разширяване на Вселената и разбягване на галактиките. В процеса на изследванията и изграждането на така предложения модел е направен опит за приблизително изчисление на цикъла на обоснования кръговрат. Това е направено на базата на строго установените от физическата наука времеви интервали на формиране на

астрономическите структури, слънца, планети и галактики, и на времетраенето на реакциите протичащи в тях. Приблизителната стойност на определения по този начин космологичен цикъл е приблизително 18 – 20 милиарда години.

По третия основополагащ въпрос с космологично значение, а именно параметрите на компонентите на космическото съдържимо, мейнстримната физическа наука не се произнася и е безсилна. Това е естествено, защото не разполага дори с теоретична обосновка за наличие и реалност на „тъмните" енергия и материя, а по въпроса за параметри на „тъмната" материя се лута в издирване на хипотетични, така наречените WIMP (от английското Weakly Interacting Massive Particles- слабо взаимодействащи масивни частици), като евентуални нейни елементарни формирования. И това поради погрешно прилаганата в науката аналогия с елементарните частици на познатата „светла" материя.

Съвсем ясно, отчетливо, логично и разбираемо стоят нещата с параметрите на космическото съдържимо в резултат на актуалните изследвания. На базата на фундаменталните физични величини и закони, техния физически смисъл, отражението върху физическата реалност, значение и стойности, са определени указаните по-горе параметри на Същността, с основание приета за фундамент на физиката. Убедително е доказано, че в процеса на еволюцията и космологичния цикъл параметрите ѝ променят своите стойности в определени граници. Така например, за параметъра плътност е определен диапазона (10^5 – 10^8) g/cm^3, при актуална стойност в настоящия времеви интервал от всемирния кръговрат 1,49.10^7 g/cm^3, а „критична" във физически смисъл, се явява стойността 10^8 g/cm^3. За скоростта на светлината в средата на Същността е определен диапазона (9.10^{10} – 1.10^{10}) cm/s, при актуална скорост 3.10^{10} cm/s. Следва да се отбележи, че стойностите на параметрите на същността са не в пъти, а на порядъци, най-малко 10^7 (десет милиона) пъти по-високи или по-ниски от стойностите на параметрите на познатата ни материя. Това е лесно обяснимо и разбираемо, предвид специфичното състояние на същността като физическа среда и маса. Поради това нейното обективно възприятие, сетивно или дори с инструментариума, с който разполагаме на настоящия етап от техническото ни и технологично развитие, не може да бъде установено. Но влиянието ѝ косвено се проявява и усеща по всичко, което наблюдаваме и изпитваме.

И така естествено стигаме до четвъртия от определените като възлови за космологията въпроси по пътя към полагане на основите на обща физическа теория. Вече беше отбелязано, че преобладаващата част от обективно наблюдаваните физически явления и процеси не са изяснени подобаващо. Пределно ясни са и причините за това, най-вече отсъствието на установено физическото начало, върху което да се гради в стройна и органична последователност всичко останало. В резултат, всички явления и процеси се изследват и обясняват откъснато едно от друго, което води до неверни допускания, предпоставки и фактори.

Съвсем по различен начин изглеждат нещата с отчитането на реално физическо начало или новооткритата Същност с нейните параметри и стойности. Тук е уместно да бъде изяснено как така изведнъж се появява, влиза в обръщение и то с главна роля за физиката тази странна Същност, откъде се взема и как така никакви признаци досега във физиката за нейното наличие в реалността. Отговорът не е с повишена трудност. Част от него изяснихме малко по-горе. Допълнително може да се добавят следните доводи. Първи, познатата ни материя очевидно и логично би следвало да произтича от нещо реално, със същото като нейното естество, а не, както убеждава космологът Лорънс Краус, от нищото [5]. Или пък от континуума пространство-време, както се опитва да обясни Джон Арчибалд Уйлър [6], ученик и последовател на Айнщайн, или от неясна и „скрита" в пространството реалност, както предлага, без да изясни нейната физическа природа Брайън Грийн в [4]. Реалното физическо начало, фундамент и първоизточник, би следвало да е Същността. Втори, по-строг физически довод, че крайните скорости на разпространение на светлината (електромагнитното взаимодействие) и всички останали взаимодействия в природата предпоставят и изискват наличието на среда за разпространение с реални физически параметри. Трети, още по-строг физически довод, сферичната форма на всички материални образувания, конфигурации и структури във всемирното пространство, от най-ниските до най-крупните в пространствено отношение нива, може да бъде реализирана само от наличието на фактор като среда, която упражнява всеобхватно и всестранно налягане върху тях при формирането им. Така че, наличието на физическа среда в основите на физическата реалност като фундамент не бива да бъде поставяно под съмнение.

В контекста на същността наблюдаваните физически явления и процеси могат да бъдат изяснени логично, стройно и трудно оспоримо. Например, елементарните частици на веществото да придобиват масата си, чрез кондензиране и уплътняване на маси от същността в локални обеми с известните им размери от порядъка на (10^{-11} – 10^{-13}) cm, при определени

термодинамични условия. Средната им плътност при това е от ($10^{12} – 10^{14}$) g/cm^3, което е 10^7 пъти по-висока плътност от плътността на фундамента, от който произтичат.

Материалните тела във всемирното пространство не се привличат, поради някаква неясна тайнствена причина с „божествена" промисъл (както е според Нютон), или поради изкривяване на континуума пространство-време, който въвежда Айнщайн без физически предпоставки и доводи, а биват изтласквани едно към друго от налягането на масата на средата, в която се движат и асиметрията в налягането около тях, създавано от масата им.

Изместването на спектъра на електромагнитните колебания, в т.ч. светлината, от източниците, като слънца, квазари, галактики и др., към нискочестотната област, не се дължи на ефекта на Доплер. Напротив, следствие е от променящите се във времето физически параметри на фундамента, в резултат на което са се променяли дължините на вълните на генерираните някога и разпространявали се във времето електромагнитни колебания, до достигането и регистрирането им сега. Естествено е да се наблюдава в настоящето отместване към нискочестотната област на спектъра на приеманите вълни, т.н. в науката „червено" изместване. Така че, нито Вселената, нито самото пространство, както твърди Брайън Грийн в същата книга, не се разширяват и галактиките не се разбягват във всемирното пространство. Те спокойно следват траектории, предпоставени все така от параметрите на фундамента и взаимното им разположение в пространството.

Всемирът, както определихме кратко съвкупната физическа реалност, никога не е претърпявал не само Голям, а никакъв взрив, както и състояние на сингулярност. Напротив, развивал се е плавно, развива се и ще се развива в съответствие с еволюцията на фундамента по присъщите му физически закони и т.н.

На същата основа, единното физическо начало, могат да бъдат изяснени непротиворечиво, правдоподобно и в единство, всички наблюдавани физически явления и процеси, без нереални предпоставки, причини и фактори, което дава увереност, че може по-смело да се мисли, изследва и работи в насока цялостна физическа теория.

Литература:

1. Велков, В., Осветляване на „тъмната материя", Thirteenth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY SES 2017, Proceedings, pp. 101–105.
2. Велков, В., Същността, нова хипотеза за съдържанието, структурата и еволюцията на Всемира, Полиграфически комбинат „Д. Благоев", София, 2015.
3. Велков, В., Физиката без фантазии – от сингулярността до реалността, Изд. „Симолини 94", София 2022.
4. Грийн, Бр., Скритата реалност, изд. „Изток-запад", София, 2011.
5. Краус, Л. М., Вселена от нищото (защо има нещо-а не нищо), изд. „Изток-запад", София, 2012.
6. Уилер, Дж. А., Предвидение Энщейна, изд. "Мир", Москва, 1970.
7. Velkov, V., Hypothesis of a cosmological model of the Universe without gravitation, Aerospace Research in Bulgaria, v. 26, 2014, pp. 136–144.
8. Ijjas, A., P. Steinhardt, A. Loeb, Pop goes the Universe, Scientific American, 316, 2017, pp. 32–39.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ОПИТНИ УСТАНОВКИ НА БАЗА НА MAX-ЗЕНДЕР ИНТЕРФЕРОМЕТЪР, ЧРЕЗ КОИТО МОЖЕ ДА СЕ ОТКРИЕ „ЕТЕРЕН ВЯТЪР" И ДА СЕ ОПРЕДЕЛИ НЕГОВАТА СКОРОСТ*

Димитър Стойнов, Дилян Стойнов

София, България
e-mail: dgstoinov@yahoo.com

***Ключови думи**: „Етерен вятър", Мах-Зендер интерферометър*

***Резюме:** Съобщава се, че са създадени опитни установки на база на Мах-Зендер интерферометър и са проведени експерименти, чрез които може да се открие „етерен вятър" и да се определи неговата скорост. На основа на получените опитни резултати следва да се приеме, че Специалната теория на относителност е грешна. Отбелязва се, че опитните установки са лесни за реализация и всеки, който се интересува, може сам и в домашни условия, да извърши експерименти и сам да установи каква е истината.*

Установено е, че скоростта, с която Земята заедно със Слънцето, се движи по отношение на етера е повече от 3000 km/sec.

AN SET-UP BASED ON MACH-ZENDER INTERFEROMETER, THROUG WHICH DETECT "AETHER WIND" AND TO DETERMINE IT SPEED*

Dimiter Stoinov, Dilian Stoynov

Sofia, Bulgaria
e-mail: dgstoinov@yahoo.com

***Keywords: "**Aether wind", Mach-Zender interferometer*

***Abstract**: It is reported that an experimental set-up has been created based on a Mach-Zender interferometer and experiments have been carried to detect an "Aether wind". Based on the experimental results obtained, it should be assumed that the Special Theory of Relativity is wrong. It is noted that the experimental installations are easy to implement and anyone who is interested can perform such experiments alone and at home.*

It has been established that the speed with which the Earth, together with the Sun, moves with respect to the ether is more than 3000 km/sec.

Въведение

На миналата конференция SES 2020 ние представихме опитни установки на база на хибриден Мах-Зендер интерферометър [1], чрез които беше открит„етерен вятър" Междувременно в 2021 г., се снабдихме с източник на светлина с DFB лазерен диод с по-голяма дължина на кохерентност и бяха създадени опитни установки на база на Мах-Зендер интерферометър и осъществени експерименти, чрез които също така се открива „етерен вятър". Предимството на този тип опитни установки се състои в това, че с тях може да се измерва по-голяма промяна на силата на етерния вятър. Например, докато при опитните установки на база хибриден Мах-Зендер интерферометър, беше измервана промяна на тази сила (минимум/максимум) в отношение 1:5, при Мах-Зендер интерферометър беше измервана такава промяна в отношение повече от 1:50,

От проведените до сега експерименти е установено, че скоростта, с която Земята заедно със Слънцето, се движи по отношение на етера е повече от 3000 км/сек.

Тук представяме тази нова опитна установка.

*Секция „Космическа физика" и редакторите на сборника не споделят мнението на авторите. Докладът се публикува с цел евентуална дискусия.

Сто години неуспешни експерименти да се открие етерен вятър

През 1818 г., при обяснение на звездната аберация от гледна точка на вълновата теория на светлината, Френел [2] извежда следната формула;

(1) $$u = \frac{c}{n} \pm V\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Очевидно съгласно (1), скоростта *u* на разпространение на светлината в дадена оптична среда, с показател на пречупване *n,* трябва да зависи от скоростта *V*, с която Земята се движи в космоса, т.е. формула (1) предсказва, че трябва да има „етерен вятър" (Aether drag hypothesis). Тук *c* е скоростта на светлината във вакуума. В по-широк смисъл под „етерен вятър" трябва да се разбира влиянието, което движението на Земята оказва на оптичните явления.

Интересът към въпроса за етерния вятър и неговата скорост нараства след писмото на Максуел до Тод в 1898 г., [3]. През 1881 г. Майкелсон [4] слага началото на серия така наречени Майкелсон-Морли тип експерименти, Този тип експерименти се провеждат от самия него и от други изследователи [5] в продължение на 100 годими (Милър 1904,1922, Кенеди и Торндайк 1926, Есен 1955, Таунс и сътрудници и 1964 и др.)

Поради противоречивите тълкувания на някои от резултатите, например тези на Майкелсон и Милър и за да се реши този спор, през 1927 г. в Маунт Вилсон САЩ [6] е проведена специална конференция. Мнозинството на тази конференция решава, че резултатите от опитите са нулеви.

Ако читателят се интересува, в [7] може да намери изчерпателна информация за огромния брой неуспешните опити да се открие етерен вятър. Ето така е озаглавена самата публикация „What is the experimental basis of Special Relativity" (Каква е експерименталната основа на Специалната теория на относителността), т.е. тази теория се основава на неуспешните опити да се открие „етерен вятър".

Фаталната грешка на Майкелсон

Вероятно след толкова много „неуспешни" опити да се открие етерен вятър е естествено да се мисли, че този въпрос е окончателно решен, че Специалната теория на относителност е опитно потвърдена, че съобщенията за нашия експеримент е поредният фалшив сигнал. Не, това не е фалшив сигнал. Например, в нашите работи [8, 9] ние поставяме горният въпрос: Каква е фаталната грешка на Майкелсон?. За съжаление този наш въпрос остава незабелязан.

Както е известно скоростта на разпространение на светлината в дадена оптична среда зависи от коефициента на пречупване *n*. Ето защо смятаме, че във формулите за оразмеряване на опитни установки за търсене на етерен вятър, задължително трябва присъства и коефициента на пречупване. Трабва да се различават отделните оптични среди, т.е. дали светлината се разпристранява във въздух, вода или друга оптична среда. Но във формулата на Майкелсон липсва коефициента на пречупване, т.е. неговата формула не различава отделните оптични среди и вакуума, а нали скоростта на светлината във вакуума е постоянна. Според нас това е важна и принципна грешка!

Нека пресметнем колко е грешката на Майкелсон. Ето формулата за оразмеряване на неговият интерферометър [10].

$$\Delta t^{\bullet} = \frac{L_1 + L_2}{c} B^2$$

където $B^2 = V^2 / c^2$.

Ако горното уравнение се реши по отношение на $L_1 + L_2$, за дължината на рамената на интерферометъра ще се получи;

(2) $$L_1 + L_2 = \frac{\Delta t^{\bullet} c^3}{V^2}$$

От години, в наши публикации ние предлагаме при оразмеряване на опитни установки за търсене на етерен вятър, да се иползва формулата на Френел и тя да бъде подложена на експеримента проверка. Например, за да може да се наблюдава максимална промяна на

измервания сигнал, ако се изходи от неговата формула, дължината на оптичния път трябва да бъде [11, 12];

(3) $$l = \frac{1}{2n^3(2\alpha - \alpha^2)} \frac{\Delta t^{\bullet} c^3}{V^2}$$

Сега ако се направят необходимите пресмятания съгласно (3), при условията на Майкелсон (оптична среда въздух с n =1,00293, източник на светлина с дължина на вълната λ=5000 Á и орбитална скорост на Земята 30 km/sec) ще се установи, че тази дължина трябва да е:

$l =$ 10665 m

При опита на Майкелсон имаме:

1881г. $L_1 + L_2 = 2$ m,, т.е. 5332 пъти по-малка от необходимата

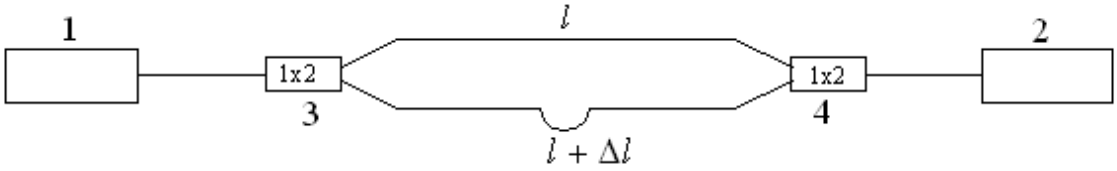
1886 $L_1 + L_2 = 22$ m,, т.е. 485 по-малка от необходимата

Очевидно е, че грешката при оразмеряване на интерферометъра на Майкелсон е катастрофална. Интересно е също, защо и неговите последователи са повтаряли същата грешка.

Според нас всички експерименти, при чието оразмеряване липсва коефициент на пречупване трябва да се смятат за грешни и безсмислени. Именно тази е причината в продължение на повече от сто годин етерният вятър да не бъде открит.

Принципна схема на опитна установка на база на Мах-Зендер интерферометър с източник на светлина с DFB лазерен диод

Принципната схема на тази опитна установка е показана на Фиг. 1.



Фиг. 1. Мах-Зендер интерферометър
1 Източник на светлина с DFB лазерен диод , 2 Измерител на оптична мощност,
3 Входящ оптичен сплитер, 4 Изходящ оптичен сплитер

Принципът на работа на Мах-Зендер интерферометъра е много прост: Сигналът, излъчен от източника на светлина 1 (Optical Light sourse (OLS)), се разделя от входящия сплитер 3 в две рамена. Когато няма фазова разлика двата пристигащите сигнали в изходния сплитера 4 (Optical power meter (OPM)) се рекомбинират и тъй като са кохерентни, те се усилват. Но когато има фазова разлика между пристигащите сигнали, те са в противофаза така, че в известна част или цялата оптична мощност се губи, защото сигналите интерферират деструктивно, т.е. ако фазовата разлика е 180 градуса, изходният сигнал трябва да е минимален. Но ако фазова разлика няма, светлината ще премине с много малки загуби. Следователно интерферометърът преобразува промяната на фазата в промяна на амплитудата на изходния сигнал и тази промяна се регистрира от OPM.

Както беше отбелязано по-горе в случая се използва източник на светлина с DFB лазерен диод тип S3FC1550 на фирмата Thorlabs (работна дължина на вълната1550 *nm*, максимална излъчвана мощност до 1.5 mW). По технически данни спектралната ширина (Spectral Linewidths) на този източник на светлина е $\Delta\lambda \leq 0.06$ nm, което съответства на дължина на кохерентност около 0,04 м. Тази дължина е съвсем скромна, но достатъчна за стабилна работа на интерферометър. Разбира се, за предпочитане е да се използва OLS с по-голяма дължина на кохерентност. Сега на пазара се предлагат такива с дължина на кохерентност от порядъка на километри, но те са значително по-скъпи и непосилни за нашия бюджет. Ние сме независими изследователи и всички разходи са за наша сметка.

Оразмеряване на интерферометър от първи порядък Мах-Зендер. Тайната на формулата на Френел

В нашите работи [11,12] е дадена теория за оразмеряване на интерфетомртър от втори порядък, на основа на формулата на Френел, където времето *t*, за което светлината изминава определен оптичен път *2l* напред/назад зависи от квадрата на отношението V/c ,
докато при оразмеряване на интерферометър от първи порядък, какъвто е на Мах-Зендер, това време зависи само от отношението V/c ,

За случая на интерферометър от първи порятък това време трябва да е:

(4) $$t = \frac{l \pm \Delta l}{u_0 \pm V\alpha}$$

където $u_0 = \frac{c}{n}$, $\alpha = 1 - \frac{1}{n^2}$ е коефициент на Френел за частично увличане на етера, а $\Delta l = l\frac{V}{u_0 \pm V\alpha}$ е така нареченото кинематично удължение/скъсяване на оптичния път [8]. Знакът « + » важи за случай, когато посоката на движение на оптичната среда, съвпада с посоката на скоростта на разпространение на светлината, а знакът « - » се отнася за случай, когато тези посоки са противоположни.

След съответните пресмятания и след пренебрегване на някой величини от по-висок порядък, уравнение (4) се свежда до следния вид.

(5) $$t \approx \frac{l\,n}{c} \pm \frac{lV}{c^2}\left(1-\alpha\right)n^2$$

И при заместване на коефициента α с неговото равно, ще се получи:

(6) $$t \approx \frac{l\,n}{c} \pm \frac{lV}{c^2}$$

Но тъй като първото събираемо в горното уравнение е произволна константа, която не зависи от скоростта V и не оказва влияние на времето t, може да се приеме, че ннейното значение е нула и ще имаме:

(7) $$t \approx \pm \frac{lV}{c^2}$$

Така полученият краен резултат е твърде интересен. Тук липсва коефициент на пречупване. Именно в това се крие именно тайната на формулата на Френел. Така се обяснява аберацията. Например, ако уравнение (7) се реши по отношение на V/c , ще се получи;

(8) $$\frac{V}{c} = \frac{t\,l}{c}$$

т.е, ъгълът на аберация $\sin\varphi = V/c$ за всички оптични среди трябва да е еднакъв. Така се обясняват опитите с водния телескоп [13,14].
Вероятно някои могат да си помислят, че след като в уравнение (7) липсва коефициент на пречупване важи гореказаното, че и в този случай не се различава отделните оптични среди и вакуума. Това не е така, Тук те се различават. Както може да се види от уравнение (4) скоростта на светлината (виж знаменателя) е $u = u_0 \pm V\alpha$, т.е, за всяка оптична среда тя е различна.

Както е известно в миналото се създало мнението, че опитите от първи порядък са невъзможни. Според нас това не е така. За да се осъществят успешни експерименти от първи порядък трябва да се използва интерферометър с успоредни рамена и да има разлика на оптичния път между тях.

Нека приемем, че l_1 е дължина на оптичния път в едно от рамената, а l_2 в другото, тогава ще имаме; $t_1 = \frac{l_1 V}{c^2}$, а $t_2 = \frac{l_2 V}{c^2}$ и ще имаме:

(8) $$\Delta t^{\bullet} = \frac{\Delta l V}{c^2}$$

където $\Delta t^{\bullet} = t_2 - t_1$, а $\Delta l = l_2 - l_1$ е разликата в оптичния път между двете рамена.

И ако сега това уравнение се реши по отношение на Δl ще се получи формула за оразмеряване на интерферометъра.

(9) $$\Delta l = \frac{\Delta t^{\bullet} c^2}{V}$$

При източник на светлина с работна дължина на вълната $\lambda = 1550\,nm$, времето за осъществяване на интерференция в максимални граници трябва да е;

$$\Delta t^{\bullet} \geq \frac{T}{2} = \frac{\lambda}{2c} = 2,58\text{x}10^{-15} \text{ [сек]}$$

И след като се направят необходимите пресмятания съгласно (9) ще се получи необходимата разлика Δl в оптичния път между двете рамена;

(10) $$\Delta l = \frac{232,5}{V} \text{ м}$$

където V е скоростта на оптичната среда по отношение на етера.

И ако уравнение (10) се реши по отношение на V ще се получи:

(11) $$V = \frac{232,5}{\Delta l} \text{ м/сек}$$

Дилемата Френел - Айнщайн или как да се тълкуват резултатите?

Айнщайн и неговите последователи игнорират формулата на Френел и твърдят, че тя се явява следствие от преобразованието на Лоренц, а скоростта на разпространение на светлината е постоянна и не зависи от движението на Земята.

Фактически, ако се изходи от преобразуванията на Лоренц, се достига до следната формула [15];

(12) $$u = \frac{c}{n} \pm V\left(1 - \frac{1}{n^2}\right) - \frac{V^2}{c\,n}$$

Както може да се види формулите (1) и (12) са почти идентични. Разликата се състои в допълнителното събираемо в (11), което в някои случаи може да се пренебрегне, например при обяснение на опита на Физо. Но има съществена разлика в тяхното тълкуване. В това се състои именно дилемата Френел – Айнщайн;

- гледната точка на Френел, че формула (1) трябва да води до реално изменение на скоростта на разпространение на светлината при движение на дадената оптичната среда в пространството.

- гледната точка на релативистите, че формула (12) не води до реално изменение на скоростта на разпространение на светлината, тъй като в този случай възниква противоречие с **принципа** на относителността на Айнщайн, който гласи, че скоростта на разпространение на светлината в дадена оптична среда, в покой или при праволинейно равномерно движение, трябва да е еднаква във всички направления.

Следователно:

- Ако при експериментите измервания сигнал в ОРМ не се променя, т.е. ако няма „етерен вятър” истината е на страната на Айнщайн
- Ако при експериментите измервания сигнал в ОРМ се променя, т.е. ако има „етерен вятър” следва да се приеме, че СТО е грешна, а истината е на страната на Френел.

Опитната установка

Опитната установка е показана на Фиг 2. На преден план е Мах-Зендер инрерферометъра, а на заден план е хибриден такъв. Този хибриден интерферометър тук има контролниа функции. Чрез конекторите двете му рамена могат да се прекъсват. Когато светлината преминава едновременно през двете рамена се осъществява интерференция и измервания сигнал се променя. Но ако единият от каналите се прекъсне до ОРМ достига само половината от мощността излъчвана от OLS. В този случай няма интерференция и при денонощното движение на Земата измервания сигнал не трябва да се променя. Всъщност, в този случай се измерват единствено шум, т.е. външните влияния (температурни колебания, вибрации и т.н.). Същевременно с течение на времето с течение на времето измервания сигнал в Мах-Зендер интерферометъра непрекъснато се променя

За да се осъществи такава опитната установка са необходими;

- PCL Splitter 1x2, 50:50 with SC/APC connector, 1 m - 2 броя
- Simplex Path Cord, FC/APC-SC/APC connector, 1 m - 2 броя

Но тътй като двойните изходи на продаваните на пазара PCL сплитери са с твърде голяма дължина те се скъсяват и се свързват чрез сплайсване така, че разстоянието между тях да не е повече от 50 ÷ 60 cm. При сплайсване трябва да се спази условието да има разлика Δl в дължината на двете рамена!

Фиг. 2. Опитна установка на база на Мах-Зендер интерферометър

Как се провеждат елсприментите?

Подобно на експериментите от типа Майкелсон Морли (М-М) където се търси „етерен вятър” по отношение орбиталното движение на Земята, тук се търси „етерен вятър” по отношение движението на Земята заедно със Слънцето, т.е. по отношение сумарната $\dot{\text{и}}$ скорост (векторна сума от денонощното и годишно движение плюс движението и заедно със Слънцето). Доминиращо е именно движението и със Слънцето. А както се предполага скоростта, с която Слънцето се движи в пространството е около 400÷600 км/сек.

Най-лесно е опитната установка да се постави в хоризонтално положение, с ориентация север-юг. Така при денонощното въртене на Земята, проекцията на сумарна скорост по отношение равнината, в която е разположена опитната установка, ще се променя, респективно ще се променя и скоростта на „етерния вятър" Предвижда се и по-сложен експеримент. Създадена е специална въртяща се стойка (Фиг. 3) така, че опитната установка да може да се постави и върти в равнина успоредна на екваториалната равнина на Земята. По този начин се елиминира влиянието на географската ширина, на която се намира опитната установка. София се намира на ≈ $42,7^0$ северна ширина,

Експерименти

В средата на 2021 г. ние се снабдихме с източник на светлина с DFB лазерен диод и стана възможно да се осъществят успешни експерименти на база на Мах-Зендер интерферометър. Характерна особеност на тези експерименти се състои в това, че при денонощното въртене на Земята измервания сигнал непрекъснато се променя, като се редуват максимални и минимални стойности. Така че в случая е достатъчно да се наблюдава именно последователната поява на тези максимални и минимални стойности на измервания сигнал и времето между тяхното появяване. Оказа се, че това е много лесно тъй като разликата между максималните и минимални стойности е ясно различима. Става въпрос за разлика между максимални и минимални стойности в отношение 30:1 до 50:1.

Интерферометър № 1, Юли 2021

При осъществяване на тази опитната установка ние изхождахме от условието тя да бъде удобна за демонстрации, т.е. в рамките на 15 ÷ 30 минути да се наблюдават няколко максимални и минимални стойности на измервания сигнал. Ето защо при оразмеряване на интерферометъра беше приета разликата в оптичния път между двете рамена Δl да е около $4,3\ \mathrm{mm}$, При това значение на Δl, съгласно уравнение (12), интерферометъра беше настроен да измерва скорост на етерния вятър около $54\ \mathrm{km/s}$, Така при скорост на Земята в космоса около 400 ÷ 600 km/sec, както се предполага сега от астрономите, очаквахме няколко преминавания през екстремални стойности.

И наистина, при експериментите с тази опитна установка, ние отчитахме редуване на максимални и минимални такива, но не 3 ÷ 4 на брой, както се очакваше, а много повече. При това измерваните максимални сигнали достигаха повече от $75\mu\mathrm{W}$, а минималните измервани такива бяха по-малки от $2,5\mu\mathrm{W}$, т.е. в отношение 30:1.

Изводите, които бяха направени са, че скоростта на етерния вятър е много по-голяма от очакваната.

Интерферометър № 2

В края на Декември 2021 г., ние осъществихме опитна установка с интерферометър настроен да измерва скорост на етерния вятър около 500 km/sec. В случая беше приета разликата в оптичния път между двете рамена Δl да е около 0,46 mm.

Експериментите с тази опитна установка се оказаха успешни. При източник на светлина настроен на 0,52 mW и температура $24,5^0\mathrm{C}$ в измерителя на оптична мощност тук бяха измервани максимални сигнали до $150\mu\mathrm{W}$, и минималните такива по-малки от $2\mu\mathrm{W}$, т.е. в отношение 75:1. Също така много по-малък беше и броя на измерваните екстремални стойности, средно около 3 ÷ 6 за един час.

Интерферометър № 3

В средата на тази година ние осъществихме опитна установка с интерферометър настроен да измерва скорост на етерния вятър около 700 км/сек, при разликата в оптичния път между двете рамена Δl около 0,33 mm. Разликата в случая е, че тук броя на измерваните екстремални стойности е по-малък, например 2 ÷ 5 за един час.

Тук ние представяме тази опитна установка.

Каква е посоката и скоростта на движение на Земята в космоса

Освен главната цел да се открие „етерен вятър", като допълнително поставена задача беше да се определи също посоката и скоростта, с която Земята се движи в космоса [11]. До голяма степен тази допълнителна задача е решена. Например, ако се вземе предвид, каква е

скоростта, която измерва интерферометъра и броя измерени екстремални стойности за определено време, може да се прецени колко е тази скорост. Както вече отбелязахме тя е много по-голяма от 400 ÷ 600 km/sec, както се предполага сега от астрономите. Според наша преценка тя е повече от 3000 km/sec. Ние обаче се въздържаме да посочим по-голяма цифра тъй като проблемът е, че технологично е много трудно интерферометър да бъде настроен до необходимата точност. По-голяма точност може да се постигне, ако се използват друг тип опитни установки, Например на базата на електро-оптични модулатори, както предлагаме в [11]. Но ние сме независими изследователи и нямаме средства да закупим необходимите материали, за осъществяване на такава опитна установка.

Заключение

От проведените експерименти, с голяма степен на достоверност, е установено, че измерваният сигнал се променя, т.е. потвърждава се формулата на Френел, че скоростта на разпространение на светлината в оптичните среди зависи от движението на Земята в космоса.

Следователно, трябва да се приеме, че истината е на страната на Френел. Има абсолютно движение на Земята по отношение на етера. Има „етерен вятър”. СТО е грешна.

Установено е, че скоростта на движение на Земята в космоса съвместно със Слънчевата система е повече от 3000 km/sec, т.е. много повече от 400 ÷ 600 km/sec, както се предполага сега от астрономите.

Литература:

1. Стойнов, Д. Г., Стойнов Д. Д., Описание на опитна установка с цел да се определи посоката и скоростта на движение на Земята в космоса. Sixteenth International Scientific Conference, 4 – 6 November, Sofia, Bulgaria (2020). http://www.space.bas.bg/SES/archive/SES%202020_DOKLADI/1_Space%20Physics/11_Stoynov.pdf
2. Fresnel, O., „Sur l’influence du mouvement terrestre dans quelques phenomenes d’optique”Ann.Chim. et phys., 9, 57 (1818).
3. Maaxwell, J. C.,. On a Possible Mode of Detecting a Motion of the Solar System through the Luminiferous https://en.wikisource.org/wiki/Motion_of_the_Solar_System_through_the_Luminiferous_Ether
4. Micelson, A. The relative motion of the Earth and the luminieterous aether. Amer. J. Phys.,1881, 22, p. 120–129.
5. Фраанфурт, У.И., Френк А.М., Оптика движущихся тел. Стр 77, “Наука” Москвя, (1972).
6. Conference on the Michelson-Morley experiments. Astrophys. J., 1928, 68, p. 341–402.
7. Roberts, T., Siegmar] Roberts T., Siegmar S., https://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/SR/experiments.html#Experiments_not_consistent_ith_SR
8. Stoinov, D. G., D. D Stoynov, “On the Fresnel's Aether drag hypothesis”, GalileanElectrodynamics, v. 32, 3 (2021).
9. Stoinov, D. G., D. D Stoynov, “ Опитни установки, чрез които може да се открие “етерен вятър” https://drive.google.com/file/d/1b4kCrF0xRaYMQbKI_UE_u1MQPHMPM13B/view?usp=sharing
10. Угаров В..А., Специальная теория относительности, „Наука” Москва, Стр. 328 (1977).
11. D. G. Stoinov. A NEW EXPERIMENT TO DETERMINE THE GALAXY SPEED OF EARTH IN SPACE..Aerospace Research in Bulgaria, **27** Sofia, (2015) . http://journal.space.bas.bg/arhiv/n%2027/Articles/10.pdf
12. Stoinov, D. G., D. D Stoynov., The Fresnel-Einstein dilemma:Whether the speed of light in optical ediums dependent by the Earth's motion in space.(Version 2), The General Science Journal https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-elativity%20Theory/Download/6260
13. Hoek, M. Determination de la vitesse avec laquelle est entrainee une onde lumineuse traversant un milieu en mouvement.— Arch. Neerl., 1868, 3, p. 180–185.
14. Airy, G. B. On a supposed alteration in the amount of astronomi- cal aberration of light, produced by the passage of the light thro-ugh a considerable thickness of refracting medium.— Proc. Roy. Soc., 1871, 20, p. 35–39.
15. Угаров, В..А., Специальная теория относительности, „Наука” Москва, Стр. 92 (1977).

Session 2

Aerospace Technologies and Biotechnologies

Chairman: Corr. Member Petar Getsov
Secretary: Prof. Zoya Hubenova

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ВНИМАНИЕТО НА ОПЕРАТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИЕ НА НАДЛЪЖНОТО ДВИЖЕНИЕ НА БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ

Петър Гецов

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: getsovp@space.bas.bg

Ключови думи: *Безпилотни летателни апарати, моделиране, контур на управление,* разпределение на *зрителното внимание, стабилизация на тангажа и височината*

Резюме: *В доклада са изследвани преходните процеси в системата „Оператор – Безпилотен летателен апарат“ при външни смущаващи въздействия. Разработен е модел на системата в среда „MATLAB Simulink“ с отчитане разпределението на зрителното внимание на Оператора. Определена е зоната на параметрите на предавателните функции в зависимост от превключването на вниманието.*

MODELING AND INVESTIGATING THE ALLOCATION OF OPERATOR'S ATTENTION WHEN CONTROLLING THE LONGITUDINAL MOTION OF AN UNMANNED AIRCRAFT

Peter Getsov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: getsovp@space.bas.bg

Keywords: *Unmanned aerial vehicles, modeling, control loop, visual attention distribution, pitch and altitude stabilization*

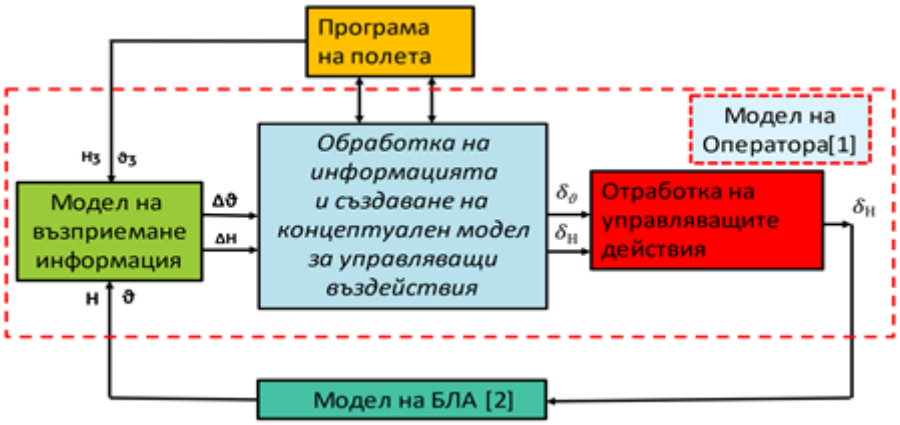
Abstract: *The report examines the transient processes in the "Operator – Unmanned Aerial Vehicle" system under external disturbing effects. A model of the system was developed in the "MATLAB Simulink" environment, taking into account the distribution of the visual attention of the Operator. The parameter area of the transfer functions depending on the switching of attention is defined.*

Въведение

В последните години безпилотните летателни апарати (БЛА) намират все по широко приложение, както във военното дело, така и за изпълнение на граждански задачи в различни области на стопанските дейности което изисква системен анализ и синтез при тяхното конструиране и експлоатация. Поради тази причина, съществува все по-голяма необходимост и актуалност от изследвания на системата „Оператор – Безпилотен летателен апарат“.

Изследване на системата „Оператор – Безпилотен летателен апарат“

Изследването на системата „Оператор – БЛА“ може да се осъществи чрез моделиране и аналитично изследване на контура на управление на Оператора на БЛА, състоящо се от три звена (блока) [3] и използване на предавателните функции на БЛА получени от линеаризираната система уравнения описващи аеродинамиката на БЛА (Фиг. 1).



Фиг. 1. Блок-схема при изследване на системата „Оператор – БЛА“

Използвайки предавателна функция на Диамантидис [1, 2]:

(1) $$W_{оп}(\mathrm{p}) = W_1(p).W_2(p).W_3(p) = k_{оп}e^{-n\tau p}\frac{T_1p+1}{(T_2p+1)(T_3p+1)},$$

където: $W_1(p) = e^{-n\tau p}$;

$W_2(p) = k_{оп}\frac{T_1p+1}{T_2p+1}$;

$W_3(p) = \frac{1}{T_3p+1}$;

n - количество параметри, контролирани от оператора;

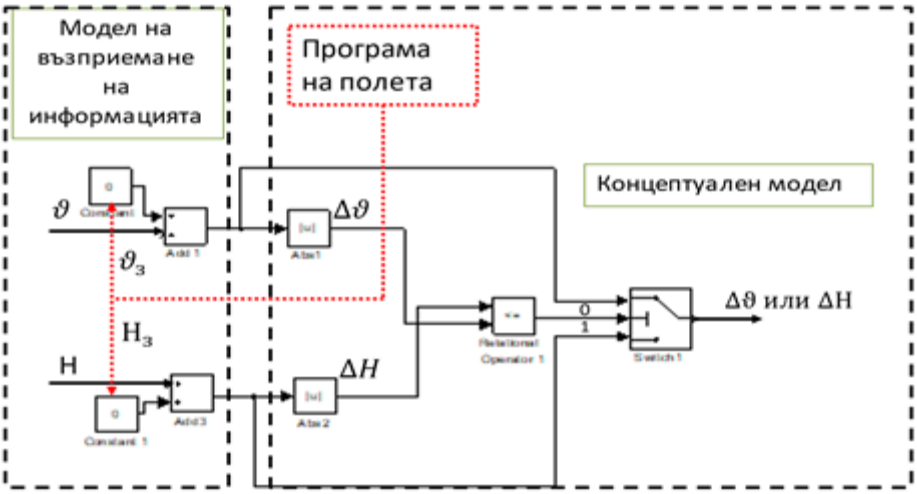
τ - закъснение при получаване на информация само по един параметър;

$k_{оп}$ - коефициент на усилване (предавателен коефициент) на оператора.

Блокът на закъснението $W_1(p) = e^{-n\tau p}$ се характеризира от времето $\tau(s)$: за възбуждане на рецепторите, преминаване на сигнала на възбуждане до нервната система, интерпретация на получената информация.

Вторият блок $W_2(p) = k_{оп}\frac{T_1p+1}{T_2p+1}$ е корекционен, т.е. той отразява способността на човек да се самонастройва и приспособява към динамичните характеристики на останалите звена от контура и към спектралните характеристики на входния сигнал. Настройката се извършва чрез изменението на $k_{оп}$, T_1 и T_2.

Третият блок (нервно-мускулен) $W_3(p) = \frac{1}{T_3p+1}$ отразява закъснението между постъпването на командата в нервно-мускулната система и мускулното въздействие върху лоста за управление.



Фиг. 2. Структурна схема за контура на управление в надлъжния канал

Контурът за стабилизация на височината на БЛА се описва със следната система линейни уравнения [4]:

$$
(2)\quad \begin{cases} p\Delta\theta(p) + a_y^{\alpha}\Delta\alpha(p) = 0; \\ (p^2 + a_{mz}^{\omega z}) + a_{mz}^{\alpha}\Delta\alpha(p) = a_{mz}^{\delta_B}; \\ \Delta\vartheta(p) = \Delta\theta(p) + \Delta\alpha(p); \\ \Delta\vartheta = -W_{\vartheta}^{B}\delta_B; \\ \delta_B = \frac{k_{\vartheta}^{\delta_B}(1+T_{\theta}p)\omega_{\alpha}^2}{p^2+2\zeta_{\alpha}\omega_{\alpha}p+\omega_{\alpha}^2}\Delta\vartheta; \\ \Delta\theta = \frac{1}{T_{\theta}p+1}\Delta\vartheta; \\ \Delta H = \frac{\Delta V}{p}, \end{cases}
$$

където: θ -наклон на траекторията на полета;

ϑ - ъгъл на тангажа;

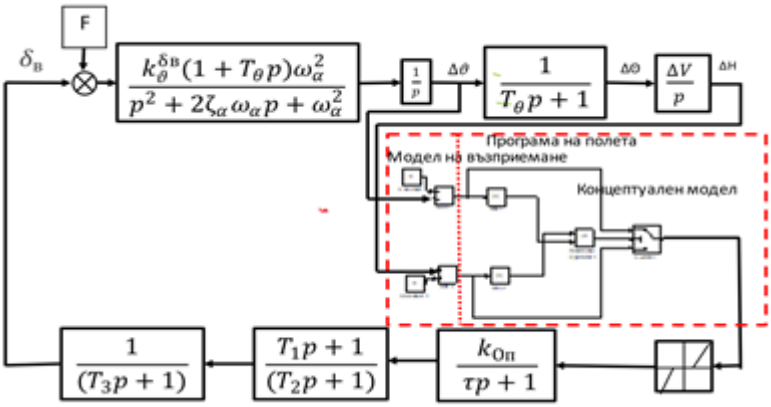
H - височина;

α - ъгъл на атака;

$\delta_{\text{в}}$ - кормило за височина;

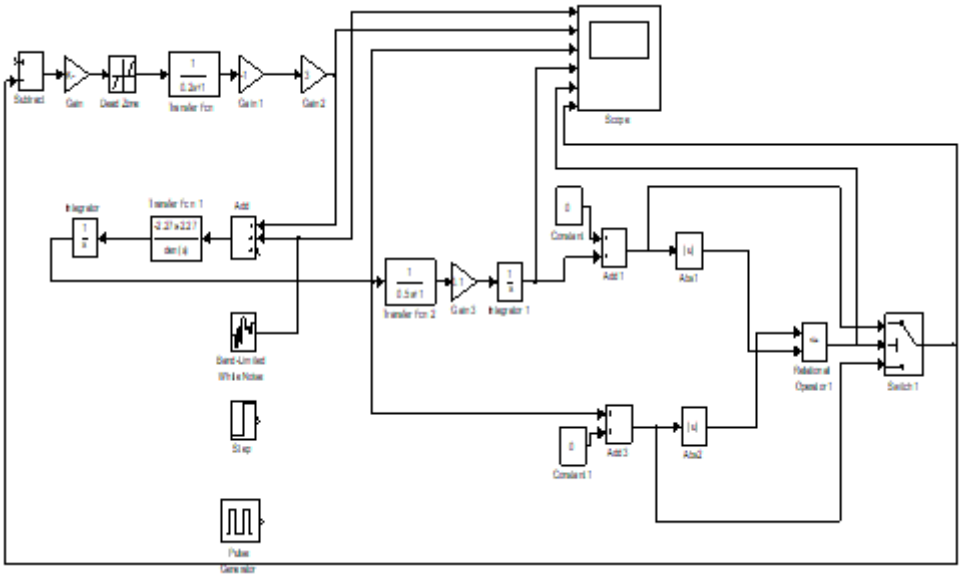
a - аеродинамичен коефициент.

На Фиг. 2 е представена структурна схема, в която са използвани предавателните функции (1) и (2) и на разработения модел на превключване на вниманието на надлъжния канал при управление в режим на хоризонтален полет при външни смущаващи въздействия (Фиг. 3).



Фиг. 3. Структурна схема за контура на управление в режим на хоризонтален полет при външни смущаващи въздействия

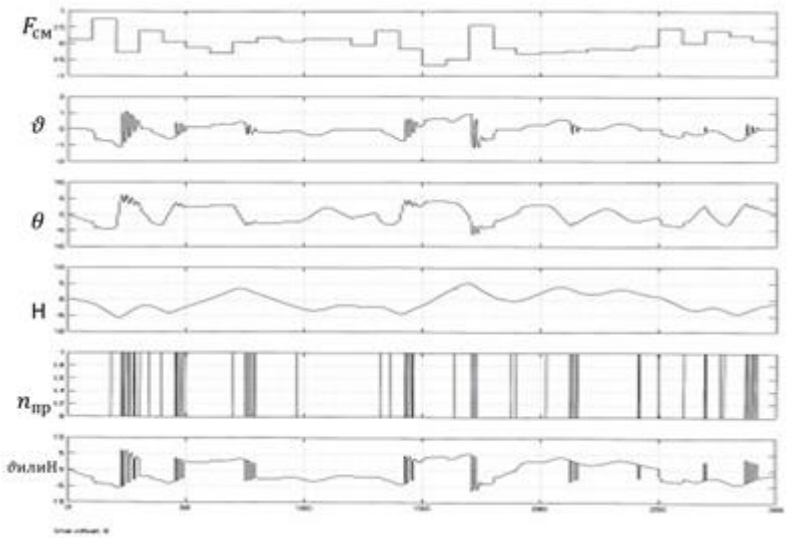
Като параметър за управление в надлъжния канал се използва разсъгласуването на зададените и текущите параметри на височината и тангажа в зависимост от доминиращия параметър, определен от концептуалния модел на Оператора.



Фиг. 4. Структурна схема на системата „Оператор – БЛА“ с отчитане на разпределение на вниманието

За изследване на системата „Оператор-БЛА“, с отчитане на разпределението на вниманието, е разработен модел в среда на системата MATLAB Simulink (Фиг. 4).

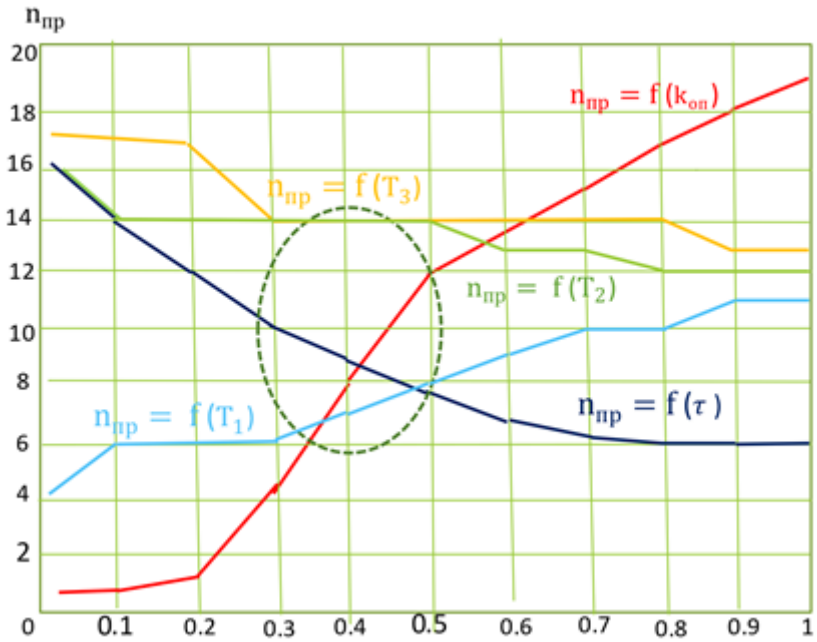
Предложеният модел позволява изследването на преходните процеси при външни смущаващи въздействия (единичен степенчат сигнал; случаен степенчат сигнал с разпределение на бял шум; периодично степенчато въздействие) (Фиг. 5).



Фиг. 5. Схема на изследване на преходни процеси при външни смущаващи въздействия

От експерименти е установено, че съществува възможност да се определят зоните на разпределението на вниманието между авиохоризонта (ϑ) и висотомера (H).

На Фиг. 6. е показана зависимостта на броя на превключванията от параметрите на предавателната функция на Оператора. Разпределение на вниманието $n_{пр} = f(k_{оп}, \tau, T_1, T_2, T_3)$.



Фиг. 6. Схема на зависимостите на броя на превключванията от параметрите на предавателната функция на Оператора

Изводи:

1. Разработеният линеен модел на надлъжния канал на системата „Оператор-БЛА“ в среда MATLAB-Simulink дава възможност да се изследват преходните процеси при външни смущаващи и управляващи въздействия.

2. На базата на разработения модел са определени оптималните параметри на разпределението на зрителното внимание между авиохоризонта и висотомера при хоризонтален полет в зависимост от подготвеността и индивидуалните качества на Оператора.

3. Предложеният концептуален модел за определяне на разсъгласуването на управляваните параметри, обработката на информацията и изпълнението на управляващи въздействия може да бъде използван, като елемент на изкуствен интелект при автоматичното управление на БЛА.

Благодарности: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана" (приета с ПМС № 731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров".

Литература:

1. Доброленский, Ю. П., Н. Д. Завялова, В. А. Пономаренко, В. А. Туваев, Методы инженерно-психологических исследовании в авиации, изд. "Машиностроение", Москва, 1975.
2. Йорданов, Д., П. Гецов, Ст. Гецов, Моделиране и изследване на системата „Пилот-Самолет", AVTOPRINT-Пловдив, 2019.
3. Кашковский, В. В., И. И. Тихий, Ю. Шишкин, Идентификация параметров динамической модели летчика по данным бортового устройства регистрации, Вестник Томского Государственного университета, 2004.
4. Красовский, А., Системы управление полетом пилотируемых летательных аппаратов, Издание ВВИА "Н. Е.Жуковского", 1971.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ПРОБЛЕМИ С УСТОЙЧИВОСТ И УПРАВЛЯЕМОСТ НА САМОЛЕТА ПРИ ВЪЗДУШЕН СТАРТ НА НАНОСПЪТНИЦИ

Димитър Йорданов, Петър Гецов

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: dimitar.v.jordanov@gmail.com

Ключови думи: *Безопасност на полета, динамика на полета*

Резюме: *Изследването представлява моделиране на маньовър за стартиране на ракетен модул с наноспътник и анализ на възможните усложнения на полета.*

PROBLEMS OF STABILITY AND CONTROLLABILITY IN AIR LAUNCH OF NANOSATELLITES FROM AIRCRAFT

Dimitar Yordanov, Petar Getsov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dimitar.v.jordanov@gmail.com

Keywords: *flight safety, flight dynamics.*

Abstract: *The study is a simulation of a rocket module air launch maneuver and analysis of possible flight complications.*

Изследователска задача: Чрез моделиране в *"Matlab-Simulink"* да се изследват потенциалните проблеми от аномалиите в устойчивост и управляемост на самолета - носител в маньовър за въздушен старт на ракетен модул с наноспътници (старт в режим на кабриране с намаляване на скоростта в трансзвуковата област).

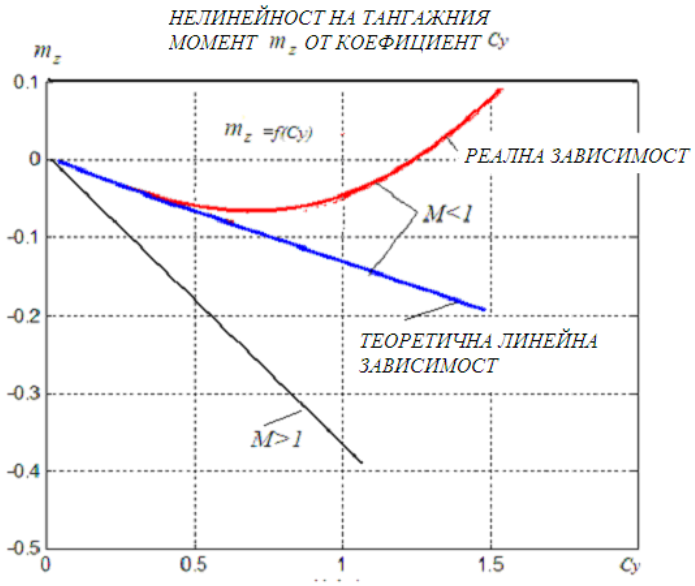
Специфични особености на самолетите със стреловидни крила на големи ъгли на атака и трансзвукови режими

Повечето съвременни свръхзвукови самолети имат крило със сложна форма в план и особености на големи ъгли на атака, които могат да се обяснят с пространственото им обтичане. Основното се свежда до развитие на вихрови и сривни явления и тяхното разпространение. Това се отразява най-силно на надлъжната устойчивост и управляемост. За тези явления е известно, че обуславят преместване на аеродинамичния фокус напред по средната аеродинамична хорда в известен от изпитанията диапазон на ъгли на атака (обикновено 12^0-24^0) и сигнализират за развитието си със слабо аеродинамично тресене. Самолетите постепенно намаляват надлъжната си статическа устойчивост и този процес се ускорява при непрекъснато увеличаване на ъгъла на атака до пълна загуба на статическа устойчивост, когато приложната точка на аеродинамичното въздействие се премести пред центъра на тежестта. Теорията доказва, а и практиката е показала, че опитите да се управляват самолети след загуба на надлъжна статическа устойчивост при всички случаи завършват с колебателна неустойчивост на контура "пилот – система за управление – самолет". Пилотирането е възможно със специални автомати за подобрение на устойчивостта и управляемостта, в които работят винаги съвместно автомати за устойчивост и автомати за демпфиране (такъв автомат има и МиГ-29, наречен "АПУС").

Без работеща автоматика, безопасният експлоатационен диапазон на хипотетичния моделиран самолет по ъгъл на атака α е до $12^0 \ldots 13^0$, което е сериозно ограничение. Затова при МиГ-29 например, евентуалният отказ на АПУС е специално сигнализиран (светване на лампа "ОТКАЗ АПУС"). За ограничаване на темпото и диапазона за отклонение на лоста за управление „на кабриране" на самолетите с такива свойства се предвиждат и системи, които ограничават възможността да бъде изведен леко самолета на големи ъгли на атака.

Като основна хипотеза се приема, че автоматите осигуряват безопасността на полета съвместно с пилота, при това основната роля за париране на неблагоприятните последствия от аномалии в устойчивостта и управляемостта се пада на пилота.

В теорията зависимостта на коефициента на надлъжния момент от коефициента на подемна сила е най-популярната картина, с която се обясняват тези особености. Допуска, че такава зависимост има вида показан на фигура 1. Тя се използва при моделирането на траекторията за пусковия маньовър на ракетния модул с наноспътник. На графиката за опростяване е пренебрегнат моментът при нулева подемна сила $(m_{z0} = 0)$. При управление в процеса на маньовъра, в зависимост от ъгъла на атака и свързания с него коефициент на подемна сила, се променя производната m_z^{Cy} от отрицателна (при надлъжна устойчивост) до положителна (при неустойчивост). В реалния маньовър работната точка по нелинейната характеристика се мести, но над определен ъгъл на атака (по данни от моделирането – около 20^0) много бързо отива в крайно дясно положение и самолетът бързо излиза на критичен ъгъл на атака.



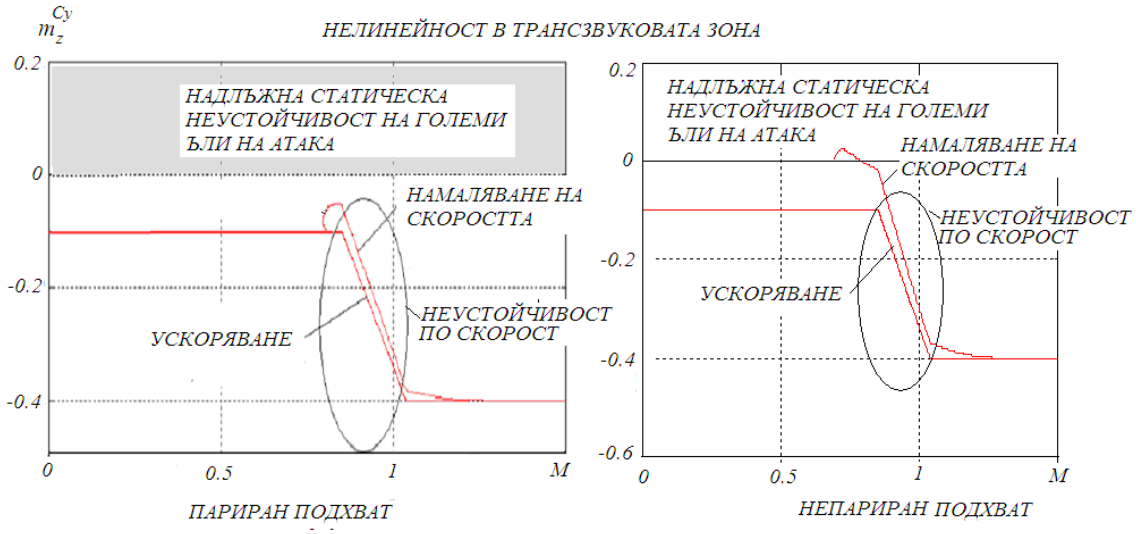
Фиг. 1. Моментни характеристики $m_z = f(c_y)$ на моделирания хипотетичен самолет (нелинейност на дозвукови скорости)

Описаните особености в устойчивостта и управляемостта са характерни за дозвуковия диапазон, На свръхзвукови скорости аеродинамичният фокус е назад по САХ (зад ц.т. на около 40% от САХ) и самолетите имат надлъжна статическа устойчивост, а и потребните ъгли на атака при изпълнение на предвидените задачи за въздушния старт на такива скорости са обикновено по-малки от 12^0. Увеличението над този ъгъл на атака може да стане при стремеж на пилота да маневрира енергично на големи височини (на "тавана") и да достигне ъгъл на тангажа в предпусковия маньовър "горка" по-голям от 30^0. От трите важни параметри за осъществяването на старта на ракетния модул с наноспътник – скорост, височина и тангаж – най-важно е да се съчетае скоростта (числото М на полета) и височината, които сравнително бавно се изменят. Тангажът е бързоизменящ се параметър и стойности над $30^0 \ldots 35^0$ лесно може да бъдат достигнати, ако пилотът в конкретния маньовър продължи нарастването на тангажа след достигането на границата от 12^0 по ъгъл на атака. При неработеща система за подобряване на устойчивостта и управляемостта, по данни от моделирането, на такъв режим "кабрирането" е енергично дори при постоянно положение на стабилизатора и за няколко секунди се достига до критичен ъгъл на атака, защото се намалява надлъжната статическа

устойчивост на самолета. Това енергично “кабриране” се нарича ”сривен подхват” [1-стр.235] или “подхват по претоварване”. Второто наименование е по-подходящо за малките височини (например за “подхват” при излизане от пикиране на изтребителите-бомбардировачи), където претоварването може да превиши експлоатационното и да се получат деформации и разрушения по конструкцията. На средни и големи височини непарираният “подхват” завършва със срив на маньовъра и предпоставки за специфичното за всеки самолет поведение на задкритични ъгли на атака (т.н. “сваляне на крило”). От този “сривен подхват” има катастрофи дори и с транспортни самолети. Изследван е през 60-70г. на миналия век и е свързано с въвеждането на стреловидните крила.

По-безопасно (за конкретния полет в стратосферата при извеждане в орбита на наноспътник) е да не се пилотира със стремеж непременно да се достигне голям тангаж. Ракетният модул има система за управление, която може да увеличи тангажа му след отделянето от самолета. В практиката са експериментирани дозвукови въздушни стартове и с малък ъгъл на тангажа (например – схемата за стартиране на двустепенния модул “Launcher One” с дължина 21,3 метра от модифициран B-747 на компанията *Virgin Orbit*).

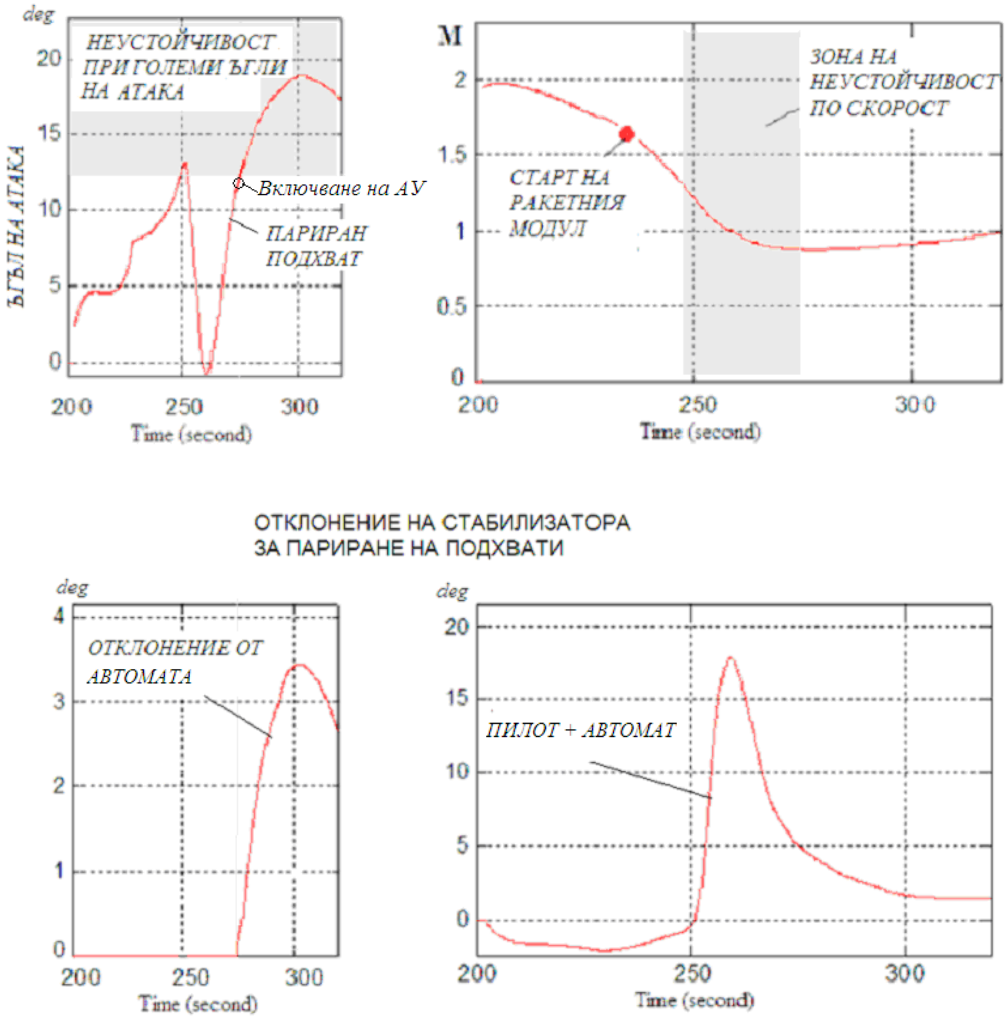
Освен споменатите по-горе особености на големи ъгли на атака моделираният хипотетичен самолет има характерното за всички свръхзвукови самолети преместване на аеродинамичния фокус по САХ в трансзвуковия диапазон (фиг. 2). Самолетът трябва да се **пребалансира** от пилота на този режим - при намаляване на скоростта се изисква движение на лоста напред, а при ускоряване – назад, което е обратно на нормалния начин на пилотиране с променлива скорост. В конкретния случай предпусковият маньовър е свързан с намаляване на скоростта от свръхзвукова до дозвукова и преместването на аеродинамичния фокус напред ще увеличи ъгъла на атака от пребалансировката, ако не се намеси пилотът. Това е типична временна загуба на устойчивост по скорост. В летателния жаргон това увеличение на ъгъла на атака при намаляване на скоростта на трансзвукови скорости се нарича “скоростен подхват” [1-стр. 238]. Ако се излезе на ъгъл на атака над 12^0 в процеса на преминаване от свръхзвукови на дозвукови скорости, може да се развие и “сривен подхват” от нелинейност на моментната характеристика на големи ъгли на атака (коментирана на Фиг. 1).



Фиг. 2. Изменение на надлъжната статическа устойчивост от преместване на аеродинамичния фокус в трансзвуковата зона (основна причина за скоростния подхват), моделирано в *Matlab-Simulink*, при работеща система за подобряване на устойчивостта и управляемостта в маньовър “горка” за стартиране на ракетен модул

В конкретните условия на моделирания полет (H>15 km) “скоростният подхват” се развива отначало по-бавно. Трансзвуковият диапазон при намаляване на скоростта се преминава за около *20s*. На големи височини поради ниската плътност на въздуха много слабо е изразен положителният градиент на претоварването в “скоростния подхват” и от това се формира по-голямо закъснение в реакцията на пилота. Той може да закъснее с парирането на тази неблагоприятна пребалансировка от преместване на фокуса напред по САХ в трансзвуковия диапазон. Затова автоматиката е по-надеждна при формиране на превантивна команда.

Моделирани са маньоври със работеща система за подобряване на устойчивостта, представена в модела условно като автомат за устойчивост (АУ) и автомат за демпфиране (АД) работещи заедно. Отначало при увеличаване на ъгловата скорост на тангажа ролята на АД е по-силно изразена и той се проявява като много благоприятен фактор за париране на "скоростния подхват". Ако самолетът излезе на режим над 12^0 започва да работи и АУ в същата посока както и АД. Следователно ролята на автоматиката се свежда до превантивно (независимо от действията на пилота) отклонение на стабилизатора "на пикиране" при склонност към енергично "кабриране" след навлизане в зоните на неустойчивост по скорост и над 12^0 по ъгъл на атака. Ролята на системата за подобряване на устойчивостта и управляемостта (условно наречена "автомат") в конкретния маньовър за свръхзвуков старт на ракетен модул е показана на Фиг. 3. На тези резултати се вижда как автоматиката в системата за управление подпомага пилота да се справи с особеностите в трансзвуковата зона и на ъгли на атака над 12^0. Основна е ролята на пилота, автоматът за устойчивост сработва само на големи ъгли на атака (над 12^0 по ъгъл на атака). АД работи винаги.



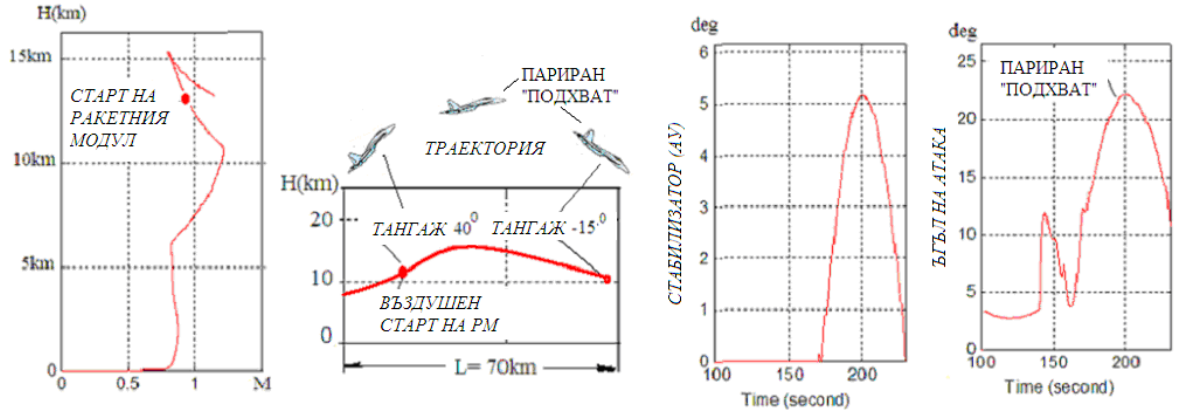
Фиг. 3. Моделирана хипотеза за ролята на системата за управление за подпомагане на пилота в парирането на "скоростен подхват" при намаляване на скоростта в трансзвуковата зона и "сривен подхват" на големи ъгли на атака

Възможността на автоматиката не е безкрайна защото увеличаването на коефициента на усилване на автомата може да доведе до колебателна неустойчивост на контура. При груби грешки на пилота (стремеж за достигане на голям ъгъл на тангажа в пусковия режим за ракетния модул), развиващият се "скоростен подхват" преминава в "сривен" (подхват на големи ъгли на атака), което най-логично е да завърши като неустойчиво движение на задкритични ъгли на атака от типа "падащ лист" на големи височини (по-данни от моделирането на около 18 km, където подемната сила е недостатъчна дори за хоризонтален полет). В условията на скоростен - преминаващ в сривен подхват автоматите подпомагат пилота (т.е. работят в една

посока с пилота), но в развиващ се енергично подхват автоматите и пилота не винаги могат да го парират успешно, независимо от еднопосочното им действие в управлението на стабилизатора.

Показаните резултати от моделирането потвърждават хипотезата, че автоматите и пилотът не допускат излизане на критичен ъгъл на атака след въвеждането в “горка” на свръхзвукова скорост, при която се увеличава височината, а намалява числото М от М=2 до М=1.7 (за свръхзвуков въздушен старт) и до М=0.9 (при дозвуков старт). В този трансзвуков режим, при намаляване на скоростта самолетите реагират енергично на “теглещи” усилия върху лоста за управление, защото естествено се пребалансират на ново (дозвуково) положение на аеродинамичния фокус. Това провокира развитието на подхватите защото влизането в „горка“ се извършва с теглещи усилия.

На Фиг. 4 са показани резултати - фрагменти от моделиране на дозвуков старт на ракетен модул от хипотетичен самолет. Пусковият маньовър е подобен по условия на изпълнения полет за прехват на спътник от самолет F-15 през 1985 г. [3] *(.....Prior to the launch, the F-15 - flying at Mach 1.22 - executed a 3.8g zoom climb at an angle of 65 degrees. The ASM-135 ASAT was automatically launched at 11.6 km while the F-15 was flying at Mach 0.934.....*). Разликата е в тангажа на самолета и наклона на траекторията. В моделирания маньовър максималният тангаж при старта на ракетния модул е 40^0, а ъгълът на траекторията е около 30^0 (ъгълът на атака не е повече от 10^0). За F-15 ъгълът на траекторията е 65^0.



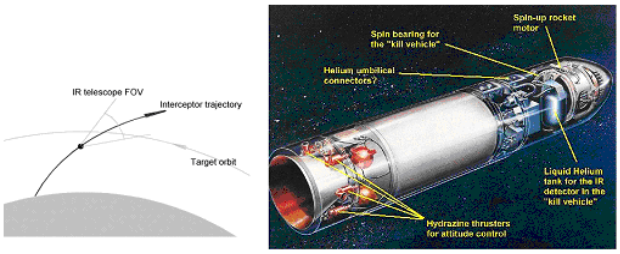
Фиг. 4. Резултати от моделиран дозвуков старт на ракетен модул (РМ) с париране на “подхвата” от пилота и системата за подобряване на устойчивостта и управляемостта

На графиците от Фиг. 4 се откроява ролята на автоматите при париране развитието на свързани един след друг “скоростен” и “сривен” подхвати непосредствено **след старта** на космическия ракетен модул. Характерно за подхватите при намаляване на скоростта в трансзвуковата зона е, че максимумът на ъгъла на атака се получава на дозвукови скорости (М=0.9...0.95). Вероятно поради това потенциално усложнение от неустойчивост по скорост в трансзвуковия диапазон, при проведения успешен експеримент със самолет F-15 е предвидено автоматично отделяне на ракетния модул. Фотографии (от интернет) на този момент са показани на фигури 5 и 6.

В този експеримент на F-15 ракетата и целта са в насрещен полет и задачата е целта да бъде унищожена с кинетичната енергия на удара. Затова не е потребно да се достигне първа космическа скорост за орбитална траектория, а точно насочване на ракетата, която е двустепенна. Дозвуковият режим на самолета осигурява с двустепенна ракета достигане на потребната скорост за среща и унищожаване на целта по балистична траектория.

....On 13 September 1985, Maj. Wilbert D. "Doug" Pearson, flying the "Celestial Eagle" F-15A 76-0084 launched an ASM-135 ASAT about 322 km (200 miles) west of Vandenberg Air Force Base and destroyed the Solwind P78-1 satellite flying at an altitude of 555 km (345 miles).....

Фиг. 5. Фотографии от експеримента “ASAT” през 1985 г.



..... Sven Grahn's comments: I have been thinking about the intercept geometry of the F-15 ASAT. As I see it the two-stage booster could not have reached more than maybe 4-5 km/s at burnout, which is not enough to catch up with a satellite in orbit moving at 7-8 km/s. Therefore the intercept must have been made "head-to-head", i.e a head-on approach ....

Фиг. 6. Траектория на прехвата на спътника от експеримента “ASAT” през 1985 г.

Изводи от моделирането:

- На базата на резултатите от моделирането заключението е, че успешен експеримент е по-безопасен при старта на модула на свръхзвуков режим - в областта на динамичния таван на самолета в стратосферата. На този режим самолетът навлиза в трансзвуковата зона след старта на ракетния модул. До максимума в ъгъла на атака от подхвата след старта на космическия модул по данни от моделирането има достатъчен резерв от време около 40...50 s.
- При дозвуков старт по схемата “ускоряване до свръхзвукови скорости и намаляване на скороста в кабриране до M=0.9” отделянето на модула с наноспътник попада в най- неблагоприятната зона на неустойчивост по скорост и особености в управляемостта на самолета.
- Ракетният модул, поставен на пусковото устройство, не трябва да изменя масовия център на самолета извън допустимите граници.
- Ролята на пилота на изследваните режими е съществена за недопускане на усложнения на трансзвукови скорости и големи ъгли на атака.
- Възможно е усложнение на етапа разделяне на ракетния модул от самолета, когато модулът е аеродинамично неустойчив обект. За да не се завърти около напречната си ос, е нужна ефективна система за управление на модула.

Благодарности: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана” (приета с ПМС №731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“.

Литература:

1. Галашев, Е. С., Н. М. Лысенко и др. *Аэродинамика и динамика полета маневренных самолетов,* ВИ, Москва, 1984 г.
2. Йорданов, Д. В., П. Гецов, Ст. Гецов. *Моделиране и изследване на системата пилот –самолет,* изд, “Автопринт”, Пловдив, 2019 г.
3. Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/ASM-135_ASAT http://www.svengrahn.pp.se/histind/ASAT/F15ASAT.html

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

НОВИ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИЕТО НА ВОЕННОКОСМИЧЕСКИТЕ СИСТЕМИ

Павел Пенев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: ppenev@space.bas.bg

Ключови думи: *Космос, маневриране, военнокосмически системи, аерокосмически системи, спътници-инспектори, ситуационна осведоменост, комерсиализация на космическата дейност, космически заплахи за планетата*

Резюме: *Формулирана е същността на военнокосмическите системи (ВКС) с актуални съвременни примери и са развити техните свойства. Установено е, че между повечето от тях са налице взаимосвързаност и взаимозависимост. Разкрити са три нови направления в развитието на ВКС: инспекционна дейност в Космоса чрез спътници-инспектори, осигуряващи ситуационна осведоменост и други военни приложения; комерсиализация на космическата дейност чрез съвместно използване на ВКС и нискорбитални сателитни конфигурации; предупреждение за отразяване на космически заплахи за планетата.*

NEW TRENDS IN THE DEVELOPMENT Of THE MILITARY SPACE SYSTEMS

Pavel Penev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ppenev@space.bas.bg

Keywords:*, Space, maneuvering, military space systems, aerospace systems, inspector satellites, situational awareness, commercialization of space activities, space threats to the planet*

Abstract: *The essence of military space systems (MSS) is formulated with actual contemporary examples and their properties are developed. It is found that there are interconnections and interdependence among most of them. Three new directions in the development of MSS revealed: inspection activities in space through inspector satellites providing situational awareness and other military applications; commercialization of space activities through the joint use of MSS and low-orbit satellite configurations; warning to reflect space threats to the planet.*

Военнокосмическите системи (ВКС) възникват паралелно със създаването на първите космически летателни апарати (КЛА) и космически системи.

Разглеждайки космическото пространство като възможен театър на войната, водещите космически държави отделят голямо внимание на непрекъснатото функциониране на съществуващите ВКС, на тяхното усъвършенстване и на създаването на нови такива.

Под ВКС се разбира [3] съвкупност от функционално взаимосвързани и съгласувано действащи средства с космическо, въздушно и наземно базиране (за някои ВКС и с морско базиране), предназначени за решаване на различни целеви задачи от военен характер в и от Космоса.

От кибернетична и инженерна гледна точка ВКС са големи (сложни) системи и включват в състава си същностни компоненти като КЛА, космодруми, наземни комплекси за управление, комплекси за търсене и спасяване на космонавтите (астронавтите) и др. Всеки от изброените компоненти на ВКС е с относителна самостоятелност и представлява система от системи (SoS).

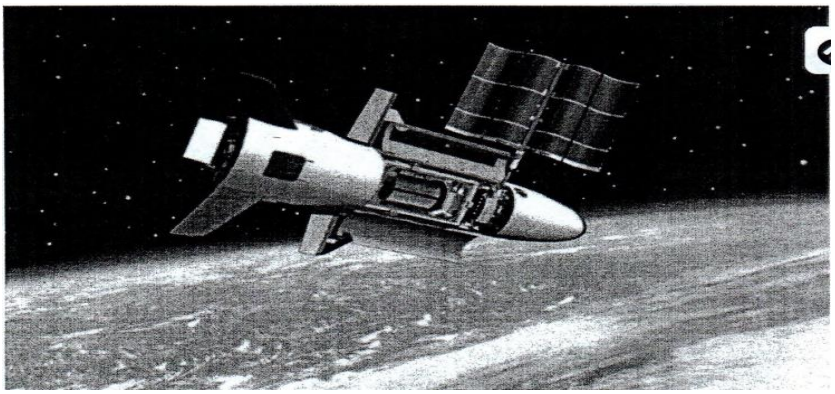
Основен компонент на всяка ВКС, независимо от предназначението й е КЛА, който е и най-динамичният компонент на системата. Космическите летателни апарати са изпълнителното звено на ВКС, като включват спътници (сателити) с различно предназначение, пилотируеми и безпилотни космически кораби и орбитални станцииq както и космически совалки –

пилотируеми и безпилотни. Тези КЛА формират орбитални групировки (ОГ), наричани и орбитални конфигурации.

Класификацията на ВКС в зависимост от предназначението им и вида на военните действия непрекъснато се развива [2]. Понастоящем се наблюдава взаимно препокриване на отделните видове ВКС – за осигуряване на военните действия, ударни, за противокосмическа отбрана (ПКО) и аерокосмически системи (АКС), в посока към многоцелевост и многофункционалност.

Аерокосмическите системи, използвани за целите на военното дело, са най-новия вид ВКС [3], като удачно използват комерсиализацията на космическата дейност.

На съвременния етап типичен представител на ВКС, и по-конкретно на АКС, е въздушнокосмическия кораб (ВКК) за многократно използване X-37B OTV (Orbital Test Vehicle - орбитален изпитателен апарат) - Фиг. 1, известен още и като безпилотна минисовалка. По своята същност този КЛА е орбитален самолет или ракетоплан, който се извежда в орбита с помощта на двустепенната ракета-носител (РН) „Atlas V“ (по-късно – с РН „Falcon-9“), а снижението и кацането му на писта на летище извършва в автоматичен режим като самолет. Предназначението и изпълняваните задачи на тази безпилотна минисовалка не се обявяват.



Фиг. 1. Възможен вид на безпилотния въздушнокосмически кораб за многократно използване X-37B OTV при полет в околоземна орбита

Орбиталният самолет за многократно използване „X-37B OTV“ при полет в Космоса функционира на височини 200–750 km, като е способен бързо да променя параметрите на орбитата си и да маневрира. Това му позволява изпълнение на прехвати на КЛА, както и контрол и овладяването им.

За периода 2010–2022 г. този КЛА е изпълнил шест мисии с нарастваща продължителност, а шестата му мисия, започнала на 17.05.2020 г. продължава и в наши дни.

Според военнокосмически специалисти на Русия, Китай и някои съюзници на САЩ орбиталният самолет за многократно използване „X-37B“ е не само АКС, а може да се използва и като ударна ВКС, т.е. като космическо оръжие. Основание за това са експериментите на борда му за преобразуване на слънчева енергия в микровълни, които официално се обявяват, че са „изключително в областта на енергетиката“. Според чуждестранни анализатори този КЛА е в състояние да пренася на борда и извършва пускане към земни цели на ядрени боеприпаси.

Широкото използване на ВКС от различни държави в условия на мир, кризи и военни конфликти се дължи на техните свойства [2], които непрекъснато се развиват и постепенно обособяват в отделна група спрямо другите средства на въоръжена борба.

На настоящия етап се очертават следните свойства на ВКС: глобалност на използването; висока достоверност и точност на получаваната информация; способност за функциониране в режим близък до реалното време; огромен радиус и скорост на поразяване на целите; многоцелевост и многофункционалност; гъвкавост на използването; способност за съвместно използване с комерсиални космически системи.

Типични представители на <u>първото свойство „глобалност на използването“</u> са глобалните спътникови навигационни системи (СНС) „GPS“ и „ГЛОНАСС“. Както е известно, предназначението на тези системи е глобално навигационно-времево осигуряване на всички потребители, намиращи се на повърхността на Земята, в приземното и близкото космическо пространство.

С помощта на СНС „GPS“ и „ГЛОНАСС“ се извършва непрекъснато, високоточно и в мащаб на времето, близък до реалния, определяне на местоположението на потребителите, т.е. е налице пряка връзка с второто и третото свойство на ВКС.

Съвременните стратегически ядрени сили, както и тези за сдържане, получават сигнали за корекция на траекторията на носителите и на съответните средства за поразяване от глобалните СНС „GPS“ и „ГЛОНАСС“. По такъв начин свойството „глобалност на използването“ на ВКС има взаимозависимост със свойството „многоцелевост и многофункционалност“.

Свойството „глобалност на използването“ притежават и някои съвременни ВКС като безпилотната минисовалка „X-37B OTV“, способна да маневрира в околоземна орбита и да въздейства във/от всяка точка на космическото пространство не само по КЛА, но и по земни цели.

Свойството „висока достоверност и точност на получаваната информация“ в значителна степен притежават спътниковите разузнавателни системи за наблюдение като основна част на ВКС за осигуряване на военните действия. Използването от съответните спътници на оптикоелектронни сензори, функциониращи в различни зони на електромагнитния спектър, както и на радиолокационни сензори, във висока степен осигурява достоверност и точност на получаваните изображения на различни обекти.

Това свойство притежават и глобалните СНС „GPS“ и „ГЛОНАСС“. Използването им осигурява еднозначност на навигационните измервания в единна за всички потребители координатна система, като за системата „GPS“ това е Световната координатна система WGS-84, а за системата „ГЛОНАСС“ – ПЗ-90 (параметри на Земята).

Свойството на ВКС „Способност за функциониране в режим близък до реалното време“ се характеризира със специфика в сравнение, например с безпилотните авиационни системи (БАС). Докато при последните, получаването на необходимата информация за конкретен обект от безпилотен летателен апарат (БЛА) за наблюдение е в реален мащаб на времето (РМВ), т.е. постъпва директно на дисплея на оператора на БАС, при ВКС за наблюдение необходимия цикъл за получаването й е в режим, близък до реалното време. Следователно, в най-общия случай функционирането на ВКС – от първоначалното получаване на информация за интересуващия ни обект (включително различните видове на обработката й) до вземането на решение и съответното действие, е в мащаб на времето, близък до реалния.

По отношение свойството „огромен радиус и скорост на поразяване на целите“ следва да се отбележи, че същото в най-висока степен се отнася за ударните ВКС, известни като космически оръжия, които не са регламентирани в Договора по Космоса от 1967 г. Според редица военнокосмически специалисти, САЩ, Русия и Китай провеждат в условия на секретност експерименти в Космоса с ударни ВКС основно в четири направления: лазерно оръжие, лъчево оръжие, кинетично оръжие и електромагнитно импулсно оръжие. Повечето от тези космически оръжия [6] се характеризират с огромен пространствен обхват и свръхвисока скорост на поразяване на целите в Космоса и на Земята.

Свойството „многоцелевост и многофункционалност“ означава, че отделни средства и системи на ВКС реализират няколко функции и задачи, и успешно решават широк клас задачи от военен и невоенен характер.

Така например, безпилотният ВКК за многократно използване „X-37B“ изпълнява в продължение на години различни секретни мисии и задачи в околоземното пространство. Този КЛА променя орбитата си, може да бъде носител на малки спътници, да играе ролята на тежък спътник за разузнаване и комуникация, на ремонтен КЛА, да прехваща космически обекти (КО), да формира траектория за въздействие по земни цели, като след изпълнение на мисията си да извършва кацане на летище. По своята същност орбиталният самолет „X-37B“ е многофункционален. Това му дава значителни преимущества пред другите КЛА, а заедно с РН, която го извежда в Космоса, образува АКС.

По отношение свойството „гъвкавост на използването на космическите системи“ следва да се напомни, че през второто десетилетие на XXI век, в резултат на бурното развитие на високите технологии, в околоземни орбити се появяват спътниците-инспектори – микросателити с йонни двигатели, способстващи за т.н. ситуационна осведоменост. Тези спътници успешно извършват орбитално маневриране около интересуващи ги КО или над зоните на кризи (военни конфликти), с цел изучаване и добиване на необходимата информация, както и за избягване на евентуални атаки от други спътници, разполагащи с кинетични и други оръжия или поне излизане от обхвата на сензорите им. Според редица военнокосмически специалисти, спътниците-инспектори могат да осъществяват и електронно подавяне на сензори или физическо въздействие на противостоящи КЛА.

Същевременно орбиталното маневриране изисква наличие на данни за космическата обстановка в РМВ или близък до него и непрекъснато проследяване на атакуващия спътник и съответното средство за поразяване, т. е свойството „гъвкавост на използването на космически системи“ е свързано с второто и третото свойства на ВКС от посочените по-горе.

Някои съществуващи АКС като тази на американската компания „Virgin Orbit“, използваща РН „LauncherOne” с наносателити и установена на самолет „Boeing 747 Cosmic Girl”, осигуряват

избор на точката на старта на спътника (спътниците) и широк диапазон от реализирани наклони на орбитата на сателита към плоскостта на Екватора. Това обуславя висока гъвкавост на тази АКС, т.к. траекторията на нейните спътници обхваща представляващите интерес райони от Земята. Наред с изложеното, компанията „Virgin Orbit“ извежда в околоземна орбита както военни, така и граждански наносателити, т.е паралелно със свойството „гъвкавост“ се реализира и „многоцелевост“.

По отношение свойството „съвместно използване на ВКС с комерсиални космически системи“ следва да се отбележи, че водеща и особена роля за формулирането и реализирането му има операция „Пустинна буря“ (1991 г.), в която е разгърната ОГ от над 50 военни и значително количество американски, френски и английски граждански сателити, използвани за разузнаване, навигация, комуникация, оценка на резултатите от нанесените удари, топогеодезично и метеорологично осигуряване. Тази ОГ е в основата на информационното превъзходство и на ефективността на високоточните оръжия и системи в зоната на операцията [3].

Разглежданото свойство на ВКС успешно се реализира и в съвременни условия.

През последните две десетилетия особено интензивно, наред с ВКС, се развиват и комерсиалните космически системи. С появата и успешното използване през XXI век на нискоорбиталните комерсиални системи „Starlink“ и „OneWeb“ във военни конфликти, например в Украйна, броят на съответните комерсиални сателити значително превишава тези на КЛА от ВКС.

От изложеното по-горе следва, че между повечето от изброените свойства на ВКС е налице взаимосвързаност и взаимозависимост.

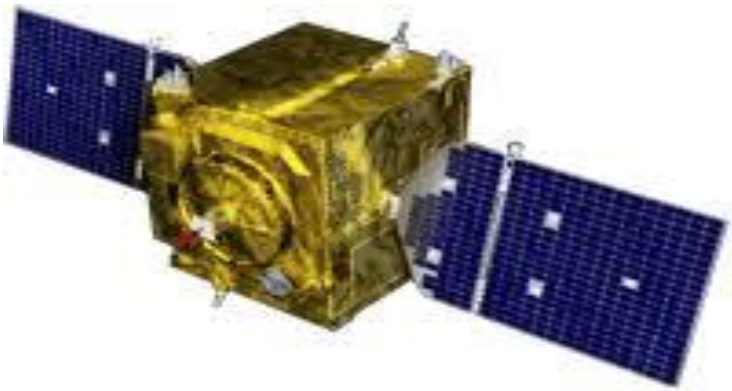
От анализа на свойствата на ВКС се откроява тяхната комплексност, както и редица тенденции в тяхното функциониране. Очертават се и нови направления за развитие на ВКС като инспекционна дейност в Космоса чрез спътници-инспектори; комерсиализация на космическата дейност чрез съвместно използване на ВКС и нискоорбитални сателитни конфигурации за достъп до Интернет; предупреждаване за отразяване на космически заплахи за планетата.

През второто десетилетие на XXI век активно започва инспекционната дейност в Космоса. В състава на ОГ на САЩ, Русия и Китай се появяват нов вид КЛА – спътници-инспектори, предназначени за контрол на обстановката в Космоса. Същите обикновено са малки КЛА (под 50 kg), като имат способността да маневрират, да променят параметрите на орбитите си и да се сближават с други КО с цел тяхното изучаване.

Инспекционната дейност на САЩ в Космоса стартира още през 2006 г., когато са изведени в околоземна орбита два сателита „MITEX” за скрито сближаване с космически обекти на геостационарна орбита (ГСО). Тази дейност продължава през следващите години. От 2014 г. в САЩ се реализира програма за спътници-инспектори „GSSAP” (Geosynchronous Space Situational Awareness Program - Програма за осведоменост за ситуацията на ГСО) за контрол на космическото пространство в интерес на ВВС. Програмата е секретна и е разработена от ВВС на САЩ и компанията „Orbital ATK“.

За изпълнение на горепосочената Програма в периода 2014-2016 г. са изведени в ГСО четири сателита, които „дрейфуват” по-високо или по-ниско от пояса на ГСО, маневрират, вероятно заснемат спътници и други КО с помощта на оптикоелектронна апаратура, като параметрите на тези КЛА са секретни. Като цяло Програмата „GSSAP” осигурява точно проследяване и определяне на характеристиките на сателити.

Първият спътник-инспектор „GSSAP-1” (Фиг. 2), изведен в ГСО на 28.07.2014 г. с РН „Delta-4M“, е извършил до 2018 г. повече от 400 маневрирания, включително за оглеждане на американския военен комуникационен сателит „MUOS-5” с дефектирал основен двигател.



Фиг. 2. Общ вид на първия сателит-инспектор „GSSAP-1”

Вторият спътник-инспектор „GSSAP-2”, изведен в ГСО на същата дата през 2014 г. със същата РН „Delta-4M“, е извършил инспекционно сближение с американския военен комуникационен сателит „WGS-4”.

Следващите два спътника-инспектори - „GSSAP-3” и „GSSAP-4”, са изведени на ГСО с РН „Delta-4M“ на 19.08.2016 г.

През 2017 г. спътници-инспектори „GSSAP” са се сближавали на разстояния до 10–15 km до руския граждански спътник „Экспрес-АМ8” и руските военни спътници „Луч” и „Благовест”, а в периода 2017–2018 г. – и до руските спътници от серията „Радуга”.

На 04.02.2022 г. са изведени в околоземна орбита сателитите-инспектори „GSSAP-5” и „GSSAP-6” с една и съща РН „Atlas-V“. Наред с другите си задачи тези два КЛА са способни да правят едромащабни снимки на други спътници.

Като цяло сателитите - инспектори „GSSAP” решават задачи по т.н. „ситуационна осведоменост”, като наблюдават за възможни заплахи на американските спътници на ГСО.

Оказва се, че не единствено малките КЛА могат да изпълняват функции и задачи на спътници-инспектори. Счита се, че минисовалката „X-37B OTV“ се използва от американските ВВС и като спътник-инспектор (фиг. 1), т.к. е в състояние да променя орбитата си, да носи разузнавателно оборудване, да пренася и пуска сателити.

От 2013 г. Русия реализира програма „Нивелир” за спътници-инспектори. Първият от тях е КЛА „Космос-2491”, изведен в Космоса през 2013 г, вторият „Космос 2499“ – през 2014 г. и третият спътник-инспектор - „Космос-2504” – през 2015 г. Оценките показват, че масата на всеки от трите спътника-инспектори е не по-голяма от 50 kg.

Външният вид и предназначението на тези три КЛА не са обявявани, но чрез оценка на поведението им на околоземна орбита се получава значителна информация. Така например, в резултат на анализ на елементите на орбитите се определя, че някои от тези спътници се сближават с други руски КО.

През 2017 г. спътникът „Космос-2504” преминава на един километър около отломките на китайския спътник, разрушен през 2007 г. при изпитания на китайско противоспътниково оръжие.

На 23.06.2017 г. в околоземна орбита е изведен спътникът-инспектор „Космос-2519”, който е четвъртият маневриращ руски спътник по програмата „Нивелир“ за последните години. За този КЛА официално се обявява, че е предназначен за заснемане на Земята и КО. Според редица оценки спътникът-инспектор „Космос-2519“ е друга платформа, която не е еднотипна с тези на предишните спътници-инспектори „Космос-2491”, „Космос 2499“ и „Космос-2504”.

От спътника-инспектор „Космос-2519” месец след изстрелването му, по подобие на руска „Матрьошка”, се отделят два дъщерни спътника – от начало „Космос-2521”, за който официално се обявява, че е спътник-инспектор, като от него по-късно се отделя „Космос-2523”. Според някои оценки, освен разузнавателни функции и контрол на техническото състояние на КЛА, в тези случаи е <u>възможно да е провеждано и изпитание на орбитална противоспътникова система</u>.

Единият от горепосочените дъщерни спътници - „Космос-2521”, се е сближил с КЛА „Космос-2486“, който е руският спътник за оптикоелектронно разузнаване (ОЕР) „Персона № 2“ и извършва маневриране пред и зад него.

На 25.11.2019 г. от космодрума „Плесецк” е изведен в орбита спътникът-инспектор „Космос-2542”, като предназначението му е обявено от официални руски източници – „осъществяване на мониторинг на състоянието на отечествените спътници и заснемане на повърхността на Земята”. Този КЛА се оказва на същата орбита, на която лети разузнавателния USA-245 за ОЕР „КН-11” на разстояние 150-300 km от него. Това принуждава американският сателит да промени параметрите на орбитата си.

По-късно, на 06.12.2019 г. от „Космос-2542” се отделя дъщерният спътник „Космос-2543”. Между 04.06.2020 г. и 10.06.2020 г. спътникът „Космос-2543” прави опит за сближение с американския сателит за ОЕР „КН-11”, като извършва не по-малко от шест маневрирания, а на 21.06.2020 г. се сближава с него на разстояние, не по-малко от 100 m. В резултат американският сателит „КН-11” коригира орбитата си.

През месец юли 2020 г. спътникът „Космос-2543” излиза в „опашката” на спътника „Космос-2535” и над Северна Европа от първия спътник се отделя обект със скорост по-голяма от 140 m/s. Възможно е чрез това събитие да <u>продължават изпитанията на орбиталната противоспътникова система</u>.

Китайските спътници „Chuang Xin 3 (CX-3)”, „Shiyan 7 (SY-7)” и „Shiyan 15 (SY-15)”, официално предназначени за борба с космическия „боклук”, са с двойно предназначение. Тези КЛА са извършвали взаимно сближение и изпитания на роботизиран манипулатор, което напомня на действията на спътниците-инспектори.

През 2010 г. два китайски сателита – „SJ-6F“ и „SG 12“, умишлено се сблъскват помежду си, като това събитие се оценява като изпитание на оръжие от класа „Космос-Космос“.

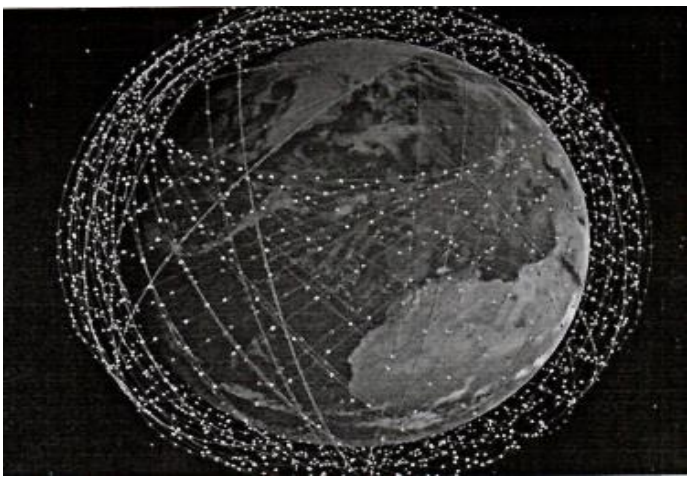
Китайският сателит „Shiyan 17”, обявен като експериментален спътник, се премества по ГСО и сближава до 100 km с други КЛА. Според някои анализатори, този спътник е китайски аналог на американския сателит „PAN” или на руския спътник „Луч”.

По мнение на водещи космически експерти, спътниците-инспектори, наред с основната си задача могат да се използват при военнополитическа криза и във военно време като средства за противодействие на ВКС на противостоящата страна не само на ГСО, но и на ниски орбити. За целта в състава на полезния товар (ПТ) на спътниците-инспектори могат да влизат различни по физически принцип на работа средства за въздействие като СВЧ-излъчватели, радиочестотни средства за подавяне, лазери, разпръскватели на космозоли, както и бойни модули за кинетично въздействие.

Спътниците-инспектори, които се използват като средства за противодействие на ВКС, според някои американски военни специалисти [6] се отнасят към т.нар. „ко-орбитални ASAT оръжия“. Тези КЛА първо се извеждат в околоземна орбита, а след това маневрират и вероятно въздействат по конкретен сателит-цел. Неслучайно някои военни експерти наричат спътниците-инспектори „космически торпеда“.

По мнение на водещи космически експерти спътниците-инспектори, създадени и използвани за решаването на военни задачи, имат и цивилни приложения основно в две направления: борба с т.нар. „космически боклук”, чиято актуалност понастоящем нараства; зареждане и обслужване на спътници в орбита (диагностика, ремонт и др.).

Второто направление за развитие на ВКС „Комерсиализация на космическата дейност чрез съвместно използване на ВКС и нискоорбитални спътникови конфигурации за достъп до Интернет“ е тясно свързано с дейността на американския милиардер Илон Мъск и основаната от него компания „Space-X“. Той, в рамките на системата „Starlink” за глобален високоскоростен широколентов интернет, поетапно разгръща нискоорбитална мрежа от сателити на височини 335 – 614 km, чийто брой трябва да бъде в диапазона от 12 000 до 42 000 КЛА до края на десетилетието (Фиг. 3).



Фиг. 3. Нискоорбитална мрежа от сателити на компанията „Space-X”
в рамките на проекта „Starlink“

При това спътниковият достъп до Интернет се осигурява на места, където обичайното покритие с интернет е ненадеждно, скъпо или изцяло недостъпно. За целта с помощта на една РН „Falcon-9“ периодично се извеждат в околоземна орбита едновременно набор (серия) от около 50 – 60 сателита от системата „Starlink“.

Спътниците „Starlink“ са с маса около 260 kg и с форма във вид на плоска панела (Фиг. 4). Разполагат с електростатически двигатели, работещи на ефекта на Хол, с използване на инертния газ „криптон“. На всеки от тези сателити е установена една слънчева батерия, четири фазирани антенни решетки в Ku, Ka и V диапазоните на електромагнитните вълни и датчици за ориентация по звездите. Очакваният срок на функционирането им в околоземна орбита е 5-10 години.

Първото извеждане в околоземна орбита на сателити „Starlink“ е осъществено на 22.02.2018 г. Към месец октомври 2022 г. са изстреляни 3397 сателита, от които 3131 са в околоземна орбита.

Сателитите „Starlink“ ползват данни на системата за следене на „космически боклук“ на МО на САЩ с оглед автономно изпълнение на маневри за избягване на сблъсък както с „космически боклук“, така и с КЛА.

Фиг. 4. Общ вид на сателитите „Starlink“ при полет в околоземна орбита

Някои военни анализатори считат, че мрежата „Starlink”, като орбитална система за Интернет, разполага със засекретен военен компонент. Последният е собственост на МО на САЩ и е свързан с американски военни сателити.

След началото на военните действия на 24.02.2022 г. между Русия и Украйна, Илон Мъск заявява, че предоставя на Украйна услугите на компанията „Space-X” по отношение системата „Starlink”, сменя програмното осигуряване и предава определено количество терминали на потребителите за ползване на системата, като точната им цифра не е известна. Според средствата за масова информация (СМИ) Илон Мъск е предоставил на Украйна не по-малко от 12 000 сателитни терминала за достъп до Интернет. Във военните действия в Украйна чрез тази система Пентагонът следи в РМВ динамиката бойното поле, включително позициите и движението на руските войски, т.е. се използва за наблюдение и разузнаване. Системата „Starlink” в пълната й конфигурация осигурява на украинската артилерия т. н. целеполагане (targeting) на руските позиции с висока точност, извършвано с помощта на американски и английски офицери. Мрежата „Starlink” в този военен конфликт обслужва шифрирано и с голяма скорост и военните комуникации на Украйна.

Украинските ударни БЛА използват системата „Starlink” за ракетопускане и бомбопускане по позициите на противника.

Оказва се, че системата е практически неуязвима за руските средства за радиоелектронна борба (РЕБ). Чрез системно обновление на програмното осигуряване на терминалите за ползване, опитите за заглушаване на тази система с помощта на средства за РЕБ се оказват неефективни. Същевременно според американски източници [7] и СМИ от месец октомври 2022 г. руската лазерна система „Пересвет“ успешно неутрализира сателити от системата „Starlink”.

Ако проекта „Starlink” се реализира в пълен обем, ще се измени процентното съотношение на военните КЛА по видове околоземни орбити, като военните разузнавателни сателити на ниски и средни околоземни орбити ще доминират над тези на ГСО и на високи елиптични орбити.

Третото направление за развитие на ВКС „Предупреждаване и отразяване на космически заплахи за планетата“ има не само военен, но и общочовешки характер. Напоследък в научната общност, предвид новите космически заплахи за съвременната цивилизация, се очертава разбирането за разширяване спектъра на военнокосмическата дейност. Повод за това става падането на метеорит на 15 февруари 2013 г. в района на град Челябинск. Според NASA метеоритът се е движил със скорост 18 km/s (над 54 пъти по-висока от скоростта на звука), а взривът е причинил трус с магнитуд 4 по скалата на Рихтер с епицентър на около 1 km извън града. При това над 70% от сградите са били засегнати. Това събитие отново инициира идеята, че планетата Земя се нуждае от система за сигурност. Още повече, че в Слънчевата система съществуват множество астероиди, сред които около 1000-1500 небесни тела са с диаметър над 1 km, при което съществува вероятност в неопределено бъдеще за сблъсък с нашата планета.

В Русия, след взривяването на метеорита над Челябинска област, Държавната корпорация „Роскосмос” съвместно с МО и Руската академия на науките обмислят създаването на Единен център за предупреждаване и отразяване на космически заплахи. Посочва се, че сред основните задачи на този център са повишаване на ефективността на средствата за наблюдение на малки небесни тела, включително на т.нар. „космически боклук“, каталогизиране на КО, създаване и тестване на средства за въздействие върху КО, както и организиране на

изследователски мисии към потенциално опасните астероиди и комети. За целта вече съществува проект за КЛА „Ликвидатор“ с два йонни двигателя, предназначен за разчистване на ГСО от „космически боклук“. Предвиждат се следните два варианта за противодействие: събраните космически отпадъци да бъдат издигани на по-висока орбита, където няма да пречат; да бъдат свалени от орбита и потопени в т.нар. гробище на космически кораби в района на остров Рождество в Тихия океан.

Специалисти считат, че за да излезе от строя един спътник, е достатъчно същият да се сблъска с парченце с големина 1 cm. Това налага извършването на основно почистване на околоземните орбити от космически отпадъци. Технологии по тази проблематика освен Русия създават САЩ, Япония и Европейската космическа агенция, както съвместно, така и поотделно.

Активно се работи и по т.н. астероидна опасност. Предварителните разчети и оценки на специалистите показват, че за прехващането и унищожаването на астероид с диаметър над 1 km е необходима ядрена бомба с мощност над 1 мегатон, което налага детайлната разработка на този проблем и на съответните средства за противодействие. Същевременно, това е възможно да се реализира и чрез КЛА, който при необходимост управляемо да извърши сблъсък с астероид.

За да се стимулира интереса от страна на корпорации и частни инвеститори към усвояването на астероидите през месец май 2015 г. Американската комисия по ценни книжа и борси инициира приемането на Закон за съревнование в изстрелването на комерсиални сателити, даващ право на гражданите на САЩ да владеят ресурси, добивани в Космоса. Законът е влязъл в сила.

В контекста на борбата с опасни КО през месец ноември 2021 г. в САЩ стартира мисията „DART“ за да тества технология за защита на Земята от астероиди. По време на тази мисия малката космическа сонда „DART“ с тегло 633 kg влиза в траекторията на приближаване към близкия до Земята астероид „Didymos“ с диаметър 780 m и спътника му „Dimorphos“ с диаметър 160 m, намиращи се на около 11 милиона километра от Земята. В резултат на удара на 26.09.2022 г. на двата КО, *космическата сонда „DART“ издълбава кратер в астероида „Dimorphos“, като се създава опашка от прах и отломки, простираща се на няколко хиляди километра и се променя орбитата на астероида*. Събитието е наблюдавано няколко дни с телескопи от Чили и Южна Африка.

Според NASA това е първият случай, когато човечеството умишлено променя траекторията на движение на небесен обект и демонстрация на съвременна технология за отклоняване на астероиди. Това постижение дава основание да се счита, че е възможно създаването на перспективна Система за защита на Земята от опасни космически обекти.

На настоящия етап [4] се очертават няколко аспекта, произтичащи от програмите за изучаването и усвояването на астероиди. На първо място, астероидите дават уникална информация за това, как се е формирала Слънчевата система. На второ място, предотвратяване на заплаха от Космоса, т.к. в определен момент ще настъпи опасно сближение на астероид със Земята и човечеството трябва да разполага с механизъм за отвеждането му в страни или разрушаването му. На трето място, инвентаризация и комерсиална разработка на ресурсите на астероида, подходящи за създаването на извънземна инфраструктура. На четвърто място, води се конкурентна борба за право върху владеене на Космоса.

Вторият от разгледаните аспекти включва и военната страна от използването на Космоса.

Разгледаните три направления за развитие на ВКС не са единствените. В съответствие със съвременните тенденции в космическата дейност те като цяло имат военно-граждански характер.

Литература:

1. Пенев, П., Загорски, Н. Аерокосмическите системи „Въздушен старт“ на съвременния етап, Aerospace Research in Bulgaria, 2022, p. 80–94.
2. Пенев, П Влияние на първия полет на човек в космоса върху военните аспекти на използването на космическото пространство, МНК „Космос. Екология. Сигурност.“, 2021, стр. 101–107.
3. Пенев, П. Космос и сигурност, С., ВИТАЛ, 2014.
4. Первушин, А. Мировая космонавтика: Право владения, М.,Олимп-Бизнес, 2016, стр.164–177.
5. AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY, 2018-2022.
6. DEFENSE AGAINST THE DARK ARTS IN SPACE, CRIS, 2021, p. 3.
7. CHALLENGES TO SECURITY IN SPACE, DIA, 2022.
8. https://aboutspacejornal.net
9. https://vpk.name/
10. https://topwar.ru
11. https://vz.ru

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ПРОЕКТИРАНЕ И ПАРАМЕТРИ НА РАБОТЕЩ ПРИ ЕКСТРЕМАЛНИ УСЛОВИЯ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КВАДРОКОПТЕР

Павлин Граматиков[1], Райчо Тодоров[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Първа Частна Експериментална Лаборатория за Аерокосмически Изследвания "Райт – Аероспейс" – ЕООД
e-mail: pgramamatikov@space.bas.bg; rait_aerospace@abv.bg

Ключови думи: *Летателни характеристики, електрически параметри, безпилотен електрически квадрокоптер*

Резюме: *Предложен е прототип на безпилотен електрически квадрокоптер, работещ при екстремални условия. Проектирани, изследвани и реализирани са конструкцията, моторно-витловата група и електрозахранващата система. Приложени са чертежи и снимки на прототипа. Описани са публикувани разработки в областта на доклада.*

DESIGN AND PARAMETERS OF AN OPERATING UNDER EXTREME CONDITIONS ELECTRIC QUADCOPTER

Pavlin Gramatikov[1], Raicho Todorov[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]LTD RAIT - AEROSPACE - FPLEASR
e-mail: pgramamatikov@space.bas.bg; rait_aerospace@abv.bg

Keywords: *Flight characteristics, electrical parameters, unmanned electric quadcopter*

Abstract: *A prototype of an unmanned electric quadcopter operating under extreme conditions is proposed. The structure, motor-propeller group and power supply system are designed, investigated and implemented. Drawings and photographs of the prototype are attached. Published work in the area of the report is described.*

Въведение

Електрическият квадрокоптер съчетава технологични характеристики, съответстващи на съвременните тенденции в транспортната индустрия и обществото, като автономност, гъвкавост и подвижност [5]. В статията [5] се предлага модел на енергийното потребление на безпилотни летателни апарати (БЛА) и се описва енергията за доставки с БЛА в зависимост от условията на околната среда и модела на полета. В селски райони с големи разстояния между клиентите, системата за доставка на пратки с БЛА създава потребление на енергия, сравнимо с това на система за доставка на пратки с електрически камиони [5]. При логистичните приложения най-важните технически параметри са полезният товар и радиусът на действие. В момента, се използват предимно малки модели с полезен товар до 5 kg с и големи модели с полезен товар до 40 kg [5]. Полезният товар и радиусът на действие са взаимно зависими, понеже разходът на енергия зависи от полезния товар. Метеорологичните условия и скоростта на придвижване влияят на разхода енергия. Тя се увеличава драстично при насрещен вятър. Потреблението на енергия и капацитетът на акумулаторната батерия на БЛА определят радиуса на действие [5]. Моделът на енергопотреблението търси мощността P_m за придвижване на точка с маса m, като сума от четири мощности, съгласно следните формули [5]:

(1) $$P_m = P_{roll} + P_{air} + P_{grade} + P_{inert},$$

(2) $$P_m = g.c_{roll}.v.m + A.v^3.\frac{\rho.c_{air}}{2.10^3} + g.i.v.m + 0{,}504.n^{acc}.\frac{m.v^3}{3{,}6.2.10^3},$$

където: P_{inert} е мощност за ускорение; g е гравитационната константа; c_{roll} е коефициент на съпротивление; v е скоростта (съответно в km/h и m/s); m е маса на БЛА; A е площта на челната повърхност; ρ е плътност на въздуха; c_{air} е коефициент на аеродинамично съпротивление; i характеризира на пътя и n^{acc} означава честота на процеса на ускоряване до скорост v (km/h).

Ефективността на двигателите с вътрешно горене (DV) е около 45 %, а електрическите двигатели (EV) – около 90%. Общата ефективност ε_{EV} на електрическите БЛА може да бъде приблизително изчислена, съгласно следната формула [5]:

(3) $$\varepsilon_{EV} = \varepsilon_{eng} + \varepsilon_{trans} + \varepsilon_{char} = 0.9^3 = 73\ \%,$$

където: ε_{eng} е ефективност на двигателя; ε_{trans} е ефективност на трансмисията; ε_{char} е ефективност на зареждането на акумулаторната батерия.

Потреблението на енергия при БЛА се изчислява според характеристиките на полета. По принцип могат да се разграничат четири фази на полета на БЛА: излитане, хоризонтален полет, висене и кацане. За да се отчете енергийната потребност P_{UAV} при типичния процес на доставка на пратка с БЛА, се използват следните зависимости [5]:

(4) $$P_{UAV} = P_{air} + k.P_{lift} + P_{profile} + P_{int},$$

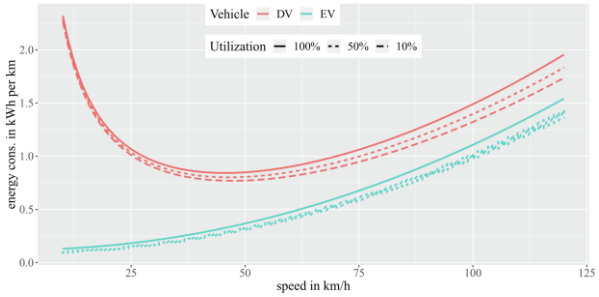
(5) $$P_{UAV} = A.v^3.\frac{\rho.c_{air}}{2} + k.w.T + \rho.R.v^3{}_t.\left[1 + \left(\frac{v}{v_t}\right)^3\right].\frac{\sigma.c_{bd}}{8} + P^{int} + g.v.\sin y,$$

където: P_{air} е мощност за преодоляване на въздушното съпротивление от тялото на БЛА; $P_{profile}$ е мощност на въздушно съпротивление от роторите на БЛА; P_{lift} е мощност на излитане; P_{int} е мощност за захранване на електрониката на БЛА; y е ъгъл на летене; v_t е скорост на върховете на лопатките (m/s); v е скорост на полета (m/s); R е площ на диска на ротора; σ е коефициент на съпротивление на лопатките; c_{bd} е коефициент на лопатките; k е коефициент на увеличаване (обикновено е 1,15). За пресмятане на тягата T се използват следните изрази [5]:

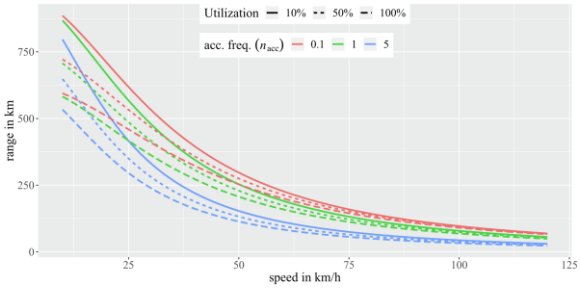
(6) $$T = \sqrt[2]{m^2.g^2 + 2.D^2 + 2.D^2.P_{climb}},$$

(7) $$D = A.v^2.\frac{\rho.c_{air}}{2}\ \sqrt[2]{m^2.g^2 + 2.D^2 + 2.D^2.P_{climb}}.$$

На Фиг. 1 са дадени зависимости на консумацията на енергия [KW/h] за 1 km от БЛА според скоростта на полет при използване на двигател с външно DV и на EV [5] при три полезни товара 100%, 50% и 10%. От фиг. 1 се забелязва, че DV (червен цвят) не е оптимален при скорости под 50 km/h, докато EV (зелен цвят) става все по-ефективен. На Фиг. 2 са дадени зависимости на консумацията на енергия [KW/h] за 1 km от БЛА според скоростта на полет при три полезни товара 100%, 50% и 10% [5].

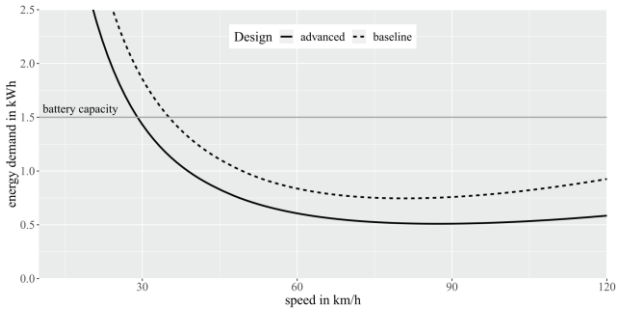


Фиг. 1. Консумация на енергия в зависимост от скоростта на БЛА при двигател с външно горене DV и електрически EV

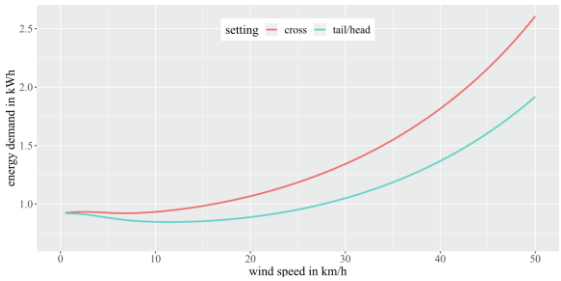


Фиг. 2. Разстояние на полета в зависимост от скоростта, полезния товар и честота на ускорението на БЛА

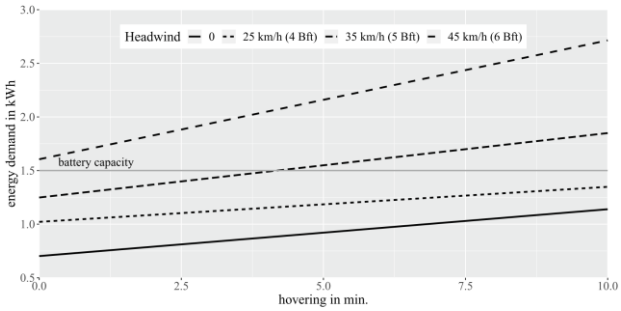
На Фиг. 3, Фиг. 4, Фиг. 5 и Фиг. 6, са дадени параметри на БЛА тип Amazon delivery drone (ADD) с радиус на действие 16 km, акумулаторна батерия 1,5 kWh с енергийна плътност 200 Wh/kg. На фиг. 3 е показано общото потребление на енергия от ADD по време на идеализиран процес на доставка на пратка в зависимост от скоростта, а на Фиг. 4 - зависимости на консумацията от скоростта и посоката на вятъра. На Фиг. 5 и Фиг. 6 е показано влиянието на вятъра върху времето на висене и потреблението на енергия на ADD.



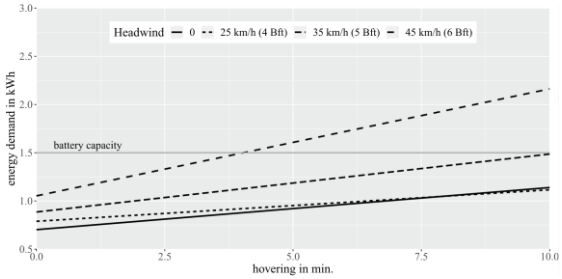
Фиг. 3. Консумация на енергия от скоростта на ADD при разстояние на доставка 16 km



Фиг. 4. Консумация на енергия на ADD от скоростта на вятъра и неговата посока с наклон 90º, 0º или 180º спрямо полета и при разстояние на доставка 16 km



Фиг. 5. Консумация на енергия на ADD според времето на висене при скорост на вятъра 0 km/h; 25 km/h; 35 km/h и 45 km/h с наклон 90º спрямо полета



Фиг. 6. Консумация на енергия на ADD според времето на висене при скорост на вятъра 0 km/h; 25 km/h; 35 km/h и 45 km/h с наклон 0º или 180º спрямо полета

Експериментална база

Конструкцията на X4 квадрокоптер със системи XRotor Pro X8, (съкратено X4X8) е авторска (виж фиг. 10) и има излетно тегло около 13 kg, без полезен товар.

Използвани са следните детайли за цялата конструкция: четири стандартни карбонови тръби с дължина 600 mm, диаметър Ф30 mm и дебелина 2 mm; едно проектирано нестандартно кръстообразно съединение 160x160 mm; четири вертикални стандартни карбонови тръби с дължина 250 mm, диаметър Ф20 mm и дебелина 2 mm; две хоризонтални стандартни карбонови тръби с дължина 500 mm, диаметър Ф20 mm и дебелина 2 mm; четири стандартни Т-образни връзки с диаметър Ф20 mm и дължина 20 mm; четири Т-образни стандартни връзки с диаметър Ф30 mm и дължина 20 mm; четири проектирани нестандартни ексцентрик-тръбни връзки.

За закрепване на моторно-витловата група на X4X8 се използват четири тръби с дължина 600 mm и едно проектирано кръстообразното съединение, изработено от материал Д16-Т, което е изработено от една заготовка с диаметър Ф165 mm и дебелина 45 mm. Детайлът е изработен като монолитно цяло на универсални металорежещи машини- струг и фреза.

Носещото шаси на X4X8 е изработено от четири вертикални тръби с дължина 250 mm; две хоризонтални тръби (с функция на две опори при кацане и излитане) с дължина 500 mm и четири ексцентрик-тръбни съединения, изработени от материал Д16-Т с диаметър Ф50 mm и дължина 50 mm изработени на универсален струг. Тези четири съединения служат за закрепване на носещата хоризонтална плоча за два акумулатора.

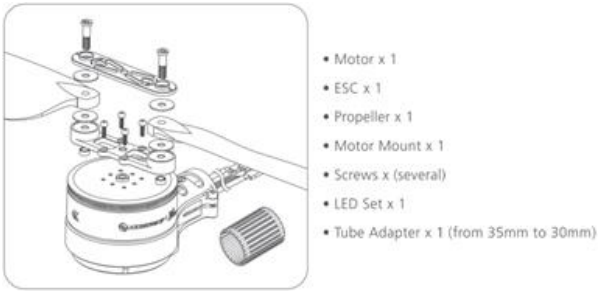
Авторската охлаждаща система на X4X8 се състои от: две перки, въртящи се в противоположни посоки (сдвоен осеви вентилатор); два безколекторни двигателя (захранващо напрежение 12 V с обща мощност 24 W), обезпечаващи необходимия въздушен дебит; едно проектирано кръстообразно съединение 160x160 mm в ролята на въздухоразпределител; един авторски дифузор за промяна на посоката на въздушния поток на 90º и стандартен въздушен филтър. Направени са експерименти за ефективността на охлаждащата система на X4X8. Тя намалява работните температури на четири вградени скоростни контролери и четири електродвигателя и увеличава съществено тяхното време за безотказна експлоатация.

За X4X8 разстоянието между центровете на два съседни двигателя е 930 mm, а от центъра на тръбната конструкция до всеки двигател разстоянието е 660 mm. Използваните два стандартни акумулатора тежат 2*2400=4800 g (всеки е 22 Ah-25C-6S, като сумарно имат енергия 4,2 V*22 Ah*12=1108,8 W/h). Съгласно [6] четири броя системи XRotor Pro X8 Power System тежат

1040*4=4160 g. Общото тегло на тръбната конструкция е 3000 g. За автопилот, преобразуватели DC/DC и проводници са заделени 740 g. Охлаждащата система тежи 300 g. За X4X8 при сумиране се получава излетно тегло 4800+4160+3000+740+300=13000 g- без полезен товар.

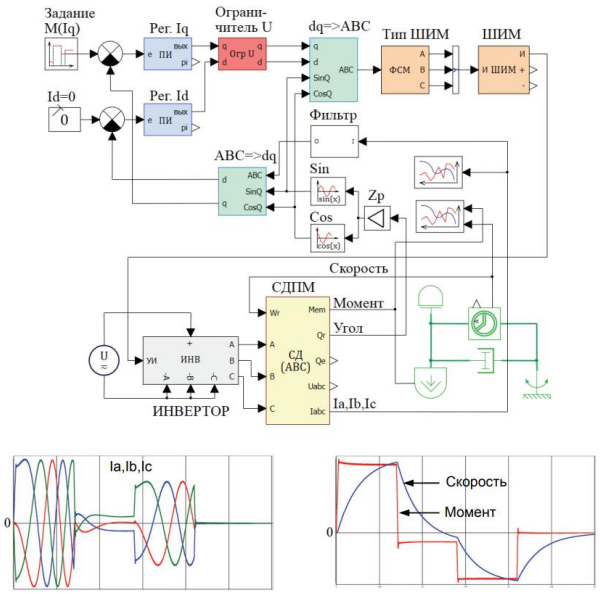
Системите XRotor Pro X8 Power System (Фиг. 7 и Фиг. 8) са водоустойчиви клас IPX7 при въздействие на дъжд, пестициди, солен дъжд, високи температури и пясъчен прах [7, 8]. Електрониката има: автоматично изключване при ненормални напрежения; автоматично включване след самостоятелно тестване; защита от свръх токове; защита от блокировка на двигателя. Вградена е телеметрия за входна газ, изходна газ, обороти, входно напрежение и ток, изходен ток; температура на кондензатора; температура на силовите транзистори. За двигателя тип PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) се използва метод за полеви ориентиран контрол (Field Oriented Control) на въртенето на статора, базиран на алгоритъм, даващ стабилност, производителност и ефективност [2, 4].

SimInTech е софтуер за създаване на математически модели, алгоритми за управление, интерфейси за управление и автоматично генериране на код за програмируеми контролери за векторно управлявани променливотокови двигатели (синхронни и асинхронни), както и постояннотокови безчеткови двигатели. Системите за управление на всички тези задвижвания са изградени съгласно специфични блок-схеми с краен брой варианти [2]. На Фиг. 9 са дадени времедиаграми и симулация чрез SimInTech на управлението и работа на PMSM.

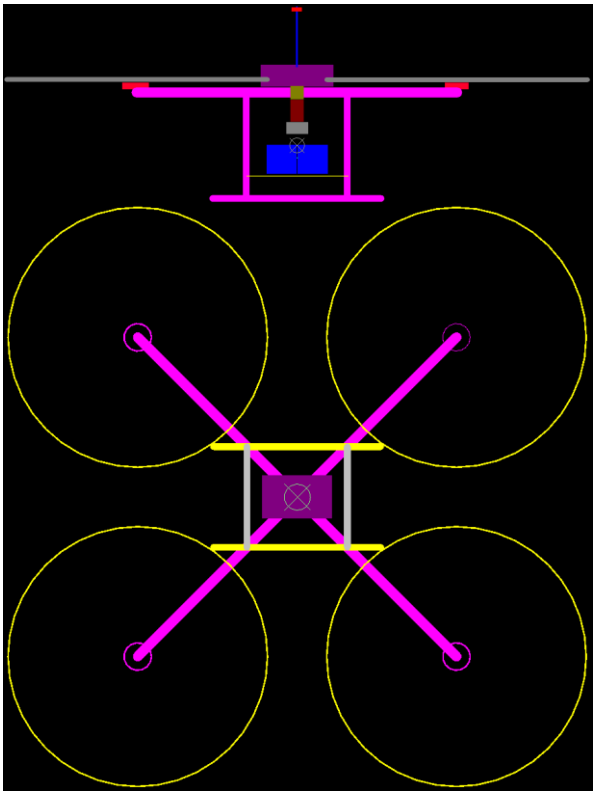


Фиг. 7. Детайли на X8 Power System

Фиг. 8. Монтаж и пропелери на X8 Power System



Фиг. 9. SimInTech - модел на система за управление на въртящия момент на синхронен двигател с постоянни магнити



Фиг. 10. Поглед отгоре и отстрани на X4X8 квадрокоптер с 3090 пропелер

Вграденият ярък светодиод служи за индикатор на работния статус и дава сигнал за внимание при ненормални състояния. Статорът на двигателя има диаметър Ф81 mm и височина H=20 mm [9]. Закрепването може да стане към тръби с диаметри Ф30 mm или Ф35 mm. Може да се използват три вида пропелери: 2911- приложим до (5 – 7) kg излетно тегло и до 15,3 kg максимална тяга; 3090- приложим до (5 – 7) kg излетно тегло и до 16,1 kg максимална тяга или 22 – 28 kg квадрокоптер и 32121- приложим до (5 – 8) kg излетно тегло и максимална тяга до 18 kg. Коефициентът KV за XRotor Pro X8 има стойност 100 KV и означава броя на

оборотите в минута (rpm), които двигателят постига при подаване на 1V, без да има товар към двигателя. Входният сигнал (Throttle Signal Frequency) е с честота (50 – 500) Hz и има продължителност е (1100 – 1940) μs. Максималните продължителни входни токове са 80 A, а за 10 s двигателят може да издържи 100 A. Избраният акумулатор осигурява ток 22*25/4=137,5 A, който е 137,5/100=1,38 пъти по-голям от максималния ток на двигателя.

Таблица 1. Параметри на X8 силова система с три пропелера 2911, 3090 и 3411

A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)	I(Y)	J(Y)	K(Y)	L(Y)	M(Y)
Пропелер	P22x6.6	P22x6.6	P22x6.6	2911	2911	2911	3090	3090	3090	3411	3411	3411
Мотор	MN501S	KV240	KV240	X8 System	KV100	KV100	KV100	KV100	KV100	KV110	KV110	KV110
Газ	Тяга	Мощност	G/W	Тяга	Мощност	G/W	Тяга	Мощност	G/W	XRotor 9	Мощно	G/W
				1040 G						1400G		
37	--	--	--	--	--					2996	258	11.6
40	916	70	13.09	--	--					--	--	--
42	999	78	12.78	--	--		--	--	--	--	--	--
44	1088	87	12.43	--	--	--	3012	231.1	13	--	--	--
45	1127	91	--	3009	243.7	12.3	--	--	--	4970	493	10.1
46	1166	96	12.2	3099	255	--	--	--	--	--	--	--
48	1246	105	11.87	3315	277	--	--	--	--	--	--	--
50	1339	116	11.59	3547	304	--	--	--	--	--	--	--
51	1396	122	--	3999	376.1	10.6	4009	346.9	11.6	--	--	--
52	1453	128	11.3	4158	394	--	--	--	--	7030	807	8.7
54	1566	143	10.97	4490	441	--	--	--	--	--	--	--
56	1684	157	10.71	5012	529.9	9.5	5032	471.6	10.7	--	--	--
58	1796	172	10.44	5362	583	--	--	--	--	--	--	--
59	--	--	--	--	--	--	--	--	--	9048	1185	7,6
60	1900	187	10.15	5683	635	--	6000	615	9.8	--	--	--
61	1960	195	--	5999	687.6	8.7	--	--	--	--	--	--
62	2020	203	9.94	6178	715	--	--	--	--	--	--	--
64	2147	223	9.63	6548	786	--	6978	769.7	9.1	10938	1552	7
66	2273	239	9.51	7013	879.3	8	--	--	--	--	--	--
68	2394	258	9.28	7363	949	--	8009	957.6	8.4	--	--	--
70	2509	275	9.11	7988	1083.3	7.4	--	--	--	--	--	--
71	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12947	2047	6.3
72	--	--	--	--	--	--	9009	1144.1	7.9		--	--
73	2666	301	--	9019	1293.1	7	--	--	--	--	--	--
74	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
75	2823	327	8.63	--	--	--	--	--	--	--	--	--
76	--	--	--	--	--	--	9970	1350.8	7.4	15041	2594	5.8
77	2930	353	--	9990	1519.2	6.6	--	--	--	--	--	--
78	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
80	3038	380	7.99	--	--	--	10984	1579.1	7	--	--	--
81	--	--	--	11017	1781.7	6.2	--	--	--	17037	3164	5,4
82	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
84	3246	440	--	12005	2033.6	5.9	12036	1812.5	6.6	--	--	--
86	--	--	--	--	--	--	--	--	--	19069	3811	5
87	--	--	--	--	--	--	12962	2031.8	6.4	--	--	--
88	3454	501	6.89	--	--	--	--	--	--	--	--	--
90	--	--	--	13991	2640.1	5.3	--	--	--	--	--	--
92	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
94	--	--	--	--	--	--	14954	2520.3	5.9	--	--	--
96	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
98	4187	612	6.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--
100				15289	3134.9	4.9	16183	2944.2	5.5	22497	3799	4.4

Да пресметнем летателни и електрически параметри на X4X8 квадрокоптер [1] в три варианта при три полезни товара 13000 g=100%, 7500 g=50% и 0%: с моторно-витлова група, състояща се от два вида пропелера задвижвани от четири двигателя XRotor Pro X8 (може да работи с пропелери 2911, 3090 и 32121) и един вид пропелер, задвижван от четири двигателя XRotor Pro X9 (може да работи с пропелери 3411 и 36190). За целта ще използваме табл. 1 с данни от производителя на: двигател MN501S и пропелер P22x6,6; XRotor Pro X8 и пропелери 2911, 3090; XRotor 9 пропелер 3411.

Първи вариант на моторно-витлова група с пропелер 2911

При товар 0% нужната тяга при излитане от всяка системи XRotor Pro X8 ще бъде 13000/4=3250 g. От табл. 1 при газ 47 тягата е 3207 g, а ефективността е 12,06 g/W. Мощността на излитане ще бъде 13000/12,06=1077,94 W. Продължителност на полет при зависване: 1108,8 Wh/1077 W.94=1,03 h.

При товар 7500 g тягата от всеки двигател ще бъде (13000+7500)/4=5125 g. От табл. 1 при газ 57 тягата е 5187 g, а ефективността е 9,32 g/W. Мощността на излитане ще бъде (13000+7500)/9,32=2199,57W. Продължителност на полет при зависване: 1108,8/2199,5=0,504 h.

При товар 13000 g тягата от всеки двигател ще бъде (13000+13000)/4=6500 g. От табл. 1 при газ 64 тягата е 6548 g, а ефективността е 8,33 g/W. Мощността на излитане ще бъде (13000+13000)/8,33=3121,2W. Продължителност на полет при зависване: 1108,8/3121,2=0,355 h.

Втори вариант на моторно-витлова група с пропелер 3090

При товар 0% нужната тяга при излитане от всяка системи XRotor Pro X8 ще бъде 13000/4=3250 g. От табл. 1 при газ 46 тягата е 3194 g, а ефективността е 12,67 g/W. Мощността на излитане ще бъде 13000/12.67=1026 W. Продължителност на полет при зависване: 1108,8/1026=1,0807 h.

При товар 7500 g тягата от всеки двигател ще бъде (13000+7500)/4=5125 g. От табл. 1 при газ 57 тягата е 5207 g, а ефективността е 10.41 g/W. Мощността на излитане ще бъде 13000+7500)/10,41=1969,2W. Продължителност на полет при зависване: 1108.8/1969,2=0,5631h.

При товар 13000 g тягата от всеки двигател ще бъде (13000+13000)/4=6500 g. От табл. 1 при газ 62 тягата е 6592 g, а ефективността е 9,41 g/W. Мощността на излитане ще бъде (13000+13000)/9,41=2763 W. Продължителност на полет при зависване: 1108,8/2763=0,401 h.

Трети вариант на моторно-витлова група с пропелер 3411

Данните за X9 Power System от [10] сочат 1400-1040=360 g по-голяма тегло спрямо X8 Power System и 22497-16183=6314 g по-голяма тяга при газ 100%. Празен авторският квадрокоптер ще тежи 13000+360*4=14440 g

При товар 0% нужната тяга при излитане от всяка системи XRotor Pro X9 трябва бъде (14400+7500)/9,77=2241 W. Продължителност на полет при зависване: 1108.8/2241=0.4948 h.

При товар 13000 g тягата от всеки двигател трябва бъде (14400+13000)/4=6850 g. От табл. 1 при газ 51 тягата е 6761 g, а ефективността е 8,77 g/W. Мощността на излитане ще бъде (14400+13000)/8,77=3124 W. Продължителност на полет при зависване: 1108,8/3124=0,3549 h.

Четвърти вариант на моторно-витлова група с пропелер P22x6,6

При товар 0% нужната тяга при излитане от всеки двигател MN501S ще бъде 13000/4=3250 g. От табл. 1 при газ 80 тягата е 3038 g, а ефективността е 7,99 g/W. Мощността на излитане е 13000/7,99=1627 W. Продължителност на полет при зависване: 1108,8/1627=0,681 h.

При товар 7500 g тягата от всеки двигател ще бъде (13000+7500)/4=5125 g. От табл. 1 при газ 100 тягата е 4187 g, което не достига.

Заключение

Получените резултати показват, че четвъртият вариант не е подходящ за X4X8. При изравнени товари първи вариант, втори и трети вариант на моторно-витлова група съответно имат времена на полет: 1,03/0,504/0,355 h; 1,0807/0,5631/0,401 h и 0,8595/0,4948/0,3549 h. Подреждането на вариантите по параметри е: първо място е за втория вариант; второ място е за първия; трето място е за третия; и четвърто място е за четвърти вариант. Подреждането на вариантите по цена и тегло е както следва: на първо място е четвърти вариант; на второ място е първи вариант; на трето място е втори вариант; и четвърто място е за трети вариант. Изследванията показват, че най-тежкият и най-скъп трети вариант спрямо втория вариант лети 0,8787 пъти по-малко време с полезен товар 7500 g, а с товар 13000 g- 0,885 пъти по-малко време. Авторската тръбна конструкция е само 23% от излетното тегло 13 kg на X4X8, а съотношението между тръбната конструкция и моторно-витловата група е 0,721. Това позволява полети при определени условия до 1,08 h.

Благодарности: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана” (приета с ПМС № 731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“.

Литература:

1. Граматиков, П., Изследване на характеристиките на полета на безпилотни електрически квадрокоптери. Proceedings SES'2021, Space Research and Technology Institute Bulgarian Academy of Sciences, 2021, ISSN:p-ISSN 2603 – 3313 e-ISSN 2603 – 3321, p.p. 108–113.
2. Калачёв, Ю., SimInTech: моделированиев електроприводе, ISBN 978-5-97060-766-4, УДК 681.5, Москва,ДМК Пресс, 2019, pp. 1–90. https://3v-services.com/books/978-5-97060-766-4/978-5-97060-766-4_SimInTech-01.pdf
3. Isfahani, A.H, S. Vaez-Zadeh, Line start permanent magnet synchronous motors: Challenges and opportunities, Energy, Volume 34, Issue 11, 2009, pp. 1755–1763. ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.022. DOI: https://doi.org/10.31875/2409-9694.2019.06.8.
4. Islam, R., I. Husain, "Analytical Model for Predicting Noise and Vibration in Permanent-Magnet Synchronous Motors," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, no. 6, Nov.-Dec. 2010, pp. 2346–2354, doi: 10.1109/TIA.2010.2070473.
5. Kirschstein, T., Comparison of energy demands of drone-based and ground-based parcel delivery services. Transportation Research Part D: Transport and Environment, ISSN 1361-9209,Vol. 78, 2020, pp. 1–10. https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102209. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919309575.
6. Материал от интернет: https://www.hobbywing.com/goods.php?id=594.
7. Материал от интернет: https://www.hobbywing.com/products/enpdf/ComboX8en.pdf.
8. Материал от интернет: https://www.hobbywing.com/goods.php?id=594.
9. Материал от интернет: https://www.hobbywing.com/products/enpdf/ComboX8en.pdf.
10. Материал от интернет: https://www.hobbywing.com/goods.php?id=651&filter_attr=.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ЛЕТАТЕЛНИ И ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ НА X8 ОКТОКОПТЕР С ИЗЛИТАНЕ И КАЦАНЕ ОТ ВОДНИ БАСЕЙНИ

Павлин Граматиков[1], Райчо Тодоров[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Първа Частна Експериментална Лаборатория за Аерокосмически Изследвания "Райт – Аероспейс" – ЕООД
e-mail: pgramamatikov@space.bas.bg; rait_aerospace@abv.bg

Ключови думи: *летателни характеристики, електрически параметри, съосен безпилотен електрически октокоптер*

Резюме: *Предложен е прототип на X8 съосен безпилотен електрически октокоптер с излитане и кацане от водни басейни – морски и сладководни. Проектирани, изследвани и реализирани са конструкцията, моторно-витловата група и електрозахранващата система. Приложени са изчислителна част и снимки на прототипа. Описани са публикувани разработки в областа на доклада.*

FLIGHT AND ELECTRICAL PARAMETERS OF X8 OCTOCOPTER WITH TAKE-OFF AND LANDING FROM WATER BASINS

Pavlin Gramatikov[1], Raicho Todorov[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2] LTD RAIT - AEROSPACE - FPLEASR
e-mail: pgramamatikov@space.bas.bg; rait_aerospace@abv.bg

Keywords: *Flight characteristics, electrical parameters, coaxial unmanned electric octocopter*

Abstract: *A prototype of X8 coaxial unmanned electric octocopter with take-off and landing from water bodies - sea and freshwater is proposed. The structure, motor-propeller group and power supply system are designed, investigated and implemented. The computational part and photos of the prototype are attached. Published works in the field of the report are described.*

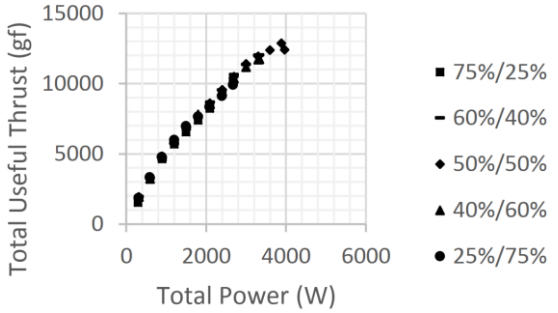
Въведение

Известни са редица разработки на така наречения X8 октокоптер, който има осем двигателя монтирани в четири коаксиални двойки, или coaxial octocopter (CAO). Пропелерите в една коаксиална двойка се въртят в противоположни посоки, което балансира завъртането на платформата. Съгласно [3] предимство на съосния октокоптер е увеличената подемна сила на платформата при запазване на разумен обем на платформата, а недостатък- долният пропелер губи тяга, работейки в струята на горния пропелер и общата ефективност на тягата на коаксиалното задвижване е по-ниска в сравнение с два отделни пропелера. Средната загуба на тягата на 4 коаксиални двойки (при равни скорости на въртене на двата двигателя) в сравнение с 8 самостоятелни пропелера е около 14% [3].

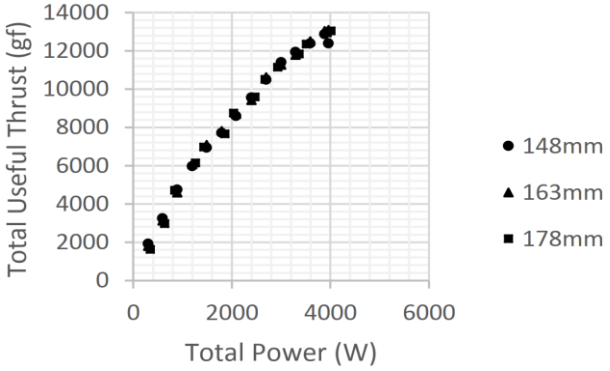
Популярен представител на X8 квадрокоптер е канадският DraganFlyer X8. Според [6] основните параметри на този мултикоптер са: маса 2025 g, дължина на рамото 0,331 m, диаметър на горния пропелер 0,404 m, диаметър на долния пропелер 0,380 m, разстояние между горен и долен пропелер 0,099 m.

В [7] са избрани четири параметъра за оптимизация на коаксиална задвижваща система: разпределение на мощността между двата пропелера; посока на въртене на горен спрямо долен пропелер; разстояние между двата пропелера и диаметър и стъпка на пропелера. Експерименти доказват, че ефективността на коаксиалната система не зависи от разпределението на

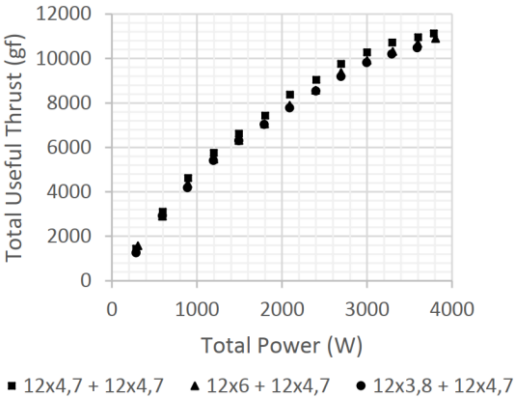
мощността между горен и долен пропелер и посоката на въртене и разстоянието между пропелерите (виж фиг. 1). С два 14x4,7 пропелера са тествани пет разпределения на мощността: 75%/25%, 60%/40%, 50%/50%, 40%/60% и 25%/75%, където първият процент е свързан с мощността на горния двигател, а вторият процент с мощността на долния двигател. И двата двигателя са Axi 2826/12. Общата мощност в тези пет случая е практически еднаква в целия диапазон от (0 ÷ 4000) W. Ефективността се увеличава при по-голяма стъпка на долния пропелер и по-малък диаметър на долния пропелер. С два пропелера 14x4,7 са експериментирани три разстояния от 148 mm, 163 mm и 178 mm, съответно 41%; 46% и 50% от диаметъра на пропелера 355 mm, (виж фиг. 2). Доказано е, че при тези три разстояния зависимостите между общата тяга и общата консумирана електрическа мощност практически е еднаква. За оптимално е избрано разстояние от 148 mm, с най-добри тегловни показатели.



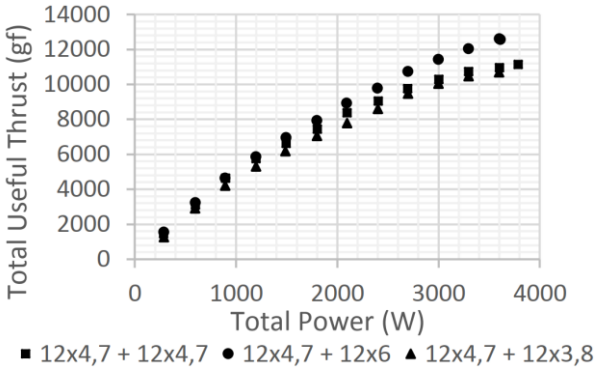
Фиг. 1. Тяга на два 14x4,7 пропелера при пет разпределения на мощността



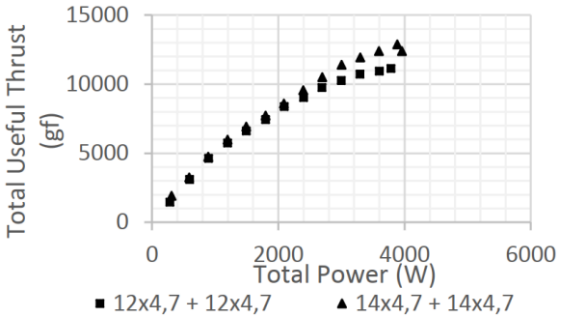
Фиг. 2. Зависимост на тягата от разстоянието между два 14x4,7 пропелера в съосна система



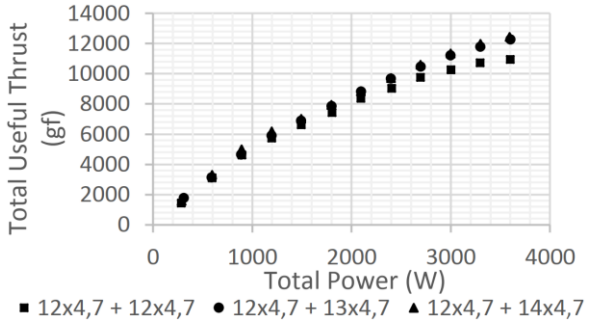
Фиг. 3. Зависимост на тягата от три стъпки на горния пропелер при долен пропелер 12x4,7



Фиг. 4. Зависимост на тягата от три стъпки на долния пропелер при горен пропелер 12x4,7



Фиг. 5. Зависимост на тягата от смяна на горен и долен пропелер от 12x4,7 към 14x4,7

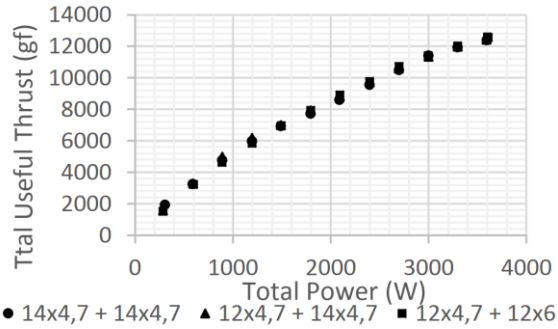


Фиг. 6. Зависимост на тягата от долен пропелер 12x4,7; 13x4,7 и 14x4,7 при горен пропелер12x4,7

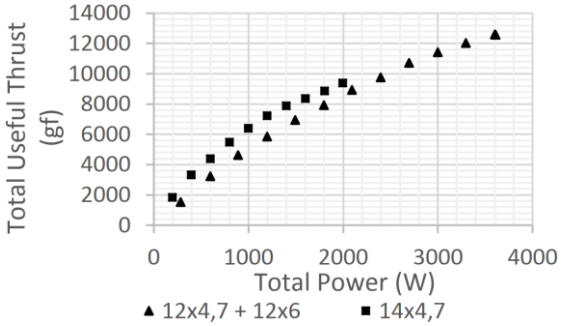
При сравняване на 6 варианта от Фиг. 3 и Фиг. 4 оптимален се оказва вариант горен пропелер 12x4,7 и долен пропелер 12x6. Например при тяга 11 kg от фиг. 3 се отчита обща мощност 3500 W, а от фиг. 4 при тяга 11 kg се отчита обща мощност 2700 W. Вариант горен 12x4,7 и долен 12x6 пропелер дава печалба в общата мощност 800 W при тяга 11 kg. Друго

предимство е, че при еднаква максимална мощност около 3600 W, оптимизацията дава тяга 12,4 kg, а останалите варианти имат тяга до 11 kg.

Анализът на Фиг. 5 показва нарастване на общата тяга с 18% при нарастване на горен и долен диаметър с 16,6 %. На фиг. 6 е показан експеримент с еднаква стъпка на горен и долен пропелер, като долният диаметър се променя 100%, 108% и 117% спрямо горния.



Фиг. 7. Сравнение на три оптимални конфигурации на горен и долен пропелер - 14x4,7+14x4,7; 12x4,7+14x4,7; 12x4,7+12x6

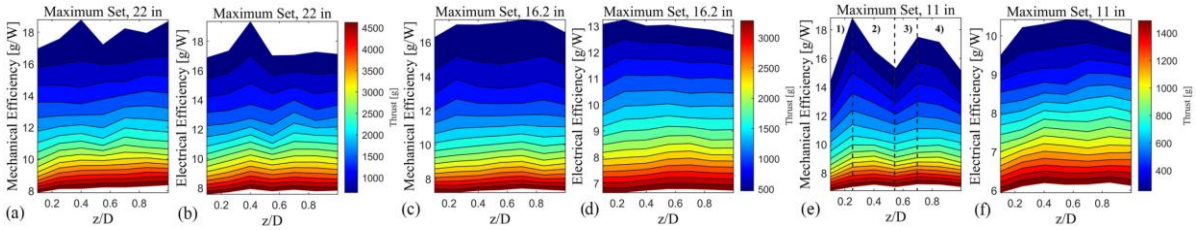


Фиг. 8. Сравнение на оптимална конфигурация горен и долен пропелер 12x4,7+12x6 с единичен пропелер 14x4,7

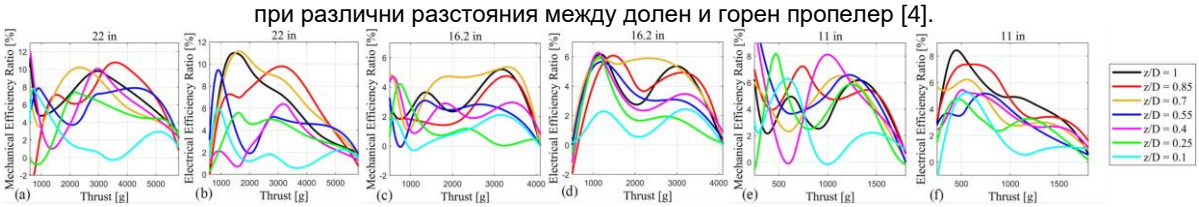
На Фиг. 7 са сравнени три оптимални конфигурации на горен и долен пропелер- 14x4,7+14x4,7; 12x4,7+14x4,7; 12x4,7+12x6. Те дават практически еднакви резултати, но се предпочита варианта на горен пропелер 12x4,7 и долен пропелер 12x6, който е с най-ниско тегло и най-ниско време за отклик.

От Фиг. 8 изводът е, че оптималната конфигурация горен и долен пропелер 12x4,7+12x6 дава печалба в максимална тяга 32%, но се отчита загуба в ефективността от 15% (от 9000/1800=5 g/W към 9000/2100=4,28 g/W) в сравнение с единичен пропелер 14x4,7.

В [4] са извършени тест с два еднакви, противоположно въртящи се пропелера при сто различни положения на газта (7 ÷ 95)% и седем различни разстояния между горен и долен пропелер, съответно z/D=0,1; 0,25; 0,4; 0,55; 0,7; 0,85 и 1,0. На Фиг. 9 и Фиг.10 пропелер 22x6,6 NS Carbon Fiber [8] се задвижва от T-Motor MN501-S KV240 [9], пропелер 16,2x5,3 FA Carbon Fiber работи с T-Motor MN4014 KV400 [10], а пропелер APC 11x4,5 работи с мотор Propdrive V235-36 KV910 [11].



Фиг. 9. Механическа, електрическа ефективност и тяга на двойки съосни пропелери 22, 16.2 и 11 инча при различни разстояния между долен и горен пропелер [4].



Фиг. 10. Процентни изменение на механическата и електрическата ефективност при различна тяга на три двойки съосни пропелери 22; 16,2 и 11 инча за различни разстояния z/D=0,1; 0,25; 0,4; 0,55; 0,7; 0,85 и 1 между долен и горен пропелер

В [5] са представени тринадесет варианта на безпилотни амфибийни летателни апарати (UAAV) използващи въздушна възглавница и мултироторна система. Изследват се характеристиките на амфибийните превозни средства при промяна на полезния товар. Експерименталният прототип на UAAV демонстрира летене във въздуха и висене във вода.

Експериментална база

Конструкцията на x8 октокоптер (съкратено- X8окто) е авторска (виж Фиг. 11 и Фиг. 12) и има излетно тегло около12 kg без полезен товар. За закрепване на моторно-витловата група са

използвани: шест стандартни въглеводородни тръби с дължина 500 mm и диаметър 20 mm, закрепени с четиринадесет броя стандартни алуминиеви връзки с дължина 45 mm и диаметър 20 mm и четири стандартни алуминиеви държачи 100x40x6 mm за осем двигателя. За закрепване на акумулаторната батерия и двата поплавъка са използвани: осем стандартни въглеводородни тръби с дължина 500 mm и диаметър 16 mm, закрепени с шестнадесет броя стандартни алуминиеви връзки с диаметър 16 mm. Теглото на малкия акумулатор е 3087 g (TCBWORTH 22 Ah-25C-6S, с енергия 4,2 V*6*22 Ah=554,4 W/h). Теглото на големия нестандартен акумулатор е 5100 g (37 Ah-40C-6S, с енергия 37*4,2*6=932,4 W/h). Двата поплавъка на X8окто тежат 1500 g; осем контролера тежат 432 g, а осем двигателя 4*170+4*180=1400 g. Общото тегло на конструкцията на X8окто без акумулатор е 9800 g, а с акумулатор и два поплавъка е 12800 g. Разстоянието между двата предни и двата задни двигателя на X8окто е 874 mm, между преден и заден двигател има 724 mm, а от център до двигател са 569 mm. Разстоянието между горен и долен пропелер на X8окто е 70 mm.

Първи вариант на моторно-витлова група

Да пресметнем летателни и електрически параметри [2,3] на X8окто с моторно-витлова група, състояща се от осем пропелера 22x6,6 NS Carbon Fiber (диаметър 0,5588 m), задвижвани от осем двигателя T-Motor MN501-S KV240. Приемаме разстояние z=0,1 или 0,558 m*0,1=55,22 mm между двата пропелера. Нужната тяга при излитане от всяка съосна двойка ще бъде 12800/4=3200 g. От Фиг. 9b при z=0,1 и тяга=3200 g отчитаме в жълтата лента електрическа ефективност около 9 g/W. Мощността на излитане на X8окто ще бъде 12800/9= 1422 W. Ако използваме осем единични пропелера 22x6,6 в класически октокоптер с осем рамена, съгласно табл. 1 търсим 12800/8=1600 g от двигател при газ 55% от вертикали C(Y) и D(Y) се отчитат мощност (143+157)/2=150 W от двигател и ефективност (10,97+10,71)/2=10,84 g/W при излетна мощност 150*8=1200 W. Изводът е, че X8окто излита при 1422/1200=1,18 пъти по-голяма мощност спрямо вариант с осем единични пропелера. Съответно за полетните им времена се получава 554,4/1422=0,39 h и 554,4/1200=0,46 h или X8окто лети 100*0,39/0,46=84,78 % от времето на стандартен октокоптер. Коефициентът на запас по тяга на X8окто се отчита по най-долната крива при z=0,1 от фиг. 10b и е равен на 5800/3200=1,81 при максимална тяга от осем двигателя 5800*4=23200 g. Коефициентът на запас по тяга на класически октокоптер се отчита от табл. 1 и е съответно при газ 100% и 55% или 4187/1600=2,62 или при максимална тяга за класически октокоптер от осем двигателя се получава 4187*8=33496 g от вертикали B(Y) и C(Y).

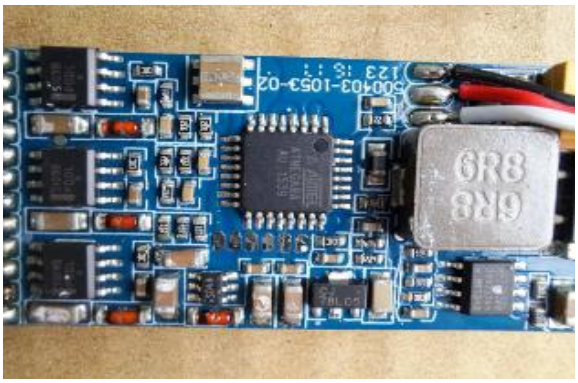
Таблица 1. Параметри на четири двигателя и четири пропелера

A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)	I(Y)	J(Y)	K(Y)	L(Y)	M(Y)	N(Y)	O(Y)	P(Y)	Q(Y)
Пропелер	170g	P22x6.6	P22x6.6	2br.P22x6.6	170g	18x5,5	18x5,5	17x5,5	17x5,5	17x5,5	180g	17x5,5	17x5,5	171 g	16.2x5.3	16.2x5.
Мотор	MN501S	KV240	KV240	KV240	TYI-motor 5010	KV340	KV340	KV340	KV340	KV340	TYI-motor 5008	KV400	KV400	MN4014	KV400	KV400
Газ	Тяга	Мощнос	G/W	Тяга	Тяга	Мощност	G/W	Тяга	Мощност	G/W	Тяга	Мощнос	G/W	Тяга	Мощност	G/W
	rev4			Съосно	Горе						Долу			rev4		
46	1166	96	12.2	--	1504	119	12.63				1550	134	11.57	--	--	--
48	1246	105	11.87	--	1608	130	12.36				1656	154	10.75	--	--	--
50	1339	116	11.59	--	1728	144	11.98	1269	98	12.99	1780	166	10.7	1410	142	9.92
52	1453	128	11.3	--	--	--	--	1377	106	12.99	1960	198	--	1536	156	9.85
54	1566	143	10.97	--	--	--	--	1484	109	13.61	2107	204	--	1650	175	9.43
56	1684	157	10.71	--	--	--	--	1595	123	12.97	2278	228	--	1777	192	9.26
58	1796	172	10.44	--	--	--	--	1702	131	12.99	2425	245	--	--	--	--
60	1900	187	10.15	--	2340	222	10.54	1723	146	11.76	2450	272	9	--	--	--
62	2020	203	9.94	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
64	2147	223	9.63	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1920	244	7.86
66	2273	239	9.51	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
68	2394	258	9.28	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
70	2509	275	9.11	--	2675	353	7.58	2316	235	9.84	3050	408	7.47	--	--	--
72	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
74	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
75	2823	327	8.63	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2380	324	7.34
76	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
78	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
80	3038	380	7.99	--	3240	457	7.08	2650	342	7.75	3170	504	6.29	--	--	--
82	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
84	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2790	424	6.58
86	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
88	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
90	3454	501	6.89	--	3855	615	6.27	3215	488	6.58	3600	647	5.55	--	--	--
92	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				--	--	--
94	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				--	--	--
96	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				--	--	--
98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				--	--	--
100	4187	612	6.84	6000	4300	732	5.87	3600	588	6.12				3020	570	5.89

Втори вариант на моторно-витлова група

Взимат се данни от пропелер 16,2x5,3 FA Carbon Fiber (диаметър 0,4114 m) и двигател T-Motor MN4014 KV400 от табл. 1 и от [4] при z=0,2 0,411*0,2=80 mm. При излитане за всяка

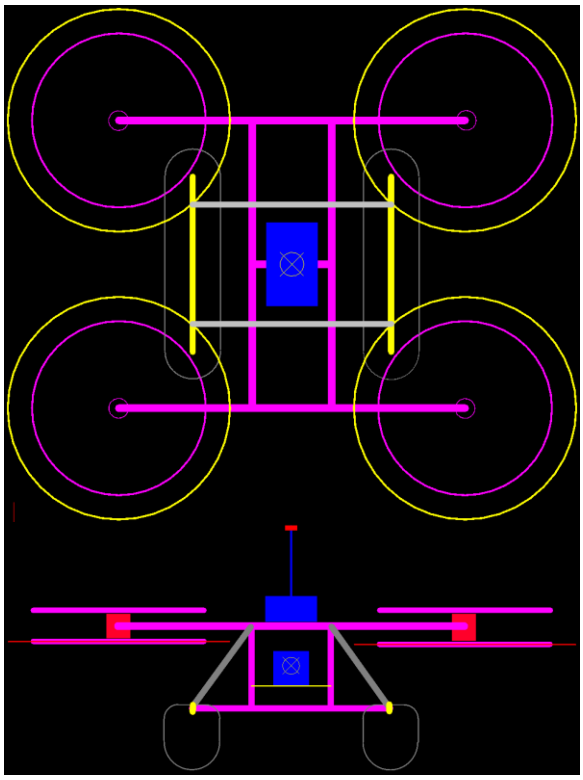
съосна двойка ще бъде 12000/4=3000 g. От Фиг. 9d при z=0,2 и тяга=3000 g се отчита в най-долната лента електрическа ефективност около 6,6 g/W. Мощността на излитане на X8окто ще бъде 12000/6,6=1818 W. Ако използваме осем единични пропелера 22x6,6 в класически октокоптер с осем рамена, съгласно табл. 1 търсим 12000/8=1500 g от двигател и отчитаме по вертикалите O(Y), P(Y) и QY) при газ 52%, тяга 1536 g, мощност 156 W от двигател и ефективност 9,85 g/W при излетна мощност 156*8=1248 W. Изводът е, че при втори вариант на моторно-витлова група x8 октокоптер излита при 1818/1248=1,46 пъти по-голяма мощност спрямо вариант с осем единични пропелера. Съответно за полетните времена се получава 554,4/1818=**0,3 h** и 554,4/1248=0,44 h. Коефициентът на запас по тяга на X8окто се отчита по най-долната крива при z=0,2 от фиг. 10d и е равен на 4100/3000=1,37 при максимална тяга от осем двигателя 4100*4=16400 g. Коефициентът на запас по тяга на класически октокоптер се отчита от табл. 1 и е съответно при газ 100% и 52% или 3020/1536=1,97 или при максимална тяга за класически октокоптер от осем двигателя се получава 3020*8=24160 g. При втори вариант не достига тяга за два поплавъка и ако не се монтират излетното тегло ще стане 12800-1500=11300 g.



а)

б)

Фиг. 11. а) Регулатор на скоростта с датчик на ток
б) Общ вид на x8 октокоптер



Фиг. 12. Поглед отгоре и отзад на X8 съосен електрически октокоптер с излитане и кацане от водни басейни с 22 и 17 пропелер

Трети вариант на моторно-витлова група

Авторите предлагат X8окто от Фиг. 11 и Фиг. 12 да бъде оборудван с 4 горни двигателя TYI-motor 5010 kv340 [12] и четири долни двигателя TYI-motor 5008 KV400 [13] с четири прави и четири обратни пропелера 17x5,5 (диаметър 0,432 m), които са междинни по размер на пропелерите от първи и втори вариант. Конструктивно е реализирано разстояние между горен и долен пропелер 70 mm откъдето се изчислява коефициентът z=70/432=0.16. Ще бъде проведено изследване на ефективността при два режима на управление на двигателите, ако се реализира класическа схема с осем рамена на октокоптер:

а) За да се направи приблизително еднакво за натоварването на горните спрямо долните двигатели в съотношение 50%/50% трябва горните двигатели винаги да получават газ с 10% повече от долните, съгласно табл. 1. Изравняването на токовете в горен спрямо долен двигател може да стане и чрез използване на регулатор на скоростта с вграден токов сензор.

Например, при използване на данни от вертикали I(Y), J(Y), L(Y) и M(Y) излитането на класически октокоптер 12800 g става при параметри на горен двигател- газ 56%, 1595 g и 123 W и при параметри на долен двигател- газ 46%, 1550 g и 134 W (общо 1595*4+1550*4=12580 g при обща мощност 123*4+134*4=1028 W). Максимална тяга 3600*8=28800 g е при мощност

588*4+647*4=4940 W общо и се постига при параметри на горен двигател- газ 100%, 3600 g и 588 W и при параметри на долен двигател- газ 90%, 3600 g и 647 W. Тяговъоръжеността ще бъде 28800/12580=2,29, а времето на полет 554,4/1028=0,54 h. За време на полет при изравняване на токовете в горен спрямо долен двигател се пресмята 554,4/1028=0,54 h.

б) Възможно е и равенство в подаваната газ на горен спрямо долен двигател без изравняване на токовете и при използване от вертикали I(Y), J(Y), L(Y) и M(Y) да се получава излитане при газ 51% и тяга 1269*2+1377*2+1780*2+1960*2=12772 g, а максимална тяга при газ 90% ще бъде 3215*4+3600*4=27260 g или тяговъоръжеността ще бъде 27260/12772=2,13, което е приемливо. За мощността на излитане при газ 52% се получава 98*2+106*2+166*2+198*2= 113,6 W и време на полет 554,4/1136=0,49 h.

Ще бъде проведено изследване на ефективността при равенство на газта в диапазон (50÷90)% във втори вариант с четири горни двигателя TYI-motor 5008 KV400 и четири долни двигателя TYI-motor 5010 kv340.

Заключение

Първи вариант на моторно-витлова група X8окто лети 100*0,39/0,46=84,78 % от времето на стандартен октокоптер при излетно тегло 12800 g.

При втори вариант на моторно-витлова група X8окто лети 100*0,3/0,44=68,18 % от времето на стандартен октокоптер при излетно тегло 12000 g.

При трети вариант на моторно-витлова група се очаква междинен процент (87,78+68,18)/2=77,98%. При вариант 3-а X8окто ще лети 0,78*0,54=0,42 h, а при вариант 3-б X8окто има време на полет 0,78*0,49=0,38 h при излетно тегло 12800 g.

Благодарности: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана” (приета с ПМС № 731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“.

Литература:

1. Граматиков, П., Изследване на характеристиките на полета на безпилотни електрически квадрокоптери. Proceedings SES'2021, Space Research and Technology Institute Bulgarian Academy of Sciences, 2021, ISSN: p-ISSN 2603-3313 e-ISSN 2603-3321, pp. 108–113.
2. Граматиков, П., Телеметрична система за характеристиките на полета на безпилотен електрически квадрокоптер. Proceedings SES'2021, Space Research and Technology Institute Bulgarian Academy of Sciences, 2021, ISSN: p-ISSN 2603-3313 e-ISSN 2603-3321, pp. 114–120.
3. Bondyra, A., S. Gardecki, P. Gąsior, W. Giernacki. Performance of coaxial propulsion in design of multi-rotor UAVs. In International Conference on Automation Springer, Cham. Douglas, C. Giancoli General physics. Prentis hall Inc., 2016, pp. 523–531. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29357-8_46.
4. Buzzatto, J., M. Liarokapis, A Benchmarking Platform and a Control Allocation Method for Improving the Efficiency of Coaxial Rotor Systems. *IEEE Robotics and Automation Letters* 7.2, 2022, pp. 5302 – 5309. DOI: 10.1109/LRA.2022.3153999
5. Ganesan, S., B. Esakki, S. Mathiyazhagan, P. Vikram. Conceptualization and Prototyping of Unmanned Amphibious Aerial Vehicle for Water Quality Assessment. International Journal of Robotics and Automation, 6, 2019, pp. 66–72. DOI: https://doi.org/10.31875/2409-9694.2019.06.8.
6. Simoes, Cedric: Optimizing a Coaxial Propulsion System to a Quadcopter, Technical report, pp. 1–10. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090412782/Resumo.pdf.
7. Sharf, I., M. Nahon, A. Harmat, W. Khan, M. Michini, N. Speal, T. Wang. Ground effect experiments and model validation with Draganflyer X8 rotorcraft. International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) IEEE, 2014, pp. 1158–1166. DOI: 10.1109/ICUAS.2014.6842370
8. Материал от интернет: https://store.tmotor.com/goods.php?id=966.
9. Материал от интернет: https://store.tmotor.com/goods.php?id=695.
10. Материал от интернет: https://store.tmotor.com/goods.php?id=348.
11. Материал от интернет: https://www.amazon.com/HobbyKing-PROPDRIVE-910KV-Brushless-Outrunner/dp/B074GW7QNL.
12. Материал от интернет: https://www.thanksbuyer.com/tyi-power-5010-disk-brushless-motor-340kv-for-multirotor-quadcopter-rc-plant-protection-uav-drone-51744.
13. Материал от интернет: https://www.thanksbuyer.com/tyi-power-5008-disk-brushless-motor-400kv-for-multirotor-quadcopter-rc-plant-protection-uav-drone-51741.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

SIMULATION OF A REACTION WHEEL INVERTED PENDULUM

Konstantin Metodiev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: komet@space.bas.bg

Keywords: *reaction wheel, pendulum, PID controller, SciLab / xCos*

Abstract: *The paper describes numerical simulation of the motion of an one-dimensional pendulum with a reaction wheel. Three laws for controlling both the pendulum and the wheel have been studied successively. The goal is to balance the pendulum in an upright position. The control loop includes proportional and derivative term. Governing differential equations are solved by means of block diagrams in SciLab / xCos environment. The block diagrams are published, so are the numerical results.*

СИМУЛАЦИЯ НА ДВИЖЕНИЕТО НА МАХАЛО С ИНЕРЦИОНЕН МАХОВИК

Константин Методиев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: komet@space.bas.bg

Ключови думи: *реактивен / инерционен маховик, махало, PID контролер, SciLab / xCos*

Резюме: *В доклада е описана числена симулация на движението на махало с инерционен маховик. Изучени са последователно три закона за управление на махалото и маховика. Целта е да се балансира махалото в изправено положение. Контурът за управление включва пропорционално и диференциращо звено. Диференциалните уравнения, описващи движението, са решени с блокови схеми в среда SciLab / xCos. Публикувани са блок-схемите, както и получените числени резултати.*

Introduction

Task of satellite attitude control is commonly accomplished by means of the so-called reaction wheel(s), i.e. a flywheel giving the satellite a stored amount of angular momentum. The conservation law implies that total angular momentum of a mechanical system remains unchanged on condition that an external torque is not applied. Hence, the satellite counter-rotates according to changes in wheel angular velocity vector. This concept of attitude control is solely applicable to small satellites.

This paper makes reference to the work of Block et al. who did an innovative research on reaction wheel pendulum and published the results in monography [1]. Authors set out a powerful mathematical apparatus to describe both pendulum and wheel dynamics and go further into great detail to support their assertions. Both linearized and non-linear pendulum models are examined fully. A connection between PID controller coefficients and system stability is established. Exemplary problems are solved and discussed for different cases of pendulum / wheel control.

The current research draws an analogy between experimental and numerical results by proposing a feasible alternative to real pendulum and wheel dynamics. To work out a numerical solution to linearized equations governing both pendulum and wheel is a primary goal of the presented study. The equations are proposed by Block et al. in monography [1]. Three study cases are thoroughly investigated:

- a simple proportional-derivative (PD) control of pendulum angle;
- a PD control of pendulum angle and wheel angular velocity;
- a PD control of pendulum angle and wheel angle.

The experiment was implemented in SciLab / xCos, [2] environment.

Materials and Methods

In Fig. 1, a two-dimensional projection view is shown alongside a three-dimensional perspective view of both wheel and pendulum under consideration.

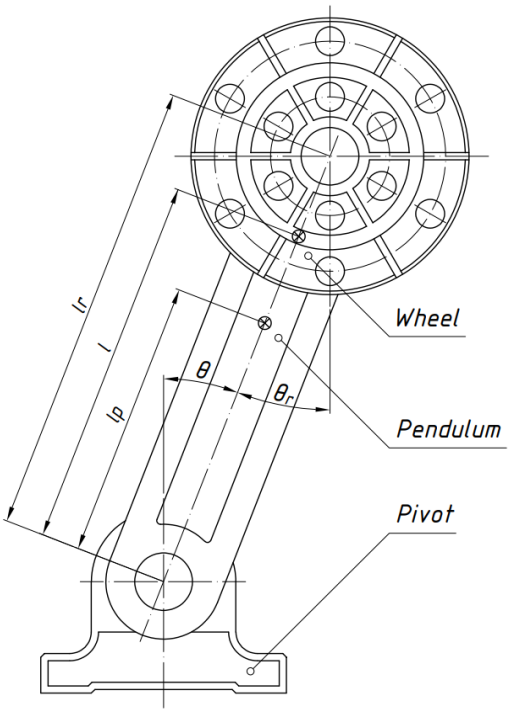


Fig. 1a. Experiment setup

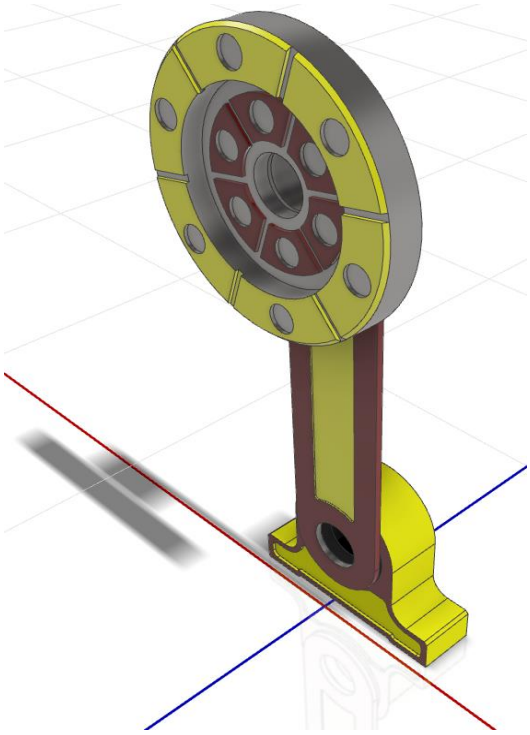


Fig. 1b. Inverted pendulum 3D

The experiment setup consists of a pivot, an inverted pendulum, and a reaction wheel, Fig. 1a. In order that pendulum maintains upright stance, the wheel should rotate in accordance with a control law. Throughout the numerical experiment, values of pendulum angle and wheel revolutions / angle are fed back to the system input. Actuating and sensing devices are neglected which is why the results are less likely to depend on angle (or angular velocity) sensor resolution, for instance a rotary encoder. Driving motors, cables are also omitted to simplify the experiment further. The system mass properties resemble those quoted in monography [1] as closely as possible.

Governing Equations

The governing ordinary differential equations (ODE) are borrowed from monography [1] in the form they were derived. The model describing system dynamics is following

$$\ddot{\theta} + a.\sin(\theta) = -b_p(u - F)$$
$$\ddot{\theta}_r = b_r(u - F) \tag{1}$$

where **θ** is pendulum deflection angle, $\boldsymbol{\theta_r}$ is wheel deflection angle, **u** is control input, **F** is friction torque on the motor axis, **a**, $\mathbf{b_p}$, $\mathbf{b_r}$ are constants depending on system mass properties and DC motor current, [1]. In current research, friction is neglected, equations are linearized about the pendulum upright position **θ = π**. Therefore, both pendulum and wheel obey the following simplified law:

$$\ddot{\theta} - a.\theta = -b_p u$$
$$\ddot{\theta}_r = b_r u \tag{2}$$

By introducing a control law of pendulum angle **θ** (simple PD controller)

$$u = -k_{pp}\theta - k_{dp}\dot{\theta} \tag{3}$$

and subsequently inserting in Eq. (2), following equations and SciLab / xCos subsystem, Fig. 2, are obtained:

$$\ddot{\theta} - b_p k_{dp}\dot{\theta} - (b_p k_{pp} + a)\theta = d \quad \theta(0) = 0 \qquad \dot{\theta}(0) = 0$$
$$\ddot{\theta}_r + b_r k_{dp}\dot{\theta} + b_r k_{pp}\theta = 0 \quad \theta_r(0) = const \quad \dot{\theta}_r(0) = 0 \tag{4}$$

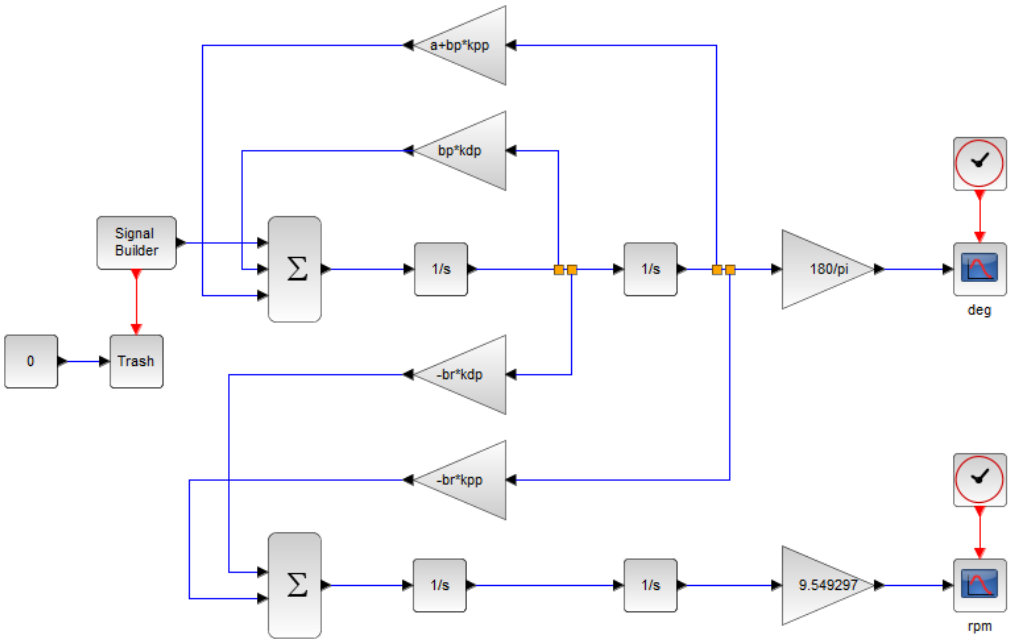


Fig. 2. Subsystem for working out a solution to system ODEs (4) (pendulum angle)

Alternatively, after applying a control law of pendulum angle **θ** and wheel angular velocity **ω = dθ$_r$/dt**

(5) $$u = -k_{pp}\theta - k_{dp}\dot{\theta} + k_{dr}\left(\omega_0 - \omega\right)$$

governing equations and SciLab / xCos subsystem are obtained as follows:

(6) $$\begin{aligned} &\ddot{\theta} - b_p k_{dp}\dot{\theta} - \left(a + b_p k_{pp}\right)\theta - b_p k_{dr}\omega = -b_p k_{dr}\omega_0 + d \quad \theta(0) = 0 \quad \dot{\theta}(0) = 0 \\ &b_r\left(k_{dp}\dot{\theta} + k_{pp}\theta\right) + \dot{\omega} + b_r k_{dr}\omega = b_r k_{dr}\omega_0 \qquad \omega(0) = const \end{aligned}$$

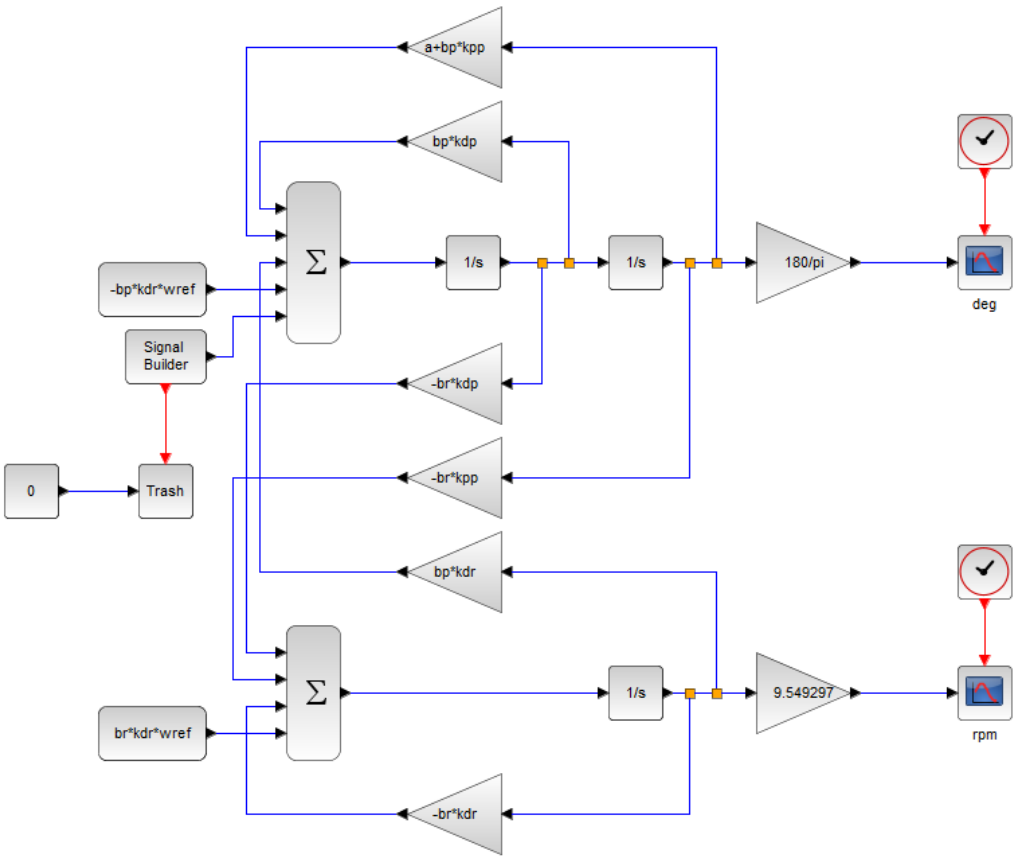


Fig. 3. Subsystem for working out a solution to system ODEs (6) (wheel angular velocity)

Finally, following control law of pendulum angle **θ** and wheel angle $\boldsymbol{\theta_r}$

(7) $$u = k_{pp}\left(\theta_0 - \theta\right) - k_{dp}\dot{\theta} + k_{pr}\theta_r - k_{dr}\dot{\theta}_r$$

results in governing equations

(8) $$\begin{aligned} &\ddot{\theta} - b_p k_{dp}\dot{\theta} - \theta\left(a + b_p k_{pp}\right) - b_p\left(k_{dr}\dot{\theta}_r + k_{pr}\theta_r\right) = -b_p k_{pp}\theta_0 + d \quad \theta(0) = 0 \quad \dot{\theta}(0) = 0 \\ &b_r\left(k_{dp}\dot{\theta} + k_{pp}\theta\right) + \ddot{\theta}_r + b_r k_{dr}\dot{\theta}_r + b_r k_{pr}\theta_r = b_r k_{pp}\theta_0 \qquad \theta_r(0) = 0 \quad \dot{\theta}_r(0) = 0 \end{aligned}$$

In equations above, **d** (1 if t ∈ [3; 4); 0 otherwise) stands for a disturbance torque.

The SciLab / xCos subsystem, corresponding to eq. (8), is shown in Fig. 4:

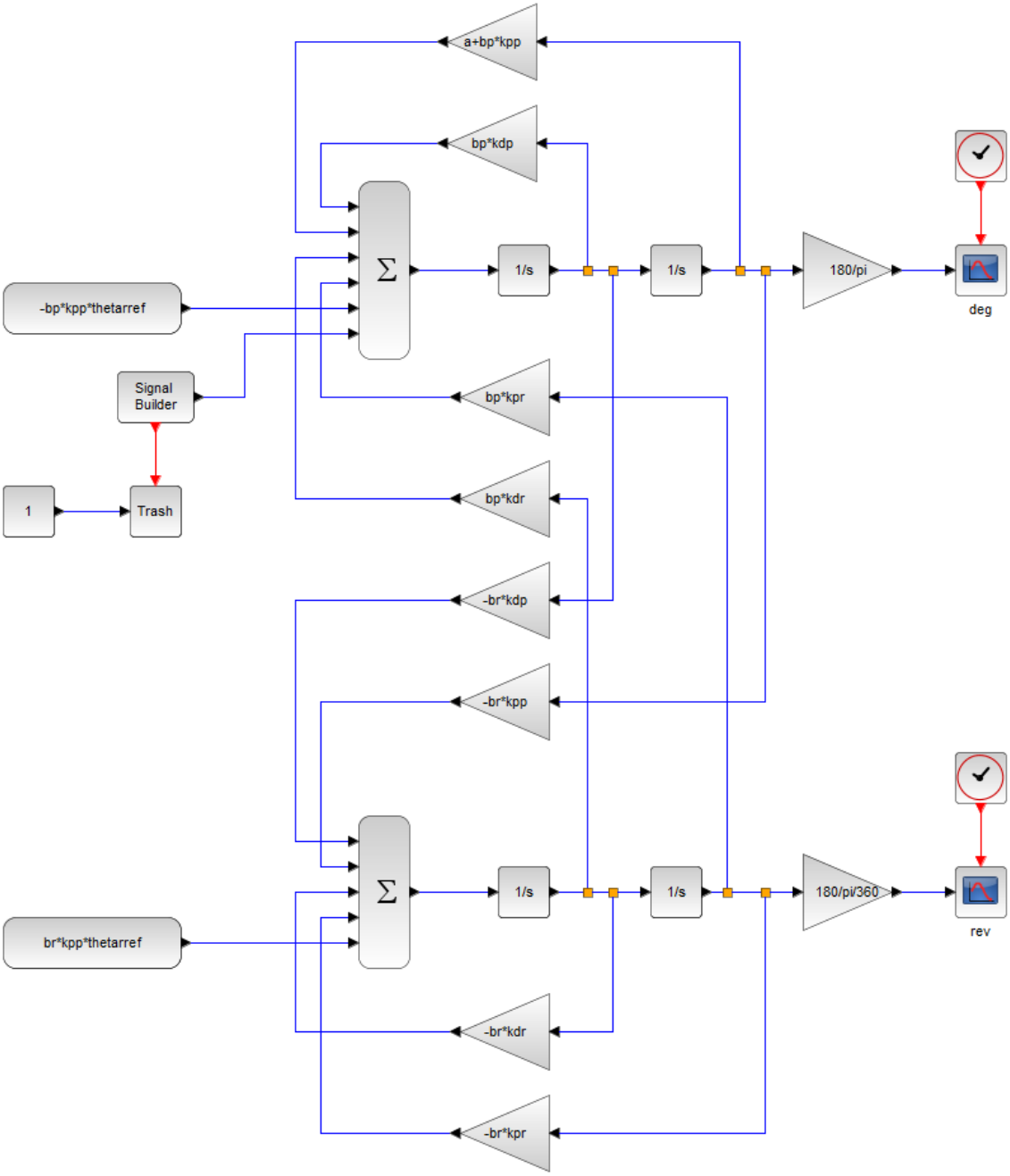


Fig. 4. Subsystem for working out a solution to system ODEs (8) (wheel angle)

Controller coefficients are derived taking into account characteristic polynomials of systems ODEs (4), (6), and (8). Coefficients values depend on pendulum oscillation frequency and system damping ratio. Values obtained in current study are following:

- Generic coefficients and mass properties

a = 78.908; bp = 0.9537; br = 207.11; mr = 0.265 kg; mp = 0.092 kg; Jp = 211.662e-06 kg.m^2; Jr = 238.134e-06 kg.m^2; lp = 86.32e-03 m; lr = 127e-03 m; l = 116.5, (Fig. 1a)

- Pendulum angle: kpp = –268.90; kdp = –19.758; ς = 0.707
- Wheel angular velocity: kdr = –0.028951; kpp = –321.55; kdp = –28.839; wref =10.471976 rad/s = 100 rpm; ω0 = 13.325; ς = 0.707; α = 0.2
- Wheel angle: kpp = –564.93; kdp = –63.597; kpr = –0.3810; kdr = –0.1464; θref = 0; ω1 = 8.883; ς1 = 0.707; ω2 = 8.883; ς2 = 1

Details on how to compute coefficients might be found in monography [1].

Mass and inertial properties of both pendulum and rotor were computed taking into account density of stainless steel, 8 g/cm^3. Both linear and angular dimensions are shown in Fig. 1a along with mass centres locations and part names.

Results

Following results are obtained for three study cases as follows.

- Simple PD controller (Fig. 2) of pendulum angle only

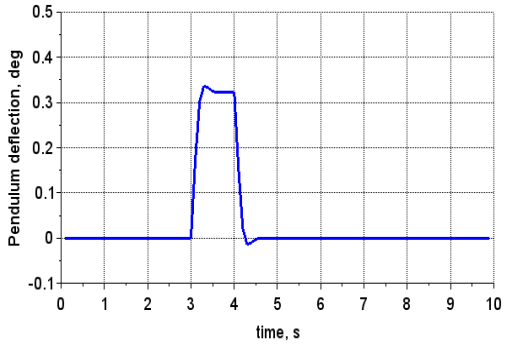


Fig 5a. Pendulum deflection, deg, vs. time, s

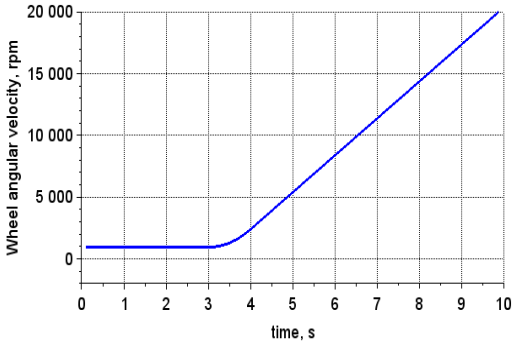


Fig. 5b. Wheel angular velocity, rpm, vs. time, s

- PD controller (Fig. 3) of pendulum angle and wheel angular velocity

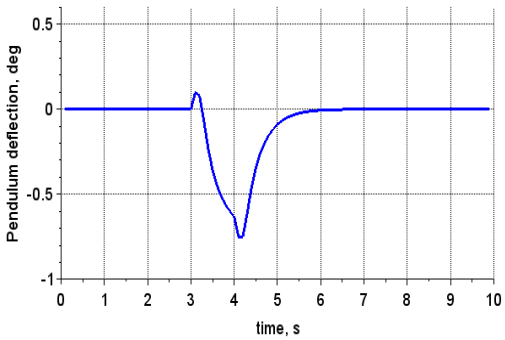


Fig. 6a. Pendulum deflection, deg, vs. time, s

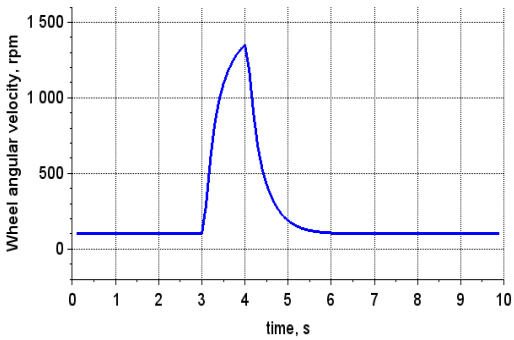


Fig. 6b. Wheel angular velocity, rpm, vs. time, s

- PD controller (Fig. 4) of pendulum angle and wheel angle

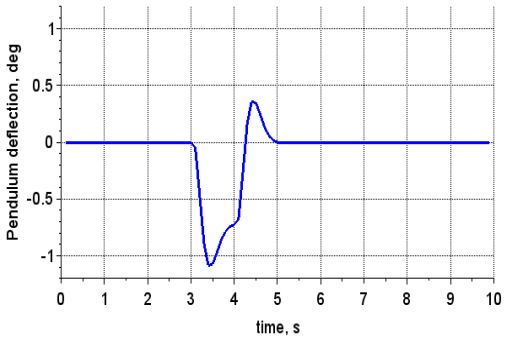


Fig. 7a. Pendulum deflection, deg, vs. time, s

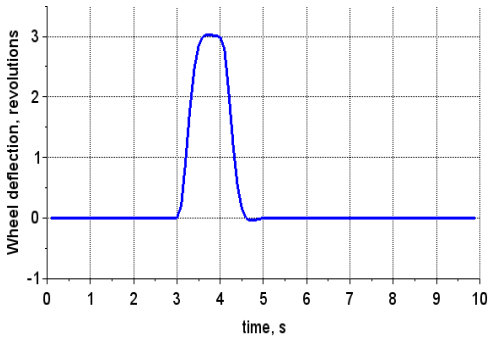


Fig. 7b. Wheel deflection, revolutions, vs. time, s

Discourse

Consider Fig. 5. Although the pendulum is able to restore initial upright attitude, the wheel angular speed reaches saturation limit fast. At the onset of a disturbance torque, the wheel starts accelerating at constant rate. This result was discussed in monography [1] and confirmed by the numerical experiment. Feedback from wheel angle / angular speed is not introduced by control law (3) whatsoever (open loop), hence the (intuitively predictable) results.

Consider Fig. 6. Initial values of angular velocity $\boldsymbol{\omega = d\theta_r/dt}$ imply that the wheel maintains 100 rpm. The wheel rotates about 10 times faster at the end of a disturbance pulse applied to the pendulum. After the disturbance torque ceases, the wheel restores value of initial angular rate.

Consider Fig. 7. During the disturbance torque, the wheel rotates three revolutions in both directions. After the disturbance torque comes to an end, the wheel restores initial angle of deflection.

It should be noted that Fig. 5a, 6a, and 7a depict pendulum deviations $\boldsymbol{\delta\theta = \theta - \pi}$. The problem is well posed and the solution is correct so long as disturbance torque **d** is small.

Alternatively, source code in Appendix might be used if block diagrams are less preferable.

References:

1. Block, D. J., K. J. Astrom, M. W. Spong, The Reaction Wheel Pendulum, Synthesis Lectures on Control and Mechatronics, Lecture #1, 2007 by Morgan & Claypool.
2. https://www.scilab.org/software/xcos
3. https://octave.org/

Appendix. Source code for solving Eq. (4)

GNU Octave, [3]

```
clear;

function [pulse] = d(t)

  if (t < 3 || t >= 4)
    pulse = 0;
  else
    pulse = 1;
  end

end

function [dx] = sys(t, x)

  % Parameters
  a = 78.908; bp = 0.9537; br = 207.11;

  % PID tuning
  kpp = -268.90; kdp = -19.758;

  dx = zeros(4, 1);

  A =
[0,1,0,0;a,0,0,0;0,0,0,1;0,0,0,0];
  B = [0; -bp; 0; br;];
  K = [-kpp, -kdp, 0, 0];
  u = K*x;
  dx = A*x + B*u + [0; d(t); 0; 0];

end

tspan = 0:0.1:10;
x0 = [0; 0; 100; 0];
[t, x] = ode45(@sys, tspan, x0);

figure(1); % theta
plot(t, x(:, 1) * 180/pi, 'g');
grid on

figure(2); % theta_r
plot(t, x(:, 3) * 9.549297, 'm');
grid on
```

SciLab, [2]

```
clear;

function [pulse] = d(t)

  if (t < 3 || t >= 4)
    pulse = 0;
  else
    pulse = 1;
  end

end

function [dx] = sys(t, x)

  // Parameters
  a = 78.908; bp = 0.9537; br = 207.11;

  // PID tuning
  kpp = -268.90; kdp = -19.758;

  dx = zeros(4, 1);

  A = [0,1,0,0;a,0,0,0;0,0,0,1;0,0,0,0];
  B = [0; -bp; 0; br];
  K = [-kpp, -kdp, 0, 0];
  u = K*x;
  dx = A*x + B*u + [0; d(t); 0; 0];

end

tspan = 0:0.1:10;
x0 = [0; 0; 100; 0];
x = ode("rkf", x0, 0, tspan, sys);

figure(1); // theta
plot(tspan, x(1, :) * 180/%pi);
xgrid(1, 1, 7);

figure(2); // theta_r
plot(tspan, x(3, :) * 9.549297);
xgrid(1, 1, 7);
```

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

АГРЕГИРАНЕ НА УСЛУГИ, БАЗИРАНИ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ, В ИНТЕГРИРАНИ МОБИЛНИ СИСТЕМИ ЗА МОНИТОРИНГ В ИНТЕРНЕТ СРЕДА

Георги Сотиров, Евгений Хубенов, Зоя Чифлиджанова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: gsotirov@mail.space.bas.bg

Ключови думи: *Информационно-комуникационни системи, сензорни мрежи, изкуствен интелект, Интернет*

Резюме: *Съвременните интегрирани мобилни системи за мониторинг имат информационен и комуникационен ресурс, осигуряващ широк клас от задачи за събития, чието решаване надхвърля капацитета на системата за обслужване на обичайните дейности, осигуряващи деловата активност и защитата на обществото. Днес е широко разпространението на безпилотните авиационни системи и сателити, които предоставят публично достъпна информация, което налага необходимостта от изследвания и решения в областта на мрежите за безпилотни летателни апарати и тяхното управление. Мащабното внедряване на безжичните сензорни мрежи и събирането на информация с тях, водят до необходимостта от разглеждането на безпилотните летателни апарати или на съвкупност от тях като елементи на мрежи с възможност за изпълнение на функции, които са в приложния слой на мрежовия модел. В статията се предлагат съвременни иновационни решения за интегрирана мобилна система за мониторинг с елементи на изкуствен интелект в Интернет среда на база мобилна комуникационна-информационна система за събиране, агрегиране, обработка и презентиране в реално време на потоци от информационни обекти.*

AGGREGATION OF SERVICES BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, INTO INTEGRATED MOBILE MONITORING SYSTEMS IN A WEB ENVIRONMENT

Georgi Sotirov, Evgeni Hubenov, Zoya Chiflidzhanova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: gsotirov@mail.space.bas.bg

Keywords: *Information and communication systems, sensor networks, artificial Intelligence, Internet*

Abstract: *Modern integrated mobile monitoring systems have an information and communication resource, providing a wide class of tasks for events, the solution of which exceeds the capacity of the system to serve the usual activities that ensure business activity and the protection of society. Today, the proliferation of unmanned aerial systems and satellites that provide publicly available information necessitates the need for research and solutions in the field of unmanned aerial vehicle networks and their management. The large-scale implementation of wireless sensor networks and the collection of information with them lead to the need to consider unmanned aerial vehicles or a collection of them as elements of networks with the ability to perform functions that are in the application layer of the network model. The article offers modern innovative solutions for an integrated mobile monitoring system with elements of artificial intelligence in an Internet environment based on a mobile communication-information system for collecting, aggregating, processing and presenting in real time streams of information objects.*

Въведение

Информационните и комуникационни технологии (ИКТ) са сред стратегически важните сектори на националната икономика на всяка държава. Въвеждането на цифрови технологии, конвергенцията на мрежите за комуникация и информационните системи може значително да разшири възможностите за обмен на бизнес, образователна, научна и развлекателна

информация, да осигури глобализацията на икономическата дейност и интегрирането на икономиките на отделните държави в единна международна система [2, 4].

През последните десетилетия развитието на човечеството се съпътства от бързия прогрес на технологиите и нарастващото разпространение на цифрови устройства и услуги. Този напредък видимо се ускорява в резултат на напреднали технологии като изкуствен интелект (ИИ), роботика, биотехнологии и нанотехнологии.

Настоящият и бъдещият устойчив икономически растеж и обществено благосъстояние на Европа все повече се опират на стопанските ползи от обработката на данни. ИИ е едно от най-важните приложения на основаната на данни икономика. Днес повечето данни са насочени към потребителя и се съхраняват и обработват в централизирана инфраструктура „в облак“. За сметка на това голям дял от бъдещите и далеч по-богати данни, чийто източник ще бъдат промишлеността, предприятията и публичният сектор, ще се съхраняват и обработват в периферията на мрежата.

Интегрирани мобилни системи за мониторинг с елементи на изкуствен интелект в Интернет среда

Съвременните интегрирани мобилни системи (ИМС) за мониторинг по своята същност са комуникационно-информационни системи (КИС) с разпределен изчислителен ресурс, които осигуряват важни отрасли на националната икономика, сигурност, екологията и деловата активност на хората. Конвергенцията на информационни обекти и мрежова структура в информационно-центрирани мрежи позволява да се увеличи скоростта на обмен на информацията в реално време в състава на информационна им структура, включваща в географските си граници труднодостъпни райони. Освен комуникационни услуги с гарантирана достъпност и качество, системата за мониторинг осигурява достъп до динамична информация в реално време с формиране на информационни обекти, анализ на данни и подходящо за целите на системата презентиране, което дава основание за нейния анализ и като информационно-комуникационна система.

Мобилността на възлите за формиране, събиране и агрегиране на информацията от стационарни или мобилни сензори, разположени на безпилотни летателни апарати (БЛА) се съчетават с информация, интегрирана от други информационни системи, включително и сателитни системи. Последните, от кибернетична гледна точка, са големи (сложни) системи и за разлика от безпилотните авиационни системи (БАС) се характеризират със специфични свойства като глобалност на използването, многоцелевост и многофункционалност.

Значим съвременен превантивен фактор, осигуряващ своевременно разкриване, идентифициране и определяне на мащабите на различни кризисни процеси, са аерокосмическите технологии. Технологиите с космическо и въздушно базиране осигуряват преодоляване на значителна част от недостатъците и ограниченията на традиционните технологии с наземно базиране, свързани главно с мониторинга, навигацията и комуникацията [1, 3].

Съвременните ИМС за мониторинг имат информационен и комуникационен ресурс, осигуряващ широк клас от задачи за събития, чието решаване надхвърля капацитета на системата за обслужване на обичайните дейности, осигуряващи деловата активност и защитата на обществото. Наблюдението и мониторингът на базата на подобни технически решения се налага при необходимост от доставка и анализ на данни от спешно инсталирани сензори по повод на конкретна ситуация, като например пожари и ограничаването им в отдалечени местности; химически замърсявания с висока динамика и с опасност за живота и здравето на хората; при необходимост от спешен оглед и експертна оценка на щети в труднодостъпни обекти; откриване и спасяване на хора; мониторинг за целите на телемедицина и много други.

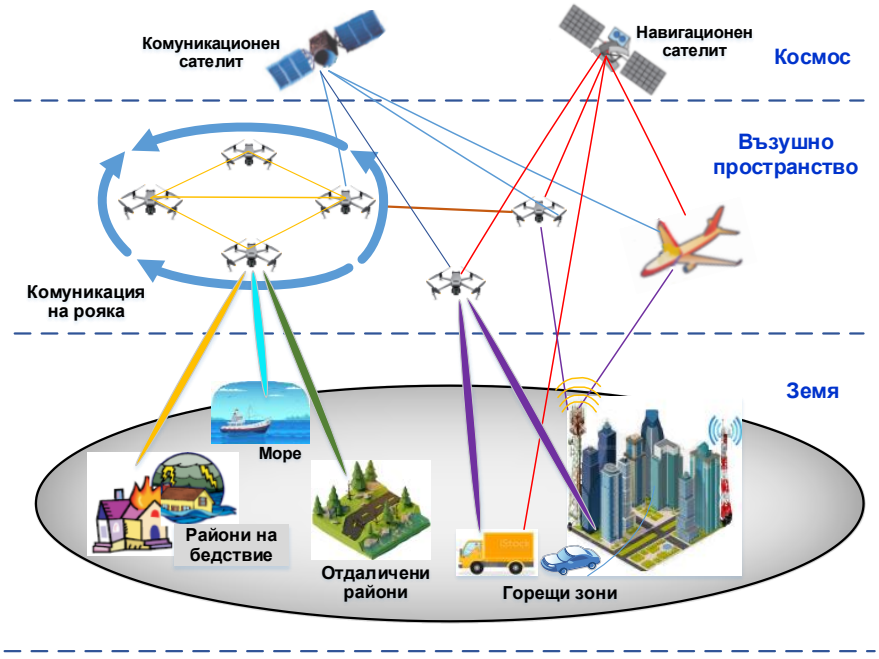
Интеграцията в системата за мониторинг на сателитна информация и на данни от други информационни системи осигурява допълнителни възможности за прогнозиране и анализ на получените в резултат на мониторинг данни и обработката им за постигане на целите на системата. При това системата за космически мониторинг е комплексна система с космически и наземен сегмент, осъществяваща събиране, обработка, архивиране и осигуряване на потребителите с информация за обектите, явленията и процесите на земната повърхност.

Тенденциите за формиране на глобална информационна инфраструктура в съвременните общества и развитието на потребностите на граждани, бизнес и общество предполагат едновременното използване в системите за мониторинг, както и на съвременни мобилни технологии за предаване на данни (4G/5G), така и на възможностите за експортиране на информация в Интернет с подходящо форматиране и презентиране.

Комуникации и управление за различни приложения на БЛА

Поради предимствата на високата мобилност и лесното разгръщане, БЛА се очаква да бъдат широко използвани в бъдещите безжични комуникации. Някои от типичните приложения на БЛА комуникациите са показани на фиг. 1 [6, 7]:

- *покритие на важна точка*- използването на БЛА като въздушна базова станция може да подобри безжичното покритие за горещи зони- такива, като железопътни гари, стадиони, офис-работни места и др.;
- *разширение на обхвата*- БЛА с базова станция може да бъдат разгърнати за потребители без комуникационна инфраструктура, като отдалечено планинско село и плавателен съд в океана. Може да се използва и като спешна комуникация за райони с природни бедствия и нарушена инфраструктура;
- *релейни комуникации*- БЛА може да действа като връзка между повече конкретни потребители, което е особено важно за военни структури за своевременна връзка между командните центрове;
- *сателитни комуникации на БЛА*- всеки безпилотен летателен апарат може да комуникира със сателита по време на навигация, т.е. вид сателитна комуникация в движение и БЛА трябва постоянно да насочва лъча на антената към сателита, за да поддържа комуникационната връзка;
- *кооперативни комуникации с множество БЛА*- множество БЛА могат да се обединят, за да изградят безжична летяща мрежа и да покрият голяма област, където техниките за координирани множество точки от наземната клетъчна мрежа могат да бъдат използвани за подобряване на производителността на системата;
- *рояк комуникации*- роякът е съставен от голям брой мини-БЛА и се използва главно в бойни приложения. Тъй като мини-БЛА са плътно разположени, роят формулира виртуална широкомащабна решетка и управлението може да координира, за да подобри ефективността на използване на спектъра.



Фиг. 1. Интегрираната система за комплексен мониторинг

Основната функция на интегрираните системи за сигурност и безопасност (ИССБ) е да събират и представят информация от свързани към нея различни системи, които в общия случай са автономни. С развитието на технологиите все повече системи предоставят отворен интерфейс, който в частност може да се използва за интегриране на множество разнородни системи с централизиран мониторинг.

Синтезът, моделирането и изследването на интегрирани мобилни системи за мониторинг се опира на следните тези:

✓ *системата, разгледана като информационно-комуникационна система (ИКС) от гледна точка на потребителите* е структурирана в информационни обекти и услуги за достъп

до тях. Информационно-центрираните системи, формирането и достъпът до информационни обекти с осигуряване на достоверност, цялостност, сигурност във всички нива на мрежовия модел и в зоните с различни технологии на мрежов транспорт са актуална област от информационните технологии;

✓ *комуникационната структура е мобилна и динамична, поместена в различни транспортни среди* (мобилни мрежи за предаване на данни 3G/4G/5G, радиомрежи, сензорни мрежи и Интернет). За такива мрежи трябва да се осигури достъпност и гарантирано качество на услугите. Тяхната топология и управлението на трафика в тях са обосновани от целите на системата. Синтезът на структурата им трябва да позволява и динамична топологична адаптация с избор на специфични критерии. Адаптацията може да се дефинира като задачи на ИИ с оптимално разпределение на изчислителните и комуникационни ресурси, което има научна стойност;

✓ *агрегирането и начална обработка на данни от сензорите* изисква наличието на изчислителен ресурс, който е разположен във възли на мрежата в съседство със сензорното поле, решаващ т.нар. „интелигентни задачи". Дефиниране на задачите и позициониране на елементите на изкуствен интелект във възлите на комуникационно-информационната система за изпълнение на функции на етапа на събиране и агрегиране на данните ще доведе до системи за мониторинг и наблюдение с ново качество. Като примери могат да се посочат: първична обработка на данни от телемедицински сензори и прагови аларми в реално време при критични за здравето стойности; въвеждане на автоматизация за при търсене на хора с интелигентни решения, базирани програмно и апаратно на БЛА и др.;

✓ *автоматизацията на управлението на полета на БЛА и намаляване на натовареността на оператора* за сметка на въвеждане на изкуствен интелект за определени дейности е актуална и иновативна **област**, свързана с нов и развиващ се клон на икономика за транспорта на товари, за военни цели и пр. Въвеждането на елементи на ИИ в БАС, които задължително изискват оператор, са ново направление в теорията за нов клас системи за управление (Humans-on-the-Loop), в които сътрудничеството човек-машина създава производителност и възможности от по-високо качество;

✓ *създаване на сценарии с елементи на ИИ* за полуавтономни полети на БЛА за специфични задачи на мониторинг, които имат цел да осигурят ситуационна осведоменост (СО**)** на оператора на полезен товар на БЛА, е перспективна и актуална тематика в съвременните БАС. Създаването и оптимизацията на отдалечено работно място с елементи на ИИ за оператор на полезен товар с цел СО, съобразено със ситуацията и споделено със различни заинтересовани страни дава ново качество на системата за мониторинг. Това е един подход за нейното директно включване във веригата за взимане на решения в условия на динамични критични ситуации;

✓ *интегрираната система* включва в реално време, както географски данни от сензори в труднодостъпни райони и сензори, базирани на мобилни средства- БАС, така и данни за прогнозиране или преодоляване на бедствия и критични ситуации, получени чрез електронно-оптични, инфрачервени и радиолокационни сензори на спътниците за наблюдение. Решаването на проблемите, свързани на интеграцията на данни от различни системи, управление на информационните потоци, презентирането в Интернет, експорта към други системи и осигуряването на информационната сигурност е актуална и значима в съвременните системи за мониторинг. Съчетанието на локални и облачни технологии, съобразени с възможностите на мрежите за мобилен пренос на данни (4G/5G) и оптимизацията с оглед на изискваното бързодействие, е съвременна проблематика в контекста на развитието на съвременните автоматизирани системи за транспорт на хора и товари.

Анализът на изпълнението на функции в интерес на сигурността на страната и на гражданския сектор показва, че с помощта на БЛА могат да се реализират две задачи- *превантивна и активна*. Превантивната задача предполага събиране и анализиране на изпреварваща и достоверна информация за различни кризисни процеси, а активната- информационно осигуряване на вземането на решение от оторизираните от държавата органи в процеса на разрешаване на конкретни ситуации.

Реализирането на превантивната и активната задачи изисква при наличие на информация от системите за космическо наблюдение да се извърши следспътников мониторинг с помощта на БАС. За разлика от сателитите за наблюдение, БЛА могат да извършват многочасово патрулиране и наблюдение на определен район при значително по-малки разходи за експлоатация от тези на космическите средства.

Комплексно решение за създаване на интегрирана мобилна система за мониторинг с елементи на изкуствен интелект

Широкото разпространение на БЛА и сателити [5], които предоставят публично достъпна информация осигуряват възможност за появата на нови комплексни научно-изследователски задачи. Като начало възникна необходимостта от изследвания и решения в областта на мрежите за БЛА и тяхното управление. Мащабното внедряване на безжичните сензорни мрежи и необходимостта от събиране на информация с тях в условия на труднодостъпни райони, водят до необходимостта от разглеждането на БЛА или мрежата от БЛА като елементи на мрежи с възможност за изпълнение на функции, които са в приложния слой на мрежовия модел. При това за събиране на информация със сензорни полета с използване на БЛА трябва да се използват протоколи на безжичните сензорни мрежи, а за предаване на информация- интернет протоколи (IP) и съвременни методи за защита на данните. Пример на предлаганата *интегрирана мобилна система* за мониторинг с елементи на изкуствен интелект, е показана на фиг. 2.

Фиг. 2. Интегрирана мобилна система за мониторинг с елементи на ИИ

Концепцията за създаване на такава ИМС за мониторинг на база безпилотната авиационна система включва:

- *синтез на концептуален модел на системна комуникационно-информационна архитектура*, избор на мрежови и информационни технологии, моделиране и разработка на структура и топология на мобилна мрежа и автоматизирана информационно-управляваща система с БЛА;
- *синтез, моделиране и разработка на структура и топология за IP виртуална частна мрежа* със защита на данните и транспорт през мобилни мрежи за предаване на данни (3G/4G/5G), базирана на мобилни носители- БЛА; избор на мрежова технология за защитен пренос на данни, синтез на структура и топология; анализ на възможностите за обема на трафика и качеството на услугите; създаване на алгоритъм за интелигентна динамична адаптация на мрежовата топология, с цел осигуряване на достъпност и качество на услугите;
- *създаване на безпилотната авиационна система*- създаване на наземен мобилен пункт за управление на БЛА и за мониторинг с две работни места- за оператор на БЛА (дистанционен пилот) и за оператор за интелигентна система за мониторинг с достъп през Интернет. Конфигуриране на маршрутизатори за мобилни възли (за БЛА) и за пункт за управление на БЛА. Разработка на система за управление на БЛА при работа в радиомрежа и мобилна мрежа за предаване на данни и оптимизация за подобряване на достъпността;

- *разработка на алгоритми за задачи с елементи на изкуствен интелект за управление на БЛА* и за осигуряване на ситуационна осведоменост на операторите при работа през мобилна мрежа за предаване на данни; осигуряване на информация за ситуационна осведоменост на работните места на операторите; разработка на система за мрежов мониторинг и оценка на състоянията и параметрите за адаптация на мрежата и осигуряване на достъпност и качество на услугите;
- *реализация на динамична адаптация на мрежовата топология*, с цел осигуряване на достъпност и качество на услугите в условия на мобилен пренос на данни; разработка на структура и на интерфейси за автоматизирано управление на IP виртуалната мрежа и реализация на алгоритъм за динамична адаптация;
- *реализация на управление на БЛА*, с цел осигуряване на достъпност и управление в условия на мрежи за мобилен пренос на данни и управление по радиоканал; разработка на програмно-апаратна част за интелигентен избор на транспортна среда за управлението на БЛА и реализация на интелигентен алгоритъм за управление;
- *разработка на информационна система за мониторинг в Интернет среда*;
- *разработка на сензорна мрежа*- разработка на сензорна мрежа с IP протоколен шлюз, разположен на мобилен носител- БЛА, с програмно-апаратни решения за събиране, агрегиране и защита на данните;
- *разработка на решения за трансформиране, съхранение, обработка и визуализация на резултатите от мониторинга в Интернет среда*, разработка на приложения „клиент-сървър“ за съхранение, обработка и визуализация на данните;
- *обработка на данни*- избор и обосноваване на решения за трансформиране на данните в информационни обекти и тяхното експортиране, обработка и визуализация; разработване на програмни средства за автоматизация на процесите на обработка на данни и въвеждане на механизми за интелигентен мониторинг- аларми, известявания, превантивно обслужване и прогнозен анализ;
- *разработка на решения за обработка на сателитни данни*, импортиране и експортиране на данни към други информационни системи и облачни решения за достъп на данните в Интернет; разработка на приложения за свързаност с други информационни системи и облачни технологии за достъп.

Заключение

Безопасността на живота, здравето и имуществото на гражданите, превенцията и предотвратяването на бедствия, предизвикани от природни явления или човешка дейност, нарушения на обществения ред, готовност за отблъскване на терористични актове в новият дигитален свят е невъзможен без прилагането на най-модерните ИКТ системи и решения.

Следователно, дигиталната трансформация в сферата на правоприлагането и обществената безопасност се състои в организиране на непрекъсната работа на службите за спешна помощ, базирани на автоматични системи за наблюдение на обществената обстановка и околната среда, за прогнозиране на поведението на групи хора въз основа на цифрови модели и алгоритми, за анализ на големи данни от интелигентно видеонаблюдение и други устройства за контрол на безопасността. Това предполага използването на бързо разгръщащи се мрежи за предаване и анализ на данни в хода на аварийните ситуации и при реагиране в извънредни ситуации.

Темповете и посоката на съвременния научно-технически прогрес изискват нови съвременни идеи на методологията на изграждане на интегрирани системи за прогнозиране, овладяване и ликвидиране на екологични инциденти, издирване на хора и спасяване на човешки живот. Те трябва да са съобразени и с новите поколения информационно-комуникационни системи призвани да осигурят мобилност на потребителите и иновативност в използването съвременни технологии. Стремежа е към модернизиране и въвеждане на интелигентни ИТ решения във различни сфери на икономиката и социалния живот, чрез създаване на среда за широко прилагане на информационните и комуникационни технологии в различни публични сектори- национална инфраструктура, здравеопазване, образование, бизнес и др.

Благодарности: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана” (приета с ПМС №731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“.

Литература:

1. Гецов, П., Национална аерокосмическа система за мониторинг и защита от природи екокатастрофи, Академично издателство „М. Дринов”, София, 2014.
2. Концепция за развитието на изкуствения интелект в България до 2030. https://www.mtc.government.bg/sites/default/files/koncepciyazarazvitienaiivbulgariyado2030.pdf.
3. Мардиросян, Г., Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване, Академично издателство „М. Дринов“, София, 1999.
4. Национална програма „Цифрова България 2025“, София, 2019. https://www.mtitc.government.bg/bg/category/85/proekt-na-nacionalna-programa-cifrova-bulgariya-2025-aktualno-sustoyanie-kum-yanuari-2019-g.
5. Пенев, П., Космос и сигурност, ИК „Витал“, Велико Търново, 2014.
6. Munir, Md. S., S. F. Abedin, C. S. Hong, Artificial Intelligence-based Service Aggregation for Mobile-Agent in Edge Computing, Conference: The 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, Japan, 2019.
7. Munir, Md. S., S. F. Abedin, C. S. Hong, Artificial Intelligence-based Service Aggregation for Mobile-Agent in Edge Computing, Conference: The 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, Japan, 2019.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПОЛУАВТОНОМЕН КОСМИЧЕСКИ РОБОТ ЗА РЕАНИМАЦИЯ В СУБОРБИТАЛНИ ПОЛЕТИ

Мелани Пиргова[1,2], Антон Атанасов[2], Габриел Дичев[1], Бора Доган[1], Гергана Николова[1,2]

[1]Медицински университет "Проф. д-р Параскев Стоянов"
[2]Висше военноморско училище "Никола Йонков Вапцаров"
e-mail: antonatanasov2002@gmail.com

Ключови думи: *космическа медицина, автономен медицински робот, изкуствен интелект*

Резюме: *Полу-автономен космически робот за реанимация може да замести нуждата от медицински персонал в кабината на суборбитално превозно средство и да освободи от ограниченото пространство в кабината на пасажерите, и заедно с това да осигури здравето на космическите туристи. Предложеният робот е съставен от отделни модули, способни да извършват определени медицински операции. Докато се изпълнява медицинска манипулация върху космически турист, роботът ще работи с помощта на топологични модели, които пресъздават анатомията на организма. Преди суборбиталния полет се прави пространствена визуализация на тялото на всеки турист, която се използва във виртуална и вградена реалност, което позволява на необучено лице да извърши дадено лечение вместо робота. Този робот ще се управлява от медицински екип на земната станция, или от изкуствен интелект, който е свързан с наблюдателната система на космическите туристи. Наблюдателната система представлява самостоятелни самозалепящи кожни лепенки - сензори, които наблюдавайки кръвното налягане, сърдечната активност, наситеността на кислород, киселинността и нивата на захар в кръвта, количествата на определени електролити и телесната температура, измерват цялостното състояние на организма, и общото ниво на стрес.*

APPLICATION FOR THE SEMI-AUTONOMOUS RESUSCITATION SPACE ROBOT IN SUBORBITAL FLIGHTS

Melani Pirgova[1,2], Anton Atanasov[2], Gabriel Dichev[1], Bora Doğan[1], Gergana Nikolova[1,2]

[1]Medical University of Varna "Prof. Dr. Paraskev Stoyanov"
[2]Naval Academy "Nikola Yonkov Vaptsarov"
e-mail: antonatanasov2002@gmail.com

Keywords: *space medicine, autonomous medical robot, artificial intelligence*

Abstract: *A semi-autonomous robot for suborbital flight vehicles can be used in the place of medical personnel in order to optimize the limited space inside the passenger cabin, while utilizing a number of modern technologies to provide the safety of space tourists. The proposed robot consists of separate modules, capable of carrying out specific medical treatments. While performing medical manipulations to a space tourist, the robot will operate with the help of topological models, recreating their anatomy. Spatial visualization of each space tourist's body is done prior to the suborbital flight, and will be used in an augmented reality environment, which enables untrained individuals to perform treatments in place of the robot. The robot is controlled from a ground station, or by an artificial intelligence, connected to the monitoring system that consists of self-adhesive skin patch sensors and a smart suit, specially designed for onboard suborbital vehicles. The skin patches measure the overall condition of space tourists by monitoring blood pressure, heart activity, oxygen saturation, acidity and glucose in the blood, the levels of specific electrolytes, body temperature and the organism's general stress level.*

Въведение

Мечтата да видим Космоса отблизо и да се насладим на неговата гледка все повече се доближава до реалността не само за астронавтите, но и за обикновените хора. Изключително важно е да се запази здравното състояние на бъдещите космически туристи по време на

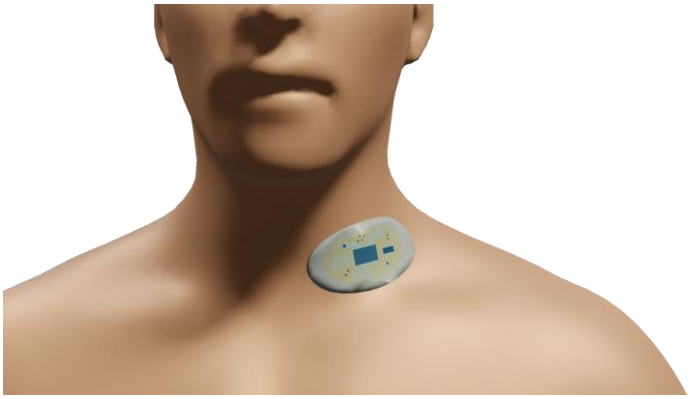
суборбитални полети. Това ще се постигне чрез наблюдение на жизнените показатели, диагноза и отстраняване на здравословни проблеми. Всяка от тези функции ще се изпълнява от автономен робот и система за наблюдение в суборбиталното превозн средство по време на полет. Чрез този автономен робот за реанимация ще може да се променят изискванията за успешна квалификация за суборбитален полет. Неговият дизайн е модулен и е пряко свързан с неинвазивни сензори под формата на самозалепващи се кожни лепенки. Тези системи ще са свързани с база данни, разполагаща с изкуствен интелект за обработка на информация както от полета, така и преди и след него. С тези системи ще се осигури здравна безопасност на космическите туристи и суборбиталните полети ще бъдат достъпни за голям брой хора.

Космическите туристи ще бъдат екипирани с умни костюми и повърхностни сензори, които ще следят жизнените им показатели по време на всички фази от полета. Костюмите и самозалепващите повърхностни сензори непрекъснато ще измерват кръвното налягане, сърдечния ритъм, нивата на кръвна захар, насищането на кислород в хемоглобина и телесната температура. Сензорната информация ще се обработва от костюма и ще се предава до базата данни на борда на суборбиталното превозно средство. Там данните ще бъдат сравнявани с нормалното здравословно състояние за всеки космически турист, определено по време на тренировъчните процедури преди полета. При възникването на необичайно натоварване на пасажер в кабината, базата данни ще извести както земната станция, така и пасажера относно какви действия е нужно да се предприемат. Някои лекарства ще могат да се внасят трансдермално. Това са главно разтвори, които лесно могат да проникват през кожата или ефективно могат да се използват с продължителен приток на малки количества

Идеите, представени в статията, са в основата на проект, с който авторите участваха в Конкурса Aerospace Student Challenge, организиран от Европейската космическа агенция през 2022 година. В конкуренция с над 100 проекта на студенти от европейски университети, проектът „Полу-автономен космически робот за реанимация“ беше отличен като най-добър в направление Медицина. Екипът получи специалната награда Dassault Aviation Prize.

“Умен” костюм

Всеки един космически турист ще бъде снабден с лепенки за кожа с вградени сензори, които ще бъдат прикрепени за определени места на тялото, съобразени с дебелината на кожата (Фиг. 1).



Фиг. 1. Кожна сензорна лепенка за измерване на кръвно налягане и сърдечна активност

Тези сензорни лепенки ще бъдат настроени индивидуално за да вземат прецизни измервания за всеки организъм. Всеки турист също ще бъде облечен с “умен” костюм, показан на Фиг. 2, който безжично се свързва с кожните лепенки и ще им предоставя допълнителна електрическа енергия, посредством батерии, които ще са вградени в материята на облеклото. Преносът на енергия се осъществява чрез електромагнитна индукция или с допир с електропроводими платове на вътрешното покритие на облеклото. Костюма ще получава необработените сигнали от лепенките за да ги обработи преди да ги предаде на базата данни на суборбиталното превозно средство. Космическото облекло няма да бъде фокусирано единствено към сензорната технология, а ще обръща внимание и на комфорта и функционалността по време на суборбитален полет.

Фиг. 2. Костюм за суборбитален полет

За целта пътниците на суборбиталния полет да бъдат информирани за здравословното си състояние в реално време, всеки костюм ще бъде оборудван с гъвкав екран, чувствителен на допир, който ще бъде вграден в материята на облеклото. Космическите туристи ще могат да използват екрана за да наблюдават жизнените си показатели, или да следят информация за полета. При случай, в който някой от пътниците се нуждае от медицинска помощ от роботът за реанимация, неговият костюм ще възпроизведе звуков сигнал. Това ще информира останалите туристи ако се налага да освободят пространство за намесата на робота или да го насочат към неговата цел.

Костюмите също така ще имат и инфрачервени светлинни мишени за проследяване, както и инерциални датчици, които ще служат на камерите в кабината на съборбиталното превозно средство в определянето на позицията и ориентацията на всеки космически турист в триизмерната среда. Ще се използва 3D виртуална реалност с цел робота и медицинските експерти на земята да реагират оптимално и да дават насоки на туристите в реално време. Тя ще бъде важна част и от системата за вградена реалност, която ще се използва в по-тежки злополуки. В непредвиден случай, в който се налага човешка намеса, медицинският екип ще посочи някой от здравите пасажери, който да използва един от наличните в кабината устройства за вградена реалност. Медицинските експерти ще разполагат с данните от оборудването за измерване на жизнени показатели и ще насочват немедицинското лице да извършва сложни манипулации. Потокът от данни, минаващ през вградената реалност ще се предава на живо до екипа в земната станция.

Тъй като костюмите ще имат пряко взаимодействие с робота за реанимация докато той оперира върху космическите туристи, облеклото ще бъде проектирано да бъде възможно най-полезно за целта. На тях ще бъдат разположени комбинация от затягащи колани на ключови места, като зоната около гръдния кош и колан зад гърба, които да прикрепят модулите на робота към тялото на туриста и да предоставят нужното позициониране за извършването на някои манипулации, като сърдечен масаж и интубация. Детайли по облеклото, като значки, бродерия и ципове ще бъдат разположени извън досега на робота, за да не затрудняват неговата функция. Облеклата също така ще съдържат електродни пластини за да се осигури възможно най-бърза реакция при процедура за дефибрилация.

Кожни сензорни лепенки

Самозалепващите кожни сензорни лепенки са напълно неинвазивен метод да се наблюдава състоянието на организма отблизо. Те са леки и с малки размери, и могат лесно да бъдат приложени и премахнати без заплахата от риск от инфекция и са лесно заменими в случай на повреда (Фиг. 1). Между кожата и лепенките, разчитащи на ултразвук, се добавя тънък слой силикон като контактна среда, която да замести краткотрайния гел, използван в обичайните апарати за ултразвук.

Множество самозалепващите кожни сензорни лепенки с различни параметри могат да се прилагат с цел да се следят различни показатели, като предлагат приспособени варианти на сензорите за отделните космически туристи, съобразно състава и дебелината на кожата, нейната повърхност и потоотделяне.

Основният вид самозалепващ сензор ще следи кръвно налягане и сърдечен ритъм, като приложението му е най-ефикасно близо до зона с главен кръвоносен съд [1]. Интегралната схема на сензора излъчва безобидни ултразвукови пиезоелектрични импулси и измерва времето на закъснение на отразения звук за да определи ширината на кръвоносния съд, а след това и скоростта на кръвната течност чрез Доплеровото отместване на честотата от пиезоелектричния импулс. Ултразвуковата технология на сензорите има способността да засича промени в кръвоносни съдове до 4 сантиметра под повърхността на кожата. Същият сензор може да измерва слабата електрическа активност на сърцето, породена от мускулните съкращения във всеки сърдечен цикъл, характерни с преноса и повторното насищане на невротрансмитерни йони по време на мускулната активност. Специализиран сензор се използва за наблюдение на сърцето като цялостното устройство за електрокардиография.

Заедно с кръвното налягане, отделен самозалепващ сензор ще следи наситеността на кислород в кръвта на индивиди в риск от усложнения в дихателната система [2]. Лепенката използва излъчвател на червена светлина с дължина 660 нанометра и на инфрачервена светлина с дължина 940 нанометра, като чрез измерване на количеството погълната светлина се изчислява съотношението окислен към неокислен хемоглобин. Базата данни се известява при наличието на измервания под 95%. Сензорното устройство определя и дихателния ритъм, като засича лекото повишение в сърдечния пулс по време на вдишване, последвано от увеличението на паузите между сърдечните удари след издишване. По този начин чрез респираторна синусова аритмия ще се следи стабилното дишане на космическите туристи.

Още един от видовете повърхностни сензори ще позволи на космически туристи с диабет да се насладят на суборбитални полети като измерва нивата на кръвна захар [3]. Този вид сензор е снабден с инфрачервен източник на светлина, чрез която оптично се измерва концентрацията на глюкоза в дермата [4]. Дължините на светлинната вълна между 1.0 и 1.1 микрометра могат да използват за измерване на глюкозната концентрация до 3 милиметра под повърхността на кожата без нуждата от директен контакт с кръвта. Ще се измерват също и нивата на лактат, главно в пациенти с диабет тип 2, при които често се срещат двойно или тройно повишени нива на лактат в кръвта от обичайното. Интегралната схема борави с излъчване на електромагнитни вълни с честота между 10 MHz и 4 GHz и наблюдава реакцията на течностите под кожата, като следи за електромагнитния резонанс на специфични вещества [5]. Тези измервания са полезни и за следенето на скоростта на метаболизма, консумацията на енергия в тялото, както и за откриване на признаци, свързани с ракови тумори.

Измерването на киселинност на кръвта се се прави с цел да се засича наличието на дисбаланси в хомеостазата на организма [6]. Чрез него, медицинския екип ефикасно ще забелязват признаци на вътрешна инфекция или на органи с нарушена функция като белите дробове и бъбреците. Методът за измерване на pH е подобен на този на пулсоксиметъра - прилага се спектроскопия на светлина с дължина на вълната между 520 нанометра и 680 нанометра. Спектралният анализ разкрива нивата на различните състояния на хемоглобина: COHb, MetHb, HHb [7].

Чрез използване на светлинна спектроскопия от повърхностните кожни лепенки могат да се наблюдават и различни йони в състава на кръвта [8][9]. Сензорите имат способността да следят електролитите в кръвната течност за да намалят риска от неочакван сърдечен удар, мускулни крампи, които водят до затрудненост на дишането или общи признаци за физическа умора. Лепенките ще бъдат отговорни за измерване на йонните концентрации в кръвта, мускулите и нервните тъкани, като светлинна вълна между 1 и 1.9 микрометра разкрива калиевите йони, а дължини между 2 и 2.6 микрометра засичат калциеви йони, от които и двата вида са изключително важни невротрансмитери за нормалната функция на сърцето и общата мускулна и нервна активност.

Кожните лепенки ще имат способността да измерват надеждно нивото на стрес на космическите туристи, като следят електропроводимостта на кожата им посредством количеството на отделената пот - урея, влага и соли, секретирани от кожата, и ще ги съпоставя с дихателния и сърдечния ритъм и телесната температура на организма. Нивото на стрес ще бъде изчислено на базата данни на робота с изкуствен интелект, като се осигуряват прецизни стойности за всеки индивид, независимо от различията от човек до човек в нормални граници.

Към стандартните сензори е добавен и обикновен електронен сензор за температура или инфрачервена оптична камера за да се измерват важни промени във вътрешната телесна температура.

Въпреки че лепенките ще се използват главно за измерване на жизнени показатели, някои от тях могат да бъдат снабдени с малки резервоари, съдържащи лекарствени разтвори, които се свързват с вътрешната повърхност на кожната лепенка, която ще бъде специално проектирана със структура от малки пори и електроди. Тези пори предоставят достъпа към кожата на космическия турист докато количеството приток на разтвора се контролира от

локалната интегрална схема на лепенката, командвана от изкуствения интелект на робота. Електродите подават слаби количества електричен ток на зони от кожата за да регулират притока на кръв в капилярите при нужда. Силата на електричните импулси се съобразява с количеството пот и настоящата проводимост на кожата за да се предизвика слабо дразнене на повърхностните ноцицептори. Захранването за тази функция ще се предоставя от умния костюм за суборбиталния полет.

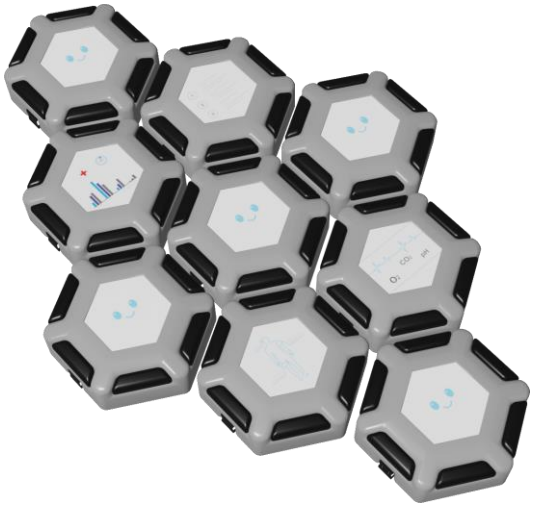
Автономен робот за реанимация в космоса

Роботът ще представлява комбинация от модули, всеки способен да извършва отделна медицинска функция, независимо от останалите системи и човешка намеса. Той ще има способността да изпълнява сърдечен масаж, като специфичния модул се прикрепя към коланите на костюма на космическия турист, и след това посредством пневматична помпа с бутало се компресира гръдния кош с удари, докато следените данни за сърцето се предават от лепенките към робота и медицинския екип на земята в реално време. Веднъж прикрепен, специализирания модул ще бъде способен направи интубация без човешка намеса: гъвкавата навита тръба (подобна на продълговат балон), която стои съхранена във вътрешността на модула, ще бъде спусната във въздухопровода посредством въздушна помпа. Гъвкавата тръба ще бъде лесно деформируема за да се управлява от робота и земния екип, докато навлиза в трахеята, без да наранява околните тъкани.

Друга част от арсенала на робота ще бъде модул със съхранени лекарства, от който ще може да инжектира избрана комбинация с разтвори, определена от изкуствения интелект и одобрена от земния екип. Прецизността на модула ще му позволи той да направи интрадермална, подкожна, мускулна или венозна инжекция, водена от инфрачервени камери и ултразвукови сензори, които позволяват таргетирането на определена тъкан и текущото кръвоснабдяване до нея.

Дизайнът на робота ще бъде модулен, което позволява оптимално да бъдат подбрани неговите системи, съобразно нуждите на групата от космически туристи в кабината. Така ако жизненоважна система е заета или има повреда, за нея ще има резерва, докато не се заема излишно пространство от модули, за които има близо до нулева вероятност те да бъдат потребни за съответната група пасажери.

Всеки един от модулите на робота ще бъде напълно автономен, а когато не се използва, ще бъде закачен за кабината с електромагнити, които регулират силата на закрепване. Когато системата или земният екип определи, че някой от модулите ще бъде необходим, той ще бъде освободен и насочен в нужната посока чрез същите електромагнити. Формата на модулите ще се стреми да сведе риска от нараняване до минимум по време на работа, както и в режим на съхранение, всяко чупливо оборудване и остри инструменти ще бъдат защитени изцяло във вътрешността на модулите, визуално представени на Фиг. 3.



Фиг. 3. Дизайн на модулите на космическия робот за реанимация

Работата на робота ще бъдат под постоянно наблюдение от медицински експерти на земната станция. Това ще позволява човешка намеса с цел робота да не избере погрешно действие за космическите туристи и в същото време ще позволява неговият изкуствен интелект да бъде трениран за по-добро вземане на решения в бъдеще. Медицинският екип разполага с

по-висок приоритет над робота и има правата да променят неговите решения или да вземат ръчен контрол върху неговите системи при необходимост. Въпреки че всички често срещани манипулации ще могат да се покрият изцяло автоматично от робота, при непредвидена обстановка, пасажерите или земният екип могат да разширят неговите способности.

В такива случаи, когато проблемът не може да бъде разрешен от робота, земният екип ще посочи някой от здравите пасажери, който да борави устройство за вградена реалност и да следва техните насоки. Между земята и суборбиталното превозно средство ще се предава двупосочен поток от видео и данни за триизмерна виртуализация. Триизмерната среда ще бъде изключително полезна за да може необучено лице да замести медицинския персонал, когато е наложително да се акцентира върху бързата първа помощ. С тази система ще визуализират къде се намира зоната на проблема и ще дава директни насоки, с които заместващото лице да извърши нужното лечение.

Благодарности

Изказваме нашите благодарности към проф. Любомир Алексиев и д-р Тургай Калинов за мотивацията да се работи в сферата на космическата медицина. Авторите искат също да благодарят и на доц.д-р Веселка Радева, която е главният инициатор за разработката на тази идея, както и източник на мотивация за младите хора в космическото обучение.

Екипът благодари на Медицински университет - Варна и Висшето военноморско училище за подкрепата в разработването на проекта.

Заключение

Разработката на описаните медицински системи ще доведат до напредък в медицина при суборбитални полети. Те ще позволят да се създаде голяма база от данни с медицинско наблюдение. Освен това ще бъде възможно да се изучават последиците от множеството вредни явления в космическата среда върху човешкото тяло. Ще се разширят допустимите граници за човешките суборбитални полети. Ще бъде възможно предотвратяването на животозастрашаващи събития по време на суборбитален полет. Запазвайки здравето на бъдещите космически туристи по време на полет ще се постигне бързо развитие на космическия туризъм. Предложеният полуавтономен космически робот ще може да се използва и при далечни космически полети.

Литература:

1. Wang, C., Li, X., Hu, H. et al. Monitoring of the central blood pressure waveform via a conformal ultrasonic device. Nat Biomed Eng 2, 687–695 (2018). https://doi.org/10.1038/s41551-018-0287-x
2. Jubran, A. (2015). Pulse oximetry. Critical Care, 19(1), 272. http://doi.org/10.1186/s13054-015-0984-8
3. IDF, Diabetes Atlas, 4th edition, world health organization WHO, update 15-3-2012.
4. In cooperation with Dr. Uwe Netz, Laser- and Medicine Technologie Berlin (LMTB).
5. A. Mason et al., „Non-invasive measurement of blood lactate in humans using microwave sensors,“ 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017, pp. 233–238, doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100481.
6. Scharlack, S. Ronald, Mar 23, 1999, NON-INVASIVE MEASUREMENT OF BLOOD PH (U.S. Patent Number: 5,885,212), https://patents.google.com/patent/US5885212A/en
7. Prahl, Scott, Molar extinction coefficients of oxy and deoxyhemoglobin compiled. URL: http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin
8. Hale, M. G., and M. R. Querry, Optical constants of water in the 200 nm to 200 μm wavelength region, Appl. Opt. 12, 555–563, 1973.
9. Soller, R. Babs, Jan. 8, 2004, METHODS FOR NON-INVASIVE MEASUREMENT OF BLOOD ELECTROLYTE CONCENTRATION (U.S. Pub. No.: US 2004/0005717 A1).

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИНАМИКАТА НА ПОЛЕТ НА ХЕЛИКОПТЕР С ВЪНШНО ПОЖАРОГАСИТЕЛНО УСТРОЙСТВО И НА БЕЗОПАСНОСТТА НА ПОЛЕТА НА ТАЗИ СИСТЕМА

Николай Загорски

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: nzagorski@space.bas.bg

Ключови думи: *аеродинамични характеристики, динамика на полета, безопасност на полета*

Резюме: *В случаите на мащабни горски пожари в планинските райони за гасенето им все по-често се използват хеликоптери с външни пожарогасителни устройства. За осигуряване на безопасност при такива полети е необходимо да се определят зависимостите на балансиращите характеристики на хеликоптера като функция от параметрите на устройството и други параметри на системата за окачване на устройството към хеликоптера.*

INVESTIGATION OF FLIGHT DYNAMICS OF HELICOPTER WITH EXTERNAL FIRE EXTINGUISHING DEVICE AND FLIGHT SAFETY OF THIS SYSTEM

Nikolay Zagorski

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: nzagorski@space.bas.bg

Keywords: *aerodynamic characteristics, flight dynamics, flight safety*

Abstract: *Helicopters with external fire extinguishers are increasingly used in the event of large-scale forest fires in mountainous areas. To ensure safety in such flights, it is necessary to determine the dependences of the balancing characteristics of the helicopter as a function of the parameters of the device and other parameters of the system for suspending the device to the helicopter.*

Въведение

През последните години по целия свят все по-често възникват стихийни горски пожари, които обхващат значителни територии, като застрашават живота и здравето на стотици хора и нанасят огромни щети. Особено трудни за овладяване са високопланинските пожари в местата, където липсват добре развита мрежа от пътища и от водни източници с голям дебит. Всичко това прави трудно, а понякога и невъзможно, използването на сухопътна техника за борба с пожарите. В такива случаи единствено авиацията единствено може да бъде в помощ на служителите и доброволците, които гасят огъня по ръчни способи.

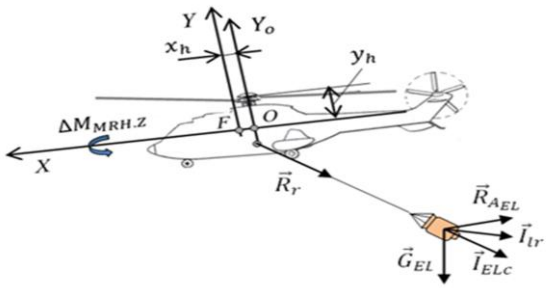
В големите по площ държави с развита авиация такива, като САЩ, Русия, Австралия, Испания и др., се използват специално пригодени за целта самолети: C-130 Hercules, летящи самолети-амфибии: Canadair CL-215 (Scooper), Be-200 Altair и др.

В малките по територии държави, такива като Република България, за гасене на пожарите основно се използват хеликоптери. Използват се вертолети Ми-17, AS 532 AL Cougar и др. с окачен съд от типа „*bambi bucket*“ с вместимост 1500-2000 литра. В този случай на използване на окачен съд с вода, силно влияние върху динамиката на полета на хеликоптера и неговата управляемост оказва външния товар. Това в особена степен се забелязва в планините, където съществуват силни низходящи струйни течения, локални завихряния и други подобни явления.

Уравнения на движението на хеликоптер с външно пожарогасително устройство

При изследване на движението на всяко материално тяло винаги трябва да се отчита, че то се премества спрямо някаква система за отчитане, която обикновено е свързана с друго материално тяло. Нека за координатна система за определяне на движението да изберем система, свързана с началото на полета на хеликоптера (летището, площадката) $O_{st}, X_{st}, Y_{st}, Z_{st}$, която от своя страна е свързана със Земята. При описание на такъв тип система се приема допускане, че тя представлява инерциална система [5, 12]. Това означава, че такава координатна система ще се намира в състояние на покой (преди излитане) или в равномерен праволинеен хоризонтален полет (движение). Такова допускане съществено опростява процеса на съставяне на уравненията за движение на хеликоптер с външно пожарогасително устройство (ВПГУ).

Съставяне на уравненията за движение на системата „хеликоптер-външен товар“ представлява сама по себе си достатъчно сложна задача. Това е свързано преди всичко с обстоятелството, че изследваната система притежава значителен брой степени на свобода. Само поради факта, че лопатите на носещия винт (при едновинтовите хеликоптери с опашен винт, като, например, AS 532 AL Cougar) имат хоризонтални, вертикални и осеви шарнири, то системата от уравнения, описващи движението, може да достигне до няколко десетки. От своя страна, наличието на ВПГУ в системата увеличава допълнително степените на свобода. Освен това, съществуват определени трудности в детайлното описание на носещия и на опашния винт при работата им в полет и при обтичането на лопатите им от насрещния поток, с отчитане на интерференцията между тях, както и интерференцията с корпуса на хеликоптера и с външното пожарогасително устройство (Фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на влиянието на външен товар (от типа “bambi bucket”) върху динамиката на полета на хеликоптер

Във връзка с наличието на тези и на други трудности при съставянето на математически модел на движението на системата „хеликоптер- ВПГУ“ обикновено се възприема подход за апроксимиране на някои твърде сложни взаимни връзки. Така например, в аеродинамиката [2] и динамиката на полета [1, 11] широко се прилага допускането за замяната на носещия винт и неговата сложа динамика с равнодействаща сила. При това се предполага, че маховото движение на лопатите се изменя мигновено при изменение на параметрите на полета на хеликоптера и на ъглите на общата и на цикличната стъпка на лопатите [6, 7], а самият носещ винт се представя като конус, който описват лопатите при своето движение.

Аналогични допускания и замествания се извършват и при изследване на работата на опашния винт, като също се разглежда създаваната от него сила.

Да разгледаме допусканията, които можем да направим по отношение на външния товар, закрепен към хеликоптера с мека връзка (въжета, сапáни). Нека въжето е закрепено по към външния товар такъв начин, че то не изменя своето ъглово положение спрямо товара. Въжето винаги е насочено по оста O_2Y_2 на свързаната координатна система на товара [5,9], т.е. осите O_1Y_1 на свързаната координатна система на хеликоптера и O_2Y_2 винаги се намират по една линия и съвпадат по посока. Към хеликоптера въжето е закрепено с идеален сферичен шарнир. В такъв случай може да се счита, че въжето и външния товар представляват едно материално тяло. Това допускане позволява системата „хеликоптер- ВПГУ“ да бъде разгледана като система от две тела, които са шарнирно свързани помежду си. Доколкото сферичният шарнир предава само сила, то самата връзка може да бъде представена единствено с реакцията на тази сила. Действието на реакцията ще съвпада с оста O_1Y_1, а по стойност ще бъде равна на силата на натегнатост на въжето.

Реакцията в точката на свързване на въжето (с външния товар) към хеликоптера може да се счита за външна сила, както спрямо хеликоптера, така и спрямо външния товар. Тези сили са равни по стойност, но противоположни по посока. По отношение на хеликоптера силата е противоположна на O_1Y_1, а за външния товар ще съвпада с O_1Y_1.

При определяне на уравненията за движение и действащите сили може да се счита, че хеликоптерът и външният товар са абсолютно твърди тела. Допълнително, външният товар при полета на хеликоптера може да бъде разглеждан като сферично физично махало с подвижна точка на окачване [4].

Уравненията за движение на абсолютно твърдо тяло се извеждат от основните положения на аеродинамиката [8]. Поради тази причина, движението се описва с уравненията на силите, приложени в центъра на масите на хеликоптера, както и с моментите спрямо центъра на масите му. В най-общ вид тези уравнения във векторна форма могат да се запишат:

- уравнение на силите:

(1) $$m\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F},$$

където: m е масата на хеликоптера; $\vec{V}$ е вектор на скоростта на центъра на масите на хеликоптера спрямо свързаната координатна система за началото на полета на хеликоптера; $\vec{F}$ е равнодействащата на всички външни сили, действащи на хеликоптера;

- уравнение на моментите:

(2) $$\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{M},$$

където: $\vec{K}$ е кинетичният момент (или главният момент за количеството на движение) спрямо центъра на масите на хеликоптера; $\vec{M}$ е главен момент на външните сили (векторна сума на моментите на външните сили), действащи на хеликоптера, спрямо центъра на масите му.

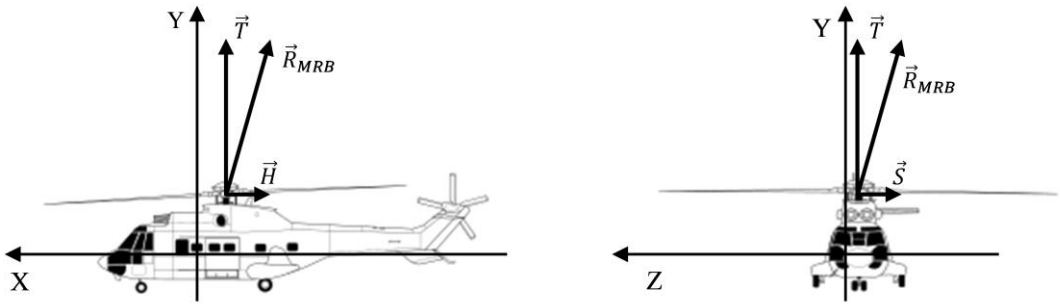
Уравнения на силите, действащи на хеликоптера в полет

Нека първо да определим скаларните уравнения на силите, като проекция по осите на свързаната координатна система $OXYZ$. Тази координатна система може да се премества постъпателно спрямо стартовата координатна система $O_{st}X_{st}Y_{st}Z_{st}$ (преди началото на полета), но и да се завърта спрямо нея. Поради тази причина, проекцията на всеки вектор $\vec{R}$, определен неподвижната (стартова) координатна система $O_{st}X_{st}Y_{st}Z_{st}$ ще има проекции в подвижната координатна система $OXYZ$, които зависят от ъглите, сключвани между съответните оси на тези две координатни системи. А проекцията на производната на този вектор $\vec{R}$ по времето ще зависи и от съставляващите на вектора на ъгловата скорост $\vec{\omega}$ в подвижната координатна система $OXYZ$ спрямо неподвижната координатна система $O_{st}X_{st}Y_{st}Z_{st}$. Това може да бъде определено по формулата на Бур:

(3) $$\frac{d\vec{R}}{dt} = \frac{\tilde{d}\vec{R}}{dt} + \left(\vec{\omega}\mathrm{x}\vec{R}\right),$$

където $\frac{d\vec{R}}{dt}$ е диференциране на вектор $\vec{R}$ по времето t в подвижната координатна система $OXYZ$.

На фиг. 2 е показана схема на силите, които се създават от носещия винт при полет на хеликоптер AS 532 AL Cougar.



Фиг. 2. Схема на силите, създавани от носещия винт, при полет на хеликоптер AS 532 AL Cougar

Ако се разгледа векторът на скоростта на центъра на масите на хеликоптера $\vec{V}$ спрямо неподвижната (стартова) координатна система $O_{st}X_{st}Y_{st}Z_{st}$, то като се отчетат (3) и правилото за определяне на векторно произведение от (1) може да се получи следната система

диференциални уравнения на действащите сили, като проекция на осите на свързаната координатна система $OXYZ$:

$$(4)\qquad \begin{cases} m\left(\dot{V}_x + \omega_y V_z - \omega_z V_y\right) = F_x; \\ m\left(\dot{V}_y + \omega_z V_x - \omega_x V_z\right) = F_y; \\ m\left(\dot{V}_z + \omega_x V_y - \omega_y V_x\right) = F_z, \end{cases}$$

където: V_x, V_y, V_z са проекции на скоростта на движение на центъра на масите на хеликоптера; $\dot{V}_x = \frac{dV_x}{dt}$, $\dot{V}_y = \frac{dV_y}{dt}$, $\dot{V}_z = \frac{dV_z}{dt}$ са проекции на ускоренията на центъра на масите на хеликоптера; ω_x, ω_y, ω_z са проекции на вектора на ъгловата скорост на въртене на хеликоптера; F_x, F_y, F_z са проекции на равнодействащата на всички външни сили, които действат на хеликоптера.

Системата уравнения (4) обикновено се използват при едновременното изследване на постъпателното и въртеливото движение на хеликоптера [3,10]. За определяне на положението на центъра на масите на хеликоптера спрямо неподвижната (стартовата) координатна система $O_{st}, X_{st}, Y_{st}, Z_{st}$ може да се използва системата от скаларни уравнения на силите в проекция на осите на нормалната координатна система $OX_gY_gZ_g$, осите на която са винаги успоредни и съвпадащи по посока с осите на стартовата координатна система:

$$(5)\qquad \begin{cases} m\dot{V}_{xg} = F_{xg}; \\ m\dot{V}_{yg} = F_{yg}; \\ m\dot{V}_{zg} = F_{zg}, \end{cases}$$

където: $\dot{V}_{xg}$, $\dot{V}_{yg}$, $\dot{V}_{zg}$ са проекции на ускоренията на центъра на масите на хеликоптера на осите на нормалната координатна система; F_{xg}, F_{yg}, F_{zg} са проекции на равнодействащата на всички сили, действащи на хеликоптера, на осите на нормалната координатна система.

Уравнения на моментите

За определяне на уравненията на моментите на хеликоптера трябва да се използват понятия и методи от теоретичната механика за кинетичен момент на материална точка и на твърдо тяло. Така например, материална точка с маса m, която се движи със скорост $\vec{V}$, притежава кинетичен момент $\vec{k}$ спрямо някакъв център, който се нарича момент на количеството на движение спрямо този център и се определя като:

$$(6)\qquad \vec{k} = \vec{r} \times m\vec{V},$$

където $\vec{r}$ е радиус-векторът на разглежданата материална точка спрямо избрания център.

Твърдото тяло може да бъде представено като система, която се състои от n на брой части. Тогава кинетичният момент на това тяло спрямо центъра на масите му може да бъде определен като:

$$(7)\qquad \vec{K} = \lim_{n\to\infty} \sum_n \left(\vec{r}_n \times m_n \vec{V}_n\right) = \lim_{n\to\infty} \sum_n m_n \left(\vec{r}_n \times \vec{V}_n\right).$$

Като се използва правилото за определяне на проекция на векторно произведение могат да бъдат намерени проекциите на кинетичния момент на твърдо тяло по осите на свързаната координатна система $OXYZ$:

$$(8)\qquad \begin{cases} K_x = \lim\limits_{n\to\infty} \sum_n \left(y_n V_{nz} - z_n V_{ny}\right); \\ K_y = \lim\limits_{n\to\infty} \sum_n \left(z_n V_{nx} - x_n V_{nz}\right); \\ K_z = \lim\limits_{n\to\infty} \sum_n \left(x_n V_{ny} - y_n V_{nx}\right), \end{cases}$$

където: x_n, y_n, z_n са координати на n-та точка в свързаната координатна система.

Ако проекциите на скоростта V_n бъдат заменени с изразите, получени по формулите на Ойлер:

$$(9)\qquad \begin{cases} V_{nx} = \omega_y z_n - \omega_z y_n; \\ V_{ny} = \omega_z x_n - \omega_x z_n; \\ V_{nz} = \omega_x y_n - \omega_y x_n, \end{cases}$$

то тогава за проекцията на кинетичния момент на твърдо тяло по оста $\overrightarrow{OX}$, т.е. за K_x, ще се получи следният израз:

$$(10)\qquad K_x = \lim_{n\to\infty}\sum_n m_n\left[y_n\left(\omega_x y_n - \omega_y x_n\right) - z_n(\omega_z x_n - \omega_x z_n)\right] =$$
$$= \lim_{n\to\infty}\sum_n m_n\left(\omega_x y_n^2 - \omega_y x_n y_n - \omega_z x_n z_n + \omega_x z_n^2\right) =$$
$$= \omega_x \lim_{n\to\infty} m_n(y_n^2 + z_n^2) - \omega_y \lim_{n\to\infty}\sum_n m_n x_n y_n - \omega_z \lim_{n\to\infty}\sum_n m_n x_n z_n.$$

В уравнение (10) събираемите представляват произведение на проекциите на вектора на ъгловата скорост на въртене на тялото по моментите на инерция на тялото. Известни са [5,12] изразите за осеви инерционни моменти на твърдо тяло:

$$(11)\qquad \begin{cases} I_x = \lim\limits_{n\to\infty}\sum_n m_n(y_n^2 + z_n^2)\,; \\ I_y = \lim\limits_{n\to\infty}\sum_n m_n(x_n^2 + z_n^2)\,; \\ I_z = \lim\limits_{n\to\infty}\sum_n m_n(x_n^2 + y_n^2)\,, \end{cases}$$

както и центробежните инерционни моменти:

$$(12)\qquad \begin{cases} I_{xy} = \lim\limits_{n\to\infty}\sum_n m_n x_n y_n\,; \\ I_{xz} = \lim\limits_{n\to\infty}\sum_n m_n x_n z_n\,; \\ I_{yz} = \lim\limits_{n\to\infty}\sum_n m_n y_n z_n\,. \end{cases}$$

След извършване на редица преобразувания, аналогични на този в (10) и, като се отчитат изразите за инерционните моменти в (11) и (12), ще се получат пълните изрази за проекциите на кинетичния момент в свързаната координатна система $OXYZ$ в следния вид:

$$(13)\qquad \begin{cases} K_x = I_x\omega_x - I_{xy}\omega_y - I_{xz}\omega_z; \\ K_y = -I_{xy}\omega_x + I_y\omega_y - I_{yz}\omega_z; \\ K_z = -I_{xz}\omega_x - I_{yz}\omega_y + I_z\omega_z. \end{cases}$$

Ако към така получения вектор на кинематичния момент $\vec{K}$ приложим формула (3) ще получим следната система диференциални уравнения на моментите като проекции на осите на свързаната координатна система $OXYZ$:

$$(14)\qquad \begin{cases} \dot{K}_x + \omega_y K_z - \omega_z K_y = M_x; \\ \dot{K}_y + \omega_z K_x - \omega_x K_z = M_y; \\ \dot{K}_z + \omega_x K_y - \omega_y K_x = M_z, \end{cases}$$

където: $\dot{K}_x = \frac{dK_x}{dt}$, $\dot{K}_y = \frac{dK_y}{dt}$, $\dot{K}_z = \frac{dK_z}{dt}$ са производни по времето на проекциите на кинетичния момент; M_x, M_y, M_z са проекции на главния момент от външните сили $\vec{M}$.

Оттук, с отчитане на формули (13), могат да се получат следните зависимости:

$$(15)\qquad \begin{cases} M_x = I_x\dot{\omega}_x - I_{xy}\dot{\omega}_y - I_{xz}\dot{\omega}_z - I_{xz}\omega_x\omega_y + I_{xy}\omega_x\omega_z + I_{yz}\left(\omega_z^2 - \omega_y^2\right) + \left(I_z - I_y\right)\omega_y\omega_z; \\ M_y = -I_{xy}\dot{\omega}_x + I_y\dot{\omega}_y - I_{yz}\dot{\omega}_z - I_{xy}\omega_y\omega_z + I_{yz}\omega_y\omega_x + I_{xz}(\omega_x^2 - \omega_z^2) + (I_x - I_z)\omega_x\omega_z; \\ M_z = -I_{xz}\dot{\omega}_x - I_{yz}\dot{\omega}_y + I_z\dot{\omega}_z - I_{yz}\omega_z\omega_x + I_{xz}\omega_z\omega_x + I_{xy}\left(\omega_y^2 - \omega_x^2\right) + \left(I_y - I_x\right)\omega_x\omega_y. \end{cases}$$

С някои допускания изразите в (15) могат да бъдат опростени. От една страна, в полет може да се приеме, че центърът на масите на хеликоптера се отклонява незначително по оста O_bZ_b на базовата координатна система, а от друга, че хеликоптерът приблизително може да се смята за симетрично тяло спрямо равнината $O_bX_bY_b$. Това означава, че равнината OXY на свързаната координатна система съвпада с равнината на симетрия на хеликоптера. В този случай, центробежните инерционни моменти с индекс „z“ ще са равни на нула, т.е. $I_{xz} = I_{yz} = 0$. Като бъдат отчетени тези допускания, системата от уравнения на моментите спрямо осите на свързаната координатна система $OXYZ$ могат да се запишат в следния вид:

$$(16)\qquad \begin{cases} M_x = I_x\dot{\omega}_x - I_{xy}\dot{\omega}_y + I_{xy}\omega_x\omega_z + \left(I_z - I_y\right)\omega_y\omega_z; \\ M_y = -I_{xy}\dot{\omega}_x + I_y\dot{\omega}_y - I_{xy}\omega_y\omega_z + (I_x - I_z)\omega_x\omega_z; \\ M_z = I_z\dot{\omega}_z + I_{xy}\left(\omega_y^2 - \omega_x^2\right) + \left(I_y - I_x\right)\omega_x\omega_y. \end{cases}$$

Заключение

По такъв начин, чрез разкриване на левите части на уравнения (1) и (2) беше получена система от скаларни диференциални уравнения за движение, описващи преместването на

центъра на масите на хеликоптера- формули (4) и (5), както и преместването на корпуса (фюзелажа) на хеликоптера около центъра на масите му.

Литература:

1. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Учеб. руководство: Для вузов. – 5е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1991. 304 стр. ISBN 5-02-014962-4.
2. Володко, А. М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолетов. М.: Транспорт. 1988. 342 стр.
3. Загорски, Н. Изследване на влиянието на параметрите на външния товар на условията за равновесието му в полет. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 8 стр.
4. Загорски, Н. Изследване на колебанията на физично махало с подвижна точка на окачване. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 8 стр.
5. Загорски, Н. Математически модел на полет на хеликоптер с външно пожарогасително устройство „BB 4453“. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 7 стр.
6. Загорски, Н. Безопасност на полети на хеликоптер с външно пожарогасително устройство от типа Bambi Bucket. Годишна научна конференция на Националния военен университет „Васил Левски“ 30.06-01.07.2022 г. гр. Велико Търново. Сборник с доклади, стр. 1299–1308.
7. Загорски, Н. Повишаване на безопасността на полета с отчитане на влиянието на външен товар върху управляемостта на хеликоптера. Годишна научна конференция на Националния военен университет „Васил Левски“ 30.06-01.07.2022 г. гр. Велико Търново. Сборник с доклади. стр. 1277–1286.
8. Загорски, Н. Безопасност на полета на хеликоптер с външно пожарогасително устройство и влияние на параметрите на устройството на някои от балансировъчните характеристики на хеликоптера, Годишна международна научна конференция на ВВВУ „Г.Бенковски“ Долна Митрополия, 07.10.2022 г. Сборник с доклади. стр. 26–32.
9. Загорски, Н. Сили и моменти, действащи в полет на хеликоптер с външно пожарогасително устройство, Годишна международна научна конференция на ВВВУ „Г.Бенковски“ Долна Митрополия, 07.10.2022 г. Сборник с доклади. стр. 19–25.
10. Загорски, Н. Отчитане влиянието на външен товар върху управляемостта на хеликоптера за повишаване на безопасността на полета, Годишна международна научна конференция на ВВВУ „Г.Бенковски“ Долна Митрополия, 07.10.2022 г. Сборник с доклади. стр. 33–40.
11. Cicolani, L. S. and Kanning G. Equations of Motion of Slung-Load Systems, Including Multilift Systems, NASA, 1992, NASA-TP-3280, 132 p.
12. Stuckey, R. A. Mathematical Modelling of Helicopter Slung-Load Systems, Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-1257, 2001, 95 p.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

БЕЗОПАСНОСТ НА ПОЛЕТА НА ХЕЛИКОПТЕР С ВЪНШНО ПОЖАРОГАСИТЕЛНО УСТРОЙСТВО И ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА УСТРОЙСТВОТО НА ОБЩАТА СТЪПКА НА НОСЕЩИЯ ВИНТ

Николай Загорски

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: nzagorski@space.bas.bg

Ключови думи: *аеродинамични характеристики, динамика на полета, безопасност на полета*

Резюме: *Хеликоптерите с външни пожарогасители все по-често се използват в случай на разпространение на мащабни горски пожари в планинските райони. За осигуряване на безопасност при такива полети е необходимо да се определят зависимостите на балансиращите характеристики на хеликоптера като функция от параметрите на устройството и други параметри на системата за окачване на хеликоптера.*

SAFETY OF FLIGHT OF A HELICOPTER WITH EXTERNAL FIRE EXTINGUISHING DEVICE AND INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE DEVICE OF THE GENERAL STEP OF THE CARRIER

Nikolay Zagorski

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: nzagorski@space.bas.bg

Keywords: *aerodynamic characteristics, flight dynamics, flight safety*

Abstract: *Helicopters with external fire extinguishers are increasingly used in the event of the spread and spread of large-scale forest fires in mountainous areas. To ensure safety in such flights, it is necessary to determine the dependences of the balancing characteristics of the helicopter as a function of the parameters of the device and other parameters of the suspension system to the helicopter.*

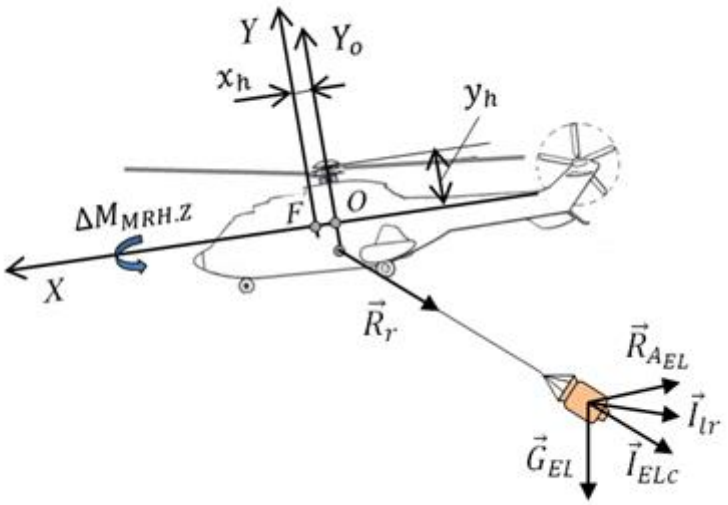
Въведение

Горските пожари в планинските местности, достъпът до които е затруднен по обективни причини за сухопътна техника за пожарогасене, обикновено се обработва ръчно от специалисти на Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“ и от доброволци от околните населени места. В такива случаи районите се обработват от въздуха с хеликоптери с пожарогасителни устройства от типа „*bambi bucket*“. В Република България за тази задача се използват следните типове въздухоплавателни средства: Ми-17 се използва с пожарогасително устройство „*BB5566*“, а AS 532 AL Cougar – с „*BB4453*“. В този случай на използване на окачен съд с вода, силно влияние върху динамиката на полета на хеликоптера и неговата управляемост оказва външния товар.

Изпълнението на посочените по-горе задачи за полети на хеликоптер с външно пожарогасително устройство изисква да бъде изследвано влиянието на параметрите на това устройство на всички етапи от полета: при излитане, при установен хоризонтален праволинеен полет, при кацане и при освобождаване на водата по време на полета (например, при изсипване на водата над района на пожара). За осигуряване на безопасност при такива полети е необходимо да бъдат установени и да се познават зависимостите на балансировъчните характеристики на хеликоптера, като функция от параметрите на устройството и от другите параметри на системата за окачване към хеликоптера.

Система „хеликоптер-външно пожарогасително устройство“

Външният товар оказва влияние върху динамиката на полета на хеликоптера чрез силата на опън в меката връзка (масата на външния товар), която действа върху хеликоптера, и чрез момента, който се създава спрямо центъра на масата на хеликоптера. Тази сила възниква като резултат на действие на силата на тежестта на външния товар и на аеродинамическата сила. В полет също така действат и силите на инерция, възникващи при ускорението на външния товар (ако същият бъде представен като „материална точка“). На Фиг. 1 е показано разпределението на силите и моментите, действащи в полет върху хеликоптера и външния товар [5].



Фиг. 1. Схема на влиянието на външен товар (от типа “bambi bucket”) върху динамиката на полета на хеликоптер

При установен (с постоянна скорост) хоризонтален праволинеен полет към параметрите на балансировъчните характеристики на хеликоптера се отнасят следните отношения: на ъгъла на отклонение на колелото на автомат-наклонителя k във функция от скоростта на полета и на ъгъла на тангажа на хеликоптера ϑ [5,6]. Освен това, трябва да бъде отчетена зависимостта от общата стъпка φ_0 на носещия винт във функция на скоростта на полета. За да бъдат изследвани зависимости на балансировъчните характеристики на хеликоптера от параметрите на външното пожарогасително устройство е разработен математически апарат. За определяне на зависимостите от всеки отделен параметър и в тяхната съвкупност върху балансировъчните характеристики е използван математически модел за движение на системата „хеликоптер-ВПГУ“.

Проведеният анализ показва, че силата на опън R_r на меката връзка (въже, сапàни) и създаваният от нея момент зависят от редица параметри (масови, геометрични, аеродинамични и т.н.) на външния товар и неговата позиция спрямо хеликоптера. Такива, например, са балистичният коефициент c_a , аеродинамичното качество K_{EL} , относителната маса $\overline{m}_{EL}$, координатите на точката за закрепване на меката връзка към хеликоптера по нормалната ос на свързаната координатна система $(r_{lr.y_h} - y_h)$; надлъжната центровка на хеликоптера x_h.

Влияние на параметрите на външното устройство върху общата стъпка на носещия винт

Да разгледаме общата стъпка φ_0 на носещия винт във функция от параметрите на външното пожарогасително устройство „*BB4453*“ [9,10]. Общата стъпка φ_0 и теглителната сила T на носещия винт са свързани помежду си. За да установим зависимостта между тези два параметъра, както и връзката им с параметрите на полета на хеликоптера, ще използваме известната формула [1]:

(1) $$T = \frac{1}{4}\rho c_{ya}^{\alpha}\sigma F_B(\omega_{MRB}R_{MRB})^2\left[\frac{2}{3}\phi_0\left(1+\frac{3}{2}\mu^2\right)+\lambda\right],$$

където: ρ – плътност на въздуха;

c_{ya}^{α} – производната на коефициента на подемна сила на лопатите на разстояние 70% от радиуса на носещия винт;

$\sigma = \frac{k_B F_1}{F_B}$ – коефициент на запълване на носещия винт;
F_B – площта (на кръга), която описват лопатите на носещия винт;
k_B – брой на лопатите на носещия винт;
F_1 – площ на всяка една от лопатите;
ω_{MRB} – ъглова скорост на въртене на носещия винт;
R_{MRB} – радиус на носещия винт;
$\mu = \frac{V_{hf}\cos\alpha_1}{\omega_{MRB}R_{MRB}}$ – характеристика на режима на работа на носещия винт;
α_1 – ъгъл на атака на носещия винт;
V_{hf} – скорост на хоризонтален полет на хеликоптера;
$\lambda = \frac{V_{hf}\cos\alpha_1 - \nu_i}{\omega_{MRB}R_{MRB}}$ – коефициент на протичане на въздуха;
$\nu_i = \sqrt{\frac{T_0+\Delta T}{2\rho F_B}}$ – индуктивна скорост;
T_0 – тяга на носещия винт без „BB4453“;
ΔT – увеличението на тягата поради наличието на „*BB4453*“.
В този случай, ако се въведе следният израз

$$A = \frac{1}{4}\rho c_{ya}^{\alpha}\sigma F_B(\omega_{MRB}R_{MRB})^2,$$

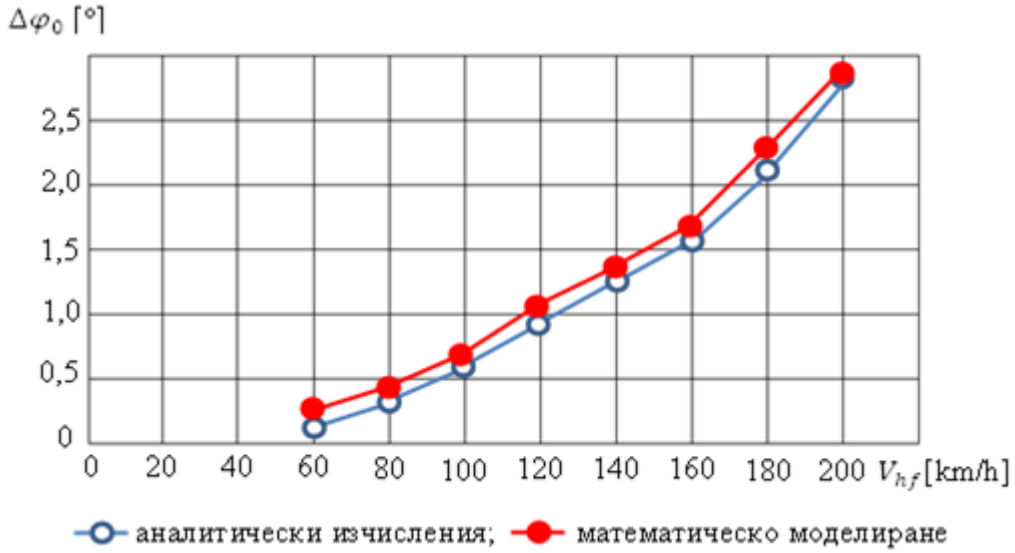
то за общата стъпка на носещия винт ще получим:

(2) $$\varphi_0 = \frac{T-\lambda.A}{\frac{2}{3}A\left(1+\frac{3}{2}\mu^2\right)}.$$

Оттук може да бъде получена [8] формула за увеличаването на общата стъпка на носещия винт в полет поради наличието на външното пожарогасително устройство „*BB4453*“:

(3) $$\Delta\varphi_0 = \frac{T_0+\Delta T-\lambda_1 A}{\frac{2}{3}A\left(1+\frac{3}{2}\mu_1^2\right)} - \frac{T_0-\lambda_0 A}{\frac{2}{3}A\left(1+\frac{3}{2}\mu_0^2\right)},$$

където: λ_0 – коефициент на протичане на въздуха при полет без „*BB4453*“;
λ_1 – коефициент на протичане на въздуха при полет с „*BB4453*“;
μ_0 – характеристики на режима на работа на носещия винт в полет без „BB4453“;
μ_1 – характеристики на режима на работа на носещия винт в полет с „*BB4453*“;
Ако извършим някои преобразувания в дробите в дясната част на (4), като ги разделим на теглото на системата „хеликоптер-„BB4453“, т.е. $m_0 g$, и като съобразим [5], че $\vartheta_0 \approx 0$, $T_0 \approx m_0 g$ и $\Delta T \approx m_{BB4453} g \Delta\bar{T}$, ще получим:



Фиг. 2. Увеличаване на общата стъпка на носещия винт в полет на хеликоптер с празно пожарогасително устройство „BB4453“

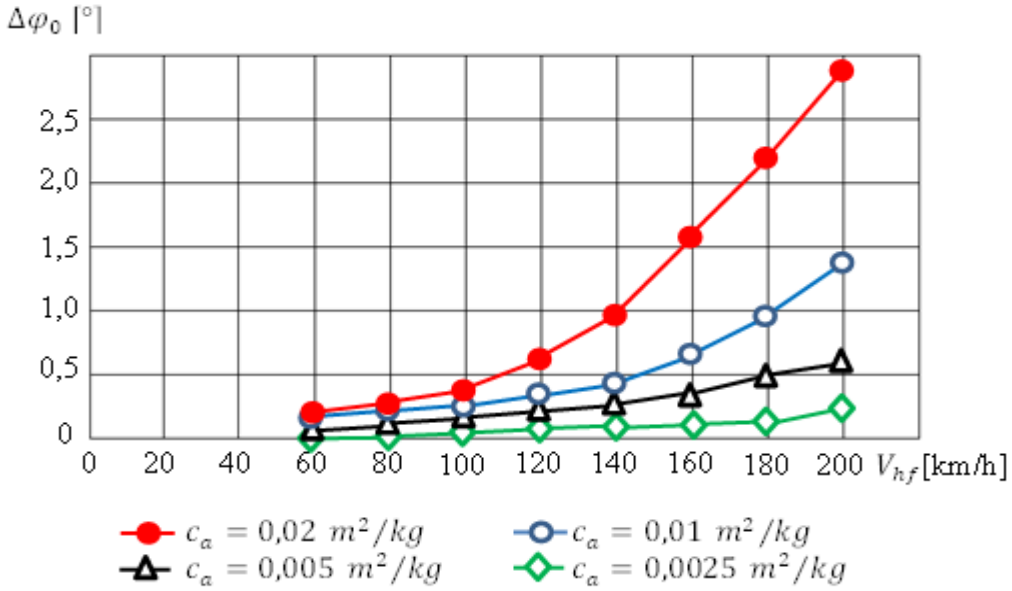
(4) $$\Delta\varphi_0 = \frac{1+\bar{m}_{BB4453}\Delta\bar{T}-\lambda_1 A^*}{\frac{2}{3}A^*\left(1+\frac{3}{2}\mu_1^2\right)} - \frac{1-\lambda_0 A^*}{\frac{2}{3}A^*\left(1+\frac{3}{2}\mu_0^2\right)},$$

където: $\Delta\bar{T} = -1 + cos\left[\Delta\vartheta + arctg\left(\frac{1}{\frac{2g}{c_a\rho V_{hf}^2} - K_{BB}}\right)\right]\sqrt{\left(\frac{K_{BB}c_a\rho V_{hf}^2}{2g} - 1\right)^2 + \left(\frac{c_a\rho V_{hf}^2}{2g}\right)^2}$;

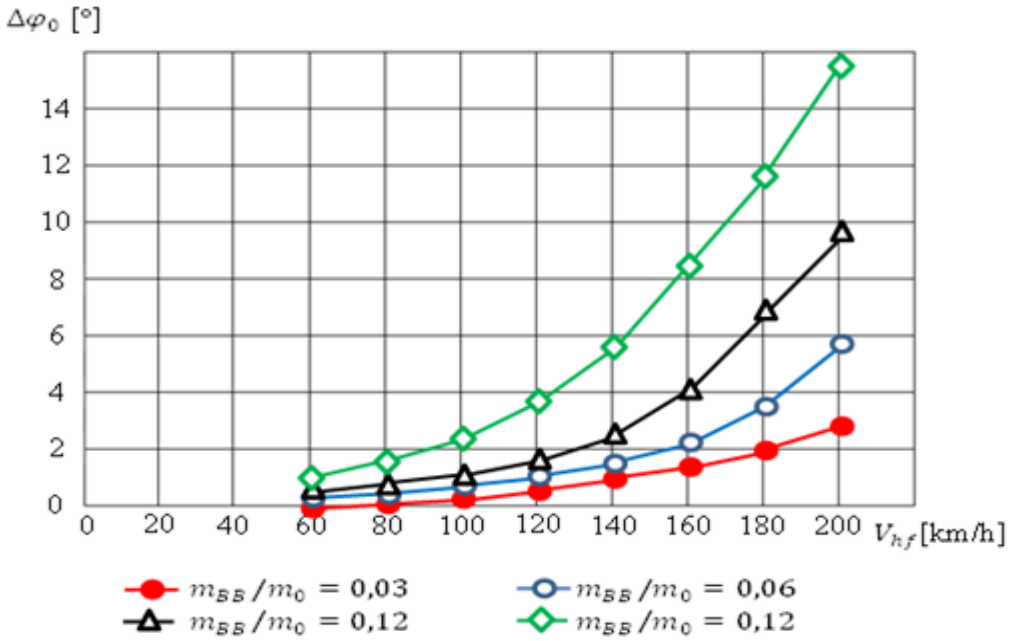
$p = \frac{m_0 g}{F_B}$ – натоварване на площта, образувана от носещия винт в полет;

$A^* = \frac{1}{4p}\rho c_{ya}^{\alpha}\sigma F_B(\omega_{MRB}R_{MRB})^2$.

На Фиг. 2 е показана графика за случай на полет на хеликоптер AS 532 AL Cougar с празно пожарогасително устройство „*BB4453*“ и изменение на общата стъпка на носещия винт във функция на скоростта на полета. Резултатите са получени с помощта на формула (4) и чрез математическо моделиране. Сравнението на резултатите на Фиг. 2 показват, че изчисленията по формула (5) се съгласуват в много добра степен с резултатите от математическото моделиране в целия изследван диапазон.



Фиг. 3. Зависимост на увеличаването на общата стъпка на носещия винт от скоростта в установен хоризонтален полет на хеликоптер и от балистичния коефициент на „BB4453“



Фиг. 4. Зависимост на увеличаването на общата стъпка на носещия винт от скоростта в установен хоризонтален полет на хеликоптер и от относителната маса на „BB4453“

На Фиг. 3 е показан прирастът на общата стъпка на носещият винт като функция от скоростта на установен хоризонтален полет на хеликоптера и от балистичния коефициент на външното пожарогасително устройство „*BB4453*“.

На Фиг. 4 е представена зависимостта за нарастване на общата стъпка на носещия винт от скоростта на установен хоризонтален полет на хеликоптера и от относителната маса на външното пожарогасителна устройство „*BB4453*“.

Заключение

Анализът на влиянието на параметрите на външното пожарогасително устройство „*BB4453*“ върху нарастването на общата стъпка на носещия винт показва, че в дадения случай най-силно влияние оказват стойностите на балистичния коефициент c_a на „*BB4453*“ и относителната маса $\overline{m}_{BB}$, както това е показано, съответно, на Фиг. 3 и Фиг. 4.

От тези графики се вижда, че при увеличаване на балистичния коефициент на външното пожарогасително устройство и неговата относителна маса се увеличава и нарастването на общата стъпка на носещия винт. Това е свързано, от една страна, с обстоятелството, че се увеличава прирастът на тягата ΔT на носещия винт, но от друга страна, с намаляване на ъгъла на атака поради намаляването на ъгъла на тангаж [4, 5] на хеликоптера. За да се компенсира намаляването на ъгъла на атака на носещия винт е необходимо да се увеличи общата стъпка. Както вече беше посочено, ъгълът на атака на носещия винт зависи от коефициента на протичане на въздуха λ_1 и от характеристиката μ_1 на режима на работа на винта, които влизат в получената по-горе формула (5) за определяне на нарастването на общата стъпка на носещия винт.

Литература:

1. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Учеб. руководство: Для вузов. – 5е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1991. – 304 стр. ISBN 5-02-014962-4.
2. Володко, А. М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолетов. М.: Транспорт. 1988. 342 стр.
3. Лебедев, А. Н. Моделирование в научно-технических исследованиях. – М.: Радио связь.1989. 224 стр.
4. Загорски, Н. Изследване на влиянието на параметрите на външния товар на условията за равновесието му в полет. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 8 стр.
5. Загорски, Н. Изследване на колебанията на физично махало с подвижна точка на окачване. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 8 стр.
6. Загорски, Н. Математически модел на полет на хеликоптер с външно пожарогасително устройство „BB 4453“. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 7 стр.
7. Загорски, Н. Безопасност на полети на хеликоптер с външно пожарогасително устройство от типа Bambi Bucket. Годишна научна конференция на Националния военен университет „Васил Левски“ 30.06-01.07.2022 г. гр. Велико Търново. Сборник с доклади. стр. 1299–1307.
8. Загорски, Н. Повишаване на безопасността на полета с отчитане на влиянието на външен товар върху управляемостта на хеликоптера. Годишна научна конференция на Националния военен университет „Васил Левски“ 30.06-01.07.2022 г. гр. Велико Търново. Сборник с доклади. стр. 1277–1286.
9. Cicolani, L. S. and Kanning G. Equations of Motion of Slung-Load Systems, Including Multilift Systems, NASA, 1992, NASA-TP-3280, 132 p.
10. Stuckey, R. A. Mathematical Modelling of Helicopter Slung-Load Systems, Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-1257, 2001, 95 p.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

СИЛИ И МОМЕНТИ, ДЕЙСТВАЩИ В ПОЛЕТ НА КОРПУСА НА ХЕЛИКОПТЕР С ВЪНШНО ПОЖАРОГАСИТЕЛНО УСТРОЙСТВО. СИЛИ И МОМЕНТИ, СЪЗДАВАНИ ОТ ОПАШНИЯ ВИНТ

Николай Загорски

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: nzagorski@space.bas.bg

Ключови думи: *Хеликоптер, уравнения на движение, опашен винт*

Резюме: *Настоящият материал изследва силите и моментите, действащи в полет на корпуса на хеликоптер с външно пожарогасително устройство. Описани са системите от уравнения, които показват влиянието на външните сили върху корпуса на хеликоптера и влиянието на аеродинамичните, геометрични, масови и инерционни сили и моменти. Описани са силите и моментите, създавани от опашния винт в полет на хеликоптера.*

FORCES AND MOMENTS ACTING IN FLIGHT ON THE BODY OF A HELICOPTER WITH AN EXTERNAL FIRE-EXTINGUISHING DEVICE. FORCES AND MOMENTS PRODUCED BY THE TAIL PROPELLER

Nikolay Zagorski

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: nzagorski@space.bas.bg

Keywords: *Helicopter, equations of motion, tail propeller*

Abstract: *The present paper investigates the forces and moments acting in flight on the hull of a helicopter with an external fire-extinguishing device. Systems of equations are described that show the influence of external forces on the helicopter body and the influence of aerodynamic, geometric, mass and inertial forces and moments. The forces and moments produced by the tail rotor in helicopter flight are described.*

Въведение

През последните години все повече нараства ролята на хеликоптерите: за гасене на пожари в труднодостъпни планински горски масиви; за операции по търсене и спасяване на хора, търпящи бедствие; за медицинска евакуация и др. Настъпващите промени в климата в световен мащаб и постоянно увеличаване на средните температури и засушаване, особено през летните месеци, увеличава количеството и мащабите на горските пожари, особено в планинските и труднодостъпни райони. Зимно време при операции за търсене и спасяване в планинските курорти на развитите западни държави хеликоптери се използват за превоз на спасителни екипи от планински спасители в близост до търпящи бедствие скиори. В такива случаи спасителното оборудване- моторни шейни и др. друго имущество, се превозва като външен товар, закачен в мрежи под корпуса на хеликоптера.

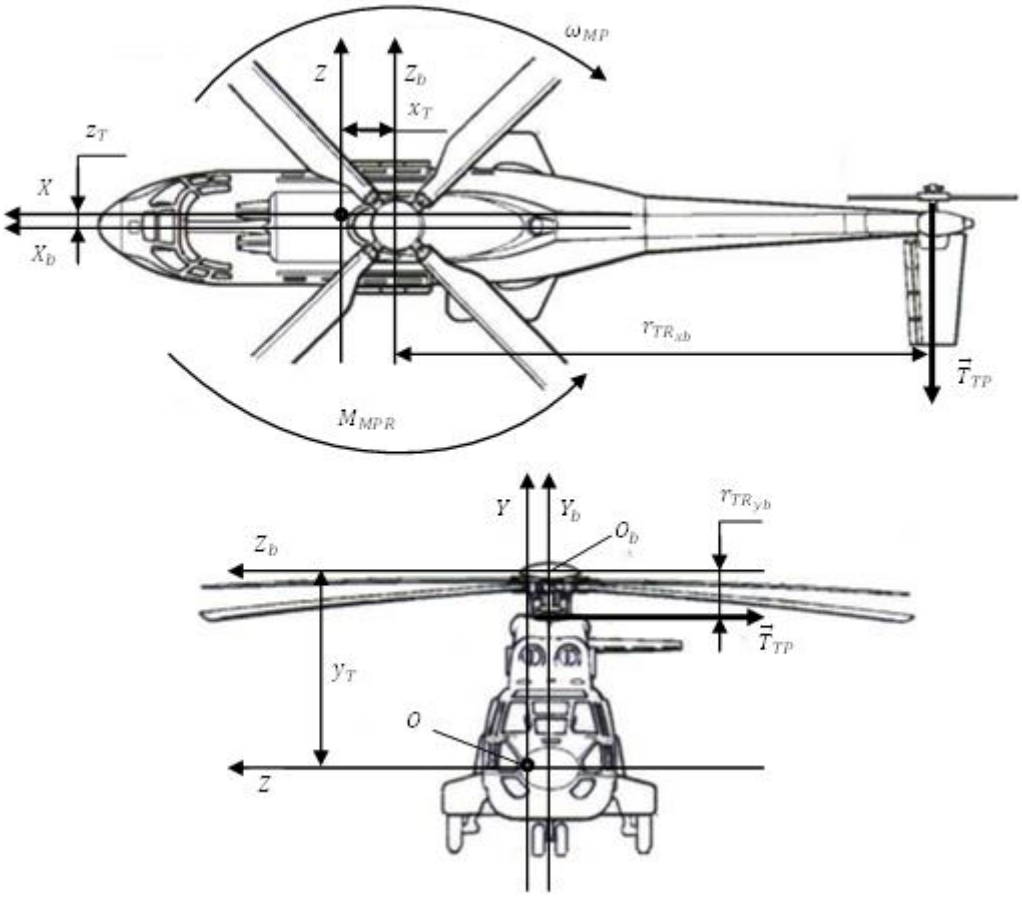
За гасене на пожари в големите по площ държави с развита авиация, такива, като САЩ, Русия, Австралия, Испания и др., се използват специално пригодени за целта самолети: C-130 Hercules, летящи самолети-амфибии: Canadair CL-215 (Scooper), Be-200 Altair и др.

В малките по територии държави за гасене на пожарите основно се използват хеликоптери. Във Военновъздушните сили на Република България в летателна експлоатация се намират Ми-17 и AS 532 AL Cougar, които активно се използват за пожарогасителни дейности.

Горските пожари в планинските местности, достъпът до които е затруднен по обективни причини за сухопътна техника за пожарогасене, обикновено се обработват от въздуха с пожарогасителни устройства от типа „*bambi bucket*“. Вертолети Ми-17 се използва с пожарогасително устройство „*BB5566*“, а хеликоптери AS 532 AL Cougar – с „*BB4453*“. В този случай на използване на окачен съд с вода, силно влияние върху динамиката на полета на хеликоптера и неговата управляемост оказва външния товар. Това в особена степен се забелязва в планините, където съществуват силни низходящи струйни течения, локални завихряния и други подобни явления.

Сили и моменти, създавани от опашния винт

При хеликоптерите с конструктивна схема с един носещ винт, опашният винт служи за компенсация на реактивния момент $\vec{M}_{MP}$, създаван от носещия винт, както и за осигуряване на попътна устойчивост и управляемост. Опашният винт конструктивно се поставя в края на опашната греда на значително разстояние от вала на носещия винт. С това се осигурява голямо рамо на тягата $\vec{T}_{TP}$, която създава опашния винт, спрямо центъра на масите на хеликоптера. Допълнителен положителен ефект от това голямо разстояние е намаляване на интерференцията между носещия винт и опашния винт (Фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на уравновесяване на реактивния момент от носещия винт с момента от тягата на опашния винт

На повечето типове хеликоптери опашният винт е тласкащ въздуха, като е конструиран да бъде в края на опашната греда отдясно по посока на полета. По този начин не се допуска натоварване на опашната греда с пулсиращ поток на изтласкван въздух от лопатите на опашния винт [2, 10]. Освен това, ако лопатите на опашния винт се намират отляво (по посока на полета), ще се увеличат загубите от тягата на опашния винт, свързани с обдухването на опашната греда.

Опашният винт се задвижва от двигателите на хеликоптера през трансмисия. Като правило, лопатите на опашния винт имат осеви и хоризонтални шарнири. Изменението на тягата на опашния винт за управление на хеликоптера по рискание се извършва чрез изменение на ъгъла на поставяне на лопатите φ_{TP} (обща стъпка на опашния винт) при автоматично стабилизиране на ъгловата скорост на въртене ω_{TP} на опашното витло. Автоматичната

стабилизация на ω_{TP} се осъществява със същите средства, както и стабилизацията на ω_{MP}, доколкото опашния винт и носещия винт са кинематично свързани един с друг с помощта на трансмисията. Управлението на общата стъпка на опашния винт се осъществява от екипажа, както и по команди от автопилота на хеликоптера.

При зададени и постоянни аеродинамични, геометрични, масови и инерционни характеристики на лопатите, тягата на опашния винт, освен от ъгловата скорост на въртене ω_{TP} и общата стъпка φ_{TP}, зависи от стойността и направлението на въздушната скорост $\vec{V}_a$, както и от ъгловите скорости по рискание $\vec{\omega}_y$ и по крен $\vec{\omega}_x$. Енергични странични премествания, силен страничен вятър, енергични завои (особено по рискание) могат да доведат до значително намаляване на тягата на опашния винт. Така например, при вятър отляво се намаляват ъглите на атака на лопатите, а при вятър отдясно- част от индуктивния поток, изтласкван от опашния винт, се включва в циркулационното движение. Този процес може да се задълбочи и да се изпадне в т.нар. „режим вихров кръг“, при който въздухът престава да се отблъсква от опашния винт и необходимата за компенсация на аеродинамичната сила не се образува.

Скаларните уравнения за проекциите на силата $\vec{T}_{TP}$ по осите на свързаната координатна система имат вида:

$$(1)\qquad \begin{cases} T_{TRx} = 0; \\ T_{TPy} = 0; \\ T_{TPz} = -T_{TPz}\left(\omega_{TP}, \varphi_{TP}, V_{a_x}, V_{a_y}, V_{a_z}, \omega_x, \omega_y\right), \end{cases}$$

където: $T_{TPz}\left(\omega_{TP}, \varphi_{TP}, V_{a_x}, V_{a_y}, V_{a_z}, \omega_x, \omega_y\right)$ е многомерен масив от данни, който определя зависимостта на тягата на опашния винт от стойностите на променящите се параметри в полет [1,2].

В някои издания също така могат да се намерят аналитични зависимости за приблизително определяне на тягата на опашния винт [1, 11], като някъде са отчетени и загубите на тяга при интерференцията с опашната греда. В литературата могат да бъдат намерени данни както за тласкащ опашен винт, така и за теглещ винт.

Проекцията на вектор $\vec{T}_{TP}$ по осите на нормалната координатна система има вида:

$$(2)\qquad \begin{cases} T_{TP_{xg}} = -T_{TP}(\sin\psi \,.\, \cos\gamma + \cos\psi \,.\, \sin\vartheta \,.\, \sin\gamma); \\ T_{TP_{yg}} = T_{TP}.\cos\vartheta \,.\, \sin\gamma\,; \\ T_{TP_{zg}} = -T_{TP}(\cos\psi \,.\, \cos\gamma - \sin\psi \,.\, \sin\vartheta \,.\, \sin\gamma). \end{cases}$$

Както и при определяне на моментите, създавани от носещия винт, така и при изследване на моментите, които създава опашния винт, трябва да се отчитат не само моментите от действието на тягата $\vec{T}_{TP}$, но и реактивния момент $\vec{M}_{TP}$, който се определя аналогично, както и при носещия винт. При това обаче трябва да се отчете посоката на въртене на опашния винт. На повечето типове хеликоптери опашния винт се върти по такъв начин, че в долно положение лопатите се движат по посока на полета. При такова движение нараства ефективността на опашния винт, а загубата на тяга при страничен вятър е значително по-малка, отколкото при въртене в обратна посока. Този ефект е в резултат на взаимодействието на индуктивния поток с висока скорост, който се изтласква от носещия винт и обтича лопатите на опашния винт, намиращи се в долно положение. При движение на лопатите на опашния винт срещу този поток възниква аеродинамична сила с по-голяма стойност, отколкото аеродинамичната сила на лопатите на опашния винт при въртене в обратна посока. Поради тази причина, при равни други условия тягата на опашния винт ще е по-голяма в първия случай.

Системата уравнения на моментите, възникващи от действието на опашния винт, спрямо осите на свързаната координатна система, може да бъде записана по следния начин:

$$(3)\qquad \begin{cases} M_{TP_x} = -M_{TP}\left(r_{TP_{yb}} - y_T\right); \\ M_{TP_y} = M_{TP}\left(r_{TP_{xb}} - x_T\right); \\ M_{TP_z} = -M_{RTP,} \end{cases}$$

където: $r_{TP_{xb}}$, $r_{TP_{xb}}$ – рамена на тягата на опашния винт в базовата координатна система. Знакът „минус“ пред реактивния момент на опашния винт M_{RTP} показва, че в долно положение лопатите на опашния винт се движат в посока на полета.

Аеродинамични сили и моменти, действащи на корпуса на хеликоптера

Корпусът на хеликоптера, заедно с носещата система и системата за компенсация на реактивния момент, определят вида и компоновката на хеликоптера. Аеродинамичните форми и компоновката на корпуса при различните типове хеликоптери са достатъчно разнообразни като технически решения. Те зависят от предназначението на хеликоптера, от схемата му и от експлоатационните особености, като от своя страна оказват съществено влияние върху аеродинамичното съвършенство на хеликоптера. Корпусът на хеликоптера се състои от следните основни съставни части: фюзелаж, хоризонтална плоскост, вертикална плоскост (кил) и гондолите на двигателите.

Фюзелажът на хеликоптера е предназначен за разполагане на кабината на екипажа, на полезния товар, на различни функционални системи, други необходимо оборудване, енергетичната установка (двигатели, редуктор), гориво, масла. Към него се закрепва колесникът, носещия винт, опашния винт, т.е. фюзелажът представлява конструктивната платформа на хеликоптера. От аеродинамична гледна точка фюзелажът на хеликоптера представлява несиметрично обтекаемо тяло, което се обтича от насрещния (по полета) поток от въздух при различни ъгли на атака α и на плъзгане β. Фюзелажът на хеликоптерите с един носещ винт има опашна греда, на която са разположени опашният (стабилизиращ) винт, хоризонталния стабилизатор и вертикалния кил.

Хоризонталният стабилизатор е предназначен за подобряване характеристиките на надлъжна устойчивост и управляемост на хеликоптера. Конструктивно той се поставя в края на опашната греда за да създава най-голямо рамо на аеродинамичната сила, приложена към него. Другата му значима функция е да намалява вредното влияние на индуктивния поток въздух от носещия винт, отразяващо се най-вече в загубата на тяга от носещия винт.

Вертикалният кил е предназначен за подобряване на характеристиките на попътната устойчивост. По конструктивни съображения формата на кила е стреловидна. На големи скорости на полета килът разтоварва опашния винт, благодарение на което се увеличава запасът по управление в канала на рискание.

Корпусът на хеликоптера може да има крило, което при големи скорости на полета ще разтоварва носещия винт, благодарение на което може да се постигне увеличаване на максималната хоризонтална скорост. Но такова крило се прилага рядко, защото на малки скорости на полета и при режим „Висене“ намалява ефективността на носещия винт при обдухване на корпуса.

В тази връзка, векторът на аеродинамичната сила, действащ на корпуса на хеликоптера, може да бъде представен като сума от векторите на следните сили:

(4) $$\vec{R}_A = \vec{R}_F + \vec{R}_{hst} + \vec{R}_{ke} + \vec{R}_{ib},$$

където: $\vec{R}_F$, $\vec{R}_{hst}$, $\vec{R}_{ke}$ – сили, съответно- от корпуса, от хоризонталния стабилизатор и от кила (вертикалния стабилизатор); $\vec{R}_{ib}$ – сила от обдухването от индуктивния поток въздух от носещия винт.

Аеродинамичният момент на корпуса на хеликоптера представлява сума от моментите:

(5) $$\vec{M}_A = \vec{M}_F + \vec{M}_{hst} + \vec{M}_{ke} + \vec{M}_{ib},$$

където: $\vec{M}_F$, $\vec{M}_{hst}$, $\vec{M}_{ke}$ – аеродинамичните моменти, съответно- от корпуса, от хоризонталния стабилизатор и от кила; $\vec{M}_{ib}$ – момент, предизвикан от обдухването с индуктивен поток въздух от носещия винт.

Както е известно от аеродинамиката [1, 5], общият вид на формулата за изчисляване на аеродинамичната сила има следната форма:

(6) $$R_A = c_R \frac{\rho V_a^2}{2} S,$$

където: c_R – коефициент на аеродинамичната сила; ρ – плътност на въздуха на височината на полета; V_a – скорост на насрещния поток въздух; S – характерна площ.

Аеродинамичният момент може да бъде изчислен [2, 6] като:

(7) $$M_A = m_A \frac{\rho V_a^2}{2} S.l,$$

където: m_A – коефициент на аеродинамичния момент; l – характерен линеен размер.

Проекциите на аеродинамичната сила от корпуса по осите на скоростната координатна система $OX_aY_aZ_a$ на хеликоптера могат да се запишат:

(8) $$\begin{cases} X_{aF} = c_{xa_F}\frac{\rho V_a^2}{2}S; \\ Y_{a_F} = c_{ya_F}\frac{\rho V_a^2}{2}S; \\ Z_{a_F} = c_{za_F}\frac{\rho V_a^2}{2}S, \end{cases}$$

където: X_{aF}, Y_{a_F}, Z_{a_F} –съответно, сила на челното съпротивление, подемната сила, странична сила на корпуса; c_{xa_F}, c_{ya_F}, c_{za_F} – коефициенти на силите, съответно, на X_{aF}, Y_{a_F}, Z_{a_F}. Тези коефициенти са функция на ъгъла на атака α и на плъзгане β на корпуса. Обикновено се представят в таблици, във вид на двумерни масиви от данни, получени при експерименти с обдухване на модели на корпуса в аеродинамичен тунел [2, 9].

При експерименти в аеродинамичен тунел обикновено ъгълът на атака на корпуса се измерва спрямо неговата строителна хоризонтала. Трябва да се отчита, че като правило, ъгълът на атака на хеликоптера не съвпада с ъгъла на атака на корпуса, т.е. $\alpha \neq \alpha_F$. Това е свързано с обстоятелството, че оста на вала на носещия винт има някакъв ъгъл на поставяне спрямо строителната хоризонтала на корпуса – ε_F, което означава, че и надлъжната ос на свързаната координатна система $OXYZ$ също се намира под ъгъл ε_F към строителната хоризонтала на хеликоптера [3, 4]. Тук трябва да бъде отчетен и скоса на потока $\Delta\alpha$, предизвикан от индуктивния поток въздух от носещия винт. Средните стойности на $\Delta\alpha$ могат приблизително да се определят като отношение на индуктивната скорост V_{MP} към скоростта на насрещния поток:

(9) $$\Delta\alpha \approx \frac{V_{MP}}{V_a} \approx \frac{T}{2\rho F_{MP}V_a^2},$$

където: T е тягата на носещия винт; F_{MP} е площта, описвана от лопатите на носещия винт.

Като се има предвид изложеното, при изчисляване на проекциите на аеродинамичната сила на корпуса по осите на скоростната координатна система на хеликоптера $OX_aY_aZ_a$, стойностите на ъгъла на атака и ъгъла на плъзгане трябва да бъдат отчитани в съответствие с условията:

(10) $$\begin{cases} \alpha_F = \alpha + \varepsilon_F - \Delta\alpha; \\ \beta_F = \beta. \end{cases}$$

Аеродинамичните сили на корпуса, определени в скоростната координатна система на хеликоптера $OX_aY_aZ_a$, съгласно [7, 8] ще има следните проекции в свързаната координатна система:

(11) $$\begin{cases} X_F = X_{aF}\cos\alpha\,.\cos\beta + Y_{aF}\sin\alpha - Z_{aF}\cos\alpha\,.\sin\beta\,; \\ Y_F = -X_{aF}\sin\alpha\cos\beta + Y_{aF}\cos\alpha + Z_{aF}\sin\alpha\sin\beta\,; \\ Z_F = X_{aF}\sin\beta + Z_{aF}\cos\beta, \end{cases}$$

където: X_F, Y_F, Z_F – са, съответно, надлъжната, нормалната и напречната аеродинамична сила на корпуса.

Текущите стойности на ъглите на атака α и на плъзгане β могат да бъдат намерени по следния начин. Проекциите по осите на свързаната координатна система на вектора на скоростта на центъра на масите на хеликоптера $\vec{V}$ се намират чрез интегриране на уравненията за движение и на скоростта на вятъра $\vec{W}$ по същите оси. Така могат да бъдат получени проекциите на въздушната скорост V_a по осите на свързаната координатна система:

(12) $$\begin{cases} V_{ax} = -V_x + W_x; \\ V_{ay} = -V_y + W_y; \\ V_{az} = -V_z + W_z. \end{cases}$$

Ъглите на атака α и на плъзгане β могат да бъдат намерени като решения на следната система от уравнения:

(13) $$\begin{cases} V_{ax} = V_a\cos\alpha\cos\beta\,; \\ V_{ay} = -V_a\sin\alpha\cos\beta\,; \\ V_{az} = V_a\sin\beta, \end{cases}$$

където: $V_a = \sqrt{V_{ax}^2 + V_{ay}^2 + V_{az}^2}$.

Аеродинамичните моменти на корпуса се определят спрямо осите на свързаната координатна система:

$$(14)\quad \begin{cases} M_{F_x} = m_{Fx}\frac{\rho V_a^2}{2}Sl; \\ M_{F_y} = m_{Fy}\frac{\rho V_a^2}{2}Sl; \\ M_{F_z} = m_{Fz}\frac{\rho V_a^2}{2}Sl, \end{cases}$$

където: M_{F_x}, M_{F_y}, M_{F_z} – са моменти, съответно, по крен, рискание и тангаж на корпуса; m_{Fx}, m_{Fy}, m_{Fz} – са коефициенти, съответно, на моментите M_{F_x}, M_{F_y}, M_{F_z}. Тези коефициенти са функция на ъглите на атака α и на плъзгане β на корпуса и, обикновено, се представят като таблици с двумерни масиви от данни, получавани при изпитвания в аеродинамичен тунел [2, 10].

Литература:

1. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Учеб. руководство: Для вузов. – 5е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1991. – 304 стр. ISBN 5-02-014962-4.
2. Володко, А. М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолетов. М.: Транспорт. 1988. 342 стр.
3. Загорски, Н., Изследване на влиянието на параметрите на външния товар на условията за равновесието му в полет, Единадесета международна научна конференция ХЕМУС 2022, 2 и 3 юни 2022 г., Пловдив, 8 стр.
4. Загорски, Н., Математически модел на полет на хеликоптер с външно пожарогасително устройство „Bambi Bucket“, Единадесета международна научна конференция ХЕМУС 2022, 2 и 3 юни 2022 г., Пловдив, 7 стр.
5. Загорски, Н., Безопасност на полета на хеликоптер с външно пожарогасително устройство от типа „Bambi Bucket“, Годишна университетска научна конференция на НВУ „Васил Левски“, Велико Търново, Сборник с доклади, стр. 1299–1308.
6. Загорски, Н., Повишаване на безопасността на полета с отчитане влиянието на външния товар върху управляемостта на хеликоптера, Годишна университетска научна конференция на НВУ „Васил Левски“, Велико Търново, Сборник с доклади, стр. 1277–1286.
7. Загорски, Н., Сили и моменти, действащи в полет на хеликоптер с външно пожарогасително устройство, Годишна международна научна конференция на ВВВУ „Г.Бенковски“ Долна Митрополия, 07.10.2022 г. Сборник с доклади. стр. 19–25.
8. Загорски, Н., Безопасност на полета на хеликоптер с външно пожарогасително устройство и влияние на параметрите на устройството на някои от балансировъчните характеристики на хеликоптера, Годишна международна научна конференция на ВВВУ „Г. Бенковски“ Долна Митрополия, Сборник доклади. стр. 26–32.
9. Загорски, Н., Отчитане на влиянието на външен товар върху управляемостта на хеликоптера за повишаване на безопасността на полета, Годишна международна научна конференция на ВВВУ „Г. Бенковски“ Долна Митрополия, Сборник доклади. стр. 33–40.
10. Cicolani, L. S. and Kanning G. Equations of Motion of Slung-Load Systems, Including Multilift Systems, NASA, 1992, NASA-TP-3280, 132 p.
11. Stuckey, R. A. Mathematical Modelling of Helicopter Slung-Load Systems, Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-1257, 2001, 95 p.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

БИОРАКЕТИ ОТ ЧЕТВЪРТО ПОКОЛЕНИЕ „БИО-4”

Христофор Скандалиев[1,2], Калин Крумов[1,2],
Весислава Тотева[1],Томислав Скандалиев[1,2]

[1]Химикотехнологичен и металургичен университет – София
[2]Клуб за аерокосмически технологии “Зодиак” – Кюстендил
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

Ключови думи: *Изследователски ракети, аерокосмически технологии, биотехнологии, геокомпозити, екология, „зелени” ракетни горива*

Резюме: *Описани са резултати от изследвания, продължаващи експерименталната работа по създаване на ракетни модели, конструирани изцяло от биоразградими материали и геокомпозити. Посочени са основните технологични подобрения, различаващи последната серия прототипи с название «БИО-4» от предишните работни модели. Представени са данни от статични тестове и полетни изпитания, доказващи работоспособността на новото поколение прототипи и надеждността на ракетите и техните системи.*

FOURTH GENERATION BIOROCKETS “BIO-4”

Hristofor Skandaliev[1,2], Kalin Krumov[1,2],
Vesislava Toteva[1], Tomislav Skandaliev[1,2]

[2]University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia
[1]Club for aerospace technology “Zodiac” – Kyustendil
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

Keywords: *Experimental sounding rockets, aerospace technologies, biotechnologies, geocomposites, ecology, green rocket propellants*

Abstract: *Results of research continuing experimental work on creating rocket models constructed entirely from biodegradable materials and geocomposites are described. The main technological improvements distinguishing the last series of prototypes called «BIO-4» from the previous working models are indicated. Data from static tests and flight tests are presented, proving the operability of the new generation of prototypes and the reliability of the rockets and their systems.*

Въведение

Задачата за създаване и внедряване в практиката на нови „зелени” конструктивни материали е продиктувана от необходимостта за ограничаване използването на продукти, производни на петрола, както и такива, които не могат да се рециклират успешно. Такива са многообразието от пластмаси и синтетични полимери, както и широко използваните фибростъклени и въглеродни композити. Замяната на компонентите, влагани в пластмасите, синтетичните полимери и традиционните композити с такива, които са с натурален произход и не създават предпоставки за натрупване в отпадъчни депа, при сегашното състояние на науката, са до голяма степен компромис по отношение на якостните и механичните си показатели, за сметка на бързата разградимост и способността им да бъдат рециклирани.

За определени области на приложение, с точно зададени специфични изисквания, качествата на тези иновативни градивни материали са напълно съпоставими с конвенционалните и позволяват тяхната успешна замяна. На този принцип се провеждат изследванията от проект „Биоракети” – за всеки конкретен детайл се търси оптимална формула за удовлетворяване на изискванията за механична якост, температурна издръжливост,

надеждност, стареене, съвместимост и скорост на разграждане. Така получените решения се подлагат на поредица от тестове и усъвършенстване до достигане на максимална близост до първоначално зададените параметри.

Същност на проекта „Биоракети“

„Биоракети” е проект осъществяван от студенти и преподаватели в Химикотехнологичен и металургичен университет, София, съвместно с Клуб за аерокосмически технологии „ЗОДИАК” в Кюстендил. Основната цел е разработване на технологии и решения за създаване на изследователски ракети, чиито компоненти са напълно разградими в природна среда, а горивата им са нетоксични при изгаряне [1]. Водещото изискване е да се гарантира, че целият жизнен цикъл на тези изделия ще бъде природосъобразен, незастрашаващ човека, животните и природните екосистеми. Дейностите по този проект са следните:

- разработване на иновативни разградими конструктивни материали и композити, на базата на природни продукти и отпадъчна биомаса [3]
- получаване на работещи формули на твърди ракетни горива, включващи в състава си безвредни съставки и отделящи при изгарянето си само нетоксични продукти [2]
- усъвършенстване и миниатюризация на бордовите компютърни и измервателни системи чрез влагане на модерни високотехнологични компоненти в тях

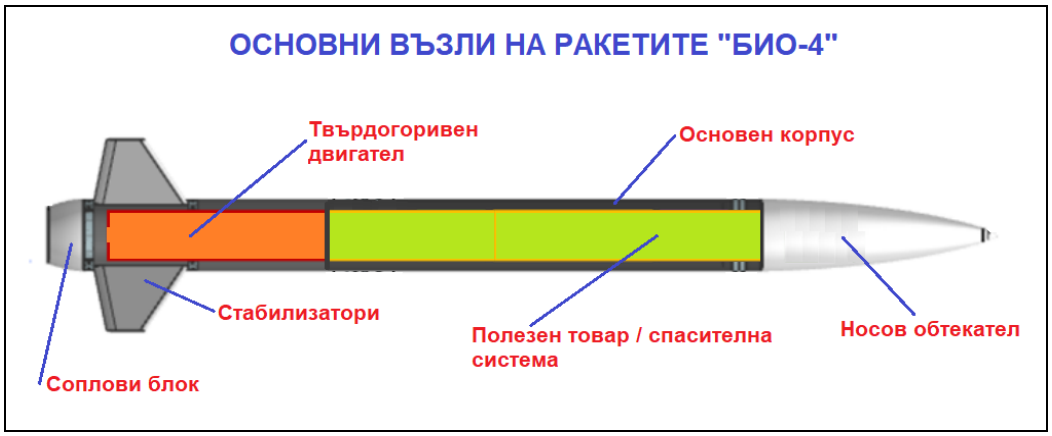
Основните натурални градивни суровини, използвани в проекта, са композити от ленени, памучни и конопени тъкани със специфично тегло 200-500g/m^2 в матрици от разградими биосмоли от видовете **EpoBioX** (Amroy Europe Oy), **Super Sap 100** (Entropy Research), **Vikoflex 7190 (**Arkema), **Polylite 4729** (Reichhold). (Фиг. 1) В някои от детайлите са влагани естествени и синтетични влакна в комбинация със желатин, ПВА, водно стъкло, нишесте и добавки, отпадъчна биомаса, дървени стърготини, корков гранулат, кюспе и смлени плодови костилки. (Фиг. 3) За високотемпературна изолация на ракетните двигатели са влагани различни видове натурален корк - листов и пресован, както и композити на базата на високотопими оксиди [8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Фиг. 1. Основен модел композит в ракетите „БИО-4“

Проект „Биоракети“ се провежда поетапно, като резултатът от всеки пореден етап е създаване на работещи ракетни прототипи, наименувани „БИО-1“, „БИО-2“, „БИО-3“. Надграждането във възможностите и степента на усъвършенстване определя поредния номер в тази поредица от създавани технологии и модели. Последната за момента разработвана генерация биоракети е означена с условно означение „БИО-4“. Предмет на настоящия доклад е представяне на основните детайли, предимствата и различията в характеристиките на последното поколение биоракети от моделите на предишните три етапа на проекта.

Основни характеристики на ракетите от серията „БИО-4“

Експерименталните биоракети конструктивно са изградени от няколко основни възли и агрегати, представени схематично на Фиг. 2. За да бъде изпълнено основното условие за биоразградимост е необходимо всеки от градивните компоненти да бъде конструиран от биоразградим материал. Тъй като всеки от тези възли изпълнява специфична роля и е подложен на различни видове натоварвания, то за всеки детайл се създават отделни варианти композити.



Фиг. 2. Конструктивни елементи на ракета „БИО-4“

1. Носовите обтекатели поемат основното аеродинамично натоварване. Тяхната форма и размери зависят от типа на ракетата и скоростите, които достига по време на полет. Конструкцията им е във вид на кух конус с необходимата геометрия и степен на заобленост. Композитната матрица е съставена от няколко вида пълнители и свързваща биосмола. Пълнителите се подбират в зависимост от желаната маса на детайла, якостните изисквания и необходимата грапавост на външната повърхност. (Фиг. 5) Новият подход при моделите „БИО-4“ е редуването на слоеве от ламинат и пълнители, което повишава механичната здравина, позволява олекотяване и добавя допълнително пространство за полезен товар в ракетите.

2. Основният корпус представлява тръба с възможни редукции на диаметъра, в зависимост от изискванията на вътрешната архитектура на изделията. Тя е навита по ламинатна технология от редуващи се слоеве естествени платове с различна едрина и текстура в матрица от биосмоли. (Фиг. 4) При ракетите от четвърта биосерия двигателят и стабилизаторните плоскости са интегрирани в цялостната конструкция на основния корпус [7].

3. Стабилизаторите са листови ламинати от редуващи се тъкани с различна текстура, свързани с биосмола, втвърдявани при температура от 60℃ под вакуум, заедно с корпуса.

4. Корпусът на твърдогоривния двигател се изработва от ламинат, заедно с тялото на ракетата, като допълнително в него се вкарват топлоизолацията и горивните заряди.

5. Сопловият блок е на базата на геополимер, направен от високотопими оксиди и остатъчна сгуропепел, алкално активирани с натриев силикат и натриев хидроксид. (Фиг. 6) За допълнителна механична здравина и топлоустойчивост при ракетите „БИО-4“ в геополимера са добавяни въглеродни влакна [3, 12, 13, 14].

Фиг. 3. Видове естествени тъкани и влакна за ламинатните композити

6. Съществен елемент в класификацията на ракетите „БИО“ като „зелени“ изделия с почти нулев въглероден отпечатък е тяхното твърдо гориво. От многообразието разработени

досега твърди екологични горива, при моделите „БИО-4“ се използва състав на базата на директно извлечени нерафинирани захари в комбинация с микс от нетоксични окислители и технологични добавки. Извличането на натуралните захари и фибри от некачествени плодове се прави чрез изпаряване на излишното водно съдържание посредством оригинално разработена инсталация, ползваща концентратор на слънчева енергия [4, 5, 6].

7. Спасителните парашутни системи и техните окачвания при „БИО-4“ са от естествени копринени тъкани и естествени високоякостни влакна.

Фиг. 4. Корпусна тръба

Фиг. 5. Носов обтекател

Фиг. 6. Геополимери

Експериментална дейност

За верификация на теоретично заложените параметри при детайлите и прототипите на ракетите „БИО-4“ са проведени серия от лабораторни тестове и полетни изпитания. Изследвани са механичните, якостните, топлофизичните качества и надеждността на агрегатите и моделите. Получени са множество данни от наземната стендова апаратура и бордовите системи на ракетите в полет. Проведени са официално регистрирани в ЦПРВП полети на модели с диаметър на корпуса Ø50, Ø60 и Ø80mm (Фиг. 7, 8, 9).

Фиг. 6. Ракета Ø80мм

Фиг. 7. Част от екипа на проекта

Фиг. 8. Старт на „БИО-4“

Заключение

Моделите от най-новата четвърта генерация експериментални ракети „БИО“ по своята същност могат да се разглеждат като действащи прототипи на изделия, проектирани и изградени от 100% биоразградими компоненти. Това е основната цел, заложена в осъществяването на този широкообхватен проект, която на ниво тестови пълноразмерни образци може да се смята за постигната. Резултатите от проведените изпитания доказват, че

избраният подход на работа е успешен и може да се използва за проектиране, технологична разработка и серийно производство на биоракети с различно функционално предназначение.

Основните предимства на ракетите от четвърта „БИО“ серия, различаващи ги от предишните версии, могат да бъдат обобщени така:

- 100% от компонентите на моделите са изградени от биоразградими материали
- твърдото гориво на ракетните двигатели е базирано на нерафинирани природни захари, добивани по безотпадна и енергоефективна възобновяема технология
- корпусите на ракетите са конструирани от нов вид биоразградим композит, като включват в себе си двигателното легло и всички елементи на твърдогоривния двигател
- двигателят на ракетата е изграден по схемата „пашкул“ от натурални влакна и смоли, като е напълно интегриран в основния корпус на ракетата
- термичнонатоварените елементи на ракетния двигател са конструирани от топлоустойчив геокомпозит с включени въглеродни нишки за повишаване на механичната якост и устойчивостта на абразивното въздействие на отходните продукти от горенето
- носовите обтекатели на ракетите са изпълнени като слоести обемни решетки от редуващи се ламинатни и запълващи слоеве от естествени влакна и пълнители
- за външно покритие и декоративно оформление на ракетите са използвани водоразтворими и нетоксични лакови покрития от натурални суровини и оцветители
- спасителните парашутни системи са комбинация от естествена коприна и копринени носещи въжета за окачването

Литература:

1. Скандалиев, Х., К. Крумов и колектив, *Експериментални изследователски ракети "БИО"*, Twelfth Scientific Conference with International Participation SES 2016, БАН, София, България, 142–147.
2. Сивева, Н., Скандалиев Х. и колектив, *Екологично чисти ракетни двигатели за граждански цели.*, Шеста международна конференция с Младежка научна сесия „ЕКОЛОГИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО И ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА” (ЕИООС'2019) 5-7 юни 2019 г., Бургас.
3. Скандалиев, Х., Крумов К. и колектив, *Изследване на композитни състави за соплови блок на екологично чисти ракетни двигатели.*, Fourteenth International Scientific Conference with International Participation SES 2018, БАН, София, България, 208–211.
4. Крумов, К., Скандалиев Х., и колектив, *„Зелени“ твърди ракетни горива – възможни и невъзможни решения.*, X Международна Научна Конференция ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. СИГУРНОСТ, Боровец, 07- 10 юни, 2021.
5. Скандалиев, Х., Сотиров А., Сивева Н., Скандалиев Т., *Изследване на ябълки като потенциална суровина за екологични ракетни горива*., Годишна университетска научна конференция, Национален Военен Университет, Велико Търново, 2021.
6. Сивева, Н., Крумов К. и колектив, *Изследване на калориметрични свойства и параметри на нови екологични ракетни горива.*, XVII Научна постерна сесия за млади учени, докторанти и студенти, ХТМУ, 2020.
7. Скандалиев, Х. и колектив, *Прототип на противопожарна ракета „Дракон“*., Seventeenth International Scientific Conference with International Participation SES 2021, БАН, София.
8. Kalia, S., *Biodegradable Green Composites*., Indian Military Academy, 2016.
9. Bennett, R. R., Hinshaw, J. C., and Barnes, M. W., *‘The Effects of Chemical Propulsion on the Environment,’* Acta. Astronautica 26(7), 531 (1992).
10. Niklas Wingborg, *Development of Green Rocket propellants: An overview,* Swedish Defence Research Agency, FOI, 2018.
11. John, L. Provis and Jannie S. J. van, *DeventerGeopolymers Structure, processing, properties and industrial application*, 2009, Woodhead Publishing Limited.
12. S Usha,Deepa G. Nair,Subha Vishnudas, *GEOPOLYMER BINDER FROM INDUSTRIAL WASTES: A REVIEW,* 2014, IJCIET.
13. Джамбазов, С., Йолева А., *Специални керамични материали*., 2011, ХТМУ, София.
14. Girts Bumanis, Diana Bajare, Janis Locs, *The Effect of Activator on the Properties of Low-Calcium Alkali-Activated Mortars.*, 2014, Riga, Latvia.
15. Nayak, N. V., *Composite Materials in Aerospace Applications*., International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 9, September 2014.
16. Gholampour, A.; Ozbakkaloglu, T. A review of natural fibre composites: Properties, modification and processing techniques, characterization, applications. J. Mater. Sci. 2020, 55, 829–892. [CrossRef]
17. Patil, N.V.; Rahman, M.M.; Netravali, A.N. Green composites using bioresins from agro-wastes and modified sisal fibres. Polym. Compos. 2019, 40, 99–108.
18. Potluria, R.; Krishnab, N.C. Potential and Applications of Green Composites in Industrial Space. Mater.Today. Proc. 2020, 22, 2041–2048.
19. Bahrami, M. et al., Recent Progress in Hybrid Biocomposites: Mechanical Properties, Water Absorption, and Flame Retardancy., 2020, Madrid, Spain.
20. Colomer-Romero, V. et al., Comparison of Mechanical Properties of Hemp-Fibre Biocomposites Fabricated with Biobased and Regular Epoxy Resins., 2020, Spain.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЗАИМОВРЪЗКАТА ФИЗИОЛОГИЧЕН ОТГОВОР НА РАСТЕНИЯ PISUM SATIVUM И LACTUCA SATIVA КЪМ УСЛОВИЕ ХИПОКСИЯ ВЪЗНИКВАЩО В „КОСМИЧЕСКАТА ПОЧВА" ПРИ КУЛТИВИРАНЕ В КОСМИЧЕСКА СРЕДА

Илияна Илиева

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg

Ключови думи: *взаимовръзка „хипоксия-физиологичен статус", салата, грах, космическа оранжерия*

Резюме: *В настоящото изследване ще бъдат представени резултатите от пилотни лабораторни експерименти за изследване на взаимовръзката между физиологичния отговор на растения грах Pisum sativum и салата Lactuca sativa към условие хипоксия, възникващо в "космическата почва" при отглеждане на растения в космическа среда. С тези експерименти се цели да се формира база от данни, с отговора на растенията към условията на околната среда възникващи в космическата оранжерия в микрогравитация.*

INTERRELATIONSHIP OF PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF PLANTS PISUM SATIVUM AND LACTUCA SATIVA TO HYPOXIA CONDITION OCCURING IN THE "SPACE SOIL" DURING PLANT GROWING IN SPACE

Iliana Ilieva

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg

Keywords: *"hypoxia- physiological status" interaction, peas, lettuce, space greenhouse*

Abstract: *The present study will present the results of pilot laboratory experiments to investigate the interrelationship between physiological response of peas Pisum sativum and lettuce Lactuca sativa to hypoxia condition occurring in the "space soil" during plant growing in space. These experiments aim to form a database with plant responses to the environmental conditions occurring in the space greenhouse in microgravity.*

Въведение

Растенията ще изпълняват важна роля във функционирането на бъдещата Биорегенеративна система за осигуряване на живота (БСОЖ) на екипажите при продължителните мисии, основаваща се на способността им да пречистват въздуха чрез процеса фотосинтеза и водата чрез процеса транспирация. Растенията ще служат също за храна, както и ще бъдат източник на суровини и материали. Експериментите с растения в космически условия започват през 1971 г. и днес повече от 50 години по-късно са постигнати фундаментални резултати, но все още темповете на растеж, развитие и репродукция на растенията са недостатъчни, за да се осигури устойчивото функциониране на БСОЖ. Като причина за това се посочва възникването на неблагоприятни, стресови условия в контролираната околна среда (ОС), която космическата оранжерия (КО) създава за отглеждане на растения [1]. Установените стресови условия са:

- недостиг на кислород (НК) (хипоксия) за корените на растенията в кореновия модул (КМ) на КО;
- липса на естествена конвекция във въздушната среда на КО;

- незадоволителни характеристики на изкуствената светлина;

- наличие на газ етилен във въздушната среда в концентрации над допустимите за растенията.

От една страна, тези условия възникват поради изискванията за малък обем и маса, както и ниска консумация на енергия от апаратурата, опериращa на борда [9]. За да се спазят енергийните и конструктивни ограничения и досега КО се конструират с малки размери и в тях отсъстват системи, които да осигуряват определени условия на средата и/или липсват системи за мониторинг и/или контрол на даден параметър на ОС [1, 16].

От друга страна, в отсъствие на гравитация редица физични процеси като конвекция, топлообмен, хидродинамика на флуидите, масообменни процеси, наличието на градиенти в концентрацията на субстанциите, седиментация и др., или не съществуват, или са силно повлияни от микрогравитацията [10, 14, 19]. В допълнение във всички разработени до момента КО, контролът на ОС се осъществява на един и същ принцип, който се състои в регулиране на съответните параметри около предварително зададени прагови стойности (установен режим). Праговите стойности за всеки климатичен параметър обикновено са извлечени от евристични знания и/или емпирични изследвания с всяко конкретно растение, предназначено за отглеждане в космически условия. При този подход, изменените характеристики на описаните по-горе процеси водят до явления в контролираната от сензори среда на КО, които не се улавят от сензорите, и по този начин смущенията в ОС и нейните ефекти върху растенията не се отчитат и не се включват в контрола. Следователно, въвеждането на методи за контрол, които да са в състояние да компенсират ефектите от изменените характеристики на околната среда върху растежа и развитието на растенията в микрогравитация са необходими за създаването на оптимална среда за отглеждане на растения.

Концепция за адаптивен контрол на параметрите на ОС в КО, която се разработва, за да бъде приложена в трето поколение КО Свет (КО Свет-3) [6] предвижда контрола на параметрите на ОС да се извършва не само въз основа показанията на сензорите, но и въз основа на обратна връзка от самите растения, така че условията на ОС да се създават съобразно физиологичния статус и изискванията на растенията.

Възможно ли е динамиката на физиологичните показатели на растенията в отговор на условията на средата, в която са отглеждани, да бъде използвана като обратна връзка при контрола на създаваните условия в КО с цел оптимизирането им? За да се даде отговор на този въпрос са необходими изследвания за взаимовръзката стресово условие, възникващо в ОС на КО с физиологичния отговор на растенията.

Резултатите от експерименти с различни видове растения проведени в космически условия показват, че хипоксия са изпитвали, както растенията, отгледани в космическите оранжерии от серията Оазис на космически станции Салют [12], така и растенията, отгледани на космическите совалки [13, 15, 18], а също растенията *Brassica rapa* отгледани в КО Свет-2 на Мир [18], както и растенията *Brassica rapa*, отгледана в Biomass Production System [11], *Arabidopsis thaliana* в Advanced Astroculture [7], салата *Lactuca sativa* cv. „Outredgeous” и циния *Zinnia hybrida* cv. „Profusion” във Veggie [8] на Международната космическа станция. Доказателство за наличието на хипоксия са специфичните характеристики на растенията, като прорастване на корените извън субстрата [3, 8, 12], синтезът на в пъти повече от ензима Алкохолдехидрогеназа (АДХ) в тъканите на корените [13, 15], повишеното съдържание на захари [18] и вторични метаболити [11] в листата, както и гутация, и видими следи от преовлажняване на порьозната среда-субстрат, разработен на основата на зеолит или глина, използван като „космическа почва” [8].

Причините за възникване на НК (хипоксия) в КМ на КО се дължи на изменената хидродинамика на флуидите- подадената водата се разпространява бавно в обема на субстрата и не дренира. В процеса на контрол на влажността в субстрата в микрогравитацията се наблюдават следните явления:

- фронтът на омокряне е неравномерен- наблюдават се зони с преференциално омокряне и изолирани сухи зони [17];

- в микрогравитация, подадената вода се разпространява по повърхността на порите в субстрата като образува филм, който, удебелявайки се, може да затвори балонче въздух в пората [2];

- в процеса на омокряне и изсушаване на субстрата се наблюдава пренареждане на субстратните частици [21]. В резултат на тези явления възниква хетерогенна влажност в обем на субстрата и едновременно могат да се образуват зони с повишена влажност и зони със засушаване, като НК може да възникне и в двете.

Цел на настоящето изследване е да се проведат пилотни лабораторни експерименти за да се изследва взаимовръзката между физиологичния отговор на растения грах *Pisum sativum* и салата *Lactuca sativa* към условие хипоксия, възникващо в ”космическата почва” при отглеждане

на растения в космическа среда. Тези растенията са избрани за отглеждане в бъдещите БСОЖ, тъй като грахът е богат на протеини, а салатата се характеризира с бърз растеж и богата на витамини, и микронутриенти биомаса [20].

Методи и материали

Наземни методи за пресъздаване на стрес недостиг на кислород

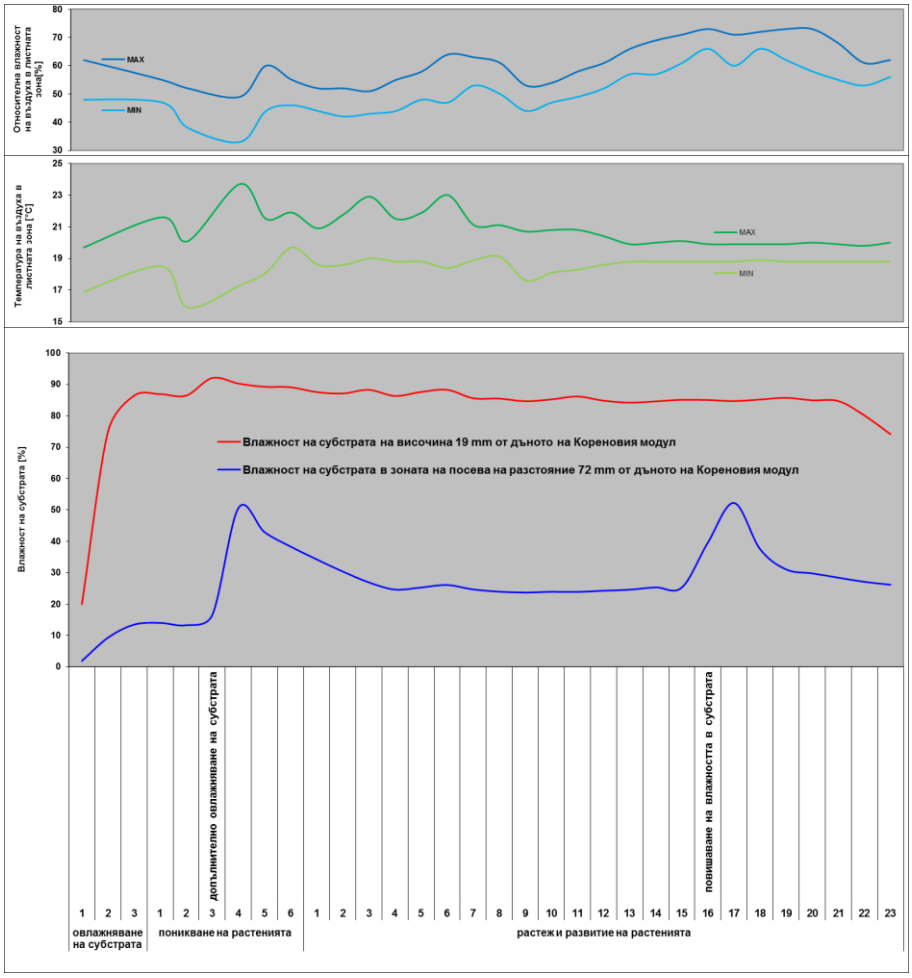
Факторите, причиняващи НК в кореновата система на Земята са: повишено съдържание на вода в почвата, вследствие на обилни валежи, снеготопене, разлив на реки, езера и др. водни басейни; преполиване на земеделски и други стопански площи; бавният дренаж на водата в почвения профил, дължащ се на структурата на почвата- когато частиците и порите между тях са с малки размери.

Водата е химически безвредна за растенията и наличието на голямо количество вода в почвата би следвало да е безопасно за тях, но способността на водата да взаимодейства с газовете и да препятства свободният газообмен в почвата причинява НК и последващите увреждания в растенията.

В лабораторни условия, НК се създава, като контейнерите, в които се отглеждат растенията са без отвори, за да се препятства дренирането на излишната вода след поливане, или, като контейнерите биват потопени в дълбок съд с вода, така че водата да покрие повърхността на почвата в тях.

Дизайн на пилотните експерименти за пресъздаване на стрес недостиг на кислород в кореновия модул на КО Свет-2

Проведени са по един експеримент съответно с растенията грах *Pisum sativum* cv. „Ran-1" и салата *Lactuca sativa* cv. „Lollo Rossa".



Фиг. 1. Параметрограма с условията на околната среда създадени при пилотния експеримент с грах

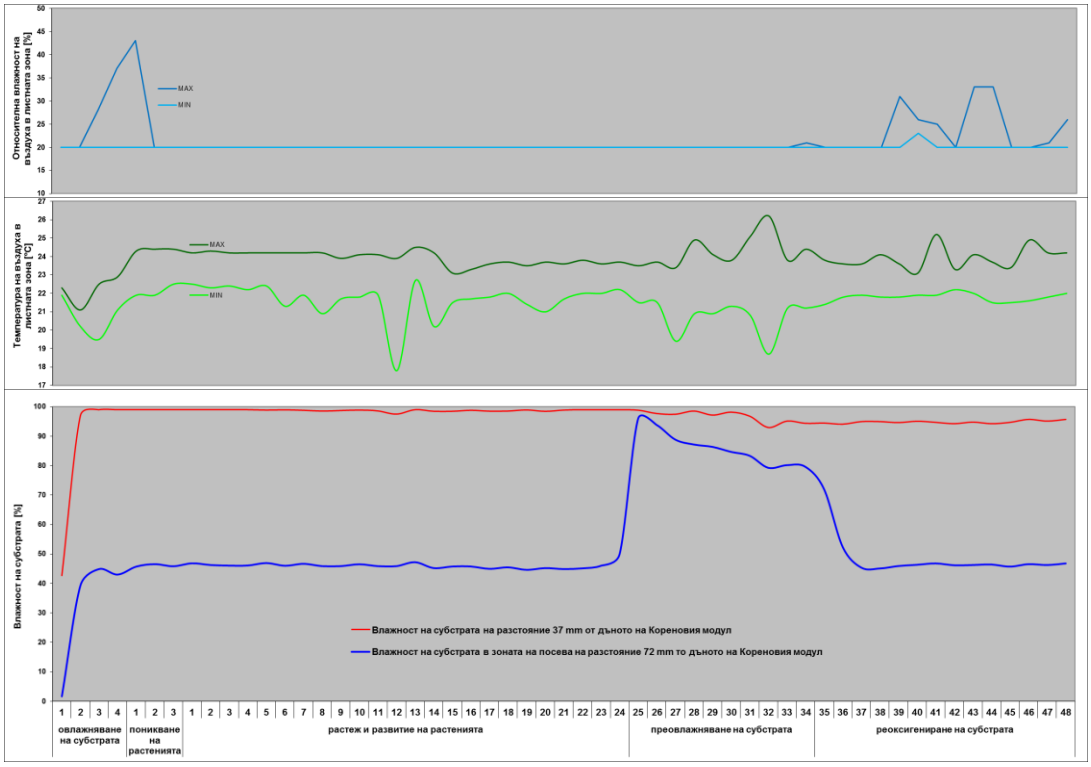
Експериментите са проведени в лабораторния прототип на КО Свет-2. За да се създаде НК е използван КМ без отвори в стените, като по този начин в обема на субстрата може да се подържа влажност в диапазона от въздушно сух субстрат до напълно преовлажнен субстрат. КМ се състои от два Вегетацинни съда (ВС), всеки с по две лехи с обем от 5,2 l и с площ от 0,05 m^2. Пилотните експерименти са проведени с използването само на единия от ВС. И при двата експеримента е използван субстрат Балканин- природен зеолит от находището в с. Бели пласт, обл. Кърджали [5] с големина на частиците (1,0 – 1,5) mm. Влажността в субстрата се контролира от сензор за влажност, разположен на височина от 72 mm от дъното на ВС, а водата се подава от U-образен хидропровод, разположен в субстрата, в средата на ВС по продължение на цялата му дължина. Втори сензор за допълнителен мониторинг на влажността в обема на субстрата е разположен на височина 19 mm от дъното на ВС- при експеримента с грах, и на 37 mm от дъното на ВС- при експеримента със салата. Семената на граха са посадени на дълбочина 30 mm, а тези на салатата- на 10 mm от повърхността на субстрата.

Процесът на контрол на влажността при експеримента с грах е показан на Фиг. 1. НК в КМ е пресъздаден чрез повишаване на влажността в субстрата за 24 часа на шестнадесетия ден от развитието на растенията грах. При експеримента със салата е приложено пълно преовлажняване на субстрата в продължение на 10 дни на двадесет и петия ден от развитието на растенията (Фиг. 2). Преовлажняването и при двата експеримента е последвано от реоксигениране- отглеждане на растенията при влажност от преди третирането.

Надземната част на растенията и при двата експеримента се развива в среда с интензитет на светлината 400 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$, осигурен от флуоресцентни лампи Osram Dulux S-21 11W и фотопериод 16/8 часа ден/нощ. Скоростта на въздушният поток е 0,2 m/s и при двата експеримента. Температурата на въздуха е в диапазона (15,9 ÷ 23,7)ºC, а относителната влажност (33 ÷ 73)% при експеримента с грах, и, съответно, (17,8 ÷ 26,2)ºC и (20 ÷ 43)% при експеримента със салатата.

Анализ на растителния материал

Изследвани са пет физиологични показателя- интензивност на фотосинтеза, съдържание на хлорофил, височина, свежо тегло и сухо вещество на растенията.

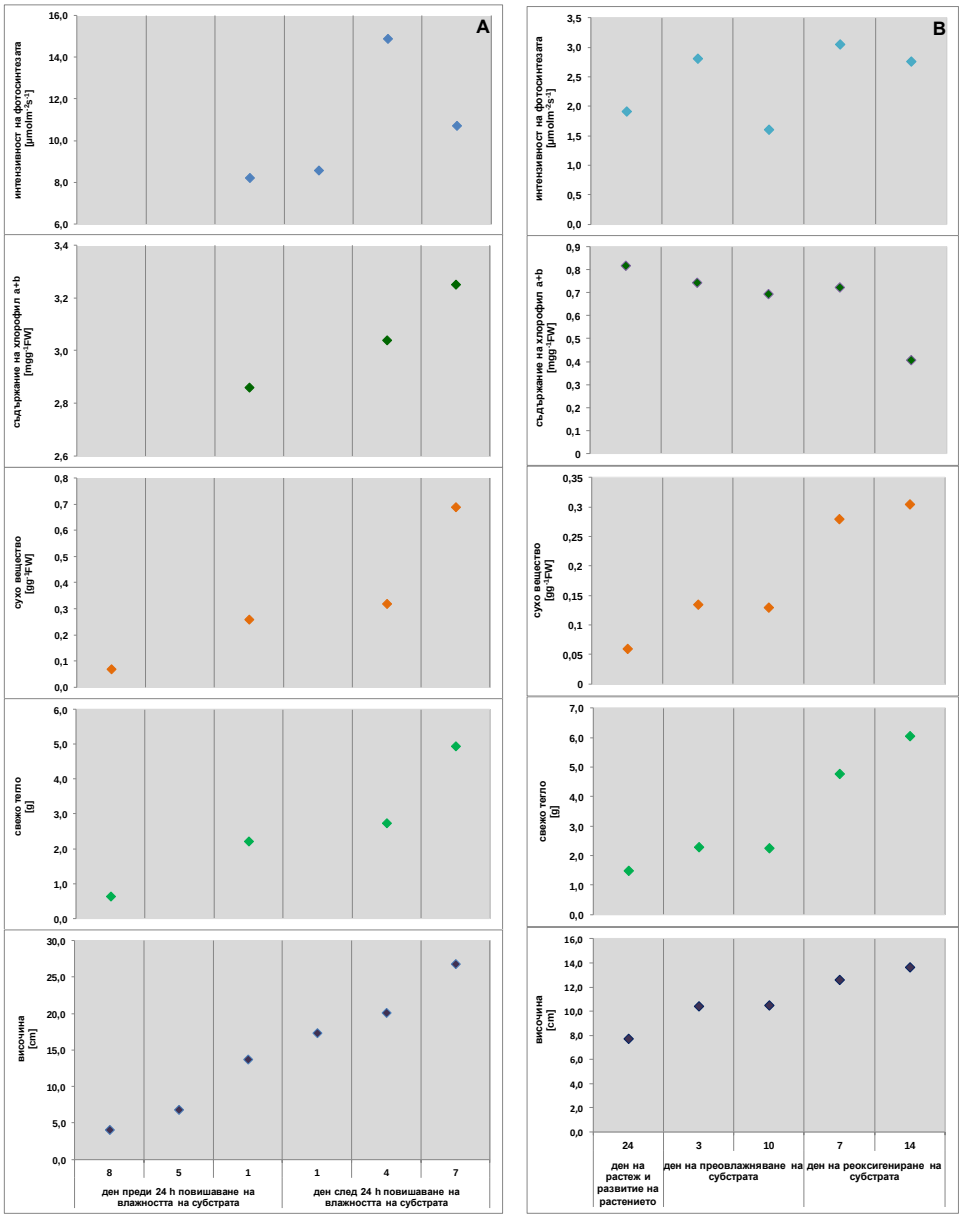


Фиг. 2. Параметрограма с условията на околната среда създадени при пилотния експеримент със салата

Резултати

В КМ на лабораторният прототип на КО Свет-2 е пресъздаден недостиг на кислород в кореновата зона, чрез краткотрайно или продължително преовлажняване на субстрата.

При краткотрайно повишаване на влажността в субстрата се постига частичен недостиг на кислород, който оказва слабо влияние върху показателите височина, свежа биомаса и сухо вещество при граха, води до бавно изменение в съдържанието на хлорофил a+b и бързо изменение в интензивността на фотосинтезата (Фиг. 3-А).



Фиг. 3. Динамика на физиологичните показатели при:
А- кратковременно състояние на недостиг на кислород при грах;
В- продължително състояние на недостиг на кислород при салата

Продължителния недостиг на кислород при салатата води до: Забавяне на нарастването на височина, синтезата на свежа биомаса и натрупването на сухо вещество. В процеса на реоксигениране тези показатели се възстановяват, но добивът на биомаса е значително занижен. Биосинтезата на хлорофил a+b е подтиснат, като в процеса на реоксигениране синтеза на хлорофил a+b не се възстановява. Наблюдава се понижаване на интензивността на фотосинтезата при недостиг на кислород и възстановяване в процеса на реоксигениране на субстрата (Фиг. 3-В).

Бързите изменения в интензивността на фотосинтезата както при краткотраен НК така и при продължителна хипоксия показа, че този параметър е много чувствителен и подходящ за оценка на физиологичното състояние на растенията.

С проведените пилотни експерименти се поставя началото на събирането на времеви серии от данни (plant histories) с цел да се създаде база от колкото е възможно по-информативни данни, даващи както количествена, така и качествена представа за отговора на

растенията към стресовите условия на ОС в микрогравитация. Генерираната поредица от данни за отговор на растенията, за конкретни комбинации от стресови фактори, в последствие ще бъде използвана за създаването на моделите идентифициращи физиологичното състояние на растенията и служещи за основа на последващият контрол на параметрите на ОС в КО.

Литература:

1. Илиева, И. И., Т. Н. Иванова, С. М. Сапунова, П. Т. Костов. Създаване на подходяща среда за развитие на растенията в микрогравитация - технически решения и експериментален опит, *Сборник с доклади от Юбилейна научна сесия "90 години авиационно образование в България" - Д. Митрополия, 22-23 април 2004*, Т. 1, с. 98–106, 2004.
2. Bingham, G. E., S. B. Jones, D. OR, I. G. Podolski, M. A. Levinskikh, V. N. Sytchov, T. Ivanova, P. Kostov, S. Sapunova and I. Dandolov, D. B. Bubenheim, G. Jahns. Microgravity effects on water supply and substrate properties in porous matrix root support systems, *Acta Astronautica* Vol. 47, No. 11, pp. 839–848, 2000.
3. Cowles, J., R. LeMay, G. Jahns. Seedling growth and development on Space Shuttle, *Advances in Space Research*, Vol. 14, No. 11, pp. 3–12, 1994.
4. Cowles, J.R., H.W. Scheld, R. LeMay, C. Peterson. Growth and lignification in seedlings exposed to eight days of microgravity, *Annals of Botany*, Vol. 54, Supplement 3, pp. 33–48, 1984.
5. Ivanova, T., Stoyanov, I., Stoilov, G., Kostov, P., Sapunova, S. Zeolite Gardens in Space. Natural Zeolites Sofia'95. Pensoft Publishers, Sofia – Moscow, pp. 3–10, 1997.
6. Kostov P., T. Ivanova, I. Dandolov, S. Sapunova, I. Ilieva. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments, *Acta Astronautica*, Vol. 51, Nos. 1-9, pp. 213–220, 2002.
7. Link, B. M., S. J. Durst, W. Zhou, B. Stanković. Seed-to-seed growth of *Arabidopsis thaliana* on the International space station, *Advances in Space Research*, Vol. 31, No. 10, pp. 2237–2243, 2003.
8. Massa, G. D., N. F. Dufour, J. A. Carver, M. E. Hummerick, R. M. Wheeler, R. C. Morrow, T. M. Smith. VEG-01: Veggie Hardware Validation Testing on the International Space Station, *Open Agriculture*, Vol. 2, pp. 33–41, 2017.
9. Monje, O., G. W. Stutte, G. D. Goins, D. M. Porterfield, G. E. Bingham. Farming in space: environmental and biophysical concerns, *Advances in Space Research*, Vol. 31, No. 1, pp. 151–167, 2003.
10. Morey-Holton, E.R. The impact of gravity on life, In Evolution on planet earth, Elsevier, pp. 143–159, 2003.
11. Musgrave, M.E., A. Kuang, L.K. Tuominen, L.H. Levine, R.C. Morrow. Seed storage reserves and glucosinolates in *Brassica rapa* L. grown on the International space station, *Journal of the American Society of Horticultural Scientists*, Vol. 130, No. 6, pp. 848–856, 2005.
12. Nechitailo, G.S., A.L. Mashinsky. Space Biology Studies at Orbital Stations, Mir Publishers Moskow, 1993.
13. Porterfield, D. M., S.W. Matthews, C.J. Daugherty, M.E. Musgrave. Spaceflight exposure effects on transcription, activity, and localization of alcohol dehydrogenase in the roots of Arabidopsis thaliana, *Plant Physiology*, Vol. 113, pp. 685–693, 1997.
14. Porterfield, D.M. The biophysical limitations in physiological transport and exchange in plants grown in microgravity, *Journal of Plant Growth Regulation*, Vol. 21, pp. 177–190, 2002.
15. Porterfield, D.M., D.J. Barta, D.W. Ming, R.C. Morrow, M.E. Musgrave. ASTROCULTURE^{TM} root metabolism and cytochemical analysis, *Advances in Space Research*, Vol. 26, No. 2, pp. 315–318, 2000.
16. Porterfield, D.M., G.S. Nechitailo, A.L. Mashinsky, M.E. Musgrave. Spaceflight hardware for conducting plant growth experiments in space: The early years 1960-2000, *Advances in Space Research*, Vol. 31, No. 1, pp. 183–193, 2003.
17. Steinberg, S. L., S. B. Jones, M. Xiao, L. Reddi, G. Kluitenberg, D. Or, J. I. D. Alexander, N. Daidzic, M. Tuller. Challenges to understanding fluid behavior in plant growth media under microgravity, *SAE Paper Number 05ICES-73*, 2005.
18. Stout, S. C., D. M. Porterfield, L. G. Briarty, A.Kuang, M.E. Musgrave. Evidence of root zone hypoxia in *Brassica rapa* L. grown in microgravity, *International Journal of Plant Science*, Vol. 162, No. 2, pp. 249–255, 2001.
19. Todd, P. Gravity-dependent phenomena at the scale of single cell, ASGSB Bulletin, Vol. 2, pp. 95-113, 1989.
20. Wheeler, R.M., C.L. Mackowiak, J.C. Sager, W.M. Knott, W.L. Berry. Proximate composition of CELSS crops grown in NASA's biomass production chamber, *Advances in Space Research*, Vol. 18, No. 4-5, pp. 43–47, 1996.
21. Xiao, M., L.N. Reddi, S.L. Steinberg. Discontinuous pore fluid distribution under microgravity due to particle rearrangement. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*, pp. 65–68, 2011.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

A CENTURY OF TELEMEDICINE: CURATIO SINE DISTANTIA ET TEMPORA

Malina Jordanova[1], Frank Lievens[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Executive Secretary of the International Society for Telemedicine & eHealth, Belgium & Switzerland & Managing Director of LIEVENS-LANCKMAN BVBA, Belgium & AKROMED, France
e-mail: mjordan@bas.bg; lievensf@skynet.be

Keywords: *Telemedicine, eHealth, Digital Health, History*

Abstract: *The paper presents the series "A Century of Telemedicine. Curatio Sine Distantia et Tempora", dedicated to Telemedicine and eHealth history.*

This is a walk through the history – from the first applications of telegraph and radio communications more than a century and a half ago to space medicine, from the birth of marine telemedicine and emergency radio communication by amateurs to the healthcare support of polar expeditions, from the pioneering era of telecardiology, tele-radiology, telepsychiatry and videoconferencing to clinical biotelemetry, computer telediagnosis and mobile telemedicine and treatment and support of COVID patients..

The series also underlines different national and cultural points of view in the development and implementation of Telemedicine/eHealth solutions for the treatment of patients and wellbeing of citizens.

ЕДИН ВЕК ТЕЛЕМЕДИЦИНА: CURATIO SINE DISTANTIA ET TEMPORA

Малина Йорданова[1], Франк Ливенс[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Изпълнителният секретар, Международно общество за телемедицина и електронно здравеопазване, Белгия & Швейцария
Директор, LIEVENS-LANCKMAN BVBA, Белгия & AKROMED, Франция
e-mail: mjordan@bas.bg; lievensf@skynet.be

Ключови думи: *Телемедицина, електронно здравеопазване, дигитално здраве, история*

Резюме: *Статията представя поредицата „Век на телемедицината. Curatio Sine Distantia et Tempora“, посветена на историята на телемедицината и електронното здравеопазване.*

Това е разходка из историята на телемедицината – от първите приложения на телеграфа и радио-комуникациите преди повече от век и половина до космическата медицина, от раждането на морската телемедицина до дистанционното консултиране на полярните експедиции, от първите опити за теле-кардиологията, теле-радиологията, теле-психиатрията до клиничната био-телеметрия, компютърната теле-диагностика, мобилната телемедицина и дистанционното лечение и подкрепата на пациенти с COVID.

Поредицата също така разкрива различни национални и културни гледни точки при разработването и прилагането на решения за електронно здравеопазване за лечение на пациенти и повишаване и поддържане благосъстоянието на гражданите.

The Goal

The goal of the series “A Century of Telemedicine. Curatio Sine Distantia et Tempora: A World Wide Overview” is two folded:

1. To present a brief history of Telemedicine/eHealth development and
2. To outline the development and implementation of Telemedicine/eHealth in various countries.

The Series "A Century of Telemedicine. Curatio Sine Distantia et Tempora"

For the moment, the series consists of six volumes.

The first book is Vladzymyrskyy A., Jordanova M., Lievens F. "A Century of Telemedicine: Curatio Sine Distantia et Tempora", published in 2016 [1]. It reveals the range and complexity of Telemedicine development over the past 150 years, including facts, theories, and amazing stories from different parts of the world.

Perhaps, it is necessary to start clarifying what is telemedicine. The latter encompasses diagnostic, treatment and prevention processes within the frame of modern health care services, which are carried out primarily by means of telecommunication and computer technologies.

For decades, there was no internationally accepted definition of telemedicine. Recognizing this, the World Health Organization adopted the following broad description of telemedicine:

"The delivery of health care services, where distance is a critical factor, by all health care professionals using information and communication technologies for the exchange of valid information for diagnosis, treatment and prevention of disease and injuries, research and evaluation, and for the continuing education of health care providers, all in the interests of advancing the health of individuals and their communities" [2-3]. In sum, WHO had underlined that telemedicine includes four germane elements:

- Its purpose is to provide clinical support;
- It intends to overcome geographical barriers, connecting users who are not in the same physical location;
- It involves the use of various types of information technology;
- Its goal is to improve health outcomes.

When presenting the history of telemedicine, some authors refer to the attempts to exchange messages related to medical topics by post, sound alarm (drums, bells) and even smoke alarms, in ancient times and in the middle ages. However, we consider such approach incorrect, as we firmly believe in the ultimate connection between telemedicine and electrical and/or electronic telecommunication tools. Thus, when conducting the research on telemedicine history, we have intentionally limited ourselves to the period after 1850. We also consider that the initial use of modern telemedicine technologies began in the middle of the 1980's and were further developed in the 1990's.

The development of distant delivery of health care services is the prime result of the progress in telecommunication facilities. Thus, history of telemedicine may be presented as the sequence of stages following the progress of telecommunications and of the remote information exchange. In brief, the development of clinical telemedicine could be classified as:

- Telemedicine development based on telecommunication tools such as telegraph; telephone; radio; television (cable television, with slow scanning, wireless, black-and-white to colour television); satellite-link communication; computer networks, internet; wireless networks and data transfer protocols …
- Telemedicine development based on clinical application forms - teleconsultations with oral or short written description of clinical evidences; distant learning (elearning); teleconsultations with medical data remote transfer; computing telediagnosis; biotelemetry; telemonitoring; comprehensive clinical telemedical systems; individual telemedicine (tele-homecare), etc.

No doubt, both tracks are rather conventional, most stages interlace or can exist concomitantly. That's why the authors used a mixture of both in the organization of the book.

The access to the content of the book is available free of charge at https://www.isfteh.org/files/media/Telemedicine_history_CD.pdf.

The next five volumes [4-8] are a logical follow-up of the first book. They are dedicated to a more detailed history of Telemedicine and eHealth in different countries. Each volume has several chapters and each chapter presents one country. The number of countries introduced in all parts is 23. Every chapter reveals different national solutions for the treatment of patients and wellbeing of citizens, provides a glimpse and summarizes the best practical achievements, governmental policies, existing achievements, results, problems and experiences.

All five volumes are available at the website of the International Society for Telemedicine and eHealth (ISfTeH). Their content is free to read and download at https://www.isfteh.org/media/category/telemedicine_ehealth_history

Often colleagues asked us, why we have dedicated so many efforts and time to prepare and publish this series. The answer is simple. We firmly believe in the necessity to studying and knowing history and in the benefits of international cooperation and collaboration.

Knowing History

"The Past supplies the key to the Present and Future". These words belong to an ancient historian. History tells us how we came to know what we know today. Marcus Tulius Cicero (106-43 BC), a roman writer, politician and great orator, almost 2000 years ago, summarized the importance of history:

> "*Not to know what has been transacted in former times is to always remain a child. If no use is made of the experiences of past times, the world will always remain in the infancy of knowledge".*

These words are especially applicable to the necessity of studying the history of medicine. The latter is much more than the history of doctors, nurses and medical discoveries. The patients are actually the most important part of the broad picture. No doubt, throughout human evolution, health and diseases always were matters of main concern and had a profound effect on human society, shaping it.

More than a hundred year ago, E. F. Cordell, the President of the Medical and Chirurgical Faculty of Maryland, USA, while giving his presidential address to the Faculty chose the topic "The Importance of the Study of the History of Medicine". In his speech, he criticized the lack of formal teaching of the history of medicine. His words explicitly summarize the necessity of knowing it [9]:

> *"… since history is ever repeating itself, it is manifestly the part of wisdom to make it the object of our closest study, that we may profit by its lessons, both of success and of failure; for what others have done or have failed to do should point the way to their successors, whether in search of individual, social or national guidance."*

Time proved that knowing history of medicine not only contributes to the improvement of clinical healthcare but it provides everlasting lessons in the dominion of medical ethics, gives an appreciation for the profession, shapes every aspect of our commitment to patients and medicine .

The history of Telemedicine/ eHealth is part of medical history. Although it lasts for less than two centuries, we still have a lot to learn. The field is in its childhood and is rapidly developing.

International Cooperation

As already mentioned, the second reason to dedicate time and efforts in publishing this series is that we believe in the benefits of international cooperation and collaboration.

Today Globalization is shaping our world. It is moving closer together - trade, technology and investment increasingly connect countries and people around the globe. People and products move, time and distance are no longer obstacles; ideas do spread faster than ever before. Nowadays we are talking about Global health, i.e. health problems, issues, and concerns that transcend national boundaries, which may be influenced by circumstances or experiences in other countries, and which are best addressed by cooperative actions and solutions.

The globalization and wide application of telecommunication technologies influence healthcare in one more aspect. Healthcare systems are due to serve diverse populations. This never happened before in human history.

The diversity goes far beyond a language barrier. It includes culture, gender, sexual orientation, religious beliefs, and socioeconomic aspects. Attitudes toward what is acceptable and what is not in health care and treatment may vary among different populations. Medical staff has to provide care that acknowledges and recognizes these differences. This could be achieved only through international collaboration and cooperation.

Pros and cons of the series

The outline of the Telemedicine/eHealth history is one of the advantages of the series as this is a scientific research in one specific field of the History of Medicine, the one of telemedicine. Apart from outlining the global picture, the series presents many interesting and not well-known facts that may amaze researchers. Let us illustrate this with only three facts.

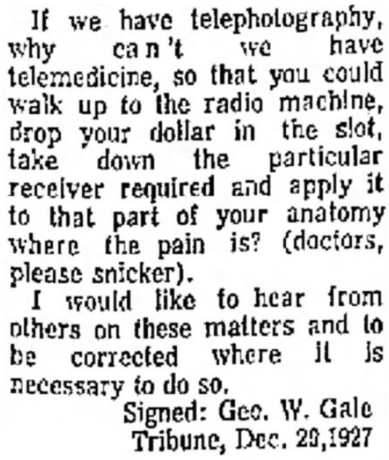
First: In 1858 Dr Jabez Baxter Upham, in cooperation with the engineer Moses Gerrish Farmer, doctor William Francis Channing, Mr. Steams, Mr. Kennard and Mr. Rogers, created a telemedical device called «sphygmosphone». It allowed fixing heart pulse as a curve and sending these data via a telegraph. On January 24, 1859 the device was successfully tested, and heart rate data of Mr. Eugene A. Groux, who suffered from congenital sternal fissure, were sent via wires from

Boston to Cambridge (USA). Ten years later, in 1869, Dr Upham repeated the experiment at the American scientists' conference.

Second: When the term telemedicine was used for the first time? Many authors dated it to 1974, referring to the article of R. G. Mark [10], despite of the fact that the "telemedical technique/technology" was used by R. L. Murphy et al. in 1970 [11]. Further historical investigations have forced us to revise this. In 2014, while working with reference sources, we found that the term "telemedicine" was used as far back as 1927!

A column of the retrospective articles and letters to the editors were published on page 47 in the newspaper "Greeley Daily Tribune", Greely Town, Colorado, USA, on November 16, 1970. They cited the story of Geo W. Gale "Wants Plane to Change Weather Here". This information represented a rather doubtful discourse concerning meteorological changes that could be caused by planes. However, the last paragraph was of special interest as the author unexpectedly quotes the following: "If we have telephotography, why can't we have telemedicine, so that you could walk up to the radio machine, drop your dollar in the slot, take down the particular receiver required and apply it to that part of your anatomy where the pain is? (Doctors, please snicker)" [12] (Fig. 1).

The cited article is from December 29, 1927. It is obvious that this material is not a scientific article. Nevertheless, we record that the term "telemedicine" was used for the first time in a publication in December 1927.


If we have telephotography, why can't we have telemedicine, so that you could walk up to the radio machine, drop your dollar in the slot, take down the particular receiver required and apply it to that part of your anatomy where the pain is? (doctors, please snicker).

I would like to hear from others on these matters and to be corrected where it is necessary to do so.

Signed: Geo. W. Gale

Tribune, Dec. 29,1927

Fig. 1. Fragment of the note with the term "telemedicine" dated 29.12.1927

Third: In 1953, L. Basan and I. Lovdzhiev developed the procedure of radiotelemetry of physiological parameters on a human in motion and natural working environment. Initially the equipment allowed recording respiration duration and respiration rate. By 1955, with improvement of the sequential system, the authors were able to perform telemetry of respiration rate, air volume during respiration, inhalation duration, respiratory pause and air discharge (Fig. 2) [13].

Fig. 2 Radio biotelemetry system for respiratory function study, Bulgaria, 1953-1955 [1]

The equipment operating principle consisted in conversion of airflow vibration into electrical oscillation with the help of frequency modulation of transducer radio wave, which changed its frequency following the respiratory phases. There were several models of transducers: a small one -

transmitting distance up to 150 m, dimensions 15x12x4 cm, weight 900 g and a big one - transmitting distance up to 60 km, dimensions 26x18x16 cm, weight 3 kg. This biotelemtry system was used in sports medicine and occupational physiology.

Let's turn back to the advantages of the series.

According to the editors, the main benefit of this series is not the outline of the development of Telemedicine/eHealth but of the presentations of different national and cultural expertise in its the development and implementation.

This is the possibility to share the available information with international, national and regional institutions and policy makers as well as with all groups and individuals involved with healthcare. The books provide directions of a wide variety of decisions, able to affect the form and functioning of the healthcare sector and offer clues towards the expected future of health organization at community level. The results and guidelines presented apply to all – national and local administration, individual practitioners, group practices, healthcare systems, as well as to providers of health-related services where there are Telemedicine/eHealth interactions either directly to the patient or from provider to provider for the purpose of healthcare delivery.

The series "A Century of Telemedicine. Curatio Sine Distantia et Tempora: A World Wide Overview" is especially important now, in the time of COVID pandemic as Telemedicine/eHealth comes in many shapes and sizes and offers numerous advantages over the traditional healthcare treatment. Before the pandemic, Telemedicine/eHealth was often neglected. The COVID threat quickly changes the attitude towards it.

The weakest point of the series is that only 23 countries are included so far.

Conclusions

We are convinced that this series offers useful information to those who are preparing to expand Telemedicine/eHealth/Digital Healthcare in their regions or countries. It will allow them to rely on the experience of the others and make them aware of the benefits and problems that were encountered during and after implementation of systems or services, and as such, will help to possibly avoid mistakes and reduce potential problems.

References:

1. Vladzymyrskyy, A., Jordanova M., Lievens F. "A Century of Telemedicine: Curatio Sine Distantia et Tempora", Sofia, Bulgaria, 2016, ISBN 978-619-90601-0-0, https://www.isfteh.org/media/a_century_of_telemedicine_curatio_sine_distantia_et_tempora_book_free_for_d.
2. WHO Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth 2009 (Global Observatory for eHealth Series, 2), WHO, Geneva, Swtizerland, 2010.
3. Atlas of eHealth country profiles: the use of eHealth in support of universal health coverage, WHO, Geneva, Swtizerland, 2016, https://www.who.int/publications/i/item/9789241565219.
4. Vladzymyrskyy, A., Jordanova M., Lievens F. (Eds.) A Century of Telemedicine: Curatio Sine Distantia et Tempora. A World Wide Overview – Part I, 2017, Sofia, Bulgaria, ISBN 978-619-90601-2-4, https://www.isfteh.org/files/media/A_Century_of_Telemedicine_Part_I.pdf.
5. Jordanova, M., Lievens F., Vladzymyrskyy A. (Eds.) A Century of Telemedicine: Curatio Sine Distantia et Tempora A World Wide Overview. Part II, 2018, Sofia, Bulgaria, 2018, ISBN 978-619-90601-3-1, https://www.isfteh.org/files/media/A_Century_of_Telemedicine_Part_II.pdf.
6. Jordanova, M., Lievens F., Vladzymyrskyy A. (Eds.) A Century of Telemedicine. Curatio Sine Distantia et Tempora: A World Wide Overview, Part III, Sofia, Bulgaria, 2019, ISBN 978-619-90601-4-8; https://www.isfteh.org/files/media/A_Century_of_Telemedicine_-_Part_III.pdf.
7. Jordanova, M., Lievens F. (Eds.) A Century of Telemedicine. Curatio Sine Distantia et Tempora: A World Wide Overview, Part IV, Sofia, Bulgaria, 2021, ISBN 978-619-90601-5-5; https://www.isfteh.org/files/media/A_Century_of_Telemedicine_-_Part_IV.pdf.
8. Jordanova, M., Lievens F. (Eds.) A Century of Telemedicine. Curatio Sine Distantia et Tempora: A World Wide Overview, Part V, Sofia, Bulgaria, 2022, ISBN 978-619-90601-6-2; https://www.isfteh.org/files/media/A_Century_of_Telemedicine_-_Part_V_2022.pdf.
9. Cordell Eugene F. The Importance of the Study of the History of Medicine, 1904, pp. 268–282, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1692237/pdf/medlibhistj00016-0051.pdf.
10. Mark, R. G. Telemedicine system: the missing link between homes and hospitals? Mod Nurs Home, 1974 Feb, 32, 2, pp. 39–42.
11. Murphy, R. L., Barber D., Broadhurst A., Bird K. T. Microwave transmission of chest roentgenograms. Am Rev Respir Dis, 1970 Nov, 102, 5, pp. 771–777.
12. Gale, G. W. Wants Plane To Change Weather Here, Greeley Daily Tribune, Greeley, Colorado, Mon, Nov 16, 1970, p. 47.
13. Basan, L., Lovdzhiev I. Metodika dlya issledovaniya po radio dykhaniya vo vremya truda i sportivnykh uprazhneniy//Fiziologicheskiy zhurnal USSR im.I.M.Sechenova.-1958.-№8.-p.773–775./ Басан Л., Ловджиев И. Методика для исследования по радио дыхания во время труда и спортивных упражнений, Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова, 1958, 8, с. 773–775.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ПРИЛАГАНЕ НА БИОФОТОНЕН МЕТОД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА САКРАЛНИ ЗОНИ В СМОЛЯНСКА ОБЛАСТ С ЦЕЛ СТАБИЛИЗИРАНЕ ПСИХО-ФИЗИОЛОГИЧНОТО СЪСТОЯНИЕ НА ОПЕРАТОРИТЕ НА ЕРГАТИЧНИ КОМПЛЕКСИ

Геннадий Маклаков[1], Надежда Георгиева[1], Момчил Караиванов[2]

[1]Научноизследователски център за биофотоника – Смолян, България
[2]Областна администрация Смолян
e-mail: gmaklakov@mail.bg; https://biophoton-research.eu

Ключови думи: *екология, сакрални зони, рехабилитация, психическо състояние, ергатични системи. биофотоника.*

Резюме: *Представени са резултати от проучвания за влиянието на сакрални места в различни точки на Родопите върху психофизиологичното състояние на човека. Използван е методът биофотонна визуализация. Идентифицирани са най-благоприятни места за профилактика и възстановяване психоемоционалното състояние на операторите на ергатични комплекси (авиация, космонавтика, АЕЦ и т.н.), изискващи от тях стабилна психика.*

APPLICATION OF BIOPHOTONIC METHOD FOR THE RESEARCH OF SACRAL ZONES IN THE SMOLYAN REGION WITH THE PURPOSE OF STABILIZING THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OF THE OPERATORS OF ERGATIC COMPLEXES

Gennadii Maklakov[1], Nadejda Georgieva[1], Momchil Karaivanov[2]

[1] Biophotonics Research Center – Smolyan, Bulgaria
[2]Regional administration of Smolyan
e-mail: gmaklakov@mail.bg; https://biophoton-research.eu

Keywords: *ecology, sacral zones, rehabilitation, mental state, ergatic systems. biophotonics.*

Abstract: *The results of studies of the influence of sacred places in different points of the Rhodopes on the psychophysiological state of man are presented. The biophoton visualization method was used. The most favorable places for the prevention and restoration of the psycho-emotional state of the operators of ergatic complexes (aviation, cosmonautics, nuclear power plants, etc.) requiring them to have a stable psyche have been identified.*

Въведение

Изследванията върху сакрални зони, представени в тази статия, са логично свързани с изследванията на околната среда, проведени от нас през 2015 г. и публикувани в материалите на межнародната научна конференцията "Космос. Екология. Сигурност" през 2016-2021 година [1 – 5]. Публикацията, която сега представяме, в частност може да се разглежда като продължение на другата ни тема от настоящия сборник [6] .

Отличителна черта в професионалната дейност на операторите на ергатични комплекси и специално на космическия персонал е високият риск от възникване на опасни за живота ситуации. Такива ситуации изискват изключителни психофизически качества, осигуряващи надеждно поведение и съответстващи действия. Неотложността на превенцията и необходимостта от ефективни методи за рехабилитация на операторите на ергатични

комплекси се подчертават в редица публикации, анализиращи ролята на човешкия фактор. Поради това няма нужда да се аргументира още веднъж значението на научните изследвания в тази област.

Ще изтъкнем отново обаче, че много належаща задача е разработването на ефективни методи за възстановяване психофизиологичното състояние на операторите на сложни ергатични системи.

В развитието на съвременната възстановителна медицина естествените фактори играят все по-голяма роля като средство за физиотерапия. Във връзка с това ще посочим, че многочислени публикации са посветени на благотворното влияние на сакрални места върху здравето на човека. В същото време са недостатъчни математическите изследвания за ефективността, с която влияят тези обекти върху психофизиологичното състояние след силни емоционални и информационни натоварвания.

Особеност на нашия подход е, че рехабилитационните свойства на сакрални зони се разглеждат от гледна точка на възможностите те да бъдат използвани за профилактика и възстановяване психическото състояние на човека в съвременни условия. Нашите проучвания по темата обхващат няколко района в България, но тук поставяме акцент върху характеристиката на сакрални зони в различни точки на Смолянска област.

Методика на изследванията

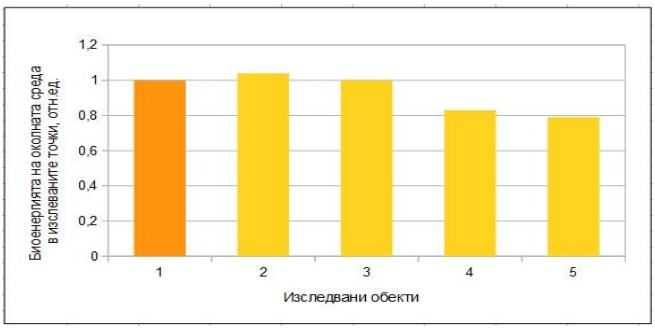
Изследванията ни за влиянието на екологията, в това число и на сакрални обекти, върху човека, бяха направени през 2015-2019 г. в Института по космически изследвания и технологии при БАН и продължени през 2020 г. в Научноизследователския център по биофотоника. За регистриране параметрите на хомеостазата и адаптационните ресурси на човека като особено ефективен метод избрахме биофотонната визуализация, известна още като метод газоразрядна визуализация (ГРВ).

Принципът на биофотонната визуализация и особеностите й в използването при изследване на околната среда са описани достатъчно подробно в наши публикации [1–5], обсъждани са в рамките на межнародната научна конференцията "Космос. Екология. Сигурност" и няма да бъдат цитирани тук. С няколко думи същността на този принцип е: оценяват се параметрите на околната среда посредством специални оптоелектронни сензори, а влиянието на околната среда върху човека – чрез компютърен анализ на изображение на пръстите на ръцете, заснето във високочестотно поле (ГРВ грами). При изследванията ни е използвана методика, подробно изложена в статията Маклаков Г., Георгиева Н., Караиванов М. “Влияние на водата като екологичен фактор върху състоянието на човека в Родопите“ (публикувана в сборника трудове от настоящата конференция).

Анализ на резултатите от изследванията

Изследвана беше биоенергията на пространството около няколко параклиса на територията на Смолянска област: параклис „Св. Спас” в м. Варадил край Смолян; параклис „Св. Спас” в м. Петровица при село Фатово; параклис „Св. Георги” над с. Полковник Серафимово; параклис „Св. Мина” край Чепеларе. През 2016-2017 г. в рамките на експедиция по екология на култови места в България получихме данни за много силна биоенергия в Бачковския манастир. Тези данни за удобство на сравнението при сегашния анализ приемаме за единица. Представени са на Фиг. 1.

Впечатлява фактът, че биоенергията при параклис „Св. Спас” в м. Петровица при с. Фатово и параклис „Св. Спас” в м. Варадил, практически не се различава от биоенергията в Бачковския манастир. Биоенергията около параклис „Св. Георги” над с. Полковник Серафимово и параклис „Св. Мина” е по-слаба от тази в Бачковския манастир примерно с 20%. При това като се вземе предвид, че в Бачковския манастир има голямо посещение, редовно се провеждат служби и други ритуали. Прието е да се смята, че ако в параклиса или черквата често се правят служби, биоенергията се засилва. В селата, близо до които се намират параклисите, подложени на анализ, жителите са малобройни, но въпреки това енергията на култовите места е силна. Възможно е тук думата да си казва правилният избор на мястото за построяване на параклисите - в места с по-силна биоенергия. Следва специално да отбележим, че анализът на бионергията в изследваните параклиси показва, че те се намират в зони с повишена енергийност, но тя има малко по-различен характер (друг спектър) и способства създаването на спокойствие и умиротворение.

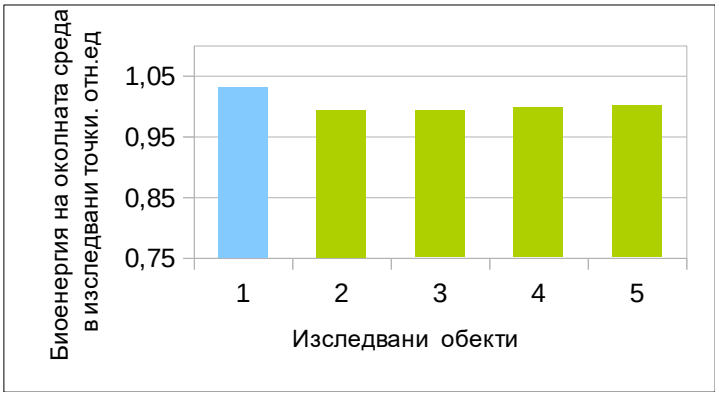


Фиг. 1. Биоенергия на околната среда в близост до няколко параклиса на територията на Смолянска област: 1 - Бачковски манастир, 2 - параклис „Св. Спас", м. Петровица при село Фатово, 3 - параклис „Св. Спас" в м. Варадил, 4 - параклис „Св. Георги" над с. Полковник Серафимово, 5 - параклис „Св. Мина" край Чепеларе

Представляват интерес резултатите от изследването на екологичното пространство на село Момчиловци. Както се знае, в Момчиловци произвеждат уникално кисело мляко, известно в чужбина. Поради този любопитен факт бяха проведени разширени изследвания на биоенергията в селото и околностите му. В статията тук са представени само някои резултати, получени при измерванията в сакрални обекти в Момчиловци.

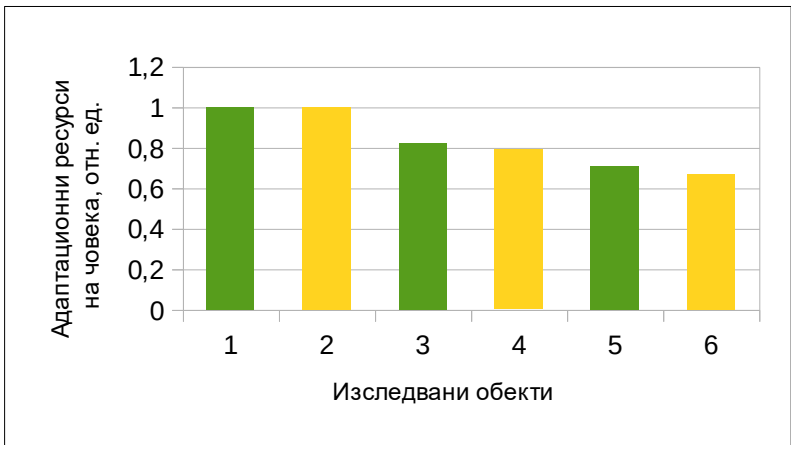
Ще отбележим първо, че е зафиксирано много интересно от научна гледна точка явление. Най-голяма стойност на биоенергията апаратурата регистрира в близост до храма „Св.св. Константин и Елена". В другите измервани точки обаче стойностите на биоенергията намаляват с по-малко от един процент. Средно с толкова биоенергията в Момчиловци се отличава от максималната стойност, регистрирана от нас във всички проучвания в Родопите (високопланинския район на Пампорово, Голямата ливада в района на Смолянските езера, Каньона на водопадите и т. н.). За удобство на сравнението величината на биоенергията в близост до черквата „Св.св. Константин и Елена" е приета за 100%.

На Фиг. 2 са представени резултати от изследванията на биоенергията на пространството в с. Момчиловци.



Фиг. 2. Биоенергия на околната среда в изследваните точки в Момчиловци: 1 - максимална стойност, регистрирана при всички, изследвани от нас места в Родопите; 2 - параклис „Св. Димитър"; 3 - аязмо „Св. Илия", 4 - гостилница «Момчиловски тайни»; 5 – черква „Св. св. Константин и Елена"

Както вече сме отбелязвали, биоенергията на пространството е обобщена характеристика на околната среда. Много различни фактори обаче влияят върху човека (геоложки аномалии, наличие на подземни източници на вода, ниво на аеройонизацията, състояние на заобикалящата гора и др.). Затова, за да оценим въздействието на околната среда върху човека, измерваме нивото на неговите адаптационни ресурси. Изследванията ни са върху възрастни хора. На Фиг. 3 са представени резултати от изследванията на адаптационните ресурси, типични за хора на възраст 70–75 години.



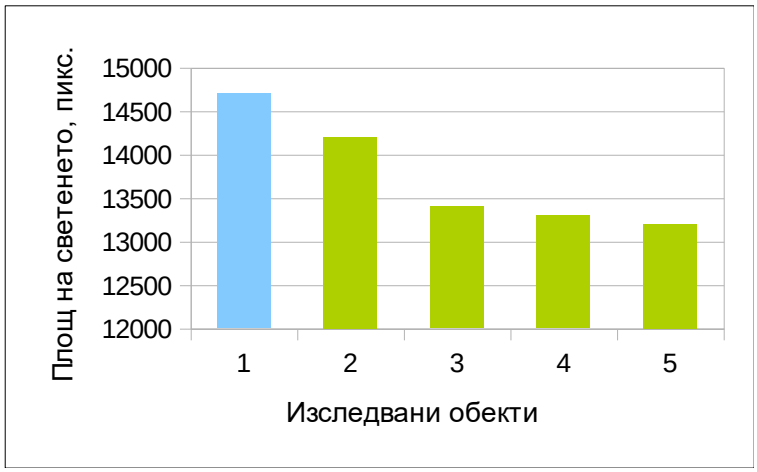
Фиг. 3. Адаптационни ресурси в изследваните точки (със зелен цвят са стойностите за мъже, с жълт – за жени): 1, 2 - гостилница «Момчиловски тайни»; 3,4 - параклис „Св. Димитър"; 5,6 - аязмо „Св. Илия

Най-голяма стойност на адаптационните ресурси е регистрирана в гостилница «Момчиловски тайни». Този факт предизвиква учудване, тъй като биоенергията във всички обекти е приблизително еднаква. Вероятно е да има въздействие на други фактори, които не сме отчели. Възможно е това да е употребата на местно кисело мляко или наличие на особено (изменено) състояние на съзнанието у изследваните хора, предизвикано от високи чувства. За обяснение на този феномен е необходимо провеждането на други, разширени изследвания. За удобство на сравнението регистрираната максимална стойност в гостилницата е приета за 100%.

Проучванията показват, че на всички изследвани места в селото има повишаване на човешките адаптационни ресурси. Удивително е, че благоприятният ефект на енергийното поле, какъвто регистрирахме в с. Момчиловци, е близък до въздействието в места, които се славят с положителното си влияние (и не случайно), като например Смолянските езера. Максимална стойност на увеличение на адаптационните човешки ресурси регистрирахме на езерата, в м. Голямата ливада, в района на хотел «Oak Residence». Забележително, че в с. Момчиловци тази стойност е по-ниска само с 4,6%.

Имаме основание да допуснем, че голямата стойност и своеобразният спектър на биоенергетиката в с. Момчиловци обуславят особените характеристики на киселото мляко, произвеждано в този район. Сравнението на биоенергийната ценност на момчиловското мляко с други български кисели млека, а също и с чуждестранни, потвърдиха високите биоенергийни параметри на този продукт. За съжаление тематиката на конференцията не позволява да се спрем по-подробно на това проучване.

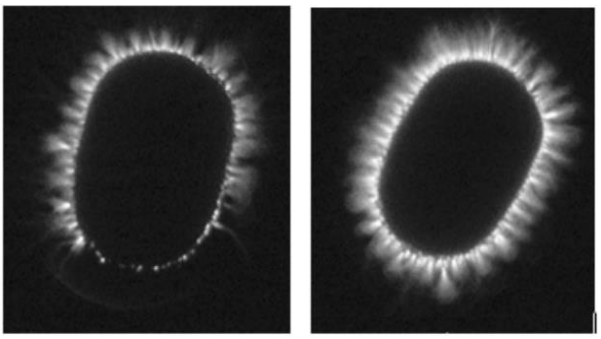
За онагледяване влиянието на сакрални обекти върху психофизиологичното състояние на човека представяме резултати от измерванията, извършени в: Бельова черква (Самоков), Бачковския манастир, черквата-костница „Св. Троица" и аязмото „Св. арх. Михаил" в околностите на Бачковския манастир. Както е известно, площта на светенето на ГРВ грамите много добре корелира с показателите за общо психофизиологично състояние на човека и може да бъде интегрален показател за състоянието му [1 – 5, 7]. От друга страна този показател добре отразява състоянието на хомеостазата на организма и се явява комплексна характеристика на неговите адаптационни ресурси. На Фиг. 4 е представено изменение на площта на светене на ГРВ изображенията в споменатите сакрални обекти.



Фиг. 4. Площ на светене на ГРВ грамите на обекти : 1 - Бельова черква (Самоков), 2 - Параклис „Св. Богородица" (Хасково); 2 – Аязмо „Св.арх.Михаил" (в околностите на Бачковския манастир).;
4 - Бачковски манастир, 3 - черква-костница „Св.Троица" (в околностите на Бачковския манастир).

Изследванията показват, че най-силно благотворно влияние върху човека има в Бельова черква. Незначително намаляване има в параклиса „Св. Богородица" в Хасково, само с 4%. Сакралните обекти в околностите на Бачково са примерно с еднакво равнище (около 10% по-ниско в сравнение с Бельова черква).

На фиг. 5 е представена ГРВ грама на четвъртия пръст на дясна ръка до и след пребиваването на човек в течение на два часа в Бельова черква. Измененията са видими даже с невъоръжено око.



Фиг. 5. ГРВ грама на четвъртия пръст на дясна ръка до (а) и след (б) пребиваването на човек в течение на два часа в Бельова черква (Самоков)

Следва да се подчертае, че значението на регистрираните при проучванията показатели, които представяме тук, могат да се отличават незначително в зависимост от точката на измерване, както в конкретни сгради, така и в конкретно място около сакрален обект. Следва също да се отбележи, че това е предварителен анализ и в този случай не са отчетени други важни показатели като ентропия и фракталност.

Заключение

Проучванията върху екологията на рекреационни зони в Смолянска област и въздействието им върху психосоматиката на човека показват, че мястото предлага уникални възможности за рехабилитация на психофизическото състояние. Голяма роля в този процес имат сакралните места. Анализът на бионергията в изследваните параклиси, черкви, манастири показва, че те се намират в зони с повишена енергийност. Тя способства създаването на спокойствие и умиротворение.

Специално може да се изтъкнат възможностите за природотерапия в село Момчиловци Съчетаването на уникалните природни фактори с високите биоенергийни свойства на киселото мляко може да окаже съществено влияние върху здравето.

Родопите без всякакво съмнение са подходящ район за възстановяване на психоемоционалното състояние на хора, заети в критични производства, изискващи от тях

стабилна психика (авиация, космонавтика, АЕЦ и т.н.). Използването на природните фактори за възстановяване на здравето би довело до осезателно подобряване на работоспособността и увеличаване на творческия потенциал. Направените изследвания с техните констатации могат да предложат ефективно решение за лечебно-оздравителните процедури за работещите в сложни системи. Подчертаваме съзнателно необходимостта от стабилизирне на психическото състояние, което е изключително важно - особено в настоящия момент при глобална нестабилност, при несигурна политическа и икономическа обстановка.

Природотерапията, съчетана с пребиваването в сакрални места, е все още недобре оползотворена. Смятаме, че тя ще се развива в бъдеще. За нейното прилагане обаче е важно сакралните зони да се оценяват обективно, за да се използват най-благоприятните от тях за рехабилитация. За мониторинг на рекреационни зони в Родопите по целесъобразност наред с класическите биофотонни методи за оценяване на психофизическото състояние могат да бъдат приложени специално разработени методи, с каквито ние си служихме.

Благодарности

Изказваме искрена благодарност на инициатора и организатора на проучванията - зам.-кмета на гр. Смолян Марин Захариев, благодарение на чиято подкрепа стана възможно да се проведат тези изследвания. Особено искаме да благодарим също на кмета на с. Момчиловци г-жа Сийка Суркова, на г-жа Мария Цветкова от същото село и на г-н Рубин Хаджиев.

Литература:

1. Маклаков, Г., Н. Георгиева, М. Караиванов. Приложение на биофотонната визуализация за мониторинг на рекреационни зони в Родопите и въздействието им върху психосоматиката на човека. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020. С. 298–303.
2. Маклаков, Г., М. Караиванов. Изследване на биоенергийни зони в Родопите по метода биоелектрография. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурноси “SES-2019”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2019. С. 287–292.
3. Маклаков, Г., Н. Георгиева, Е. Малев. Изследване на перспективни рекреационни зони в България за рехабилитация и профилактика чрез хронофизиотерапия на работещи в аерокосмическия отрасъл. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурноси “SES-2018”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2018. С. 335–340.
4. Маклаков, Г., Н. Георгиева. Приложение на метода газоразрядна визуализация за изследване на перспективни рекреационни зони в Крушунския край (България). // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурноси “SES-2017”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2017. С. 255–261.
5. Маклаков, Г., Н. Георгиева. Възможности за използване на ГРВ технологията за мониторинг на околната среда. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност. “SES-2016”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2016. С. 327–334.
6. Маклаков, Г., Н. Георгиева, М. Караиванов. “Влияние на водата като екологичен фактор върху състоянието на човека в Родопите“ (публикувана в сборника трудове от настоящата конференция).
7. Коротков, К. Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб, Изд. СПбГИТМО, 2001.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ И КОСМОС

Маргарита Димитрова, Аделина Митева

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: maggy.pd@gmail.com; ad.miteva@gmail.com

Ключови думи: *материали, космическо материалознание, нанотехнологии, перспективни материали, космическо пространство, метални сплави, функционално градиентни материали (FGM), приложения на материали*

Резюме: *Днес, без материалите и материалознанието, както и без космическите технологии, е невъзможна почти цялата човешка дейност, включително изследването и развитието на близкия и далечен космос. Тази статия предоставя кратък преглед на ролята на материалите и космическото материалознание в темата за космоса. Дадени са някои конкретни примери, както и материали с настоящи и възможни бъдещи приложения. Представени са и някои български разработки.*

MATERIALS SCIENCE AND SPACE

Margarita Dimitrova, Adelina Miteva

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: maggy.pd@gmail.com; ad.miteva@gmail.com

Keywords: *materials, space materials science, nanotechnology, promising materials, outer space, metal alloys, functionally graded materials (FGM), applications of materials*

Abstract: *Today, without materials and materials science, as well as without space technologies, almost all human activity is impossible, including the exploration and development of near and far space. This article provides a brief overview of the role of materials science and space materials science in space topics. Some specific examples are provided, as well as material with current and possible future applications. Some Bulgarian developments are also presented.*

Въведение

Материалите наистина „задвижват“ нашето общество. Без материали всяка човешка дейност е практически невъзможна, в това число изследването и усвояването на космоса. От своя страна развитието на космонавтиката също води до развитие на техниката, технологиите и нови материали, което се основава на знанията за свойствата на материалите.

85% от откритията в историята на човечеството са направени въз основа на открития в областта на материалите.

В Българската академия на науките (БАН) има 10 научни направления, в които са включени 54 научни института. В направлението “Нанонауки, нови материали и технологии” са включени най-голям брой институти, единадесет на брой. И това е без да споменаваме, че във всички други направления и институти на БАН, учените също, в различна степен, се занимават с изучаване и изследване на материали. В нашия институт – ИКИТ-БАН, положението е също точно такова. В ИКИТ имаме секция “Космическо материалознание”.

Проектирането, създаването, изстрелването и експлоатацията на космическите апарати е невъзможно и немислимо без знанието и широкото използване на свойствата на материалите и резултатите от космическото материалознание. Космическото материалознание [1, 2] най-общо се занимава с експерименталното и теоретично изследване на процесите протичащи в материалите и елементите на оборудването на космическите апарати (КА) под влияние на

факторите на космическо пространство (ФКП); разработване на методи за увеличаване на издръжливостта и подобряване на свойствата на материалите и бордовите системи на КА към въздействието на ФКП; израстване на бездефектни кристали и получаване нови или с подобрени свойства вещества в безтегловност.

Развитието на космическата техника изисква нови материали, които трябва да издържат дълго време на тежките условия на работа в космоса (натоварванията по време на космическия полет, вибрационни натоварвания, големи температурни разлики, налягания, вакуум, радиация, метеорити, комети, астероиди и др.), както и да са устойчиви на повреди, да са леки, издръжливи, рентабилни, да имат високо съотношение на якост към тегло и висока корозионна устойчивост. По нататъшното усвояване на космоса и развитието на космическите технологии (изграждане на космически станции на Луната и експедиции до Марс) днес са с висш приоритет. Реализацията на такива огромни проекти изисква нови материали и технологии за по-ефективно преобразуване на химическата и слънчева енергия, за поддържане на живота на космонавтите и за защита на оборудването и хората в космическите системи.

Фактори, влияещи върху КА по време на експлоатацията им

Факторите на космическо пространство (ФКП), които оказват влияние върху свойствата и работата на КА, както и на материалите, от които са направени, по време на експлоатацията им са много и разнообразни [3]. Например ФКП са и различни на различните етапи от експлоатацията им.

По време на съхранение, транспортиране и подготовка за изстрелване:
- статични и динамични натоварвания,
- корозия,
- криогенни температури,
- изтичане на материали към компонентите на горивото.

При извеждане на орбита:
- вибрации,
- ударни и линейни претоварвания,
- аеродинамично нагряване,
- акустичен шум.

По време на орбиталния полет:
- вакуум,
- високи и криогенни температури,
- електромагнитно излъчване,
- корпусколярни потоци и микрометеорити,
- безтегловност и други фактори на космическото пространство.

В зоната на спускане и кацане:
- претоварвания,
- високи температури.

КА са подложени и на фактори като:
- газова и механична ерозия,
- радиационно въздействие,
- корозия,
- абразивно и адхезивно износване.

Основни изисквания към материалите на ракетите - носители и КА са:

- високи механични свойства,
- високи специфични механични свойства,
- топлозащитни и топлоизолиращи свойства,
- устойчивост на износване, нисък коефициент на триене,
- топлоустойчив,
- труднотопим,
- якост при ниска температура,
- термична стабилност,
- радиационна издръжливост,
- радиационно- защитни свойства,
- магнитни и електрични свойства,
- ниска аблация,
- запазване на оптичните свойства.

Основни материали, използвани при производството на ракети - носители и КА

Средно, при производството на ракети и КА (космически апарат/и), се използват около 100 марки стомани и сплави на Fe основа; 50 марки сплави на цветни метали и 300 марки пластмаси и полимерни композиционни материали.

Използваните метални материали са главно:

- Стомани – неръждаеми, топлоустойчиви, конструкционни;
- Сплави на цветни метали – алуминиеви, титанови, медни, циркониеви, ниобиеви, Mg;
- Псевдосплави – волфрам-мед,волфрам-сребро, берилий-алуминий, берилий-титан, мед-графит.

Използваните полимерни материали са основно:

- Композитни материали
- - с полимерна матрица;
- - с керамична матрица;
- - въглерод-въглерод;
- - с метална матрица;

- Керамични материали и покрития.

Според предназначението си всички материали за КА се разделят на две групи: конструктивни и функционални. Конструктивните материали са предназначени за производството на елементи, които възприемат механични натоварвания. Такива елементи осигуряват необходимата здравина на космическия апарат/кораб и поддържат конфигурацията му при работни условия и служат за монтиране на други елементи и възли върху тях, в резултат на което често се наричат носещи или силови конструктивни елементи. Като конструктивни материали най-често се използват метали, сплави и различни композитни материали.

С помощта на функционалните материали, с определени физични и химични свойства, на продуктите се придават необходимите експлоатационни характеристики и се решават различни технически и технологични проблеми. Обхватът на функционалните материали за КА е много широк. Те включват електрически материали, материали за микроелектроника и сензорни технологии, оптични материали, съединения и уплътнители, бои и лакове, специални покрития, нанесени върху повърхността на конструктивни материали и др.

Разновидност на функционалните материали са така наречените "интелигентни" материали, които могат да променят свойствата си в съответствие с промените в условията на работа. Например, интелигентните оптични материали могат да променят своята прозрачност в зависимост от осветеността, докато електрическите материали могат да променят своята проводимост и магнитни свойства, когато външните електрични и магнитни полета се променят. В някои случаи едни и същи материали могат да се използват както като конструктивни, така и като функционални. В допълнение, някои интелигентни материали в определени приложения очевидно трябва да се считат за конструктивни. Пример за това е използването на сплави с памет на формата за разполагане на антени на КА.

Наноматериалите, поради своите уникални свойства и разнообразие, намират и със сигурност ще продължат да намират разнообразни приложения във всички области на усвояването на космоса и направата на КА. Например днес осветлението в космоса и във всички КА е на основата на светодиоди. А съвременните светодиодите (LED), които са нанопродукт в чист вид, са направени на основата на полупроводникови хетероструктурни материали [4].

Полимери и полимерни нанокомпозити – те са сред обещаващите материали за използване в космическите технологии. Възможността за създаване на леки полимерни нанокомпозити с висока якост и топлоустойчивост, както и необходимите електрически, оптични и други характеристики ги прави подходящи за използване както като конструктивни, така и като функционални материали на космически кораби (КА).

Съвременната тенденция към миниатюризация на космическите апарати (виж табл. 1) допълнително стимулира внедряването на нанотехнологиите в космическите материали и технологии.

Полупроводниковите наноматериали и хетероструктури с квантови ями с техните приложения в конструирането на различни електрооптични устройства намират широко приложение в електрониката, използвана в КА. Промени в електрооптичните свойства на тези материали се предизвикват под въздействието на външно постоянно електрическо поле, т. нар. квантово размерен Щарк ефект (QCSE). QCSE е намерил практическо приложение в ултрабързата оптоелектроника, електро-абсорбционни модулатори, в областта на

телекомуникациите, както и в такива устройства, като соларни клетки, регулируеми полупроводникови лазери и т.н. [5].

Таблица 1. Миниатюризация на космическите апарати [6]

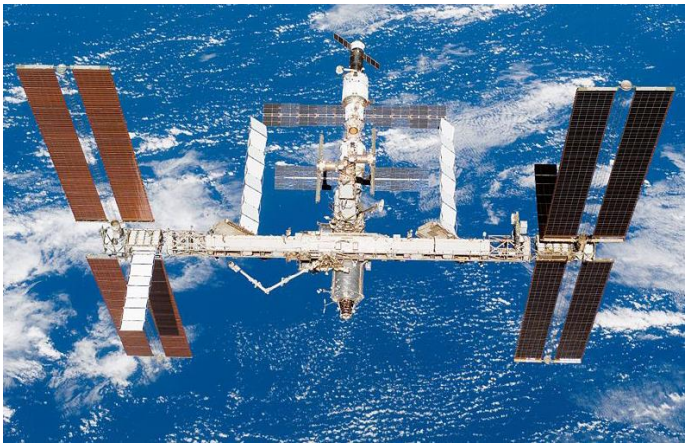
Наименование	Маса, kg
Миниспътник	500 – 100
Микроспътник	100 – 10
Наноспътник	10 – 1
Пикоспътник	под 1

В днешно време функционално градиентните материали (FGM) представляват голям фундаментален и експериментален интерес. Това се дължи главно на тяхното значение като действащи и потенциални приложения като материали и устройства. Основната сфера на използване на FGM са материали и устройства, работещи в екстремни условия (големи градиенти на температура, механично натоварване и др.), като аерокосмическата област. FGM притежават много високо съпротивление на топлинния градиент, което ги прави подходящи за термична защита на космически превозни средства, за използване в конструкции и материали за корпуси на КА, компоненти на ракетни двигатели и са обещаващи в по-широки области на аерокосмическата индустрия [7, 8].

Например космическата совалка използва керамични плочки като термична защита от топлината, генерирана при повторното влизане в земната атмосфера. Въпреки това, тези плочки са склонни към напукване на повърхността на повърхността на плочките поради разликите в коефициентите на топлинно разширение. FGM, изработен от керамика и метал, може да осигури термична защита и способност за носене на натоварване в един материал, като по този начин елиминира проблема с напуканите плочки, открити на космическата совалка.

Сплави, използвани в космическата техника и в КА

Металните сплави са основните конструктивни материали използвани в създаването на продукти за ракетната и космическа техника. Металните сплави са по-устойчиви на радиационно увреждане от много други твърди вещества. Специалните стомани са много използвани за КА. Те са по-устойчиви на вибрации и на топлина, по-евтини са и са от голямо значение за структурата на изстрелваниа КА. Недостатъкът е, че са по-тежки от алуминия. Повишаването на изискванията към свойствата на авиационните материали и КА, доведе до бързото развитие на техниката и технологията на производство на леките сплави. Към конструктивните леки сплави, използвани в техниката на летателните апарати, се отнасят сплавите на основата на метали, чиято плътност е по-ниска от тази на желязото. Това са алуминиевите , магнезиевите, берилиевите и титановите сплави, металните композити.



Фиг. 1. Международната космическа станция (МКС), маса ~ 400 т
размер ~ 100 m

Структурната обшивка на всички модули на Международната космическа станция (виж Фиг. 1) е изградена от алуминиевите сплави AA7075 или AA2219.

Изучаването на космоса и необходимостта от нови материали, които да издържат на условията в откритие космос, без да губят функционалността си, доведе до създаването на нов

вид алуминиев композит в нашата секция “Космическо Материалознание” към Институт за космически изследвания и технологии – БАН [9, 10]. Това е материал на алуминиева основа, а именно - високояка алуминиева сплав В95 (7075) с количествена добавка на ултрадисперсен диамантен прах /УДДП/ и волфрам /W/. Високояката алуминиева сплав В95 (7075), наред с алуминиевите сплави от сериите 7ххх и 2ххх, са най-използваните и разпространени сплави, които се използват за производството на високояки конструкции, работещи в екстремални условия.

Най-перспективните в момента метални сплави за потенциални приложения във всички области, включително и в космическата, са сплавите с висока ентропия (HEA) [11 и цитираната там литература]. Те притежават превъзходни механични, термични и окислителни свойства, надвишаващи тези на конвенционалните сплави. HEA имат изключителна якост, сравнима с някои метални стъкла, а и с тази на структурната керамика, което се дължи на простите твърди разтвори, които образуват. В допълнение към високата якост, всички HEA се характеризират с висока твърдост в отлято и отгрявано състояние. Идеята за HEAs заема едно от централните места в съвременното материалознание. Засега няма причина да се твърди, че HEAs ще заменят традиционните сплави във всяка индустрия. Всички налични данни и тенденции показват, че бързото развитие на този клас материали ще продължи и през следващите десетилетия.

Ситуация в момента и изводи

Изучаването на космоса винаги е било силно политизирано, но винаги свързано с материалите. Достатъчно е да си припомним първия изкуствен спътник на Земята (направен от алуминиева сплав), първия полет на човек в космоса, стъпването на човек на луната, изпращането на човек в космоса от Китай и т.н. Но МКС (Международната Космическа Станция) бележи реално сътрудничество в космоса, заради получаването на резултати в космоса. На МКС бяха получени ценни знания за поведението на някои материали в космоса, в това число и за алуминиевата сплав, описана по-горе. Но засега, през 2024 г. РФ ще напусне МКС. Това безусловно изглежда като разпадане на международното сътрудничество или в него ще има пауза. Но в него могат да се включат новите космически страни – Китай, Индия или Япония.

Развитието на съвременното общество е немислимо без широкомащабното използване на космическите технологии. Космическата технология също играе огромна роля във фундаменталните научни изследвания. Съвременни постижения в космическото материалознание и резултатите от бъдещите изследвания в тази област със сигурност ще се превърнат в солидна основа за по-нататъшно усъвършенстване на космическите технологии.

През този век световната общност се стреми да реализира редица големи космически проекти, включително пилотиран полет до Марс, полет на група автоматични космически кораби до Юпитер с кацане на някои от неговите спътници, строителство на дългосрочно обитаеми бази на Луната. Последното трябва да играе важна роля не само в извършването на фундаментални изследвания, но също така и в развитието на минералните ресурси на Луната. Планира се създаването на големи енергийни и производствени комплекси в околоземни орбити.

Успехът на текущите космически програми и изпълнението на перспективните проекти до голяма степен зависят от надеждността и експлоатационен живот на КА. Много от КА, които в момента са в процес на разработка трябва да функционират безупречно в продължение на 15–20 години, а за някои перспективни продукти на космическите технологии, например, като слънчеви космически електроцентрали, трябва да се гарантира тяхната рентабилност да бъде 25–30 години.

От решаващо значение за осигуряване на дългосрочната работа на КА играе издръжливостта на материалите, използвани при създаването им и елементите на оборудването към ефектите на околното пространство. Съгласно експертните оценки повече от половината повреди и неизправности в работата на КА са резултат от неблагоприятни въздействия на околната пространствена среда.

Космическото материалознание, възникнало като самостоятелно научно направление преди половин век, продължава динамично да се развива и обогатява, опирайки се на най-новите достижения във всички научни области. Без развитие на космическото материалознание няма прогрес. Специалистите професионалисти в областта на космическото материалознание винаги ще имат работа и ще са ценни кадри за всяка страна.

Постиженията на космическото материалознание и въвеждането на нови материали дават основание да се твърди, че ракетите и космическите кораби и апарати в близко бъдеще ще стават все по-леки, по-надеждни и по-многофункционални.

Литература:

1. Акишин, А. И. Космическое материаловедение. - М: НИИЯФ МГУ, 2007.
2. Пашаев, А. М., А. Х. Джанахмедов и Т. Г. Джаббаров. Авиационное материаловедение. Баку: Апострофф, ISBN 978-9952-404-12-8, 2016.
3. Miteva, A. M., Z. K. Karaguiozova, A. Ciski and G. Cieślak. The environmental conditions in the neighbourhood and on the surface of the international space station: part one, Science. Business. Society. 3(3), 2018, pp. 111–114.
4. Miteva, A. and V. Stoyanova. The semiconductor heterostructures in LEDs (light-emitting diodes) – space applications, Proceedings of the Tenth Scientific Conference with International Participation “Space, Ecology, Safety” (SES’2014), ISSN 1313-3888, 2015, pp. 489–496.
5. Miteva, A. On the main application properties of the Quantum Confined Stark Effect, International Virtual Journal “Machines, Technologies, Materials”, ISSN 1313-0226, 8(4), 2014, pp. 19–22.
6. Мардиросян, Г. Въведение в космонавтиката. Академично издателство “Проф. Марин Дринов”, София, 2012. ISBN 978-954-322-519-4
7. Miteva, A. An overview of the functionally graded materials, International Virtual Journal “Machines, Technologies, Materials”; Publisher: Scientific-technical union of mechanical engineering; ISSN 1313-0226, Year VIII, Issue 3, 2014, pp. 13–16.
8. Bouzekova – Penkova, A., A. Miteva. Aluminium-based functionally graded material, Proceedings of the fourth national conference with international participation “Material science, hydro- and aerodynamics and national security’2014”, 23-24 October 2014, Sofia, ISSN 1313-8308; 2014, pp. 145–151.
9. Bouzekova-Penkova, A., M. Datcheva, R. Iankov. Mechanical properties of the enhanced with nanodiamond and tungsten strengthened aluminium alloy being exposed in the Outer space, International Journal “NDT Days”, II (4), 2019, pp. 396–401.
10. Bouzekova-Penkova, A., P. Tzvetkov. Investigation of outer space influence on structural properties of strengthened 7075 aluminum alloy. Experiments onboard the International Space Station (ISS), Comptes rendus de l’Académie bulgare des Sciences, 72(7), 2019, pp. 939–946.
11. Митева, А. Високоентропийни сплави – представа, свойства, потенциал, Материали от Годишна университетска научна конференция на НВУ „Васил Левски“, проведена от 30 юни до 1 юли 2022 г. в гр. Велико Търново, 2022; Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”; научно направление „Технически науки”; ISSN 2367-7481; 2022, с. 1453–1459.

Session 3

Remote Sensing and Geoinformation Systems

Chairman: Prof. Lachezar Filchev
Secretary: Chief Assistant Milen Chanev

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ANALYSIS OF URBAN HEAT ISLAND (UHI) THROUGH CLIMATE ENGINE AND ARCGIS PRO IN DIFFERENT CITIES OF BULGARIA

Paraskevi E. Gkatzioura[1], **Konstantinos Perakis**[2]

[1,2] *Laboratory of Informatics in Spatial Planning, Department of Planning and Regional Development, University of Thessaly*
e-mail: evitagkatz@gmail.com

Keywords: *Urban Heat Island (UHI), Climate Engine (CE), Land Surface Temperature (LST), NDVI, remote sensing*

Abstract: *The increasing temperature of the atmosphere, combined with the earth's surface temperature, will be the main factor in the global climate crisis. Since the second half of the 20th century, the rapid urbanisation of cities, combined with technological development, human wellbeing, and general population growth, has been directly linked to cities' economic development and sustainability.*

This research aims to analyse the correlation between the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) using Climate Engine (CE) tool and ArcGIS Pro GIS software. In addition, Landsat 5/7/8/9 Top of Atmosphere Reflectance Data was used over the period 2012 – 2017 for five cities in Bulgaria. Climate Engine is an online platform to process observation data for getting economic and environmental sustainability directions. The correlation from the above spatial research of Bulgarian cities indicates how to manage the UHI (Urban Heat Island).

Introduction

Air temperature increase in combination with Land Surface Temperature (LST) increase is two of the main factors of environmental crisis (Mustafa et al., 2020). Furthermore, the intensification of urbanisation combined with technological development and human well-being has been the most defining global challenge of the 21st century to ensure population needs and urban economic development (Rimal et al., 2018).

As urban areas develop, heatwaves are trapped among tall and narrowly placed buildings, carbon emissions rise from anthropogenic and productive activities within cities (Ahmed Memon et al., 2008) and urban vegetation decreases. Water demand becomes more intense in order to cover human needs, facing stressful thermal conditions and water urban plants (Takebayashi & Moriyama, 2012). As a result, regional temperatures are increased (Guha et al., 2018), and urban areas behave as Urban Heat Islands (UHI) (Sheng et al., 2017).

UHI refers to the difference in air temperature between a city and its surrounding rural areas especially at night. When the sun goes down, surfaces stop receiving solar energy as long as they continue to radiate the heat stored during the day. Howard firstly observed the phenomenon of UHI in 1833 (Oke, 1982) for the city of London (Mills, 2008) and after a large number of studies being made for different cities around the world (Aflaki et al., 2017; García, 2022; Papamanolis et al., 2015; Sarkar & de Ridder, 2011; Wang et al., 2019) in different time periods. Studying the urban head islands for mitigation, and its effects means more urban green spaces (Ouali et al., 2018), retrofitting buildings and urban spots such as squares, sidewalks with cool pavements (Battista et al., 2020), alerting communities when and where heatwaves are coming.

Analytical studies have been carried for urban hot spots include analysis of remote sensing data from different sensors, data analysis from located temperature measurement stations or analysis by in situ measurements. In addition, in many studies, one way to approach the intensity of the phenomenon is to study the correlation LST with some land use/land cover (LU – LC) spectral indices (Espinoza-Molina et al., 2022; Galodha & Gupta, 2021; García, 2022; Laosuwan & Sangpradit, 2012; Macarof & Statescu, 2017).

Bulgarian urban areas, especially those in Sofia city, were distinguished for green spaces. Urban vegetation in the capital of Bulgaria covered 48,6% of the land cover with the Vitosha mountain in the southwest of the city center (Kopecka & Oťaheľ, 2016). Research for Sofia city has proved that there exists an essential heterogeneity because of different types of land cover. Temperature

measurements showed a different profile in the West-East and South-North directions. Sofia city is warmer than its neighboring rural areas by 8° C and the higher land surface temperatures are near the city center (Yanev & Filchev, 2017).

Another interesting attempt was made in Sofia using data from Unmanned Aerial Systems (UAS) data in combination with local climate zones (LCZs). It has been confirmed that as urban vegetation increased, surface temperatures decreased and as built-up areas increased, surface temperatures increased (Dimitrov et al., 2021). As a result, UHI intensity is related to land cover, green, water and built-up areas ((Nuruzzaman, 2015). Vegetation indices e.g. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Difference Vegetation Index (DVI), Enhanced Vegetation Index (EVI) (Xue & Su, 2017) studies, evaluate plant growth and measure vegetation cover.

NDVI is one of the most popular vegetation indices. It is an indicator of vegetation health based on how plants reflect the electromagnetic spectrum (Schinasi et al., 2018). In order to calculate NDVI values, we use vegetation absorption and reflection in the range of red and near – infrared (NIR) wavelengths.

$$\text{NDVI} = {(NIR - Red)}/{(NIR + Red)}$$

Values between -1 and 0 indicate dead plants or inorganic objects such as built-up areas and values for live plants range between 0 to 1 – with one being the healthiest (Sileos, Alexandridis, et al., 2013).

In the present study, the spatial distribution of LST and the correlation between LST and NDVI have been analyzed in inland and coastal cities.

Study Area and Data

LST and NDVI values were extracted, corresponding to the five most prominent cities of Bulgaria (Sofia, Plovdiv, Varna, Burgas, Ruse) according to the population distribution. Sofia is the capital city of Bulgaria and Plovdid is the second-largest city which stands out for its historical and geophysical character. Varna city is located in the north part of Bulgarian Black Sea Coast, and Burgas city is in the south.Finally, Ruse city is in northern Bulgaria on the South bank of the Danube.

In the present study, the annual median of the LST through Climate Engine (CE) from the Landsat 5/7/8/9 Top of Atmosphere Reflectance Data at 30m for every year between 2012 and 2017 over the Regions of Interest (ROI) were used. In addition, the annual median values of NDVI were calculated for the same ROIs and during comparable periods.

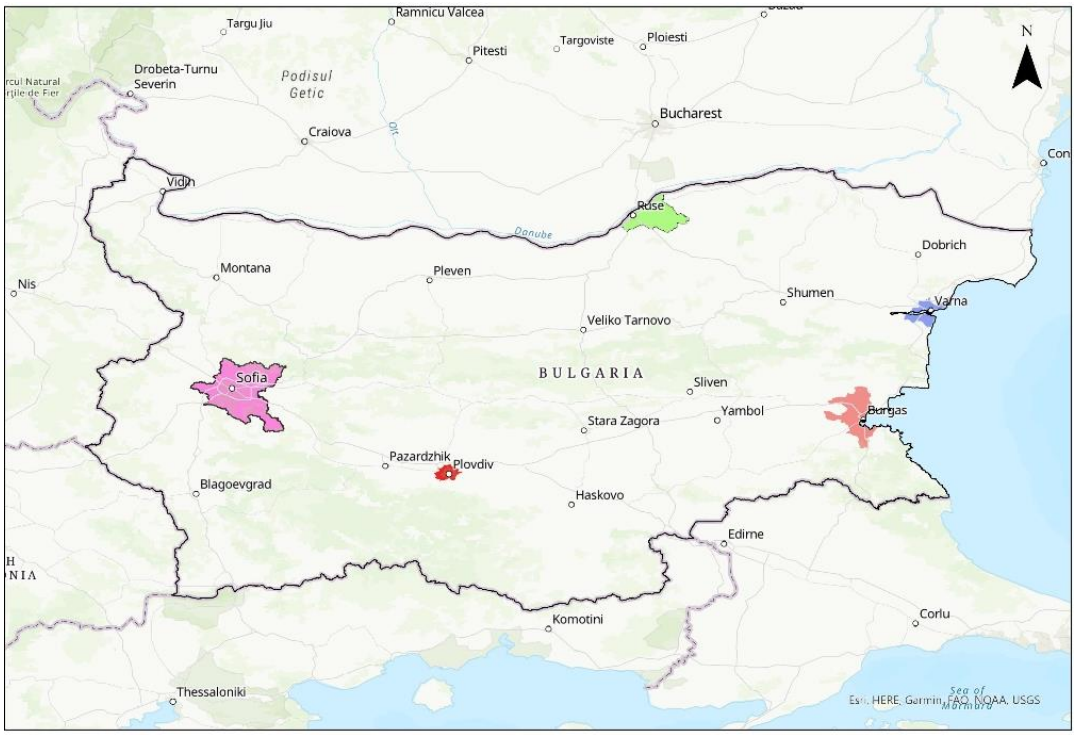


Fig. 1. Study Area with selected ROIs

Methodology & Results

The following methodology carries out a correlation analysis between the Land Surface Temperature (LST) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) through Climate Engine (CE) and ArcGIS Pro. *Climate Engine* is a web application, based on cloud computing technology that provides ready-to-use remote sensing data for analysis, visualization and monitoring of environmental and climate change without storage and cost limitations (Huntington et al., 2017). ArcGIS Pro 3.0 was used to study the correlation between LST and NDVI values.

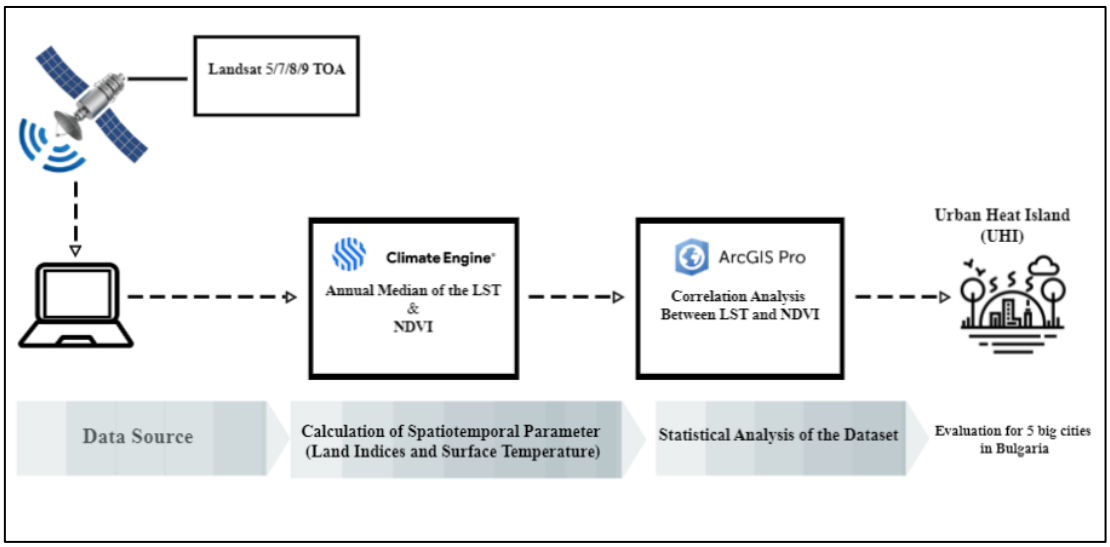


Fig. 2. Methodology flow chart for the study

According to NDVI temporal series shown in Fig. 3, a periodicity in NDVI values appears obvious. Comparing the Figure of NDVI values below with the Figure 4 of Land Surface Temperature (LST), we observe that the minimum and maximum values appeared at the same period as the corresponding NDVI minima and maxima. Figures 3 and 4 show the results corresponding to Burgas city. The conclusion is that a correlation between temperature and NDVI exists. Additionally considering the existing correlation of NDVI and LST we can distinguish that the minimum LST values correspond, more or less, to the minimum NDVI values.

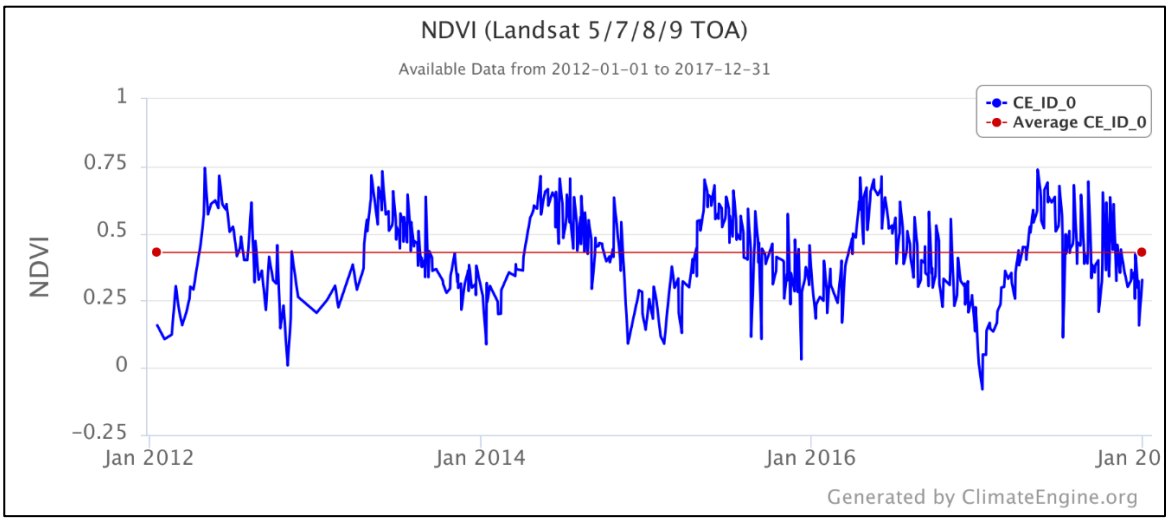


Fig. 3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series for Burgas city over the five year period 2012-2017

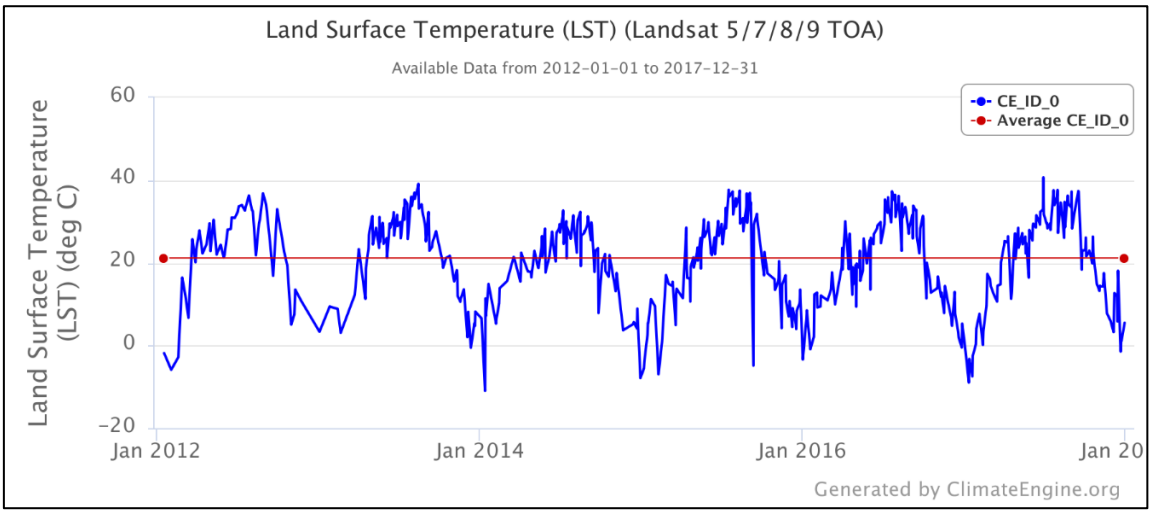


Fig. 4. Land Surface Temperature (LST) time series for Burgas city over the five year period 2012-2017

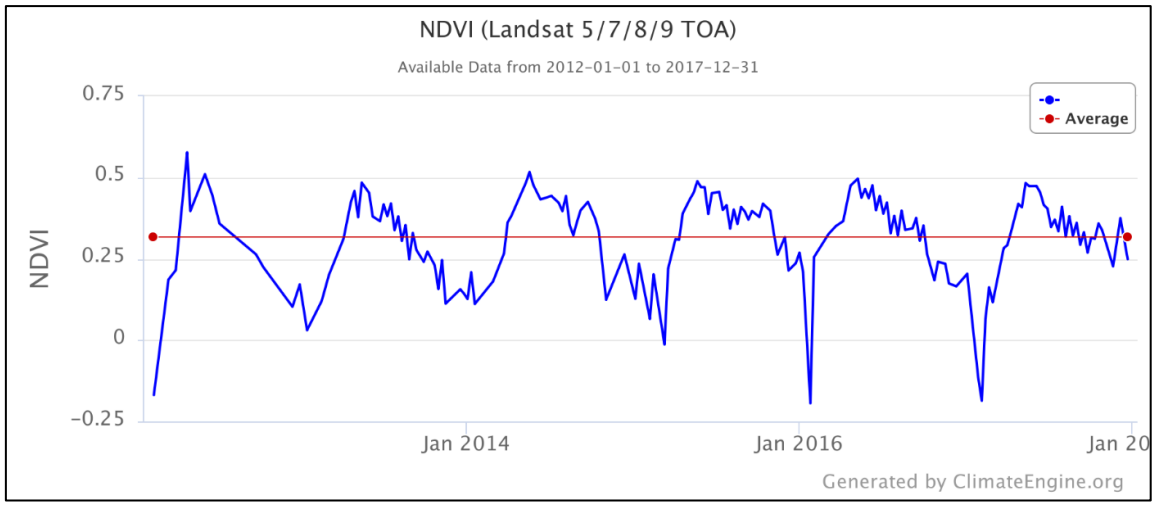


Fig. 5. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series for Plovdiv city over the five year period 2012-2017

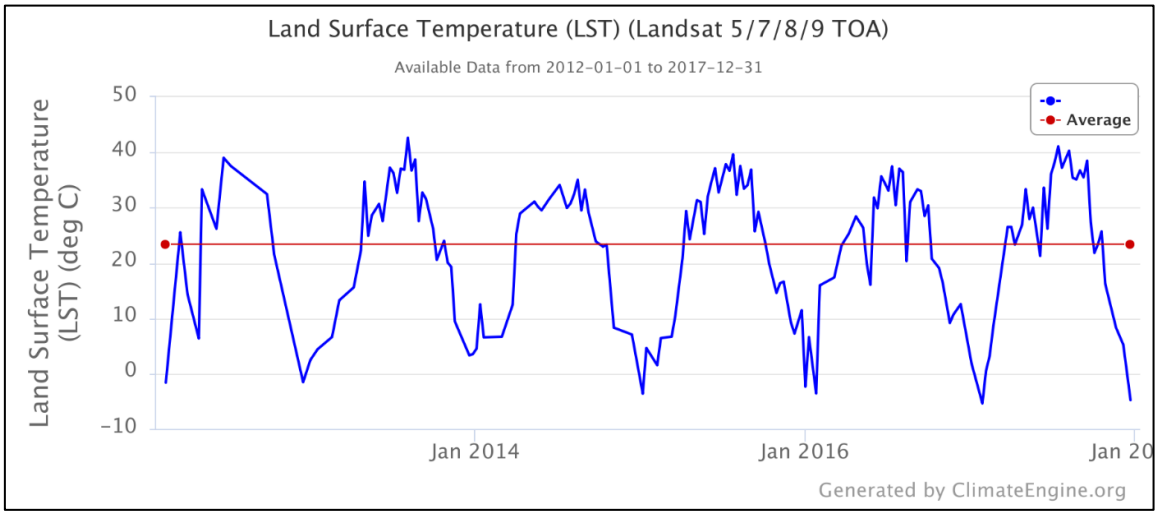


Fig. 6. Land Surface Temperature (LST) time series for Plovdiv city over the five year period 2012-2017

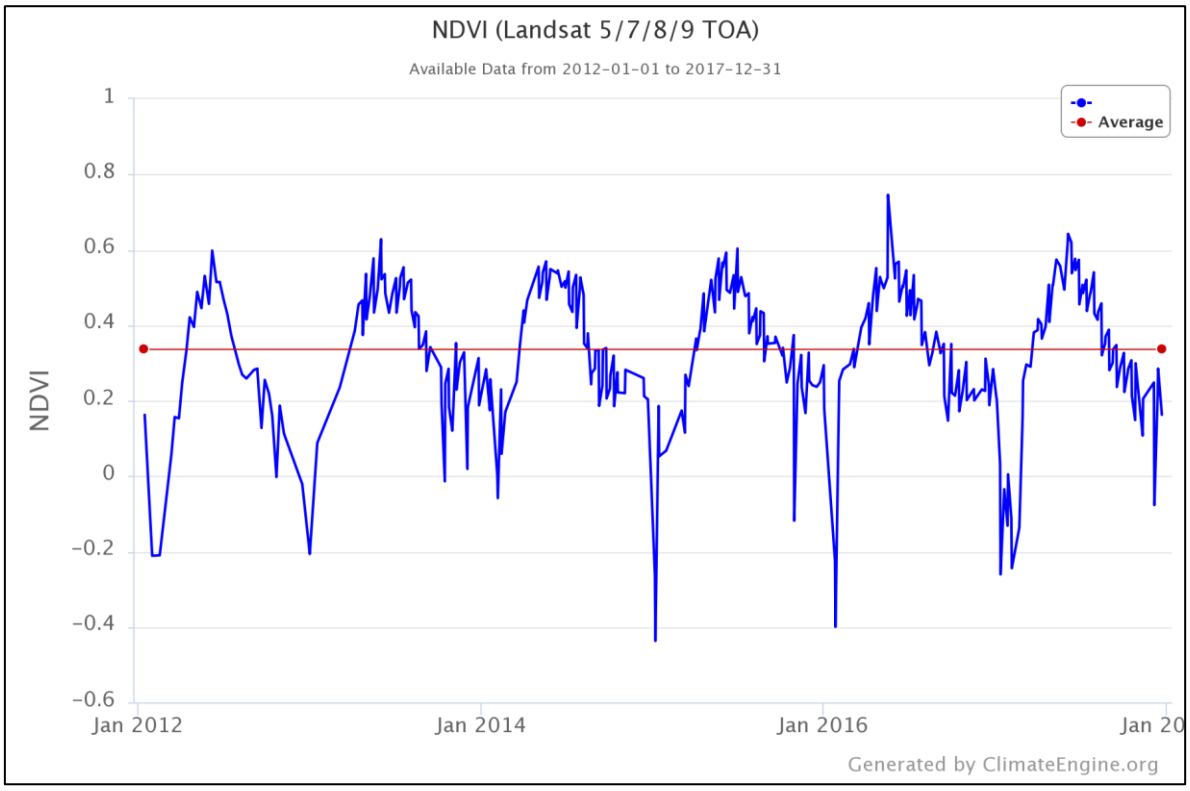


Fig. 7. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series for Ruse city over the five year period 2012-2017

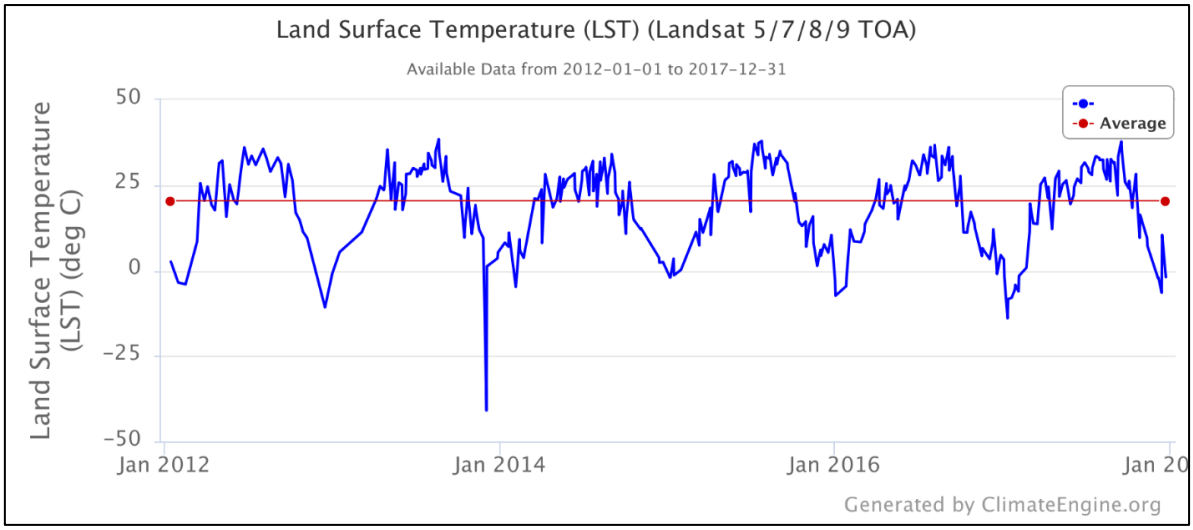


Fig. 8. Land Surface Temperature (LST) time series for Ruse city over the five year period 2012-2017

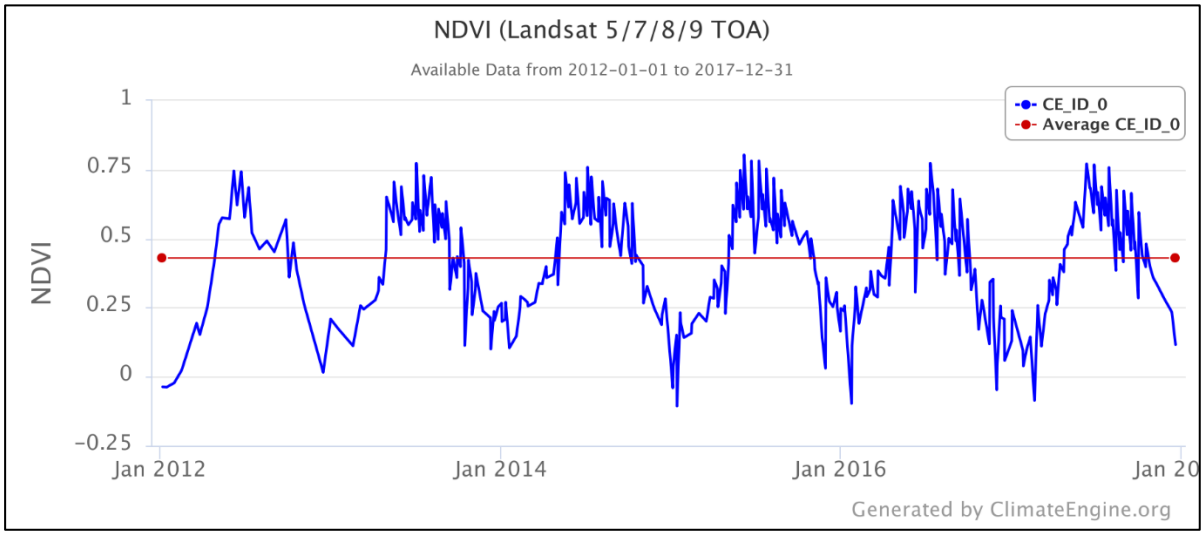


Fig. 9. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series for Sofia city over the five year period 2012-2017

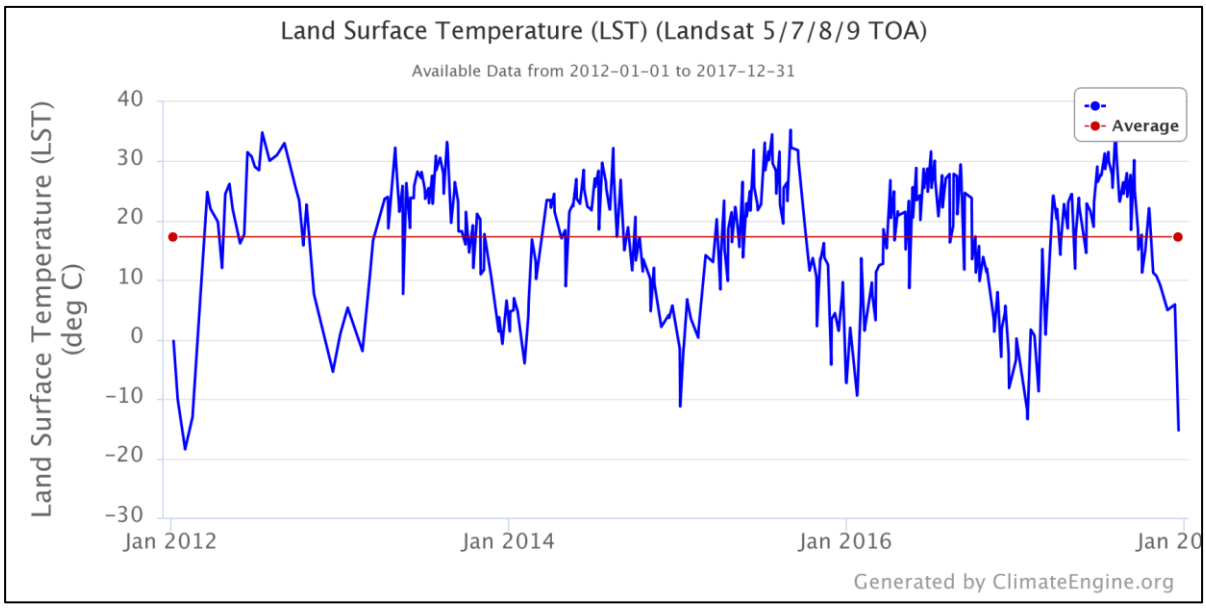


Fig. 10. Land Surface Temperature (LST) time series for Sofia city over the five year period 2012-2017

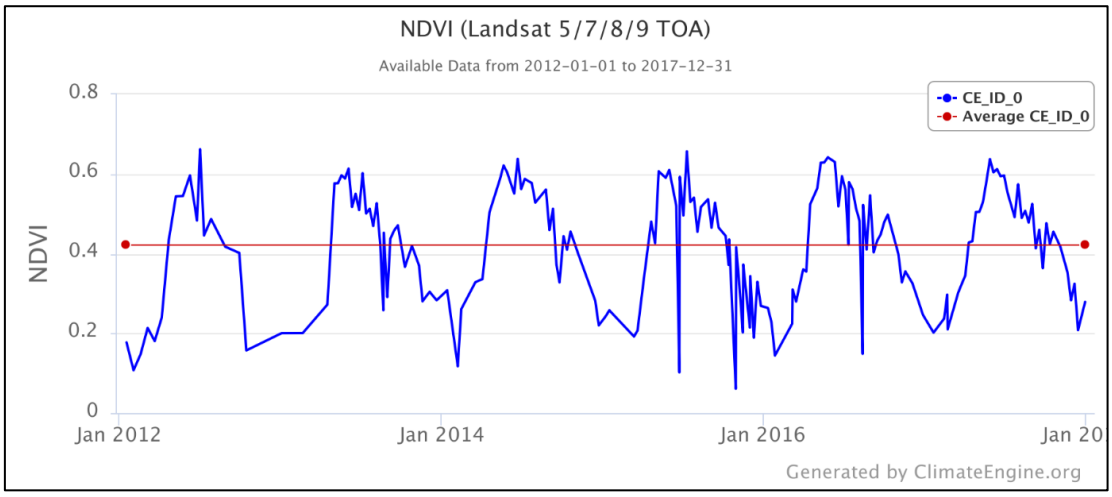


Fig. 11. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series for Varna city over the five year period 2012-2017

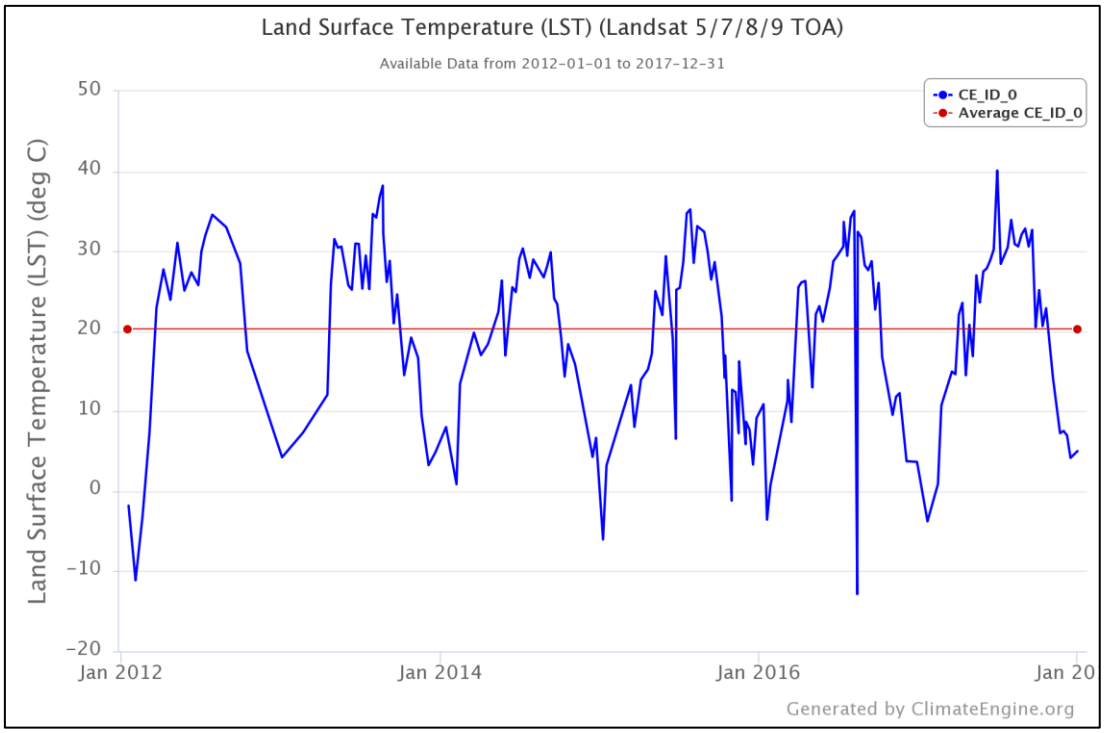


Fig. 12. Land Surface Temperature (LST) time series for Varna city over the five year period 2012-2017

All the above Figures show that the NDVI values present a periodicity over the five years 2012-2017. High NDVI values indicate the presence of green vegetation, especially in Sofia, where NDVI reach the value of 0.8. Conversely, the lowest NDVI values appear during the winter period.

Concerning NASA's Earth Observatory publication (https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php), negative values of NDVI indicate the non-existence of vegetation. Furthermore, Faridatul & Ahmed (2020) found that urban areas presented NDVI values between 0 and 1. It is well known that urban areas contain various landcover, including vegetation. On the other hand, the absence of vegetation, provides NDVI values below 0.

In conclusion, trying to find the correlation between the corresponding actual vegetation NDVI values and LST values in the selected five Areas Of Interest (AOI),and, of course according to the previous remarks, we can exclude all NDVI negative values.

Consequently, the Figures below showing the correlation between NDVI and LST values in our Regions Of Interest indicate more or less an existing correlation between NDVI and LST in all our ROIs.

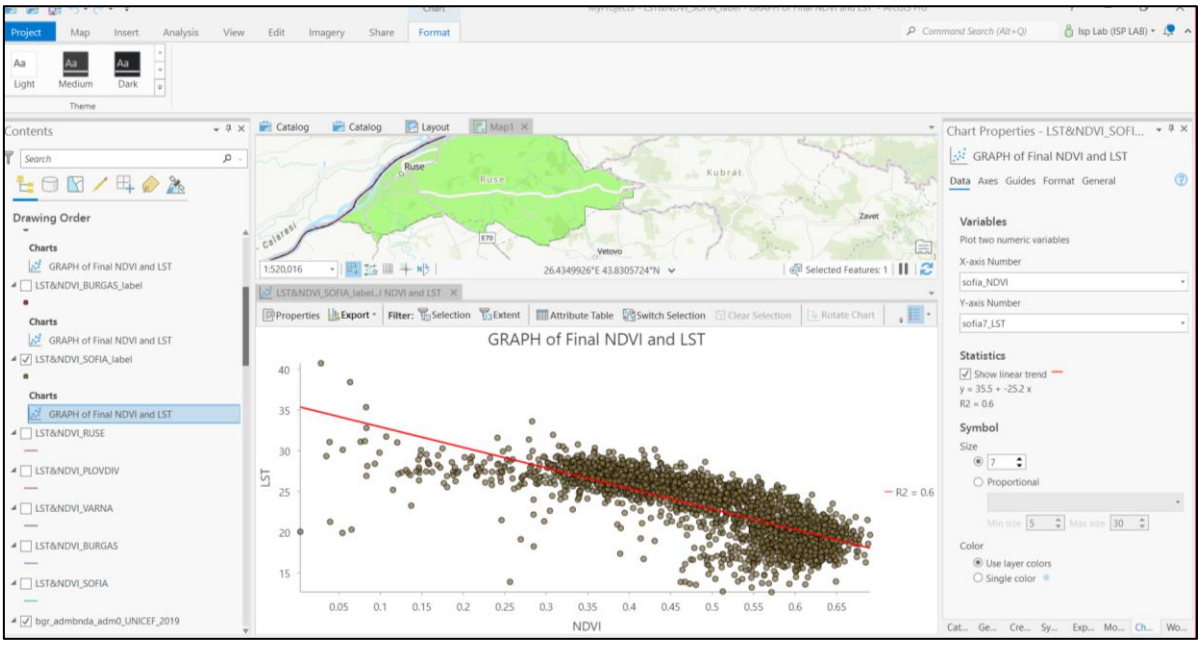


Fig. 13. Interface of ArcGIS Pro for estimate the correlation between NDVI and LST

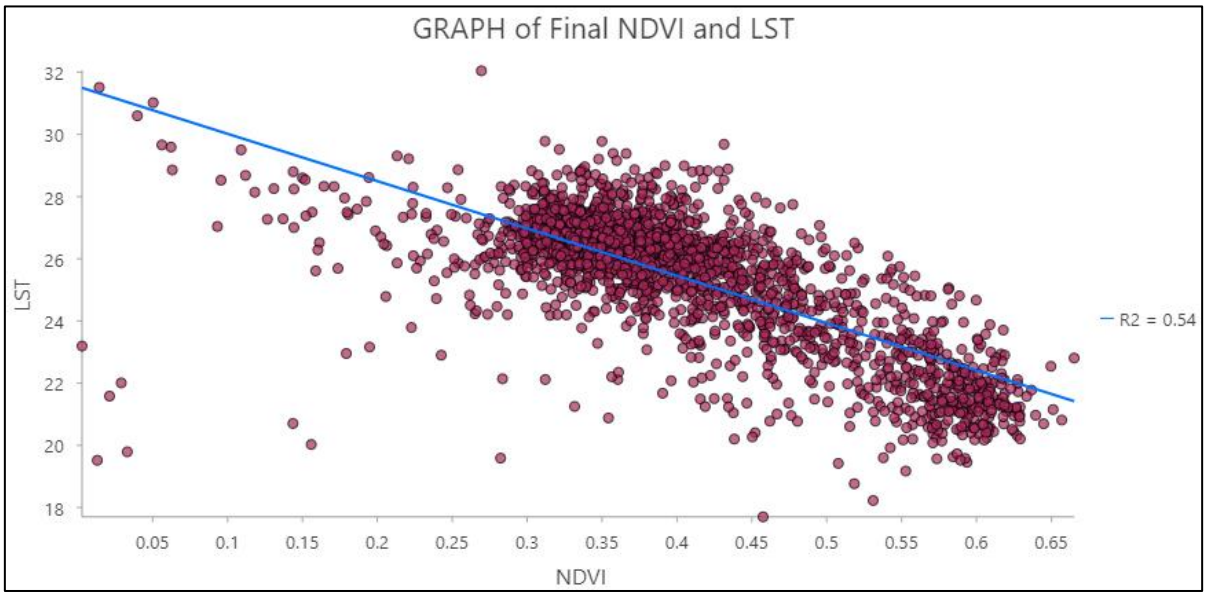


Fig. 14. Bi-plot of LST and NDVI for Burgas city

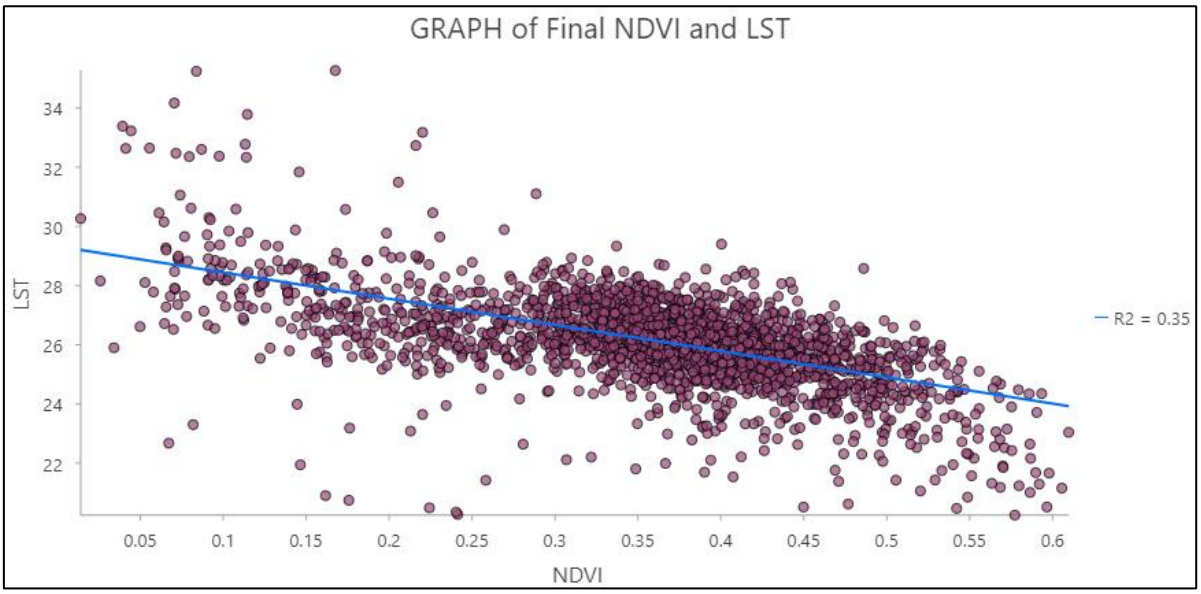


Fig. 15. Bi-plot of LST and NDVI for Plovdiv city

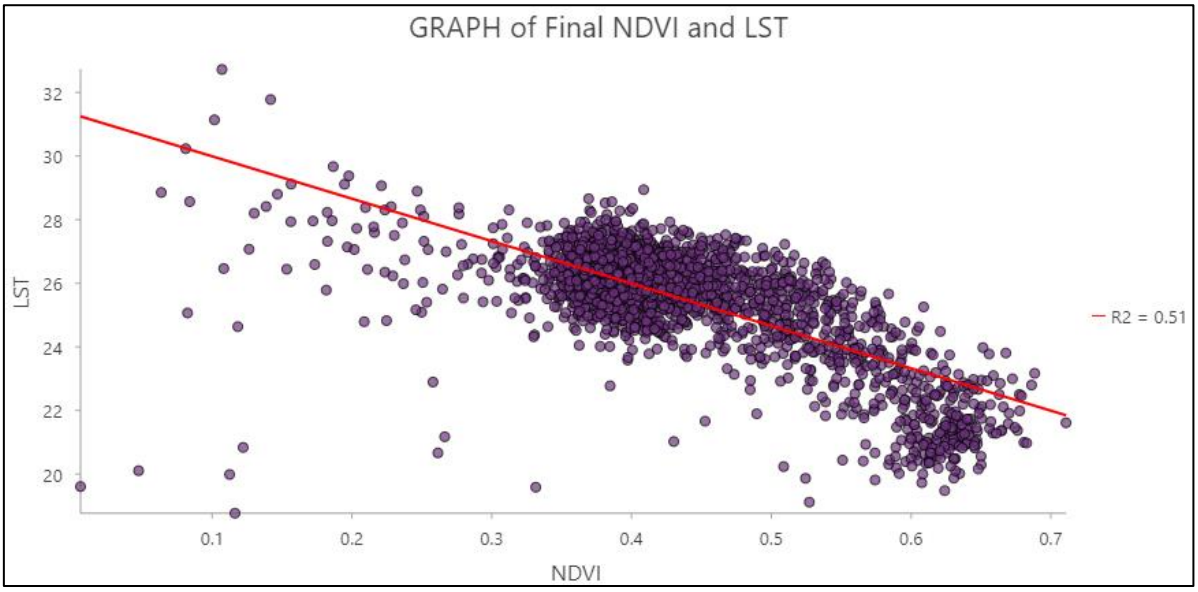


Fig. 16. Bi-plot of LST and NDVI for Ruse city

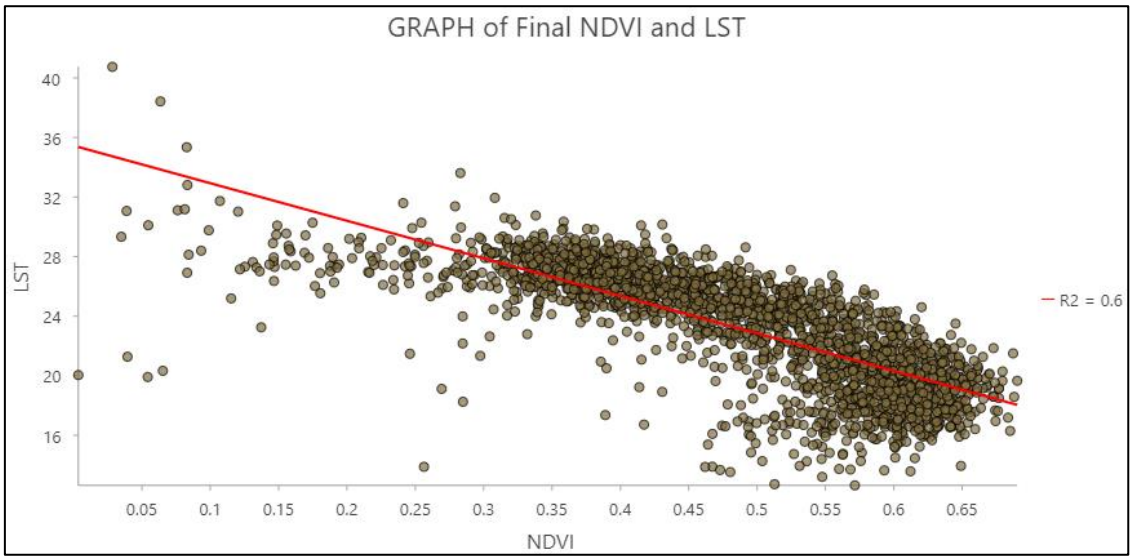


Fig. 17. Bi-plot of LST and NDVI for Sofia city

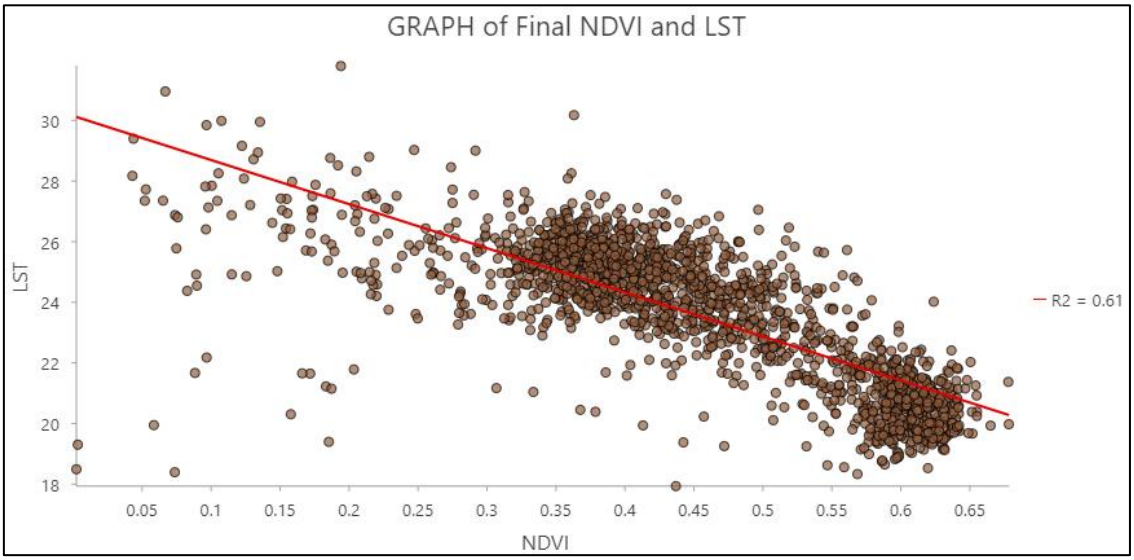


Fig. 18. Bi-plot of LST and NDVI for Varna city

The relationship between LST and NDVI values is linear. All cities' LST measurements negatively correlate with NDVI values (-0.7 and -0.5).

For example, as shown in Figure 17, the bi-plot of NDVI and LST variables for Sofia city indicates an existing negative correlation schematically. Indeed, the determination index's value is equal to 0.6, which corresponds to a negative correlation value equal to - 0,77459.

Conclusion

The present research finds negative correlations between LST values and vegetation index values. Concluding the stronger the NDVI values are, the fewer LST values become. Referring to our ROIs, we can approximately delimit urban green spaces as having the highest NDVI values inside urban areas. On the contrary, it is not probable that Urban Heat Islands contain urban green areas.

References:

Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z. H., & Akbari, H. (2017). Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, *62*, 131–145. https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003

Ahmed Memon, R., Leung, D. Y., & Chunho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. In *Journal of Environmental Sciences* (Vol. 20).

Sileos, G., Alexandridis, T., Gitas, I., & Perakis, K. (2013). Vegetation indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*, *21*(4).

Battista, G., Evangelisti, L., Guattari, C., Vollaro, E. D. L., Vollaro, R. D. L., & Asdrubali, F. (2020). Urban heat island mitigation strategies: Experimental and numerical analysis of a university campus in Rome (Italy). *Sustainability (Switzerland)*, *12*(19), 1–18. https://doi.org/10.3390/su12197971

Dimitrov, S., Popov, A., & Iliev, M. (2021). An application of the LCZ approach in surface urban heat island mapping in Sofia, Bulgaria. *Atmosphere*, *12*(11). https://doi.org/10.3390/atmos12111370

Espinoza-Molina, J., Acosta-Caipa, K., Chambe-Vega, E., Huayna, G., Pino-Vargas, E., & Abad, J. (2022). Spatiotemporal Analysis of Urban Heat Islands in Relation to Urban Development, in the Vicinity of the Atacama Desert. *Climate*, *10*(6). https://doi.org/10.3390/cli10060087

Faridatul, M. I., & Ahmed, B. (2020). Assessing agricultural vulnerability to drought in a heterogeneous environment: A remote sensing-based approach. *Remote Sensing*, *12*(20), 1–17. https://doi.org/10.3390/rs12203363

Galodha, A., & Gupta, S. K. (2021). Land surface temperature as an indicator of urban heat island effect: A google earth engine based Web-App. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, *44*(M–3), 57–62. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-3-2021-57-2021

García, D. H. (2022). Analysis of Urban Heat Island and Heat Waves Using Sentinel-3 Images: a Study of Andalusian Cities in Spain. *Earth Systems and Environment*, *6*(1), 199–219. https://doi.org/10.1007/s41748-021-00268-9

Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, *51*(1), 667–678. https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494

Huntington, J. L., Hegewisch, K. C., Daudert, B., Morton, C. G., Abatzoglou, J. T., McEvoy, D. J., & Erickson, T. (2017). Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *98*(11), 2397–2409. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00324.1

Kopecka, M., & Oťaheľ, J. (2016, June). MAPPING URBAN GREEN SPACES BASED ON REMOTE SENSING DATA: CASE STUDIES IN BULGARIA AND SLOVAKIA. *6th International Conference on Cartography and GIS*. https://scihub.copernicus.eu/dhus/

Laosuwan, T., & Sangpradit, S. (2012). Urban heat island monitoring and analysis by using integration of satellite data and knowledge based method. In *International Journal of Development and Sustainability Online* (Vol. 1, Issue 2). www.isdsnet.com/ijds

Macarof, P., & Statescu, F. (2017). Comparasion of NDBI and NDVI as Indicators of Surface Urban Heat Island Effect in Landsat 8 Imagery: A Case Study of Iasi. *Present Environment and Sustainable Development*, *11*(2), 141–150. https://doi.org/10.1515/pesd-2017-0032

Mills, G. (2008). Luke Howard and The Climate of London. *Weather*, *63*(6), 153–157. https://doi.org/10.1002/wea.195

Mustafa, E. K., Co, Y., Liu, G., Kaloop, M. R., Beshr, A. A., Zarzoura, F., & Sadek, M. (2020). Study for Predicting Land Surface Temperature (LST) Using Landsat Data: A Comparison of Four Algorithms. *Advances in Civil Engineering*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/7363546

Nuruzzaman, Md. (2015). Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, *3*(2), 67–73. https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. In *Quart. J. R. Met. Soc* (Vol. 108, Issue 455).

Ouali, K., el Harrouni, K., Abidi, M. L., & Diab, Y. (2018). The Urban Heat Island phenomenon modelling and analysis as an adaptation of Maghreb cities to climate change. *MATEC Web of Conferences*, *149*, 02090. https://doi.org/10.1051/matecconf/201814902090

Papamanolis, N., Dimelli, D., & Ragia, L. (2015). *The Urban Heat Island Intensities in Greek cities as a function of the characteristics of the built environment*.

Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B. N., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and markov chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *7*(4). https://doi.org/10.3390/ijgi7040154

Sarkar, A., & de Ridder, K. (2011). The Urban Heat Island Intensity of Paris: A Case Study Based on a Simple Urban Surface Parametrization. *Boundary-Layer Meteorology*, *138*(3), 511–520. https://doi.org/10.1007/s10546-010-9568-y

Schinasi, L. H., Benmarhnia, T., & de Roos, A. J. (2018). Modification of the association between high ambient temperature and health by urban microclimate indicators: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, *161*, 168–180. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.004

Sheng, L., Tang, X., You, H., Gu, Q., & Hu, H. (2017). Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China. *Ecological Indicators*, *72*, 738–746. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.009

Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2012). Relationships between the properties of an urban street canyon and its radiant environment: Introduction of appropriate urban heat island mitigation technologies. *Solar Energy*, *86*(9), 2255–2262. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.04.019

Wang, W., Liu, K., Tang, R., & Wang, S. (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth*, *110*, 168–175. https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.002

Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. In *Journal of Sensors* (Vol. 2017). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2017/1353691

Yanev, I., & Filchev, L. (2017). *ASSESSMENT OF THE LAND SURFACE TEMPERATURE DYNAMICS IN THE CITY OF SOFIA USING LANDSAT SATELLITE DATA* (Vol. 29). http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

COMPARISON BETWEEN SPIRAL ANTENNA AND MAGNETIC LOOP ANTENNA FOR THE PURPOSE OF MULTISTATIC PASSIVE RADAR

Svetoslav Zabunov, Garo Mardirossian

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: svetoslavzabunov@gmail.com

Keywords: *Passive Radar Antenna, Multistatic passive radar, Passive radar for ionospheric sounding*

Abstract: *Recent advances in parallel computing equipment emanates from miniaturization of integrated circuits semiconductors. The result is constant lowering of the cost of computational power. This includes the initial investment expenses, the maintenance and electricity cost.*

The development of passive radars is now possible within the boundaries of concisely sized devices, having relatively low cost for unit of equipment, low power consumption, and thus providing the availability of multi-station systems with distributed parameters that are field-deployed and battery powered. Such passive radar systems provide redundancy, better obscurity against visual identification and improved coverage of the observed area and volume.

A major component of any passive radar system is its antenna array. Having the modern units being small in size and well disguised, a hidden antenna becomes essential and required for such instruments. The current paper analyses two antenna candidates for passive radars by comparing their benefits and drawbacks. These are the spiral and magnetic loops antennas. Further evaluation of the suitability of these two antenna types is carried out by means of computer simulations. Conclusions are finally drawn about which type of antenna is more adequate for the purpose of small sized passive radar devices.

СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ СПИРАЛНА АНТЕНА И АНТЕНА ТИП МАГНИТЕН КРЪГ ЗА ЦЕЛИТЕ НА МУЛТИСТАТИЧЕН ПАСИВЕН РАДАР

Светослав Забунов, Гаро Мардиросян

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: svetoslavzabunov@gmail.com

Ключови думи: *Антена за пасивен радар, Мултистатичен пасивен радар, Пасивен радар за йоносферни изследвания.*

Резюме: *През последните години се наблюдава развитие на паралелните изчислителни машини, което е следствие от миниатюризацията на полупроводниците в интегралните схеми. Резултатът е постоянно намаляване на цената на изчислителната производителност, както по отношение на първоначалните разходи за инвестиция, така и във връзка с поддръжката и разходите за електроенергия.*

Разработването на пасивни радари сега е възможно в рамките на малки по размери устройства, които консумират понижени количества електроенергия и така предоставят възможност да се изградят системи за пасивни радари, състоящи се от множество станции в разпределена парадигма, които са инсталирани при полеви условия и се захранват от батерии. Такъв пасивен радар гарантира множественост на звената, при което отпадането на някои звена от системата не води до нейното дефектиране. Друго предимство, което следва от миниатюризацията е по-доброто прикриване на модулите от визуална идентификация и по-големият обхват на наблюдаваната област и обем.

Основен компонент на всеки пасивен радар е антенният масив. При условие, че модерното устройство е малко по размери и добре скрито се стига до нуждата от неголяма антена, която също да може да се прикрие добре. Настоящият доклад анализира два типа антени, подходящи за пасивен радар като сравнява техните предимства и недостатъци. Това са спиралната антена и антената тип магнитен кръг. По-нататък чрез компютърни симулации се оценява до колко тези два вида антени са подходящи за малки по размери станция за пасивен радар.

Introduction

The passive radar is a type of radar. As any radar system it detects, identifies and tracks objects flying in the sky or traveling or sailing on the surface. A classical radar would emit radio waves and then wait to receive reflections carrying information. This system is called active radar. Passive radars would instead rely on existing radio transmitters developed and maintained by other parties not in any relation or knowledgeable of the passive radar system that is in use [1]. Such radio transmitters are called transmitters of opportunity or non-cooperative transmitters (Fig. 1). The passive radar receiver accepts reflected and direct waves from the transmitters of opportunity and is required to distinguish between them [2]. This process as well as the identification, tracking and classification of targets is possible through appropriate computations [3–5]. These computations have massive character and generally require modern parallel computing hardware.

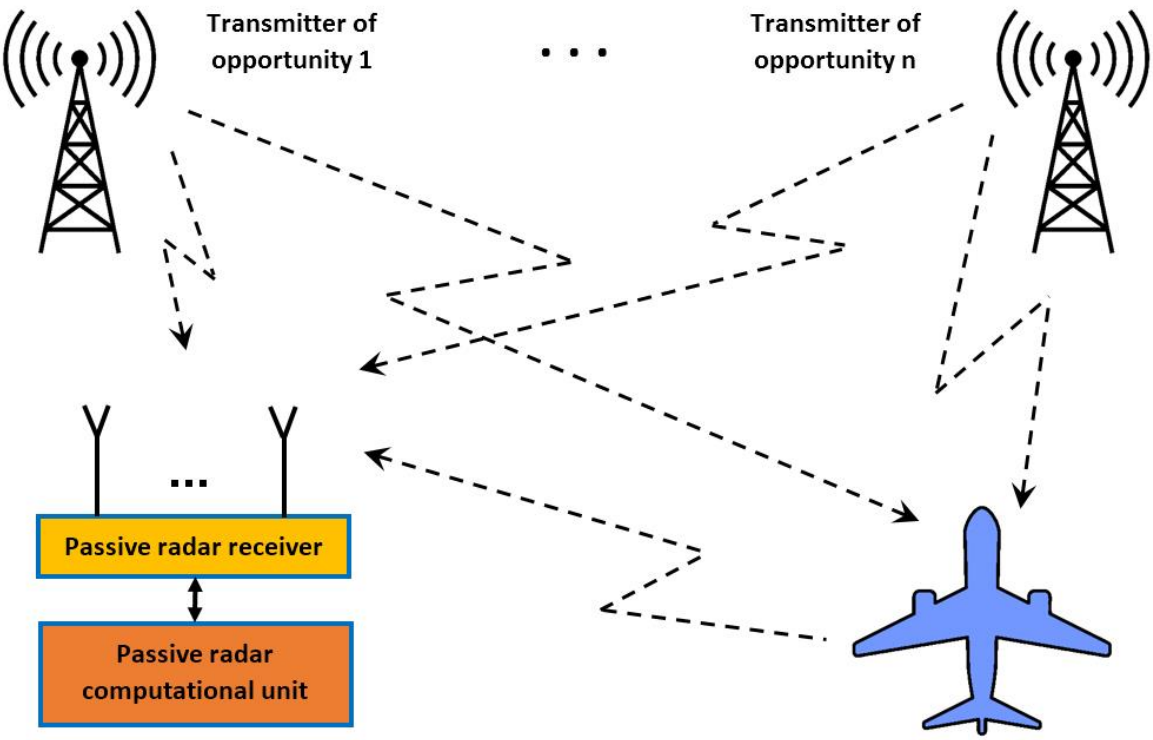


Fig. 1. Passive radar system

Targets that can be observed by passive radars are objects of various sizes. Even the ionosphere is an object that is being studied scientifically by passive radars [6-9]. Any radio wavelengths are suitable for passive radar implementation with some limitations. For example, to study the ionosphere, lower frequency band radio emissions are more applicable such as the high frequency (HF) and very high frequency (VHF) bands. Potential transmitters of opportunity over the Bulgarian territory are the mobile phones and other mobile communications base stations, digital TV stations, FM radio broadcasting transmitters, etc.

It should be mentioned that passive radars are bistatic and multistatic. The first kind makes use of a single receiver and a single transmitter. Multistatic counterparts employ more than one non-cooperative transmitters and/or receivers. All of the transmitters and receivers are spread over considerable area.

Spiral antenna and magnetic loop antenna for the purpose of multistatic passive radars

In the territory of Bulgaria, most suitable transmitters of opportunity, for most purposes, are the FM broadcasting transmitters, either located within the country or positioned in the neighbouring countries. The frequency band is from 87.5 to 108 MHz. As the wavelength is inversely proportional to the frequency, the lower the frequency is, the longer the wavelength. For the band of interest the wavelength is about 3 meters.

There are a few requirements for the small sized passive radar station antenna, some of which were mentioned earlier in this article, namely:

1. To be easily concealed

2. To be employed at a wide range of frequencies
3. To have a rigid construction
4. To possess low wind resistance
5. To have a wide gain pattern with no lobes
6. To exhibit lower interference with local electromagnetic interference sources

While analysing antenna types we realize that only two antenna families satisfy requirements 1, 3 and 4. These are the planar and shortened antennas. To fulfil requirement 2 and 5 we have to still narrow the possible variants. Either a wideband antenna should be used or an electronically tuneable shortened antenna. This lands us at three choices: a planar spiral wideband antenna, a shortened dipole or a small loop antenna also known as magnetic loop antenna. Trying to respond to requirement 6 we abandon the shortened dipole in favour of the magnetic loop because the latter exhibits better noise immunity to local interference (Fig. 2).

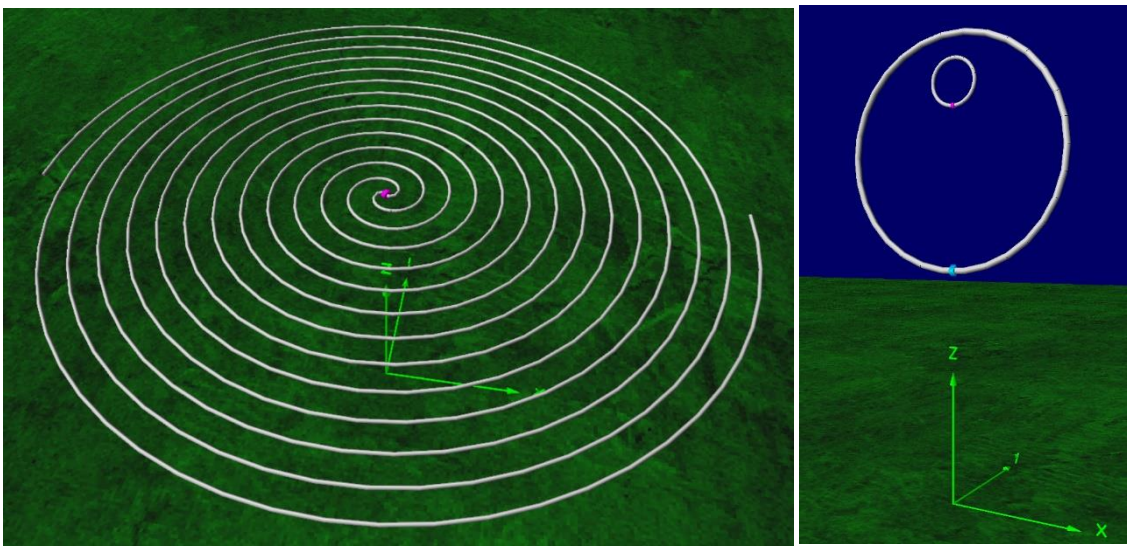


Fig. 2. 3D structure of the spiral antenna (left) and magnetic loop antenna (right)

The spiral antenna is a wideband antenna (Fig. 2, left) while the magnetic loop (Fig. 2, right) is a very narrow band antenna. In Fig. 3 one could examine spiral antenna impedance and standing wave ratio in respect to frequency. The same characteristics for the small loop antenna are shown in Fig. 4. Both charts are generated using a software for antenna simulation and analysis 4NEC2. This software is freeware, performs well and has good features. For these reasons it has become widely used in antenna design and antenna analysis tasks.

The spiral antenna comes in different flavours such as Archimedean spiral, logarithmic spiral, square spiral, star spiral and so on. It is a balanced type of antenna having its feed point in the centre and its impedance mostly constant for frequencies above a certain cut-off frequency. Its radiation pattern and polarization are also mostly constant above this frequency. This type of antenna may be used with or without a reflector, but for the purpose of local interference shielding a reflector is a must.

Spiral antennas are travelling wave antennas, hence they are wideband, but they also exhibit the other principles of operation: fast wave and leaky wave. The fast wave in these antennas is a result of mutual coupling between spiral arms. Radiation is realized through the leaky wave phenomenon. The working principle of the spiral antenna is given by ring theory or band theory, according to which spiral antenna's radiating active region is the geometric circle having circumference equal to the wavelength [10].

The impedance is defined by the geometrical properties of the device. By choosing the ratio between the spiral conductors and its spacing on one hand, and the distance from the reflector on the other hand, a certain impedance could be achieved. The polarization of this type of antennas is circular. The gain of the antenna is generally low (see Fig. 5) which is a benefit, because the antenna impractical to be rotated.

In contrast, the magnetic loop antenna is a shortened antenna and has sizes considerably smaller than the wavelength (Fig. 2). Its perimeter is typically smaller than 1/3 the wavelength. Magnetic loops have lower efficiency and this hampers their implementation as transmitting antennas, but due to their very small sizes transmitting application are quite common.

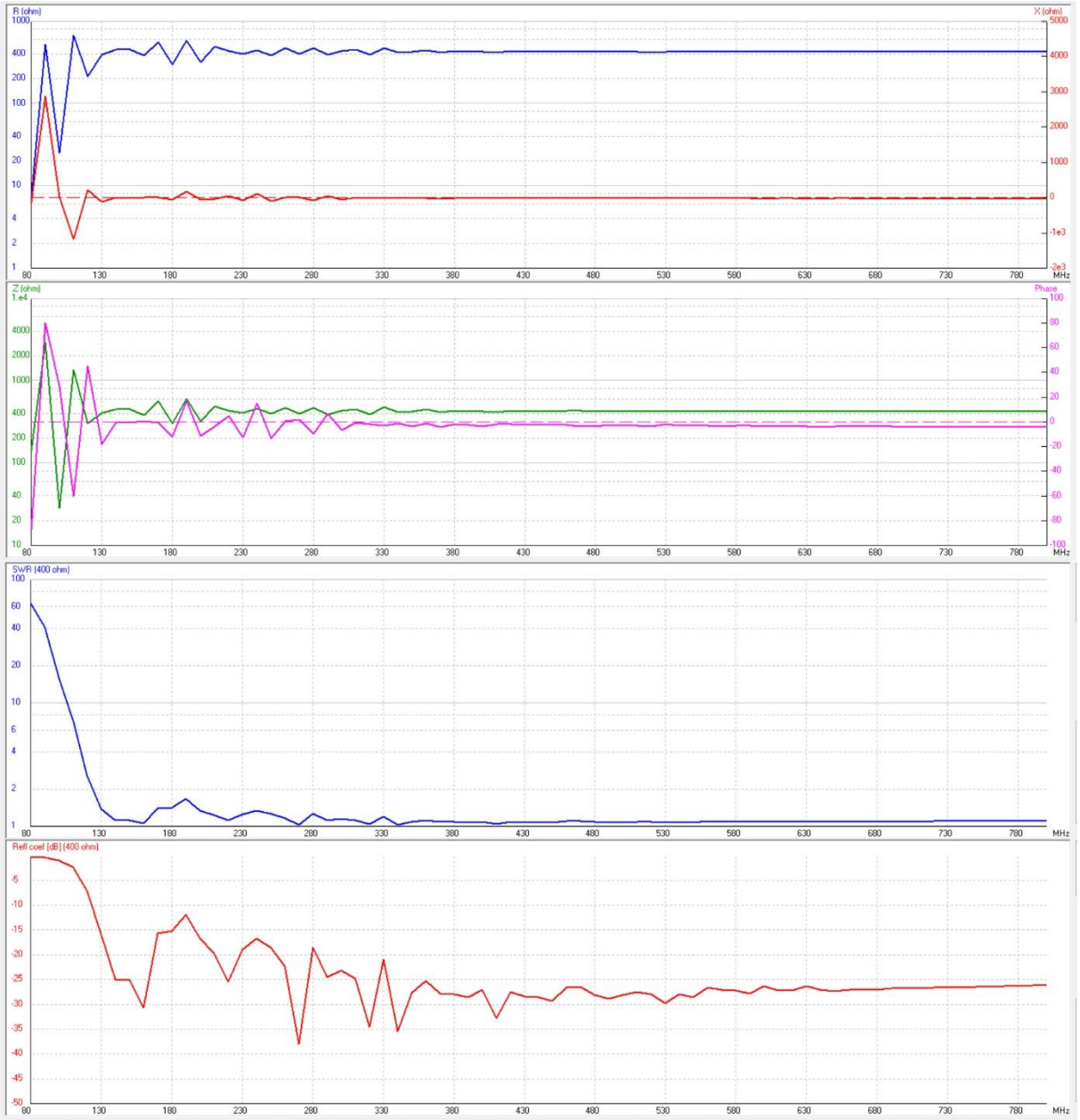


Fig. 3. Spiral antenna impedance and standing ware ration in respect to frequency

When employed as receiving antennas they may be electronically tuned, because the energy stored in the antenna and the corresponding voltages at the tuning capacitor are small enough. This type of antenna may also use a reflector. The radiation pattern has a maximum in the plane of the loop. The antenna polarization is linear. Also, it has a very pronounced and deep nulls along the loop axis. The latter is a benefit utilized to block the direct wave of the transmitter of opportunity.

The radiation resistance (in ohms) of the magnetic loop antenna is small and is proportional to the square of the area of the loop:

(1) $$R_r = 3.12 \times 10^4 \left(\frac{NA}{\lambda^2}\right)$$

Here A is the loop area in m^2, λ is the wavelength in m, and N is the number of turns of the loop conductor [11].

The efficiency of the magnetic loop is far from optimal and this is a drawback of this antenna type in comparison to the spiral antenna [12].

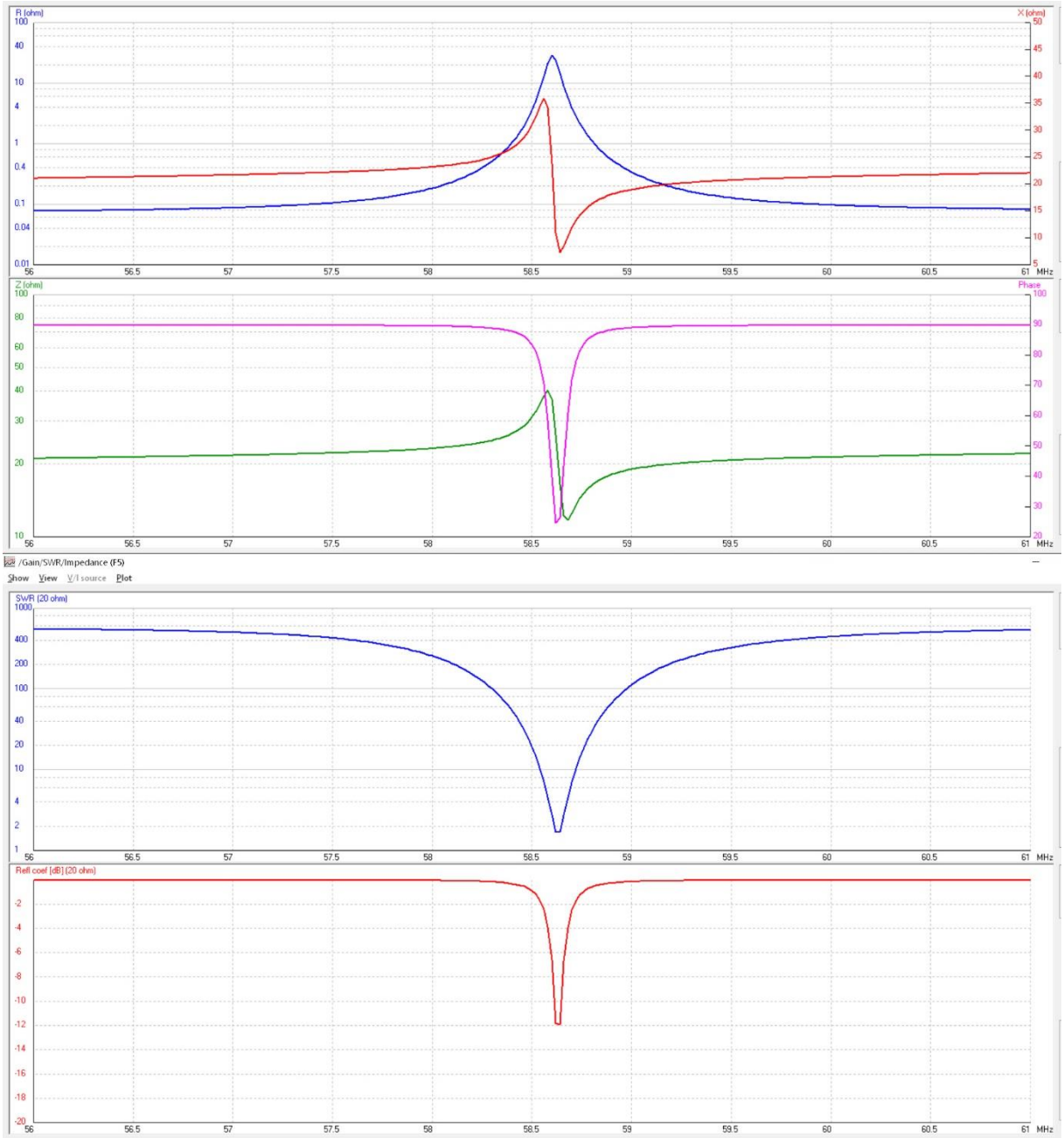


Fig. 4. Magnetic loop antenna impedance and standing ware ration in respect to frequency

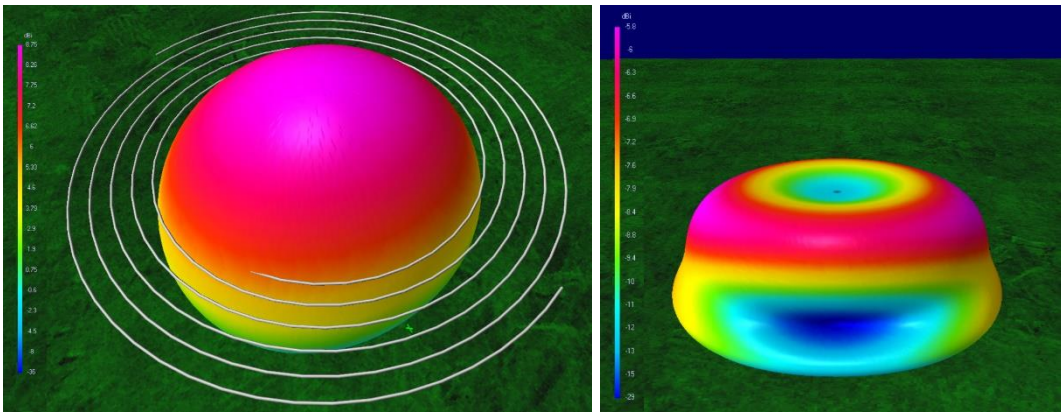


Fig. 5. Radiation pattern of the spiral antenna (left) and magnetic loop antenna (right). Both antennas are simulated above a ground plane.

Through numerical simulations and calculations at the band of interest [12-15] a 17.5 cm diameter loop will ensure 10 times more powerful received background noise than the receiver internal noise (10 dB). These figures are achieved by employing a 0.55 dB noise figure preamplifier (40 K noise floor) and having that the quiet rural noise is below the cosmic noise at 100 MHz. At that frequency the cosmic noise is around 6 dB above thermal background noise. The cited antenna diameter will provide an antenna with 3 dB attenuation or 50% efficiency which is within the boundaries of the receiver sensitivity.

Conclusion

Both antenna types satisfy the established requirements. There are considerable differences when employing either of them.

The spiral antenna provides a wideband reception and enables the system to receive the reflected signal from several transmitters of opportunity simultaneously. It has the drawback of not isolating well the direct signal and having a wideband property it may overload the receiver input.

The magnetic loop antenna is a narrowband hi quality factor antenna and acts as a preselector. It protects the receiver from overload. With the help of its deep null by articulating the antenna through servos the direct wave can be blocked. The drawback is that the magnetic loop can receive only one signal (frequency) at a time. By using electronic tuning very fast tuning procedure to different frequencies is possible, still the articulation is slower process.

Both antennas are rigid and hard to observer visually. The team at Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences estimates that both antenna types are suitable for future experiments with passive radar systems and further evaluation of their qualities in experimental setups are due.

References:

1. Carson, S., D. Kilfoyle, M. Potter and J. Vance, *"A passive, multi-static radar system," 2007 IET International Conference on Radar Systems*, Edinburgh, UK, 2007, pp. 1–4, doi: 10.1049/cp:20070497.
2. Garry, J. L., C. J. Baker and G. E. Smith, *"Evaluation of Direct Signal Suppression for Passive Radar," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 7, pp. 3786–3799, July 2017, doi: 10.1109/TGRS.2017.2680321.
3. Zabunov, S. & Mardirossian, G. (2021) Multistatic Passive Radar for Ionospheric Sounding, *SES 2021, Seventeenth International Scientific Conference, SPACE, ECOLOGY, SAFETY*, 20 – 22 October 2021, Sofia, Bulgaria
4. Zabunov, S., G. Mardirossian, R. Nedkov (2020) Multistatic Passive Radar, *Bulgarian Patent Office,* Utility Model #3928 / 29.10.2020, 1–3.
5. Zabunov, S., G. Mardirossian, R. Nedkov (2020) Recent Innovations in Circularly Polarized Antennas for Drone Radio Communication, *Comptes rendus de l'Acade'mie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 9, 1286–1290.
6. Meyer, M. G., J. D. Sahr (2004) Passive coherent scatter radar interferometer implementation, observations, and analysis, *Radio Science*, vol. 39, RS3008, 1–10.
7. Lind, F. D., P. J. Erickson, A. J. Coster, J. C. Foster, J. R. Marchese, Z. Berkowitz, J. D. Sahr (2013) Intercepted signals for ionospheric science, *Radio Science*, vol. 48, 248–264.
8. Chernogor, L. F., K. P. Garmash, Q. Guo, V. T. Rozumenko, Y. Zheng (2020) Passive Radar for Oblique-Incidence Ionospheric Sounding: Observations of Ionospheric Storms, *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 253–258.
9. Sahr, J. D., D. M. Gidner, Chucai Zhou, F. D. Lind (2001) Passive VHF radar for ionospheric physics, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 63, issues 2–3, 2001, 117–122.
10. Mehta, A.; Mirshekar-Syahkal, D.; Nakano, H. (2006) Beam adaptive single arm rectangular spiral antenna with switches, *IEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation*. 153 (1): –18.
11. Straw, R. Dean (2007) *The ARRL Antenna Book,* The American Radio Relay League. ISBN 978-0-87259-987-1.
12. Zabunov, S. & Mardirossian, G. (2021) Multistatic Passive Radar employing Magnetic Loop Antennas, *Comptes rendus de l'Acad´emie bulgare des Sciences*, Tome 74, No 6, 2021.
13. J. Kraus, *"Antennas 2nd Ed," MacGraw Hill,* 1988.
14. Rauch, T. (2006) *Small Magnetic Receiving Loops, http://www.w8ji.com/magnetic_receiving_loops.htm*, retrieved 20.12.2020.
15. Carr, J. J. (2001) *Practical Antenna Handbook, fourth ed.*, McGraw-Hill, 625 p.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ НА ЛУНАТА

Искрен Иванов, Лъчезар Филчев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: iso.ivanov@space.bas.bg

Ключови думи: *Луна, лунен реголит, спектроскоп, химичен състав, минерали*

Резюме: *Докладът представя обзор на лунни мисии и апарати развили се успешно и изпълнили поставената им цел, дистанционно да изследват естествения спътник на планетата Земя. Обхванатите мисии и апарати са изложени хронологично, като основен критерии по който са подбрани е извършените изследвания да са проведени дистанционно, оборудвани с апарати за провеждане на дистанционни изследвания насочени към изучаване на лунната повърхност и геология. Изследванията проведени с тях са насочени към разкриване състава на материала покриващ Луната (реголит) и неговия химичен състав.*

REMOTE SENSING OF THE MOON'S MINERALS

Iskren Ivanov, Lachezar Filchev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: iso.ivanov@space.bas.bg

Keywords: *Moon, moon regolith, spectroscopy, chemical compound, minerals*

Abstract: *The following report presents an overview of lunar missions and instruments that have been successfully developed and fulfilled their goal, of remotely exploring the satellite of the planet Earth – the Moon. The covered missions and instruments are presented chronologically. The main selection criteria for the studies are to be carried out remotely, equipped with devices for performing remote sensing aimed at studying the lunar surface and geology. The reported research aimed at revealing the composition of the material covering the Moon (regolith) and its corresponding chemical composition.*

Въведение

Присъствието на единствения естествен спътник на Земята е забележимо и с просто око както на нощното небе така и през някои дни. Изследването на Луната посредством инструменти спомагащи и усилващи човешките сетива става възможно след откриването на телескопа и Галилео Галилей използва функциите му за да наблюдава Луната и нейната забележителна повърхност. В настоящия доклад са представени част от мисиите и апаратите изпратени до луната за събиране на данни посредством дистанционно изследване на нейните характеристики. Луната е била обект на изследване, такъв е в настоящето и ще продължава да поражда интерес и да бъде изследвана и за в бъдеще. Дистанционните изследвания на Луната се извършват благодарение на измервания на нейните характеристики посредством специални инструменти регистриращи постъпващите потоци електромагнитна енергия и се изразява в изводите направени вследствие обработка и анализ на регистрираните данни. Извършва се регистриране на постъпващата информация за енергетичните и поляризационните характеристики на собственото и отразеното от Луната излъчване в различните области на електромагнитния спектър. Изследват се основните явления, образувания и ресурси на Луната, както и редица нейни параметри [1]. В дистанционните изследвания на Луната се ползват космически апарати оборудвани с различни инструменти. Според целите на изследванията се ползват спектрометри, инструменти опериращи в различни диапазони на електромагнитния спектър. За определяне на химическия състав се прилагат гама спектрометри и рентгенови спектрометри. За установяване

на минералния състав се ползват многоканални спектрометри работещи в ултравиолетовия, видимия и инфрачервения диапазон на електромагнитния спектър. За установяване на геологията и топографията се използват радари, лазерни висотомери и стерео камери с висока разделителна способност. Ключови характеристики на инструментите, определящи качеството и ефективността на изследването, са пространствената, спектралната, радиометричната и времевата им разделителна способност. От голяма важност за точността на изследванията е степента на влияние на заобикалящата ги среда, магнитните полета на Луната и Земята, слънчевия вятър и др.

Мисиите Луна и Зонд

В съвременната епоха интересът към естествения спътник на планетата Земя започва с развитието на космическото дело в Съветския съюз. Луната е обект на изследване от страна на десетки съветски проекти обединени в две основни програми. Едната има за цел облитане на Луната, а другата да се осъществи кацане на лунната повърхност. Облитане е постигнато с космическия апарат Луна-3, който за пръв път в човешката история заснема далечната страна на Луната [2]. Начинанието е продължено чрез космическия апарат Зонд-3 изстрелян на 18 юли 1965 г. Той е оборудван с камера чийто обектив е с фокусно разстояние 106,4 mm и относителна апертура 1:8 с автоматично обработване на филми и оптико-механично сканиращо устройство за предаване на изображенията, с инструменти за измерване на радиация, магнитно поле и ултравиолетов спектрограф. Заснемането е от 11 570 km до 9 220 km разстояние от лунната повърхност. Заснети са общо 28 кадъра, като експонирани с ултравиолетов спектрограф са 3 от тях. Направено е заснемане на западната част на далечната страна на Луната, представляваща около една трета от повърхността невидима от Земята. Всеки кадър е предаден с разлагането му на 1 100 реда с яснота от 860 елемента. Освен изображенията са получени повърхностните спектри на Луната в ултравиолетовия (1900–2700 Å) и инфрачервения (3–4 μm) спектри. Въз основа на данните от космическия кораб Зонд-3, е съставена схематична карта на западния сектор на далечната страна на Луната, съставена от Държавния астрономически институт „Щернберг“ и Централния изследователски институт по геодезия, въздушно проучване и картография.

На 31 май 1966 г. е изстрелян космическият апарат Луна-10, който става първият изкуствен спътник на Луната наред с първото ѝ гама-изследване. За период от 56 дни апаратът прави 460 обиколки около нея. Инструменталното му оборудване включва:

1. Трикомпонентен магнитометър с чувствителност 15 пъти по-висока от тази на Луна-2.
2. Сцинтилационен гама-спектрометър за изследване на гама-излъчване от Луната.
3. Броячи на меки рентгенови фотони за измерване на рентгенова флуоресцентна радиация на лунни скали.
4. Броячи за запис на слънчева радиация и космически лъчи, както и за откриване на йоносферата на Луната.
5. Йонни уловители за запис на поток от йони и електрони на слънчевия вятър.
6. Пиезоелектрични сензори с площ около 1 m^2 за регистриране на метеорни частици с маса над 10^{-8} g.
7. Инфрачервен сензор за определяне на интегралното топлинно излъчване на Луната.

Установено е, че 90% от лунната радиация се причинява от ядрени реакции под въздействието на космически лъчи и само 10% от естествената радиация на K, U и Th в лунните скали. Установено е, че вариациите на γ-радиацията, дължащи се на естествената радиоактивност на лунните скали в различни региони, не надвишават 40%. Установено е, че съдържанието на естествени радиоактивни елементи в лунните скали в така наречените лунни морета съответства на земните базалти, а в лунните планини на земните основни скали, изяснени са масата и формата на Луната.

На 22 октомври 1966 г. е изведен в орбита космическия апарат Луна-12. Той продължава заснемането и геохимичното картографиране на лунната повърхност.

От разстояние 100–340 km са заснети Oceanus Procellarum, Mare Imbrium, кратера Aristarchus. Луна-12 в допълнение към инструментите на Луна-10 е оборудвана още и със спектро-фотометър УС-3, радиоастрономическа апаратура “Касиопея 4“ за наблюдение на дълго-вълново космическо радиоизлъчване и телевизионни камери с фокусно разстояние съответно 500 mm и 110 mm. Разполага с 41 кадъра предназначени за една снимачна сесия с продължителност 64 min с размер на изображенията 1 100 на 1 100 елемента. Луна-12 изследва

гама и рентгеновото лъчение на неизследвани региони на Луната. Потвърдено е съдържанието на K, U и Th в скали на лунните морета, регистрирано преди това от космическия апарат Луна-10. Установена е повишена концентрация на малки вторични ударни кратери в района на кратера Aristarchus.

Мисиите Аполо

Интерес към Луната имат и САЩ, които развиват своята лунна програма Аполо в периода 1969 – 1972 г. В резултат на програмата са събрани огромно количество данни под формата на фотографии и резултати от експерименти. Дистанционните изследвания на Луната на програмата Аполо са в допълнение на *in situ* експериментите проведени на лунната повърхност. Те са поредица от дистанционни изследвания на борда на модула с научно оборудване (SIM) добавен към мисиите Аполо 15 и Аполо 16 намиращ се на орбиталния команден и сервизен модул (CSM) на по-късните мисии от клас – J [3].

На 26 юли 1971 г. Аполо 15 е изстрелян. Орбиталния инструментален набор е образец, с който са оборудвани и мисиите Аполо 16 и Аполо 17. Инструменталният набор включва:

1. Метрични и панорамни камери осигуряващи систематично заснемане на лунната повърхност.
2. Лазерен висотомер измерващ височинните характеристиките на лунната повърхност.
3. Експеримент с S-канален транспондер измерващ регионалните вариации в гравитационното ускорение на Луната.
4. Експеримент с рентгенов флуоресцентен спектрометър измерващ състава на лунната повърхност.
5. Експеримент с гама-лъчев спектрометър измерващ състава на лунната повърхност.
6. Експеримент със спектрометър на алфа частици измерващ излъчването на радон от лунната повърхност.
7. Експеримент с орбитален масспектрометър измерващ състава на лунната атмосфера.
8. Експеримент с двойночестотен радар измерващ разсейването на радарните вълни от лунната повърхност.
9. Субсателит измерващ регионалните вариации в гравитационното ускорение и магнитното поле на Луната и разпределението на заредените частици около Луната.

Лунният реголит

Луната е покрита от сух, прашен и скалист материал, наречен реголит. Този термин се употребява за назоваване на механично произведените слоеве покриващи планетарните повърхности. Реголитът представлява фрагментирани, неконсолидирани скални материали, резултат от въздействието на астероиди, комети и метеорити върху лунната повърхност в продължение на повече от 4 милиарда години. Цялата лунна повърхност се състои от слой реголит, с различна дебелина основно от 2 m до 20 m с изключение на някои много стръмни стени на кратери и канали от лава, където основната скала може да бъде открита [4]. Съставът му е смесен включващ локален материал, според района с допълнение от скални фрагменти добавени в следствие на освободена маса от удари на астероиди и др. космически тела в лунната повърхност. Реголитът представлява богата и разнообразна смес от скални и минерални фрагменти, извлечени от скалите и стъклени частици, образувани при ударите. В по-голямата си част реголитът е съставен от аглутинати, частиците от минерални фрагменти свързани от стъклото полученото при ударите. Химическият състав на реголита отразява състава на основните скали. Реголитът в планините е богат на Al, както и високопланинските скали. Реголитът в моретата е богат на Fe и Mg, основни съставни компоненти на базалта.

Частиците съставящи реголита са голям процент малки частици, като ~20% са по-малки от 0,02 mm [5]. Смесването на елементите не достатъчно, за да замъгли спектралните различия между планините и моретата.

Под слоя реголит на Луната се намира скалист слой с дебелина вариираща от 60 km в регионите намиращи се от близката страна на Луна до 150 km на далечната страна.

В следствие на множеството проучвания на лунната повърхност и нейния състав е установено, че геологията на Луната според основната минералогия е три типа. Feldspathic Highlands Terrane (FHT) високопланинска кора от анортозит. Procellarum KREEP Terrane (PKT) базалти с високо съдържание на калий (K), редкоземни елементи (REE), фосфор (P) и Mare Basalts (MB) [4]. Чрез дистанционните методи са изследвани най-горните геологични слоеве на

Луната. Материалът на лунната повърхност в районите на моретата е основно оливин с мафичен произход, съдържащ предимно Fe, Mg, Ti и минерали с висока плътност, образувани от силикати. Тъмния цвят на моретата се дължи на слабата отражателна способност на Fe. Скалите образуващи FHT са основно анортозит, скалообразуващ минерал от група фелдшпати (плагиоклаз), магмени скали богати на Ca, Al и силикати. Те са по-леки и с по-малка плътност, което води до тяхното изплуване в лавата. Данните, събрани от спектрометрите за изображения на борда на мисиите Chandrayaan-1 и Kaguya, потвърждават съществуването на огромни експозиции на кристален фелдшпат в лунните планини [6] състоящ се главно от анортозит, анортозитно габро и анортозитен норит, характеризиращи се с различни пропорции на плагиоклазен фелдшпат и различни видове Mg минерали.

Мисиите Аполо и Луна връщат проби от лунната повърхност. Направени са им геохимични и минераложки анализи благодарение на които става възможно съпоставянето им с регистрирани спектрални данни. В следващите години изследването на Луната е във своеобразен застой от гледна точка на активни мисии и изстрелвани апарати.

Clementine

На 25 януари 1994 г. е изстрелян космическият апарат Clementine, който в продължение на 10 седмици обикаля около Луната и изпраща 330 GB научни данни [7]. Clementine е сателит с тегло 140 kg с цел докато събира ценна научна информация да представи демонстрира способностите на новите технологии в космоса и по-конкретно възможностите на инструменталното му оборудване по отношение приложението му на военни разузнавателни сателити [8]. Инструменталният набор включва:

1. Ултравиолетова видима (UVVIS) камера с тегло (0,4 kg) и размер на пиксела на CCD матрицата от 23 x 26 μm с диапазон (400–950 nm)
2. Инфрачервена (NIR) камера с тегло (1,9 kg) с диапазон (1 100–2 780 nm)
3. LIDAR с тегло (1,1 kg) с диапазон (1 064–532 nm)
4. Инфрачервената камера (LWIR) (2,1 kg)
5. Камера с висока разделителна способност (HIRES) (1,12 kg) с диапазон (400–800 nm)
6. Телескоп за заредени частици (CPT) измерващ потока заредени частици и протони.

Тези инструменти правят първите глобални цифрови много-спектрални измервания на Луната, наред с първия почти глобален топографски модел. UVVIS камерата прави 8,3 km отсечки от 8–9 микронни температурни измервания, вложени във всяка 44 km широка UVVIS картографска орбита, покриваща приблизително 20% от Луната. За обекти представляващи особен интерес Clementine заснема много-спектрални изображения с разделителна способност (25–50 m/пиксел) във видимия спектър и с разделителна способност (60 m/пиксел) в инфрачервения спектър. Събраните панхроматични данни са с пълно покритие на лунните полярните региони. Параметрите на заснемане ~100–500 m/пиксел правят възможно прякото свързване на данните от спектралните апарати и направените геохимични и минераложки анализи на пробите взети от мисиите Аполо и Луна. Вследствие на тяхното съпоставяне е установено, че пробите донесени от мисиите Аполо далеч не представят цялото многообразие на лунната повърхност. Съставена е първата цялостна цифрова много-спектрална карта на Луната и първата цялостна топографска карта. Clementine поставя началото на нова парадигма в планирането, подготовката и провеждането на следващите лунни мисии на САЩ.

Lunar Prospector

На 6 януари 1998 г. е изстрелян космическият орбитален апарат на НАСА, Lunar Prospector, който е в лунна орбита в продължение на една година на надморска височина от 100 km. Впоследствие височината на орбитата бива снижена на два пъти до 30 km и 10 km. Преднамерено сателитът на 31 юли 1999 г. е снижен достатъчно, за да се осъществи сблъсък с лунната повърхност в кратер намиращ се в региона на южния полюс.

Lunar Prospector е оборудван с пет инструмента разположени върху на три радиални стрели. Инструменталният набор включва: спектрометър за гама лъчи, неутронен спектрометър, магнитометър, електронен рефлектометър, спектрометър за алфа частици, който е повреден при изстрелването. Движението на Lunar Prospector също се проследява с цел да предоставя данни за лунната гравитация. След обработката и анализа на данните от гама спектрометъра на Lunar Prospector в глобален мащаб са определени основните химически елементи в състава на

лунната повърхност (O, Mg, Al, Si, Ca, Ti и Fe) и радиоактивните елементи (K, Th и U). От получените данни е установено, че северозападната близка страна на Луната около Mare Imbrium е необичайна по състав с повишено съдържание на Th. Този регион е наречен Procellarum KREEP Terrane (PKT). Терминът KREEP се използва за описание на обогатените с калий (K), редкоземни елементи (REE) и фосфор (P) скали [3] концентрирани в периферните зони на Mare Imbrium, близките морета и планини, както и в района на басейна Mare Ingenii, South Pole-Aitken на далечната страна на Луната. Направен е изводът, че планините имат сравнително ниска и равномерна концентрация на KREEP. Данните подкрепят хипотезата, че сблъсъкът довел до образуването на Mare Imbrium е въздействал и изровил от дълбочина богатия на KREEP материал и го е разпространил в района, като същият ред на образуване се прилага и за South Pole-Aitken, където е регистрирано наличието на KREEP скали. Направени са изводи в посока, че сблъсъците също допълнително са разпространили KREEP материала по повърхността на цялата Луна [9].

Посредством получените данни от магнитометъра на Lunar Prospector са извършени подробни изследвания на остатъчната магнетизация на лунната кора. Потвърдено е наличието на изолирани магнитни аномалии, установени по време на по-ранни мисии и лунни магнитни полета антиподи на Mare Imbrium и Mare Serenitatis, представляващи най-малките магнитосфери или магнитообвивки. Проведеният гравитационен експеримент очертава седем нови гравитационни аномалии и спомага за направата на извода, че Луната има малко Fe ядро с радиус от около 300 km.

SMART - 1

На 27 септември 2003 г. е изстрелян космическият апарат SMART-1 на Европейската Космическа Агенция. Апаратът навлиза в лунна орбита на 17 ноември 2004 г. и се спуска спираловидно, за да достигне на 15 март 2005 г. височина от 400-3 000 km за номинален научен период от шест месеца, с 1 година удължаване на научните експерименти до преднамерения му сблъсък в лунната повърхност на 3 септември 2006 г. [10]. SMART-1 успешно демонстрира усъвършенствано йонно задвижване и приложението на иновативни технологии за контрол на мисията. Електрическото-йонно задвижване позволява на апарата да достигне целта си с едва 82 kg ксеноново гориво [11].

Научните инструменти с които е оборудван лунния орбитален космически апарат са с цел изследване съдържанието на химичните елементи на лунната повърхност. Инструменталният набор на SMART-1 е с маса от 19 kg и включва: миниатюрна камера с висока разделителна способност (AMIE), точков спектрометър в близката инфрачервена област (SIR) за изследване на минералогията и много компактен рентгенов спектрометър (D-CIX) за анализ на химическия състав на повърхността. SMART-1 регистрира данни и извършва изследване на химичния състав на Луната, на геофизичните процеси (вулканизъм, тектоника, образуване на кратери, отлагане на ледове и летливи вещества). Заснема лунната повърхност с висока разделителна способност, като по този начин набавя данни за подготовка на бъдещи изследователски мисии на Луната [12].

Chandrayaan-1

На 22 октомври 2008 г. е изстрелян първият луннен орбитален апарат на Индийската организация за космически изследвания (ISRO) Chandrayann-1, който влиза в елиптична лунна полярна орбита на 8 ноември 2008 г. и четири дни по късно е позициониран на желаната орбита от 100 km. На 26 април 2009 г. повреда на звездният сензор довежда до промяна на орбиталната височината на 200 km, маневра извършена с цел да се намали броя на необходимите корекции за поддържане на орбитата. На 28 август 2009 г. е изгубена комуникация с апарата, което води до прекратяване на мисията.

Chandrayaan-1 е оборудван с инструменти на НАСА, ЕКА и България, която доставя дозиметър (RADOM) [13] за наблюдение на потока от космически енергийни частици по пътя към Луната и в лунната среда, камера за картографиране на терена (TMC), хиперспектрална камера (HySI), нискоенергиен рентгенов спектрометър, високоенергиен рентгенов спектрометър (HEX) и лунен лазерен инструмент за определяне на разстоянието (LLRI). Инструментите са предназначени да събират минералогични, химични и фото-геоложки данни. В оборудването са включени и предоставените от НАСА миниатюрен радар за изображения (Mini-SAR) с който да се изследват полярните региони на Луната и Moon Mineralogy Mapper (M3) за картографиране химическия състав на Луната с висока разделителна способност. ЕКА предостави Sub-keV атомно отразяващ анализатор (SARA) за изучаване на взаимодействията слънчев вятър – лунна повърхност и нейните магнитните аномалии. Научните инструменти на лунния орбитален апарат Chandrayaan-1 са с маса от приблизително 55 kg [14].

Данните регистрирани от рентгеновия спектрометър показват анортозитен терен със състав с високо съдържание на Al, беден на Ca и нисък на Mg, Fe и Ti в близкия южен високопланински регион. Направени са изводи за присъствието на няколко млади вулканични региона благодарение на камерата за картографиране на терена и M3. Тези данни сочат към наличието на динамична и вероятно все още активна вътрешност на Луната, за разлика от общоприетата концепция. Откриването на магнезиеви шпинелни анортозити и откриването на кристални анортозитни експозиции с километрични размери от M3 подкрепят хипотезата за образувал се глобален магмен океан на Луната и неговата диференциацията в началото на лунната еволюционна история.

Lunar Reconaisens Orbiter

На 18 юни 2009 г. е изстрелян Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) първият от серия мисии на НАСА за роботизирано изследване на Луната, търсене на безопасни и атрактивни места за кацане за бъдещи роботизирани мисии и завръщане на хората на Луната. LRO изследва за повърхностни ресурси и измерва лунната радиационна среда. Изследователската мисия започва на 15 септември 2009 г. и завършва на 15 септември 2010 г., когато оперативната отговорност за LRO е прехвърлена на дирекцията за научни мисии на НАСА за двугодишна научна мисия с нов набор от научни цели. След нейното успешно завършване започва нова разширена научна мисия активна и функционираща и днес. Lunar Reconnaissance Orbiter е оборудван със седем инструмента. Лунен орбитален лазерен алтиметър (LOLA), който измерва на глобално ниво топографията на лунната повърхност с висока разделителна способност, наклоните на представляващите интерес бъдещи места за кацане, Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC), която заснема изображения на лунната повърхност. Широкоъгълните изображения от LROC помагат за установяване на осветеността на полярните области и за откриването на потенциални ресурси. Неутронен детектор за изследване на Луната (LEND), който картографира потока от неутрони от лунната повърхност, за наличието на воден лед, и прави измервания на космическата радиационна среда. Diviner Lunar Radiometer Experiment (DLRE), който регистрира температурата на цялата лунна повърхност с приблизително 300 m хоризонтална разделителна способност, за откриване на най-студените места и наличието на постоянен лед. Lyman-Alpha Mapping Project (LAMP), който картографира цялата лунна повърхност в далечния ултравиолетов спектър. LAMP търси повърхностен лед и скреж в полярните региони и предоставя изображения на региони намиращи се в постоянна сянка, осветени само от звездна светлина. Демонстрацията на технологията е усъвършенстван радар (mini-RF), който регистрира радарни изображения и интерферометрия в X- и S-канал, използвайки лек радар със синтезирана апертура. Тези измервания предоставят нова информация относно физическите свойства на лунната повърхност, лунната среда и разпределението на летливите вещества и др. [15].

Заключение

Луната е най-близкия космически обект до Земята, нейната гравитация е по-слаба от земната, на нея липсва атмосфера, далечната ѝ страна е свободна и защитена от радиовълни и отразена от Земята радиация. Условията за провеждане на дистанционни изследвания са различни от тези на Земята и са уникални по своята същност. Съвременните високотехнологични производствени възможности и нивото на миниатюризация в производството на електроника подновяват научния интерес към изследване на Луната. Установено е, че основният химически състав на Луната е близък до този на Земята и включва елементите (O, Mg, Al, Si, Ca, Ti и Fe) и радиоактивните елементи (K, Th и U). Орбиталната станция Gateway част от програмата Artemis на НАСА и ЕКА в близко бъдеще ще представлява уникална платформа за провеждане на междудисциплинарни изследвания. Научните инструменти на борда, както вътрешни, така и външни за Gateway, имат потенциала да разкрият нови открития в космическата наука, науката за Земята и дълбокия космос [16].

Литература:

1. Мардиросян, Г., Димитров. Д., И. Иванова, Л. Филчев, Информационни технологии за наблюдение на Земята от Космоса, Практическо ръководство, част 1, Институт за космически изследвания и технологии – БАН, София, 2020.
2. Slyuta, E. (2021). The Luna program. In *Sample Return Missions* (pp. 37-78). Elsevier.
3. Crawford, I. A., Joy, K. H., & Anand, M. (2014). *Lunar Exploration. Encyclopedia of the Solar System, 555–579.*
4. Chowdhury, Arup Roy. Mission and Science Instruments: Chandrayaan-1 perspective SEG, SEDA, SAC Geomatics-2010 pre-conference tutorial on “Planetary Geomatics”, February 2-3, 2010, Ahmedabad
5. Exploring the Moon. A Teacher's Guide with Activities, NASA EG-1997-10-116-HQ
6. Goswami, J. N. An overview of the Chandrayaan-1 mission. Physical Research Laboratory, Ahmedabad-380009, India 41st Lunar and Planetary Science Conference (2010)
7. Sorensen, T. C. & Spudis, P. D. (2005). *The Clementine mission —A 10-year perspective. Journal of Earth System Science, 114(6), 645–668.*
8. Spudis,P.D., Shoemaker, E., Acton, C., Burratti, B., Duxbury, T., Baker, D., Smith, D., Blamont, J., Daview, M., Eliason, E., McEwn. A., Lucey, P., Pieters, C., (1994). Lunar and Planetary inst. Houstan, TX., United States
9. Binder, A. B. (1998). *Lunar Prospector: Overview. Science, 281(5382),* 1475–1476.
10. Foing, B. H., O. Camino, J. Schoenmakers, J. de Bruin, D. Gestal, M. Alonso, R. Blake, S. Ricken, P. Pardo, D. Koschny, D. Frew, M. Almeida, M. Sarkarati, J. Volp, G. Schwehm, J. L. Josset, S. Beauvivre, Z. Sodnik, M. Grande, U. Keller, A. Nathues, P. Ehrenfreund, G.D. Racca et al., SMART-1 mission overview from launch, lunar orbit to impact SMART-1 STWT and Spacecraft Operations Team, ESTEC/SCI-S, postbus 299, 2200 AG Noordwijk, NL, Europe
11. SMART-1. https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/SMART-1
12. Foing, B. H. (2006). *Results from the SMART-1 lunar mission.* Proceedings of the International Astronomical Union, 2(14).
13. Dachev, T.P., Tomov, B.T., Matviichuk, Y.N., Dimitrov, P.S., Vadawale, S.V., Goswami, J.N., De Angelis, G. and Girish, V., 2011. An overview of RADOM results for earth and moon radiation environment on Chandrayaan-1 satellite. Advances in space research, 48(5), pp.779–791.
14. Bhandari, Narendra & Srivastava, N.. (2014). Active Moon: evidences from Chandrayaan-1 and the proposed Indian missions. Geoscience letters. 1. 10.1186/s40562-014-0011-y.
15. Chin, G., Brylow, S., Foote, M., Garvin, J., Kasper, J., Keller, J., … Zuber, M. (2007). *Lunar Reconnaissance Orbiter Overview: The Instrument Suite and Mission. Space Science Reviews, 129(4), 391–419.* doi:10.1007/s11214-007-9153-y
16. Smith, M., Craig, D., Herrmann, N., Mahoney, E., Krezel, J., McIntyre, N. and Goodliff, K., 2020, March. The Artemis program: an overview of NASA's activities to return humans to the moon. In 2020 IEEE Aerospace Conference (pp. 1–10). IEEE.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВЕГЕТАЦИОННИТЕ ИНДЕКСИ ГЕНЕРИРАНИ ОТ БЛА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ДОБИВА НА БИОЛОГИЧЕН ЛИМЕЦ (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.)

Милен Чанев[1,2], Лъчезар Филчев[1], Богдан Бончев[3], Дарина Вълчева[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Институт по земеделие – Карнобат – Селскостопанска академия
[3]Институт по растителни генетични ресурси „К. Малков“ – Садово – Селскостопанска академия
e-mail: mchanev@space.bas.bg

Ключови думи: *БЛА, вегетационни индекси, биологично земеделие*

Резюме: *Целта на настоящото изследване е да се установи група от вегетационни индекси генерирани от данни получени от безпилотен летателен апарат за прогнозиране на добивите от лимец отглеждан в условия на биологично земеделие. Експериментът е проведен през стопанската 2020-2021 г. на сертифицирано биологично поле, намиращо се в община Първомай, област Пловдив.*

APPLICATION OF VEGETATION INDEXES GENERATED BY UAV TO DETERMINE THE YIELD OF ORGANIC EINKORN (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.)

Milen Chanev[1,2], Lachezar Filchev[1], Bogdan Bonchev[3], Darina Valcheva[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Institute of Agriculture - Karnobat - Agricultural Academy
[3]Institute of plant genetic resources “Konstantin Malkov” – Sadovo - Agricultural Academy
e-mail: mchanev@space.bas.bg

Keywords: *UAV, vegetation indices, organic farming*

Abstract: *The aim of the present study is to establish a group of vegetation indices generated from data obtained from an unmanned aerial vehicle for predicting the yields of einkorn grown in organic farming conditions. The experiment was conducted during the agriculture year 2020-2021 on a certified organic field located in the municipality of Parvomai, Plovdiv region.*

Въведение

Дистанционните методи (ДМ) са широко използвани за селскостопански приложения. Те стоят в основата на прецизното земеделие и то не може да съществува без тях [2, 10, 12]. Дистанционните методи предлагат нови перспективи и методологични подходи за прецизно земеделие [1, 4, 5, 9, 11, 13, 16].

Чрез използването на ДМ може да се подобри прехода от конвенционално към биологично земеделие. Според Gitelson [7], технологиите за дистанционно наблюдение в различни мащаби често се оказват подходящ инструмент за мониторинг на селскостопанските култури. Потенциала на тези технологии по отношение на биологичното земеделие не е проучен напълно [3]. Технологията за дистанционно наблюдение в биологичното земеделие трябва да генерира информация на различни нива, която да се използва за планирането на ресурсите и да спомогне за устойчиво селскостопанско производство [15].

Използването на дистанционните методи, GPS технологиите и хиперспектралния анализ на изображенията спомагат на земеделските производители за преминаването към

агроекологично и биологично земеделие, което е повратна точка в земеделието [14]. Научните изследвания и технологичният напредък в областта на дистанционните изследвания значително подобриха способността ни да откриваме и количествено определяме физическите и биологичните натоварвания, които влияят върху производителността на селскостопанските култури [7, 8]. Технологиите на прецизното земеделие, които са базирани на аерокосмическите методи могат да се справят с някои проблеми в биологичното земеделие, свързани с управлението на водите и почвите, растителната защита и механизацията [6]. В това проучване показваме възможностите за употреба на данни получени от безпилотен летателен апарат (БЛА) и прогнозиране на добивите при биологично отглеждане на културата лимец (*Triticum monococcum*).

Материал и метод

Заснемането с БЛА се извърши на сертифицирано биологично поле от лимец намиращо се в землището на с. Бяла река, община Първомай по време на фенологичните фази вретенене и млечна зрялост. Използван е БЛА тип крило марка WingtraOne с мултиспектрална камера MicaSense RedEdge-MX и RGB камера Canon.

Първичната фотограметрична обработка на данните получени от БЛА е направена в специализираният софтуер Pix4D. В същият софтуер са генерирани и картите на вегетационни индекси (ВИ) по данни от БЛА.

Биометрични измервания

Получените данни са верифицирани чрез биометрични измервания в полето при достигане на технологична зрялост на посева.

Измерени са следните показатели върху 25 растения от дванадесет метровки:

- Височина на растенията (cm)
- Дължина на класа (cm)
- Брой зърна в класа
- Маса на зърното в класа (g)
- Биологичен добив (kg/dka)
- Маса на 1000 зърна (g).

Статистически анализи

Софтуерният продукт SPSS20, е използван за корелационен анализ за статистическо доказване на най-подходящите за употреба ВИ получени от БЛА на ниво пиксел и елементите на продуктивност и добива. Приема се, че когато коефициента на корелация (r) е от 0 до 0.33 – корелацията е слаба, когато r е в границите от 0.34 до 0.66 е средна и от 0.67 до 0.99 е силна.

Резултати

В Таблица 1 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза вретенене (BBCH 45). Добивът като крайна резултативна величина е най-важният показател за посева. Поради това от най-голям интерес са корелациите между него и вегетационните индекси. Данните показват, че само BSI има силна положителна връзка с добива (r=0.654*). На фигура 2 е представена картосхема на ВИ BSI във ваза вретенене. През тази фаза доказани средни корелации съществуват с индексите VVI и VARI, като при VARI тя е отрицателна. С елементите на продуктивността са установени силни положителни корелации с TVI, TGI и BIM по показателя брой класоносни стъбла на m2 като съответно (r=0.666*, r=0.723** и r=0.685*). BIM е в силна положителна корелационна връзка с показателя брой зърна в клас (r=0.848**) и средна с тегло на зърното от растение (r=0.631*). VVI корелира силно с височина на растението (r=0.713**). Съществува средна положителна корелация на DATT с маса на 1000 зърна (r=0.640*).

Таблица 1. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и ВИ от БЛА във фаза вретенене

Показатели / Индекси	Височина на растенията	Дължина на класа	Брой класоносни стъбла на m^2	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
VARI	-0.472	-0.008	-0.648*	-0.816*	0.558	-0.632*	-0.200	-0.603*
TVI	0.437	-0.090	0.666*	0.363	0.525	0.502	0.570	0.280
TGI	0.375	-0.247	0.723**	0.508	0.551	0.541	0.503	0.269
SI	-0.309	0.008	-0.311	0.024	-0.245	-0.223	-0.445	-0.257
Shpshape_index	-0.432	-0.141	-0.384	-0.097	-0.324	-0.337	-0.433	-0.457
SCI	-0.105	0.109	-0.170	0.179	-0.102	-0.052	-0.360	0.021
SAVI	0.364	-0.075	0.544	0.208	0.420	0.387	0.534	0.199
RVI	0.190	-0.040	0.195	-0.178	0.127	0.073	0.402	0.047
RSAVI	-0.333	0.170	-0.532	-0.229	-0.389	-0.372	-0.494	-0.292
RGBVI	-0.024	-0.149	0.071	-0.256	0.018	-0.043	0.290	-0.175
OSAVI	0.263	-0.064	0.393	0.037	0.293	0.251	0.473	0.094
NGRDI	0.105	-0.109	0.170	-0.179	0.102	0.052	0.360	-0.021
NDVI_RE	0.037	-0.071	0.078	-0.268	0.026	-0.029	0.299	-0.104
NDVI	0.067	-0.034	0.099	-0.260	0.051	-0.004	0.328	-0.099
NDRE	0.298	0.090	0.280	-0.122	0.239	0.187	0.516	0.074
MSAVI	0.327	-0.074	0.479	0.130	0.361	0.325	0.509	0.170
HUE	-0.452	0.197	-0.798	-0.619*	-0.625*	-0.629*	-0.513	-0.359
HI	0.139	-0.054	0.192	-0.152	0.131	0.092	0.369	0.039
GRVI	0.105	-0.109	0.170	-0.179	0.102	0.052	0.360	-0.021
GNDVI	0.118	0.144	0.036	-0.348	0.021	-0.041	0. 333	-0.108
GLI	0.029	-0.144	0.113	-0.229	0.047	-0.012	0.318	-0.120
GLAI	0.133	-0.090	0.189	-0.158	0.124	0.079	0.375	0.020
GCI	0.151	0.155	0.059	-0.333	0.037	-0.026	0.351	-0.066
EVI	0.398	-0.071	0.582*	0.254	0.458	0.430	0.553	0.247
DVI	0.448	-0.078	0.672*	0.368	0.532	0.509	0.575	0.287
DATT	0.504	0.224	0.421	0.021	0.391	0.350	0.640*	0.238
CVI	-0.053	0.263	-0.222	0.070	-0.134	-0.094	-0.343	-0.015
CIRE	0.300	0.074	0.291	-0.109	0.248	0.195	0.523	0.085
CI	-0.314	0.016	-0.313	0.009	-0.254	-0.233	-0 449	-0.268
Chlorophyl_index	-0.074	0.105	-0.145	0.200	-0.082	-0.031	-0.341	0.056
BNDVI	-0.067	-0.058	-0.030	-0.367	0.059	-0.131	0.244	-0.286
BIM	0.418	-0.103	0.685*	0.848**	0.569	0.631*	0.205	0.506
BSI	-0.728**	-0.682*	-0.273	0.061	-0.174	-0.218	-0.323	0.654*
VVI	0.713**	0.515	0.223	-0.054	0.226	0.247	0.367	0.600*

На Таблица 2 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза млечна зрялост (BBCH 75). От данните прави впечатление, че във фаза млечна зрялост се установени повече средни и силни корелации на генерираните вегетационни индекси с елементите на продуктивността и добива в сравнение с фаза вретенене. С добива съществуват 7 силни корелации, от които 3 са положителни при добра доказаност. По показателя дължина на класа нито един от 33 ВИ не е в корелационна зависимост. Височината на растението е също от показателите, който почти не корелират с ВИ. Установена е само една средна положителна корелация във фаза млечна зрялост. Вегетационният индекс SCI прави най-много положителни корелации, от които 5 са силни – добив (r=0.657*), брой на зърната в класа (r=0.731**), тегло на зърната в клас (r=0.786**) и растение (r=0.806**) и маса на 1000 зърна (r=0.706*). SCI корелира средно положително и с брой класоносни стъбла на m^2.

С добива корелират 7 от ВИ, при които 3 са силни положителни и 4 силни отрицателни. Освен ВИ SCI в силна положителна връзка с добива са CVI (r=0.689*) и Chlorophyl_index (r=0.653*).

Установени са силни отрицателни корелации между добива и NGRDI (r= -0.657*), GRDI (r = –0.657*) и CLI (r = –0.671*). Интерес представляват и установените силни положителни корелации на CI, BIM и BSI с показателите брой зърна в класа, които са съответно (0.742**, 0.689*, 0.659*), тегло на зърното в клас (0.696*, 0.679* и 0.672*).

Таблица 2. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост

Показатели / Индекси	Височина на растенията	Дължина на класа	Брой класоносни стъбла на m^2	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
VARI	-0.446	0.210	-0.522	-0.624	-0.704	-0.724	-0.684	-0.671
TVI	0.001	-0.060	0.093	0.052	0.024	0.046	0.275	0.505
TGI	0.074	0.006	0.070	0.233	0.181	0.151	-0.100	-0.404
SI	0.376	-0.065	0.610	0.744**	0.707*	0.725**	0.493	0.351
shpshapeindex	0.396	-0.069	-0.573	0.761**	0.712**	0.729**	0.462	0.317
SCI	0.480	-0.199	0.603	0.731**	0.786**	0.807**	0.706*	0.657*
SAVI	-0.011	0.053	0.094	0.179	0.032	0.115	0.231	0.195
RVI	-0.470	0.188	-0.680	-0.780	-0.800	-0.810	-0.634	-0.548
RSAVI	-0.110	0.005	-0.141	-0.023	-0.150	-0.075	-0.352	-0.092
RGBVI	0.331	0.353	0.054	0.186	0.250	0.322	0.134	0.552
OSAVI	0.100	0.176	0.051	0.149	0.082	0.163	-0.136	0.289
NGRDI	-0.480	0.480	-0.603	-0.731	-0.786	-0.807	-0.706	-0.657
NDVI_RE	-0.543	0.212	-0.658	-0.806	-0.891	-0.894	-0.766	-0.573
NDVI	-0.501	0.251	-0.604	-0.830	-0.884	-0.882	-0.710	-0.495
NDRE	-0.155	0.270	-0.274	-0.631	-0.512	-0.506	-0.201	-0.092
MSAVI	-0.046	0.082	-0.154	-0.026	-0.118	-0.136	-0.352	-0.541
HUE	-0.125	-0.003	-0.095	-0.262	-0.246	-0.215	-0.025	-0.332
HI	-0.510	0.170	-0.614	-0.800	-0.838	-0.859	-0.699	-0.609
GRVI	-0.480	0.199	-0.603	-0.731	-0.786	-0.807	-0.706	-0.657
GNDVI	0.322	0.510	-0.337	-0.308	-0.007	-0.022	0.168	-0.153
GLI	-0.451	-0.215	-0.519	-0.629	-0.709	-0.729	-0.685	-0.671
GLAI	-0.487	0.188	-0.619	-0.755	-0.802	-0.824	-0.705	-0.646
GCI	-0.378	0.177	-0.525	-0.715	-0.701	-0.681	-0.426	-0.174
EVI	-0.071	0.089	-0.179	-0.069	-0.168	-0.185	-0.391	-0.556
DVI	0.025	0.048	-0.071	0.088	0.014	-0.008	-0.244	-0.488
DATT	-0.240	-0.100	0.636	-0.594	-0.503	-0.542	-0.272	-0.285
CVI	0.283	-0.022	0.305	0.291	0.348	0.401	0.448	0.689*
CIRE	-0.152	0.259	-0.276	-0.624	-0.505	-0.500	-0.195	-0.086
CI	0.374	-0.058	0.618	0.742**	0.696*	0.714**	0.474	0.344
Chlorophyl_index	0.495	-0.196	0.585	0.742**	0.802**	0.823**	0.714**	0.653*
BNDVI	0.324	0.421	-0.220	0.017	0.185	0.227	0.173	0.400
BIM	0.382	-0.183	0.422	0.689*	0.679*	0.655*	0.357	-0.007
BSI	0.364	-0.180	0.390	0.659*	0.672*	0.642	0.367	0.367
VVI	0.415	0.243	0.421	-0.688	0.716**	-0.689	-0.437	-0.071

Заключение

По отношение на добива и елементите на продуктивност се установява, че данните получени от БЛА при фазата млечна зрялост са по-подходящи, за охарактеризиране на елементите на продуктивност и добива. Установено, е че от всички проучени ВИ само BSI има силна положителна корелационна връзка с добива, а ВИ VARI е в средна отрицателна корелационна връзка с добива по време на фаза вретенене.

По време на фаза млечна зрялост ВИ, които са в силна корелационна връзка с добива са CVI, SCI и Chlorophyl_index, докато ВИ VARI, NGRDI, HI, GRVI, GLI и GLAI, са в силна отрицателна корелационна връзка. ВИ CI, BIM и BS са в силни положителни корелации с показателите брой зърна в класа и тегло на зърното в клас, което показва, че също биха били много успешно да прогнозират добива.

Литература:

1. Baranyai, L. and F. Firtha. 1997. Comparison of grain color and shape by image analysis, http://physics2.kee.hu/default.php?id=6 (in Hungarian).
2. Bendig, J., Bolten, A., & Bareth, G. 2013. UAV-based Imaging for Multi-Temporal, very high Resolution Crop Surface Models to monitor Crop Growth Variability. Photogrammetrie—Fernerkundung—Geoinformation. 2013 (6), pp. 551–562.
3. Diacono, M., D. De Benedetto, A. Castrignanò, P. Rubino, C. Vitti, H.M. Abdelrahman, D. Sollitto, C. Cocozza, D. Ventrella, 2013. “A combined approach of geostatistics and geographical clustering for delineating homogeneous zones in a durum wheat field in organic farming”, NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences, Volumes 64–65, pp. 47−57.
4. Fekete, A., Földesi, I., Kovács, L., Kókai, M., Héger, L. 2004. Automatic control systems for precision farming (inHungarian).Proceedings of NKFP Conference, Bábolna.
5. Felfoldi, J., A. Fekete, E. Gyori, and A. Szepes. 2001. Variety identification by computer vision. Acta Horticulturae. 562, pp. 341–345.
6. Ferreira, S., Sanchéz, J. M., Gonçalves, J. M. Can 2021. Organic Farming development be driven by Remote Sensing technology? in Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Agronomy, 3–17 May 2021, MDPI: Basel, Switzerland, doi:10.3390/IECAG2021-10014
7. Gitelson, A., 2012. Remote sensing estimation of crop biophysical characteristics at various scales. In: Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation, Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., Huete, A., Eds., CRC Press. USA. ISBN 978-1-4398-4537-0.
8. Hatfield, P. L. and P. Pinter. 1993. Remote sensing for crop protection. Crop Protection. 12(6): 403−413. doi:10.1016/0261-2194(93)90001-y.
9. Jung, A., Hegedűs, B., Drexler, D. & Vohland, M., 2014. Rapid treatment monitoring by field spectroscopy. In Proceedings of the 18th IFOAM World Congress, Istanbul, Turkey (FP).
10. Jung, A., Kardeván, P., & Tőkei, L. 2006. Hyperspectral technology in vegetation analysis. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 2(1), pp. 95−117.
11. Lang, Z., J. Kriston-Vizi, and S. Molnar. 2000. Precision Farming in Fruit Production. MTA. AMB Conference. Godollo, Hungary. (in Hungarian)
12. Mulla, D. J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Biosystems engineering, 114(4), pp. 358−371.
13. Németh, T., & Neményi, M. 2004. Precision farming. Biotechnológiai és Agrárgazdasági Fejlesztések, 67−76.
14. Niggli, U., Wang-Müller, Q., Willer, H., & Fuchs, J. 2021. Innovation in agroecological and organic farming systems. 中国生态农业学报 (中英文), 29(3), 1. DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200469
15. Syiem, M. D. 2003. Impact of agricultural literature on organic farming in northeastern region. Indian Journal of Hill Farming (India).
16. Tamas, J. 2001. Precision Agriculture, Mezogazdasagi Szaktudas Kiado, Budapest (in Hungarian).

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ МЕЖДУ ДВА ТИПА НА ОБРАБОТКА НА ДАННИ, ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ БЛА ОТ БИОЛОГИЧНО ПОЛЕ ОТ ЛИМЕЦ (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.)

Милен Чанев[1,2], Лъчезар Филчев[1], Богдан Бончев[3], Дарина Вълчева[2], Георги Желев[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Институт по земеделие – Карнобат – Селскостопанска академия
[3]Институт по растителни генетични ресурси „К. Малков“ – Садово – Селскостопанска академия
e-mail: mchanev@space.bas.bg

Ключови думи: *БЛА, вегетационни индекси, биологично земеделие*

Резюме: *Целта на настоящото изследване е да се установи кой тип на обработка на данни получени от безпилотен летателен апарат (БЛА) е по-подходящ за прогнозиране на добивите от културата лимец отглеждана в условията на биологично земеделие. Сравнението е направено между данни получени от БЛА на ниво пиксел с големина 7 × 7 cm и при агрегиране на пикселите до големина на пиксела 1 × 1 m. Експериментът е проведен през стопанската 2020–2021 г. на сертифицирано биологично поле, намиращо се в община Първомай, област Пловдив.*

A COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN TWO TYPES OF DATA PROCESSING OBTAINED THROUGH UAV FROM A BIOLOGICAL FIELD WITH EINKORN (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.)

Milen Chanev[1,2], Lachezar Filchev[1], Bogdan Bonchev[3], Darina Valcheva[2], Georgi Zhelev[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Institute of Agriculture - Karnobat - Agricultural Academy
[3]Institute of plant genetic resources “Konstantin Malkov” – Sadovo - Agricultural Academy
e-mail: mchanev@space.bas.bg

Keywords: *UAV, vegetation indices, organic farming*

Abstract: *The aim of the present study is to determine which type of data processing obtained from an unmanned aerial vehicle (UAV) is more suitable for predicting the yields of the eikorn crop grown under organic farming conditions. The comparison is made between data obtained from the UAV at the pixel level of 7 × 7 cm and when aggregating the pixels to a pixel size of 1 × 1 m. The experiment was conducted during the agricultural year 2020–2021 on a certified organic field located in the municipality of Parvomai, Plovdiv region.*

Въведение

Биологичното земеделие е селскостопанска система, която е приоритет в ЕС Митова (2014), показва ясни екологични предимства по отношение на токсичността за околната среда и използването на биологични ресурси (Nemecek et al. 2006). Зърнените култури заемат особено важно място в биологичното земеделие. Те са основните полски култури, от които се произвеждат детски и диетични храни и са много търсени както на нашия, така и на международния пазар (Атанасова и др. 2014).

Може би най-разпространената алтернативна зърнено-житна култура е лимецът, който вече е намерил своето място в биофермите и сред потребителите (Konvalina 2011). Лимецът е алтернатива за фермерите, които могат да включат друга култура в сеитбооборота си, което им гарантира стабилен добив в условия на рязко изменение на климата. Поради предимствата си лимеца е не само изключително ценно растение, като здравословен продукт с висока биологична стойност, но отглеждането му не изисква използването на продукти за растителна защита и минерални торове (Eisele & Korke, 1997).

Материали и методи

Дистанционни методи

Заснемането с БЛА се извърши по време на фенологичните фази вретенене (BBCH 45) и млечна зрялост (BBCH 75) с БЛА тип крило марка WingtraOne с мултиспектрална камера MicaSense RedEdge-MX и RGB камера Canon.

Първичната фотограметрична обработка на данните получени от БЛА е направена в специализираният софтуер Pix4D и включва създаване на ортофото мозайка на обследваното поле, създаване на цифров модел на терена DTM, създаване на цифров модел на земната повърхност DSM. В същият софтуер са генерирани и картите на вегетационни индекси (ВИ) по данни от БЛА.

ГИС методи

В ГИС среда от генерираните ВИ, за обследваното полето от БЛА, са извлечени стойностите на пикселите с големина 7 × 7 cm за всяка една от пробните площадки в полето, след което е направено агрегиране на пикселите до големина 1 × 1 m. Софтуерът, с който е извършена обработката на получените данни от БЛА е ArcGisPro.

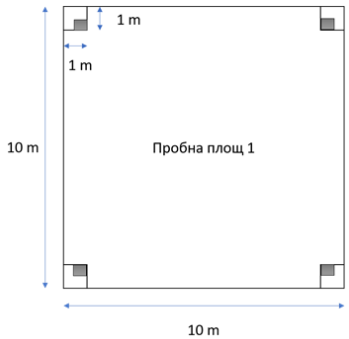
Биометрични измервания

Преди прибиране на реколтата в три различия на вегетационният индекс NDVI се взимат всички растения от метровка 0.25 × 0.25 m в 4 повторения схема на пробните площадки и метровките е представена на фигура 1.

Във всяка метровка са преброени всички растения, а върху 25 растения са проследени следните показатели: Височина на растенията (cm); Дължина на класа (cm); Зърна в класа (брой); Маса на зърното в класа (g); Биологичен добив (kg/da), изчислен по Енчев и др. (1984); Физични качества на зърното. Маса на 1000 зърна (g) е определена по /БДС 13358-76/ за 4 повторения.

Статистически анализи

Софтуерният продукт SPSS20, е използван за корелационен анализ за статистическо доказване на най-подходящите за употреба ВИ получени от БЛА на ниво пиксел и елементите на продуктивност и добива. Приема се, че когато коефициента на корелация (r) е от 0 до 0.33 - корелацията е слаба, когато r е в границите от 0.34 до 0.66 е средна и от 0.67 до 0.99 е силна (Маринков и Димова, 1999).



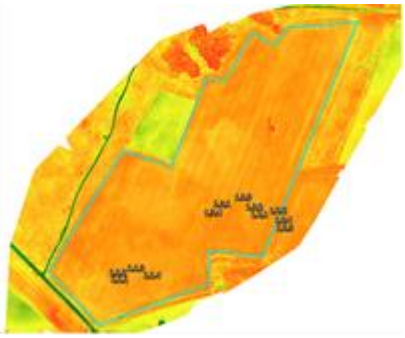
Фиг. 1. Схема на пробните площадки и метровките

Резултати

В Таблица 1 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза вретенене на ниво пиксел без агрегация (BBCH 45). Добивът като крайна резултативна величина е най-важният показател за посева. Поради това от най-голям интерес са корелациите между него и вегетационните индекси. Данните показват, че само BSI има силна положителна връзка с добива (r=0.654*) на фигура 2 е представена картосхема на ВИ BSI във ваза вретенене.

През тази фаза доказани средни корелации съществуват с индексите VVI и VARI, като при VARI тя е отрицателна. С елементите на продуктивността са установени силни положителни корелации с TVI, TGI и BIM по показателя брой класоносни стъбла на m2 като съответно (r=0.666 *, r=0.723 ** и r=0.685 *).

BIM е в силна положителна корелационна връзка с показателя брой зърна в клас (r=0.848 **) и средна с тегло на зърното от растение (r=0.631*). VVI корелира силно с височина на растението (r=0.713**). Съществува средна положителна корелация на DATT с маса на 1000 зърна (r=0.640 *).



Фиг. 2. Картосхема на ВИ BSI генериран от БЛА данни – фаза вретенене

Таблица 1. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и ВИ от БЛА във фаза вретенене без агрегация на пикселите

Показатели / Индекси	Височина на растенията	Дължина на класа	Брой класоносни стъбла на m^2	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
VARI	-0.472	-0.008	-0.648*	-0.816*	0.558	-0.632*	-0.200	-0.603*
TVI	0.437	-0.090	0.666*	0.363	0.525	0.502	0.570	0.280
TGI	0.375	-0.247	0.723**	0.508	0.551	0.541	0.503	0.269
SI	-0.309	0.008	-0.311	0.024	-0.245	-0.223	-0.445	-0.257
Shpshape_index	-0.432	-0.141	-0.384	-0.097	-0.324	-0.337	-0.433	-0.457
SCI	-0.105	0.109	-0.170	0.179	-0.102	-0.052	-0.360	0.021
SAVI	0.364	-0.075	0.544	0.208	0.420	0.387	0.534	0.199
RVI	0.190	-0.040	0.195	-0.178	0.127	0.073	0.402	0.047
RSAVI	-0.333	0.170	-0.532	-0.229	-0.389	-0.372	-0.494	-0.292
RGBVI	-0.024	-0.149	0.071	-0.256	0.018	-0.043	0.290	-0.175
OSAVI	0.263	-0.064	0.393	0.037	0.293	0.251	0.473	0.094
NGRDI	0.105	-0.109	0.170	-0.179	0.102	0.052	0.360	-0.021
NDVI_RE	0.037	-0.071	0.078	-0.268	0.026	-0.029	0.299	-0.104
NDVI	0.067	-0.034	0.099	-0.260	0.051	-0.004	0.328	-0.099
NDRE	0.298	0.090	0.280	-0.122	0.239	0.187	0.516	0.074
MSAVI	0.327	-0.074	0.479	0.130	0.361	0.325	0.509	0.170
HUE	-0.452	0.197	-0.798	-0.619*	-0.625*	-0.629*	-0.513	-0.359
HI	0.139	-0.054	0.192	-0.152	0.131	0.092	0.369	0.039
GRVI	0.105	-0.109	0.170	-0.179	0.102	0.052	0.360	-0.021
GNDVI	0.118	0.144	0.036	-0.348	0.021	-0.041	0. 333	-0.108
GLI	0.029	-0.144	0.113	-0.229	0.047	-0.012	0.318	-0.120
GLAI	0.133	-0.090	0.189	-0.158	0.124	0.079	0.375	0.020
GCI	0.151	0.155	0.059	-0.333	0.037	-0.026	0.351	-0.066
EVI	0.398	-0.071	0.582*	0.254	0.458	0.430	0.553	0.247
DVI	0.448	-0.078	0.672*	0.368	0.532	0.509	0.575	0.287
DATT	0.504	0.224	0.421	0.021	0.391	0.350	0.640*	0.238
CVI	-0.053	0.263	-0.222	0.070	-0.134	-0.094	-0.343	-0.015
CIRE	0.300	0.074	0.291	-0.109	0.248	0.195	0.523	0.085
CI	-0.314	0.016	-0.313	0.009	-0.254	-0.233	-0 449	-0.268
Chlorophyl_index	-0.074	0.105	-0.145	0.200	-0.082	-0.031	-0.341	0.056
BNDVI	-0.067	-0.058	-0.030	-0.367	0.059	-0.131	0.244	-0.286
BIM	0.418	-0.103	0.685*	0.848**	0.569	0.631*	0.205	0.506
BSI	-0.728**	-0.682*	-0.273	0.061	-0.174	-0.218	-0.323	0.654*
VVI	0.713**	0.515	0.223	-0.054	0.226	0.247	0.367	0.600*

На Таблица 2 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за

фаза млечна зрялост (BBCH 75) без агрегация на пкселите. От данните прави впечатление, че във фаза млечна зрялост се установени повече средни и силни корелации на генерираните вегетационни индекси с елементите на продуктивността и добива в сравнение с фаза вретенене. С добива съществуват 7 силни корелации, от които 3 са положителни при добра доказаност. По показателя дължина на класа нито един от 33 ВИ не е в корелационна зависимост. Височината на растението е също от показателите, който почти не корелират с ВИ. Установена е само една средна положителна корелация във фаза млечна зрялост. Вегетационният индекс SCI прави най-много положителни корелации, от които 5 са силни – добив (r=0.657*), брой на зърната в класа (r=0.731**), тегло на зърната в клас (r=0.786**) и растение (r=0.806**) и маса на 1000 зърна (r=0.706*). SCI корелира средно положително и с брой класоносни стъбла на m^2.

С добива корелират 7 от ВИ, при които 3 са силни положителни и 4 силни отрицателни. Освен ВИ SCI в силна положителна връзка с добива са CVI (r=0.689*) и Chlorophyl_ index (r=0.653*).

Установени са силни отрицателни корелации между добива и NGRDI (r = -0.657*), GRDI (r = -0.657*) и CLI (r = -0.671*). Интерес представляват и установените силни положителни корелации на CI, BIM и BSI с показателите брой зърна в класа, които са съответно (0.742**, 0.689*, 0.659*), тегло на зърното в клас (0.696*, 0.679* и 0.672*).

Таблица 2. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост

ВИ	Височина на растенията	Дължина на класа	Брой класоносни стъбла на m^2	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
VARI	-0.446	0.210	-0.522	-0.624	-0.704	-0.724	-0.684	-0.671
TVI	0.001	-0.060	0.093	0.052	0.024	0.046	0.275	0.505
TGI	0.074	0.006	0.070	0.233	0.181	0.151	-0.100	-0.404
SI	0.376	-0.065	0.610	0.744**	0.707*	0.725**	0.493	0.351
shpshapeindex	0.396	-0.069	-0.573	0.761**	0.712**	0.729**	0.462	0.317
SCI	0.480	-0.199	0.603	0.731**	0.786**	0.807**	0.706*	0.657*
SAVI	-0.011	0.053	0.094	0.179	0.032	0.115	0.231	0.195
RVI	-0.470	0.188	-0.680	-0.780	-0.800	-0.810	-0.634	-0.548
RSAVI	-0.110	0.005	-0.141	-0.023	-0.150	-0.075	-0.352	-0.092
RGBVI	0.331	0.353	0.054	0.186	0.250	0.322	0.134	0.552
OSAVI	0.100	0.176	0.051	0.149	0.082	0.163	-0.136	0.289
NGRDI	-0.480	0.480	-0.603	-0.731	-0.786	-0.807	-0.706	-0.657
NDVI_RE	-0.543	0.212	-0.658	-0.806	-0.891	-0.894	-0.766	-0.573
NDVI	-0.501	0.251	-0.604	-0.830	-0.884	-0.882	-0.710	-0.495
NDRE	-0.155	0.270	-0.274	-0.631	-0.512	-0.506	-0.201	-0.092
MSAVI	-0.046	0.082	-0.154	-0.026	-0.118	-0.136	-0.352	-0.541
HUE	-0.125	-0.003	-0.095	-0.262	-0.246	-0.215	-0.025	-0.332
HI	-0.510	0.170	-0.614	-0.800	-0.838	-0.859	-0.699	-0.609
GRVI	-0.480	0.199	-0.603	-0.731	-0.786	-0.807	-0.706	-0.657
GNDVI	0.322	0.510	-0.337	-0.308	-0.007	-0.022	0.168	-0.153
GLI	-0.451	-0.215	-0.519	-0.629	-0.709	-0.729	-0.685	-0.671
GLAI	-0.487	0.188	-0.619	-0.755	-0.802	-0.824	-0.705	-0.646
GCI	-0.378	0.177	-0.525	-0.715	-0.701	-0.681	-0.426	-0.174
EVI	-0.071	0.089	-0.179	-0.069	-0.168	-0.185	-0.391	-0.556
DVI	0.025	0.048	-0.071	0.088	0.014	-0.008	-0.244	-0.488
DATT	-0.240	-0.100	0.636	-0.594	-0.503	-0.542	-0.272	-0.285
CVI	0.283	-0.022	0.305	0.291	0.348	0.401	0.448	0.689*
CIRE	-0.152	0.259	-0.276	-0.624	-0.505	-0.500	-0.195	-0.086
CI	0.374	-0.058	0.618	0.742**	0.696*	0.714**	0.474	0.344
Chlorophyl_index	0.495	-0.196	0.585	0.742**	0.802**	0.823**	0.714**	0.653*
BNDVI	0.324	0.421	-0.220	0.017	0.185	0.227	0.173	0.400
BIM	0.382	-0.183	0.422	0.689*	0.679*	0.655*	0.357	-0.007
BSI	0.364	-0.180	0.390	0.659*	0.672*	0.642	0.367	0.367
VVI	0.415	0.243	0.421	-0.688	0.716**	-0.689	-0.437	-0.071

В Таблица 3 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза вретенене (BBCH 45) след агрегиране на пикселите. От таблицата се установява, че след агрегиране на пикселите във фаза вретенене нито един от индексите не е в корелационна зависимост с добива от биологичен лимец. Установява се, че ВИ hueoverallhueindex и VVI са съответно в силна (r = 0.769) и средна (r = 0.656) корелационна зависимост с елемента на продуктивност дължина на класа.

Таблица 3. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза вретенене (BBCH 45) след агрегиране на пикселите

Вегетационни индекси	**Височина на растението**	**Дължина на класа**	**Брой растения (m)**	**Брой на зърната в класа**	**Тегло на зърното от клас**	**Тегло на зърното от растение**	**Маса на 1000 зърна**	**Добив**
CI	0.149	0.353	-0.028	0.215	0.136	0.204	-0.021	0.195
Chlorophil index	-0.027	0.341	-0.041	0.053	0.044	0.100	-0.002	0.144
CIRE	-0.254	-0.365	-0.102	-0.114	-0.241	-0.287	-0.255	-0.236
CVI	-0.133	0.400	-0.139	-0.060	-0.146	-0.076	-0.222	0.144
DATT	-0.319	-0.357	-0.149	-0.127	-0.277	-0.324	-0.304	-0.280
DVI	-0.263	-0.689	0.081	0.155	0.042	-0.014	-0.051	-0.333
EVI	-0.234	-0.642	0.074	0.100	0.017	-0.043	-0.040	-0.315
GCI	-0.162	-0.225	-0.096	-0.193	-0.301	-0.329	-0.295	-0.141
GLAI	-0.023	-0.356	0.039	-0.097	-0.070	-0.131	0.008	-0.164
GLI	0.099	-0.317	0.051	0.026	-0.001	-0.046	-0.004	-0.113
GNDVI	-0.128	-0.203	-0.092	-0.196	-0.296	-0.321	-0.291	-0.122
GRVI	0.016	-0.349	0.044	-0.059	-0.048	-0.105	0.005	-0.152
HI	-0.067	-0.350	0.024	-0.147	-0.095	-0.160	0.009	-0.172
hueoverallhueindex	0.189	0.769	-0.177	-0.325	-0.274	-0.208	-0.160	0.345
MSAVI	-0.182	-0.583	0.063	0.065	-0.003	-0.063	-0.037	-0.294
NDRE	-0.231	-0.354	-0.101	-0.118	-0.234	-0.282	-0.245	-0.235
NDVI_RE	0.044	-0.280	0.034	-0.092	-0.088	-0.134	-0.041	-0.102
NDVI	-0.009	-0.294	-0.002	-0.097	-0.122	-0.167	-0.092	-0.131
NGRDI	0.016	-0.349	0.044	-0.059	-0.048	-0.105	0.005	-0.152
OSAVI	-0.164	-0.553	0.051	0.049	-0.022	-0.079	-0.058	-0.271
RGBVI	0.122	-0.302	0.051	0.046	0.009	-0.032	-0.010	-0.089
RI	0.163	0.586	-0.077	-0.043	-0.056	0.022	-0.089	0.323
RSAVI	-0.274	-0.571	-0.003	0.034	-0.089	-0.144	-0.147	-0.311
RVI	-0.073	-0.327	0.002	-0.123	-0.155	-0.204	-0.099	-0.164
SAVI	-0.217	-0.631	0.069	0.106	0.015	-0.043	-0.048	-0.311
SCI	-0.016	0.349	-0.044	0.059	0.048	0.105	-0.005	0.152
shpshapeindex	0.250	0.300	0.015	0.306	0.178	0.248	-0.026	0.211
SI	0.142	0.351	-0.029	0.210	0.129	0.198	-0.023	0.202
TGI	-0.161	-0.762	0.174	0.328	0.260	0.196	0.140	-0.339
TVI	-0.255	-0.690	0.086	0.160	0.053	-0.004	-0.039	-0.332
VARI	0.063	-0.334	0.051	-0.011	-0.022	-0.073	0.000	-0.129
VVI	0.382	0.656	-0.124	-0.206	-0.208	-0.150	-0.168	0.370
BSI	-0.434	-0.729	0.066	0.288	0.154	0.105	-0.014	-0.538
BNDVI	-0.008	-0.247	-0.078	-0.016	-0.150	-0.175	-0.266	-0.172
BIM	-0.327	-0.747	0.171	0.375	0.318	0.266	0.188	-0.381

В Таблица 4 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза млечна зрялост (BBCH 75) след агрегиране на пикселите.

От таблицата се установява, че 21 от ВИ са в силна корелационна зависимост с добива от биологичен лимец, като единадесет от тях са в много силна корелационна зависимост с добива от биологичен лимец. От данните в таблицата се установява, че ВИ GLAI, GLI, GRVI, NGRDI, RGBVI и VARI освен, че са в много силна корелационна зависимост с добива, но и са в силна корелационна зависимост и със следните два елемента на продуктивност височина на растението и брой растения в m^2. От таблицата се вижда, че с ВИ липсва корелационна зависимост със следните елементи на продуктивността: дължина на класа, брой на зърната в класа, тегло на зърното от клас тегло на зърното от растение и маса на 1000 зърна.

Таблица 4. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост (BBCH 75) след агрегиране на пикселите.

ВИ	Височина на растението	Дължина на класа	Брой растения в m	Брой на зърната в класа	Тегло на зърното от клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
CI	-0.337	-0.309	-0.319	0.038	-0.127	-0.161	-0.347	-0.654
chlorophyll_index_green	-0.684	-0.239	-0.680	-0.376	-0.391	-0.456	-0.387	**-0.848**
CIRE	0.289	0.164	0.333	0.064	0.066	0.135	0.138	0.643
CVI	-0.711	-0.139	-0.802	-0.519	-0.457	-0.497	-0.345	-0.580
DATT	-0.048	0.052	0.047	-0.161	-0.211	-0.149	-0.128	0.347
DVI	0.447	0.134	0.427	0.406	0.294	0.388	0.146	0.675
EVI	0.514	0.173	0.483	0.396	0.319	0.411	0.207	0.747
GCI	0.437	0.252	0.384	0.164	0.231	0.299	0.313	0.792
GLAI	0.666	0.251	0.668	0.357	0.376	0.442	0.385	**0.850**
GLI	0.709	0.217	0.719	0.444	0.419	0.489	0.367	**0.844**
GNDVI	0.475	0.250	0.399	0.180	0.242	0.309	0.305	0.797
GRVI	0.678	0.245	0.684	0.381	0.388	0.456	0.381	**0.852**
HI	0.653	0.251	0.636	0.312	0.360	0.420	0.397	**0.840**
hueoverallhueindex	-0.234	0.033	-0.341	-0.393	-0.203	-0.254	0.021	-0.165
MSAVI	0.503	0.161	0.478	0.411	0.319	0.413	0.192	0.733
NDRE	0.305	0.164	0.339	0.071	0.068	0.138	0.132	0.649
NDVI_RE	0.695	0.273	0.642	0.369	0.416	0.481	0.429	**0.887**
NDVI	0.621	0.246	0.578	0.301	0.337	0.404	0.359	**0.847**
NGRDI	0.678	0.245	0.684	0.381	0.388	0.456	0.381	**0.852**
OSAVI	0.587	0.199	0.537	0.395	0.349	0.436	0.265	**0.804**
RGBVI	0.722	0.194	0.729	0.467	0.432	0.501	0.360	**0.828**
RI	-0.592	-0.119	-0.520	-0.486	-0.393	-0.460	-0.205	-0.529
RSAVI	0.379	0.146	0.383	0.253	0.172	0.265	0.107	0.685
RVI	0.579	0.266	0.581	0.309	0.331	0.405	0.358	**0.861**
SAVI	0.526	0.167	0.486	0.410	0.328	0.420	0.205	0.744
SCI	-0.678	-0.245	-0.684	-0.381	-0.388	-0.456	-0.381	**-0.852**
shpshapeindex	-0.381	-0.301	-0.336	0.025	-0.152	-0.184	-0.374	-0.682
SI	-0.352	-0.312	-0.329	0.029	-0.136	-0.171	-0.353	-0.660
TGI	0.431	-0.021	0.495	0.529	0.329	0.392	0.063	0.347
TVI	0.475	0.140	0.460	0.418	0.309	0.403	0.164	0.693
VARI	0.705	0.220	0.717	0.438	0.415	0.486	0.367	**0.844**
VVI	0.629	0.212	0.616	0.300	0.348	0.396	0.387	0.793
BSI	-0.470	-0.244	-0.432	-0.086	-0.220	-0.247	-0.371	-0.687
BNDVI	0.660	0.198	0.622	0.401	0.382	0.456	0.328	**0.846**
BIM	-0.496	-0.250	-0.475	-0.123	-0.242	-0.275	-0.382	-0.723

Заключение

По отношение на установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА без агрегация на пикселите за фаза вретенене (BBCH 45). Данните показват, че само BSI има силна положителна връзка с добива. Във фаза млечна зрялост се установени повече средни и силни корелации на генерираните вегетационни индекси с елементите на продуктивността и добива в сравнение с фаза вретенене. С добива съществуват 7 силни корелации, от които 3 са положителни при добра доказаност.

ВИ CI, BIM и BS са в силни положителни корелации с показателите брой зърна в класа и тегло на зърното в клас, което показва, че също биха били много успешно да прогнозират добива.

По отношение на възможностите да се предвижда добива от биологичен лимец с помощта на БЛА данни и след тяхната агрегация до пиксел с големина 1 × 1 m се установи, че вегетационната фаза млечна зрялост (BBCH 75) е по-подходяща, тъй като силна корлационна зависимост с добива имат 21 от ВИ. От тези 21 ВИ 12 са много силна корелационна връзка с добива ($r \geq 0.80$). Като най-подходящи за предвиждане на добива се очертават следните 6 ВИ: GLAI, GLI, GRVI, NGRDI, RGBVI и VARI. Освен, че са с много силна корелационна зависимост с добива те са и с силна корелационна зависимост и с два от елементите на продуктивността. ВИ NDVI_RE се очертава като най-подходящ за прогнозиране на добива, тъй като той е с най-силната корелационна зависимост ($r= 0.887$).

Можем да обобщим, че по отношение на добива и елементите на продуктивност се установява, че данните получени от БЛА при фазата млечна зрялост са по-подходящи, за охарактеризиране на елементите на продуктивност и добива.

Литература:

1. Атанасова, Д., В. Манева, В. Котева, Б. Зарков, Е. Дачев, 2014. Отглеждане на зърнено-житни култури в сертифицирано поле за биологично земеделие в Института по земеделие – Канобат, Национална конференция с международно участие на тема: “Биологично растениевъдство, животновъдство и храни“ – София, с. 62−68.
2. Маринков, Е., Д. Димова, 1999. опитно дело и биометрия. Академично издателство на ВСИ, Пловдив.
3. Митова, Д. 2014. Биологичното земеделие – съставна част и инструмент от екоуправлението на селското стопанство. Национална конференция с международно участие на тема: “Биологично растениевъдство, животновъдство и храни“ – София, с. 15−23.
4. Eisele, A. & U. Korke, 1997. “Choice of variety in organic farming: New criteria for winter wheat ideotypes”, Pflanzenbauwissen-schaften, 1(1), 5, 19−24.
5. Konvalina, P., 2011. Netradiční obilniny v ekozemědělství. [Unusual cereals in organic farming.] Zemědělec, 2011, 39 (2011), p. 21.
6. Nemecek, T., D. Dubois, O. Huguenin-Elie, G. Gaillard. 2006. Life cycle assessment of Swiss organic farming systems, Aspects of Applied Biology 79, What will organic farming deliver? COR 2006, c. 15−18.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ В ЗООЛОГИЯТА

Милен Чанев, Лъчезар Филчев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: mchanev@space.bas.bg;

Ключови думи: *дистанционни методи, ГИС, мониторинг, зоология*

Резюме: *Дистанционните методи (ДМ) се използват от началото на 70-те години на миналия век за изследвания в областта на зоологията. ДМ са използвани, като метод за дистанционно наблюдение, откриване и преброяване на животни. Установено е, че ДМ подходящ метод за откриване и преброяване на някои животински популации (Heyland 1972; Lavigne & Øritsland 1974).*

REMOTE SENSING IN ZOOLOGY

Milen Chanev, Lachezar Filchev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: mchanev@space.bas.bg

Keywords: *remote sensing, GIS, monitoring, zoology*

Abstract: *Remote sensing (RS) have been used since the early 1970s for zoological research. RS have been used as a method for remote monitoring, detection and counting of animals. RS has been found to be a suitable method for detecting and counting some animal populations (Heyland 1972; Lavigne & Øritsland 1974).*

Въведение

Дистанционният мониторинг, който представлява получаването на информация за обект или явление чрез устройство, което не е във физически контакт с обекта има значителен потенциал като източник на информация за състоянието на биологичното разнообразие и екосистемни услуги, в множество пространствени и времеви мащаби (Jones and Vaughan 2010; Pettorelli et. al. 2015). Мониторинга на околната среда посредством дистанционни методи (ДМ) е въведен от 60-те години на миналия век, като основно се е извършвал мониторинг на селското и горското стопанство. Притесненията на еколозите и зоолозите за числеността на популациите на животните наложиха да се проверят възможностите на ДМ още през 70-те години на миналия век за мониторинг на животинските ресурси. Първите опити за дистанционен мониторинг на популациите на животните е извършен чрез използването на инфрачервени изображения и въздушната фотография, използваща видимата част от електромагнитния спектър, като се е установило, че тези методи са подходящи за откриване и преброяване на някои животински популации (Croon et al. 1968; McCullough et al. 1969; Brooks 1970; Graves et al. 1972; Heyland 1972). Gillespie (2001) докладва, че мониторинга на популациите от животни чрез сателит е метод, които позволява да се проверят много биогеографски хипотези, свързани с миграцията и с разпространението на видовете. С напредването на технологиите за безпилотни летателни апарати (БЛА) през последните години все повече навлиза и тяхната употреба за нуждите на мониторинга на популациите от животни (Nazir & Kaleem 2021).

Мониторинг в зоологията чрез използването на IR изображения

Инфрачервените изображения, получени от термалните камери улавящи инфрачервено лъчение, излъчвано от животните, се използва от изследователите на дивата природа за оценка на популациите (Havens & Sharp, 2015; Delisle et. al. 2022). Lavigne & Øritsland (1974) установят,

че е необходимо да се осигури максимален контраст на сигнала, т.е. животното, спрямо неговия фон, за да се повиши ефективността на метода. В този случай е необходимо сензорът да бъде избран специално за неговата чувствителност към разликите в отразяването на слънчевата енергия и (или) топлинното излъчване между животното и околната среда. Друго добро приложение на този тип изображения е за мониторинг на нощната активност на бозайници (Wang et al. 2014).

Мониторинг в зоологията чрез използване на фотокапани

През последните две десетилетия много бързо навлезе употребата на фотокапани за мониторинг на популациите на животните. Употребата им се оказа подходящ метод за оценка на популациите. Същевременно изискват много по-малък финансов и човешки ресурс за осъществяването на мониторинг. Те се наложиха като много надежден метод за осигуряване на индекси за плътност на животните (Carbone et. al. 2002). Can & Togan (2009) определят употребата на тази технология като широко приложим и надежден полеви методи за събиране на подходящи данни за едрите бозайници, с която да се оцени популацията на видовете бозайници в различни територии. Употребата на технологията на фотокапана намира и голямо приложение за мониторинг на видове, който обитават труднодостъпни места и извършването на мониторинг на популациите им е труден и опасен за изследователите. Agostini et. Al. (2022) установяват, че употребата на фотокапани разположени високо в короната на дърветата е надежден метод за мониторинг на дървесни видове, които са пропуснати при наземни проучвания, като по този начин се подобрява инвентаризацията на горските видове. При различни проучвания е установено, че фотокапаните са идеален инструмент за установяване на ефективността на проходи за животни на магистрали, за подобряване на ландшафтната свързаност на много видове (Barrueto et al. 2014), тестови модели на коридори (McShea et al. 2016) и оценка на ефектите от фрагментацията на горите върху разнообразието (Ahumada et al. 2011; Steenweg et. al. 2016). Фотокапани са използвани и за установяване на адаптивността на арктически лисици (*Vulpes lagopus*) в Норвегия към местните условия на околната среда, за да се установи дали са в състояние да адаптират своето линеене от зимата към лятото (Laporte-Devylder et al. 2022). Фотокапаните намират и приложение за установяване на сложните екологични взаимодействия между поведението на животните и изменението на климата (Pettorelli et. al. 2015; Steenweg et. al. 2016).

Мониторинг в зоологията чрез използване на безпилотни летателни апарати (БЛА)

Конвенционалните техники за теренни изследвания в зоологията, като фотокапаните отнемат време за монтаж, обслужване и са скъпи, като същевременно са податливи на систематични грешки. Изображенията получени от безпилотни летателни апарати (БЛА) е нов метод за провеждане на проучвания на популациите от диви животни, като показват по-голяма точност и ефективност от конвенционалните методи (Bushaw et. al. 2019). Като нов метод употребата на БЛА за мониторинг в зоологията има малко извършени проучвания за употребата на такъв тип данни и за това как те се получават и могат да се прилагат за научни цели. Изображенията или видеоклиповете, получени от БЛА, могат да се използват за изброяване на диви животни. БЛА намират все по-голямо приложение при мониторинга на животни, тъй като те могат да предоставят оперативни данни, при ниски разходи и добра разделителната способност в сравнение с малката разделителна способност на повечето сателитни платформи, които предоставят данни за граждански и некомерсиални цели (Whitehead et. al 2014). Мониторинга на животни с БЛА улеснява бързите оценки на популацията (McMahon et al., 2021; Delisle et. al. 2022).

Guo et al. (2018) използва БЛА, за да извърши преброяване на популацията на големи диви тревопасни животни в окръг Мадуо на Тибетското плато. Те идентифицират големите диви тревопасни животни чрез визуална интерпретация на изображения. Използван е метод, базиран на ливади през студения и топлия сезон, за оценка на плътността и броя на големите диви тревопасни животни и добитък и е проверен спрямо записите за броя на добитъка. Сравнявайки конвенционалните методи за мониторинг на големи популации от диви тревопасни животни с употребата на БЛА се указва по-бърз, икономичен и надежден, метод за мониторинг на диви животни.

Oishi & Matsunaga (2014) намират приложение на БЛА за мониторинг на животни, с ниската плътност в региони с голямо ландшафтно разнообразие, където е трудно получаването на данни за популацията на едрите бозайници. Те разработват автоматизирана система за откриване на диви животни, движещи се над сняг, използвайки две припокриващи се изображения. Системата намалява с 90% времето за обработка на данните от въздушни изображения, необходими за изследване на движещи се диви животни.

Мултиспектрални изображения, получени от БЛА, представлява потенциално решение за откриване на голям брой едри бозайници. Методът, се основава на многокритериален обектно-базиран анализ на изображения, приложен върху видими и топлинни инфрачервени изображения. Метода е приложен за откриване на американски бизони (*Bison bison*), елени лопатари (*Dama dama*), сиви вълци (*Canis lupus*) , и лосове (*Alces alces*), разположени в отделни заграждения с известен брой индивиди. Резултатите показват, че всички бизони и лосове са открити без грешки, докато за елени и вълци, 0–2 индивида на полетна линия са били сбъркани с наземни елементи или не са били открити. Тези резултати потвърждават потенциала на мултиспектралните изображения, получени от БЛА за мониторинг на бозайници (Chrétien et. al. 2015).

БЛА, монтирани със стандартни камери и GPS, бяха използвани за преброяване на морския бозайник дюгон (*Dugong dugon*) в западна Австралия, заедно с различни други морски видове (Hodgson et al. 2013; He et al. 2015).

БЛА, оборудвани с термални сензори, са показали способност да преодолеят някои от ограниченията, често свързани с традиционните аеро проучвания, като слабо откриване, високи оперативни разходи, риск за безопасността на екипажа на борда и др. (Beaver et al. 2020). Установено е, че употребата на БЛА с монтиран на него термален сензор е ефективен инструмент за провеждане на нощни проучвания на популацията на мезохищниците в умерен пространствен мащаб (Bushaw et. al. 2019).

Мониторинг в зоологията чрез използване на сателитни платформи

Данни получени от сателитни платформи могат да бъдат използвани за целите на зоологията според тяхната пространствена, спектрална и времева разделителна способност.

В голяма степен сателитните данни остават неизползвани от изследователите зоолози, тъй като този тип данни не са толкова популярни сред тях. Такива данни започват да се използват от някой изследователи за съставяне на модели на разпространение на видовете (Bradley and Mustard 2006; Andrew and Ustin 2009; He et al. 2015).

Сателитни данни са използвани в Полша за оценка на щетите нанесени от кафява мечка (*Ursus arctos*), поради намелено плододаване на буковите гори в някой части на страната. Мониторинга е извършен чрез използване на дистанционни данни за растежа на растителността и фенология на буковите гори, като по този начин се улавят годишните вариации в плододаването на бука (*Fagus sylvatica*), а оттам и възможността на популациите от кафява мечка да се изхранва. Този метод може да се използва за прогнозиране на години с висок риск от конфликти между човека и кафявата мечка, както и подобрява възможности за управлението на този тип конфликти (Bautista et. al. 2022).

Чрез оценка на времеви серии от сателита Landsat за период от 34 години е направена оценка на гъстотата и разпространението на растителността, а от там и на възможността за реинтродукция на арабския орикс (*Oryx leucoryx*) в Източна Йордания (Abu Yahya et al. 2022).

По данни от сателита SPOT са извлечени ландшафтни параметри, които са използвани като независими променливи за прогнозиране на потенциални местообитания на забулена сова (*Tyto alba*) североизточно от Брюксел, Белгия (Andries et. al. 1994). С помощта на сателитни данни от спътника SPOT4 и географски информационни системи (ГИС) е създаден прогнозен модел на разпространението на местообитанията, както и са определени потенциални места за гнездене на новозеландски соколи (*Falco novaeseelandiae*). Оценка на модела показва, че соколите от Източна Нова Зеландия наистина избират територии за гнездене в области, предвидени от модела като подходящи местообитания за размножаване (Mathieu et. al. 2006).

Сателитни данни са използвани и за оценка на въздействието на времето, морската продуктивност и структурата на популацията върху поведенческите агонистични взаимодействия между южноамерикански морски тюлени (*Arctocephalus australis*), и южноамерикански морски лъвове (*Otaria byronia*), в колония за размножаване на южноамерикански морски тюлени (Montalva et. al. 2022).

Заключение

Дистанционните методи са много перспективни за мониторинг в зоологията. От направената литературна справка става ясно, че фотокапаните са допълващ дистанционен метод в зоологията, но е трудоемък, скъп и не достатъчно сигурен.

С развитие на БЛА технологиите през последните години се увеличава възможности за тяхното приложение в зоологията.

Данните придобити от сателитни платформи се използват като индиректен метод в зоологията за оценка на хабитати и хранителна база на животните, както и за моделиране на

разпространение на потенциални хабитати и създаване на модели на разпространение на видовете.

В заключение, за подобряване възможностите за приложението на дистанционните методи за мониторинг в зоологията е необходимо да се създадат единни стандартизирани протоколи за работа.

Литература:

1. Abu Yahya, A.E., Othman, Y.A., Sawalhah, M.N. and Holechek, J.L., 2022. The potential of remotely-sensed data to identify suitable sites for the reintroduction of Arabian Oryx (Oryx leucoryx). Zoology in the Middle East, pp. 1–12.
2. Agostini, I., Pizzio, E., Varela, D., Iezzi, M. E., Cruz, P., Paviolo, A., & Di Bitetti, M. S. 2022. Camera trapping arboreal mammals in Argentina's Atlantic Forest. Mammalia.
3. Ahumada, J. A., Silva, C. E., Gajapersad, K., Hallam, C., Hurtado, J., Martin, E., ... & Andelman, S. J. 2011. Community structure and diversity of tropical forest mammals: data from a global camera trap network. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 366(1578), 2703–2711.
4. Andrew, M.E. and Ustin, S.L., 2009. Habitat suitability modelling of an invasive plant with advanced remote sensing data. Diversity and Distributions, 15(4), pp. 627–640.
5. Andries, A. M., Gulinck, H., & Herremans, M. 1994. Spatial modelling of the barn owl Tyto alba habitat using landscape characteristics derived from SPOT data. Ecography, 17(3), 278–287. doi:10.1111/j.1600-0587.1994.tb00104.x
6. Barrueto M, Ford AT, and Clevenger AP. 2014. Anthropogenic effects on activity patterns of wildlife at crossing structures. Ecosphere 5: art27.
7. Bautista, C., J. Oeser, T. Kuemmerle, N. Selva 2022. Resource pulses and human–wildlife conflicts: linking satellite indicators and ground data on forest productivity to predict brown bear damages, Remote Sensing in Ecology and Conservation, https://doi.org/10.1002/rse2.302
8. Beaver, J.T., Baldwin, R.W., Messinger, M., Newbolt, C.H., Ditchkoff, S.S. and Silman, M.R., 2020. Evaluating the use of drones equipped with thermal sensors as an effective method for estimating wildlife. Wildlife Society Bulletin, 44(2), pp. 434–443. doi:10.1002/wsb.1090
9. Bradley, B.A. and Mustard, J.F., 2006. Characterizing the landscape dynamics of an invasive plant and risk of invasion using remote sensing. Ecological Applications, 16(3), pp. 1132–1147.
10. Brooks, J. W. 1972. Infra-red scanning for polar bear. Bears: Their Biology and Management, 138–141.
11. Bushaw, J. D., Ringelman, K.M. and Rohwer, F.C., 2019. Applications of unmanned aerial vehicles to survey mesocarnivores. Drones, 3(1), p.28. https://doi.org/10.3390/drones3010028
12. Can, Ö. E., & Togan, İ. 2009. Camera trapping of large mammals in Yenice Forest, Turkey: local information versus camera traps. Oryx, 43(3), 427–430.
13. Carbone, C., Christie, S., Conforti, K., Coulson, T., Franklin, N., Ginsberg, J. R., ... & Wan Shahruddin, W. N. 2002. The use of photographic rates to estimate densities of cryptic mammals: response to Jennelle et al. Animal Conservation, 5(2), 121–123.
14. Chrétien, Louis-Philippe & Théau, Jérôme & Menard, Patrick. 2015. Wildlife multispecies remote sensing using visible and thermal infrared imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-1/W4. 10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-241-2015.
15. Croon, G. W., McCullough, D. R., Olson Jr, C. E., & Queal, L. M. 1968. Infrared scanning techniques for big game censusing. The Journal of wildlife management, 751–759.
16. Delisle, Z. J., McGovern, P. G., Dillman, B. G., & Swihart, R. K. (2022). Imperfect detection and wildlife density estimation using aerial surveys with infrared and visible sensors. Remote Sensing in Ecology and Conservation., https://doi.org/10.1002/rse2.305
17. Gillespie, T. W. 2001. Remote sensing of animals. Progress in Physical Geography, 25(3), 355–362. doi:10.1177/030913330102500303
18. Graves, H. B., Bellis, E. D., & Knuth, W. M. 1972. Censusing white-tailed deer by airborne thermal infrared imagery. The Journal of wildlife management, 875–884.
19. Guo, X., Shao, Q., Li, Y., Wang, Y., Wang, D., Liu, J., ... & Yang, F. 2018. Application of UAV remote sensing for a population census of large wild herbivores—taking the headwater region of the yellow river as an example. Remote Sensing, 10(7), 1041. https://doi.org/10.3390/rs10071041
20. Havens, K.J. and Sharp, E., 2015. Thermal imaging techniques to survey and monitor animals in the wild: a methodology. Academic Press.
21. He, K. S., Bradley, B. A., Cord, A. F., Rocchini, D., Tuanmu, M.-N., Schmidtlein, S., … Pettorelli, N. 2015. Will remote sensing shape the next generation of species distribution models? Remote Sensing in Ecology and Conservation, 1(1), 4–18. doi:10.1002/rse2.7
22. Heyland, J. D. 1972. Vertical aerial photography as an aid in wildlife population studies. In Proceedings of the first Canadian Symposium on Remote Sensing, Ottawa February 1972. Edited by D. White. Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
23. Hodgson, A., Kelly, N. and Peel, D., 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a dugong case study. PloS one, 8(11), p.e79556.
24. Jones, H. G., and R. A. Vaughan. 2010. Remote sensing of vegetation: principles, techniques and applications. Oxford University Press, Oxford, U.K

25. Lavigne, D. M., & Øritsland, N. A. 1974. Ultraviolet photography: a new application for remote sensing of mammals. Canadian Journal of Zoology, 52(7), 939–941. doi:10.1139/z74-124
26. Lucie Laporte-Devylder, Kristine R. Ulvund, Lars Rød-Eriksen, Ola Olsson, Øystein Flagstad, Arild Landa, Nina E. Eide, Craig R. Jackson 2022. A camera trap-based assessment of climate-driven phenotypic plasticity of seasonal moulting in an endangered carnivore, Remote Sensing in Ecology and Conservation, https://doi.org/10.1002/rse2.304
27. Mathieu, R., Seddon, P., & Leiendecker, J. 2006. Predicting the distribution of raptors using remote sensing techniques and Geographic Information Systems: a case study with the Eastern New Zealand falcon (Falco novaeseelandiae). New Zealand Journal of Zoology, 33(1), 73-84. https://doi.org/10.1080/03014223.2006.9518432
28. McCULLOUGH.D. R.. C. E. OLSON.JR., and L. M. QCTEAL.1969. Progress in laree animal census by Terrnal mapping. In Remote sensing in ecology. Edited by P. L. Johnson. University of Georgia Press. Athens.
29. McMahon, M.C., Ditmer, M.A. and Forester, J.D., 2021. Comparing unmanned aerial systems with conventional methodology for surveying a wild white-tailed deer population. Wildlife Research, 49(1), pp. 54–65.
30. McShea WJ, Forrester T, Costello R, et al. 2016. Volunteer-run cameras as distributed sensors for macrosystem mammal research. Landscape Ecol 31: 55–66.
31. Montalva, F., Pavés, H., Pérez-Venegas, D., Barrientos E, K.G., Valencia, C., Miranda-Urbina, D. and Seguel, M., 2022. Lower marine productivity increases agonistic interactions between sea lions and fur seals in Northern Pacific Patagonia. Current Zoology.
32. Nazir, S., & Kaleem, M. 2021. Advances in image acquisition and processing technologies transforming animal ecological studies. Ecological Informatics, 61, 101212.
33. Oishi, Y., & Matsunaga, T. (2014). Support system for surveying moving wild animals in the snow using aerial remote-sensing images. International journal of remote sensing, 35(4), 1374–1394. https://doi.org/10.1080/01431161.2013.876516
34. Pettorelli, N., Nagendra, H., Williams, R., Rocchini, D., & Fleishman, E. 2015. A new platform to support research at the interface of remote sensing, ecology and conservation.
35. Steenweg, R., Hebblewhite, M., Kays, R., Ahumada, J., Fisher, J. T., Burton, C., … Rich, L. N. 2016. Scaling-up camera traps: monitoring the planet's biodiversity with networks of remote sensors. Frontiers in Ecology and the Environment, 15(1), 26–34. doi:10.1002/fee.1448
36. Wang, Y., Wang, Y., Chen, X., Kong, Y., Shah, A., Ye, C., & Pang, M. 2014. Using infra-red camera trapping technology to monitor mammals along Karakorum Highway in Khunjerab National Park, Pakistan. Pakistan Journal of Zoology, 46(3).
37. Whitehead, K., Hugenholtz, C. H., Myshak, S., Brown, O., LeClair, A., Tamminga, A., … Eaton, B. 2014. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: scientific and commercial applications. Journal of Unmanned Vehicle Systems, 02(03), 86–102. doi:10.1139/juvs-2014-0007

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

СЪЗДАВАНЕ НА ОПРОСТЕН ТЕМАТИЧЕН СЛОЙ С АТРИБУТИ НА ЗЕМЕПОЛЗВАНЕТО НА БЪЛГАРИЯ ЗА ЦЕЛИТЕ НА СЕКТОР „ЗЕМЕПОЛЗВАНЕ, ПРОМЕНИ В ЗЕМЕПОЛЗВАНЕТО И ГОРСКО СТОПАНСТВО“

Венцеслав Димитров[1], Юлия Крумова[2], Йордан Цветков[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Национален Институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: vdimitro@stil.bas.bg; jkrumova@bas.bg

Ключови думи: *Земно покритие, земеползване, пространствени данни, CLC+, LULUCF*

Резюме: *Представени са резултатите от разработване и създаване на опростен тематичен слой на земеползването, на базата на масиви от национални (in situ) пространствени данни за целите на сектор ЗПЗГС/LULUCF на опазване на околната среда. На базата на наличен входен набор от тематични слоеве с разнообразни и специфични номенклатури на класовете, се преминава към класификационна схема, обща за всички страни, участнички в проекта. Минималните остатъчни празни пространства се запълват от слоя CLC2018. Резултантният слой е с пространствена разделителна способност 10 m на пиксел и включва 17 тематични класа.*

CREATE A SIMPLIFIED THEMATIC LAYER WITH LAND USE ATTRIBUTES FOR THE LAND USE, LAND USE CHANGE AND FORESTRY SECTOR

Ventzeslav Dimitrov[1], Yulia Kroumova[2], Jordan Tsvetkov[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: vdimitro@stil.bas.bg; jkrumova@bas.bg

Keywords: *Land cover, Land use, Spatial data, CLC+, LULUCF*

Abstract: *The results of the development and creation of a simplified thematic layer of land use, based on arrays of national (in situ) spatial data for the purposes of the LULUCF environmental protection sector, are presented. On the basis of an available input set of thematic layers with diverse and specific class nomenclature, a classification scheme common to all countries participating in the project is applied. The minimal residual voids are filled by the CLC2018 layer. The resulting layer has a spatial resolution of 10 m per pixel and includes 17 thematic classes.*

Въведение

След многогодишно обновяване и поддържане на базата данни за земното покритие CORINE Land Cover (CLC) Европейската агенция по околна среда (EAOC) започва паралелно да разработва и прилага нова серия от продукти и приложения, т. нар. „2-ро поколение CORINE Land Cover (CLC)“, известни още и като CLC+[1]. CLC+ допълва и разширява пакета от съществуващи в момента продукти на Услугата за мониторинг на земната повърхност (CLMS) по програмата Коперник (Copernicus), за да бъде приведена тя в съответствие с нарастващите изисквания за задълженията за мониторинг и докладване по земеползването и на земното покритие в Европа (LC/LU). CLC+ трябва да отговаря на днешните изисквания, като същевременно гарантира обратна съвместимост с оригиналните CLC набори от данни.

[1]CLC+ https://land.copernicus.eu/pan-european/clc-plus#Library

Голяма част от изискванията на ЕАОС са свързани с работата, извършена през последните няколко години от групата EAGLE[2] (Eionet Action Group on Land monitoring in Europe), чиято цел е да разработи ново концептуално решение, ориентирано към бъдещето, което би подкрепило европейския информационен капацитет за мониторинг на сушата. За да преодолее трудностите при прехвърлянето на LC/LU между разните класификационни системи, групата EAGLE създава семантичен модел, представен като UML модел или като матрица под формата на електронна таблица, като и двете имат едно и също тематично съдържание [1].

В приложен аспект, групата EAGLE изпълнява за ЕАОС концептуален дизайн и технически спецификации за набора от продукти CLC+. Според ЕАОС, такъв пакет от продукти CLC+ трябва да се основава на досегашното концептуално развитие и опит с гарантиране на обратна съвместимост с конвенционалните набори от данни за CLC. Въпросният подход трябва да е подходящ и за да отговори и да подпомогне нуждите на европейските политики по докладване относно земеползването, промените в земеползването и горско стопанство (Land use, land use change and forestry - LULUCF). През 2020 г. на обект на публични консултации бе основният документ с технически спецификации за концепцията EAGLE и набора от продукти CLC+ [2]. Последният включва продуктите CLC+ Backbone, CLC+ Core и CLC+ Instance.

Фокусът на настоящия доклад е върху разработване и създаване на опростен тематичен слой на земеползването за България на базата на масиви от национални (*in situ*) пространствени данни за целите на сектор ЗПЗГС/LULUCF. Изпълнена преди във времето инвентаризация на такива данни е ориентирана към създаване на реализация на CLC+ Legacy на Европейско ниво, но смяната на приоритетите в ЕАОС налага по-напред да бъде създадена реализацията CLC+ LULUCF. Изследванията и разработките са извършени в рамките на проект, финансиран от ЕАОС, чрез Изпълнителната агенция по околна среда към МОСВ[3].

Данни и методи

Постановка на задачата

Концептуалната подготвителна работа и тестовете, извършени от групата EAGLE, подчертаха важността на данните за земеползването (land use, LU) при създаването на предвидените CLC+ реализации (Legacy и LULUCF) и като резултат дадоха предложение за хармонизирано събиране на данни в страните-членки на ЕАОС. В отговор на това се извърши инвентаризацията на LU-данните в отделните страни, като информацията е попълвана и структурирана във вид на електронни таблици и документи-отчети. Предишната инвентаризация е фокусирана върху LU данни, необходими за реализацията CLC+ Legacy (аналог на традиционно CLC). Междувременно е решено реализацията CLC+ LULUCF да има приоритет. Поради това, инвентаризацията на пространствените данни за земеползването трябва да бъде допълнена с информация, необходима за LULUCF. Въз основа на изместването на фокуса към LULUCF е формулирана необходимостта от следните действия [3]:

(1) Прецизиране на информацията от инвентаризацията на земеползването;

(2) Създаване на национален, базиран на атрибутите на земеползването (LUA) слой LULUCF или изчисляване на статистики;

(3) Трансформиране на преходния слой на LU в слой с класове на LULUCF (тази дейност е зададена като допълнителна възможност, незадължителна).

Прецизиране на информацията от инвентаризацията на земеползването

За да се улесни преходът от националните номенклатури към системата LULUCF, работната група на EAGLE предлага подмножество елементи от матрицата на EAGLE (Таблица 1), които да се използват като междинна стъпка [3]. По този начин се избягват трудностите при работа с огромната матрица EAGLE и работата се опростява. Колоните LUA и LCH в Таблица 1 се отнасят до кодовете на различните атрибути на земеползване и характеристики на земята съгласно EAGLE, за да опишат и изяснят съдържанието на преходните класове съгласно матрицата на EAGLE.

Въз основа на предишни познания бе извършено търсене и анализ на информационни източници от национални източници на данни в страната, които отговарят на преходните класове на ниво 2 и описанията по EAGLE.

Основните заинтересовани страни от масивите от пространствени данни в България са предимно министерства със съответните им агенции, дирекции и центрове, както и някои изследователски институции. Екипът по изпълнение на проекта изпълни съответната комуникационна дейност във връзка с намирането и предоставянето на необходимите данни.

[2]EAGLE, https://land.copernicus.eu/eagle

[3]В изпълнение на Рамков договор EEA/IDM/R0/16/009/Bulgaria.

Някои от ресурсите, достъпни от тези институции, са в табличен формат или се основават на точкови или линейни ГИС характеристики, което по принцип ги прави неподходящи за създаване на опростения LULUCF LUA слой. Въпреки това, някои от тях се оказаха полезни и бяха използвани в ГИС анализа за постигане на изискванията преходните класове на ниво 2.

Таблица 1. Хармонизирани класове по EAGLE ("преходни класове") за преобразуване на националните номенклатури

Ниво-1	Ниво-2	Код LUA	Код LCH	Разширени LULUCF категории
Agriculture Use	Arable Use	1_1	5_1_1_1_1 or 5_1_6_1	Cropland annual
	Grassland Use	1_1	5_1_1_2 or 5_1_6_2	Grassland
	Permanent crop Use	1_1	5_1_1_1_2 or 5_1_6_2	Cropland permanent
	Agroforestry Use	1_1	5_1_2_5	Cropland permanent / Forest land
	Greenhouse Use	1_1	5_1_3_1	Cropland annual / Settlements
	Other agriculture Use	1_1	5_1_1_1_2 or 5_1_6_4 or 5_1_6_6	Cropland annual
Forestry Use		1_2		Forest Land
Mining and quarrying Use		1_3	5_3_1_1	Settlements
Urban Use	Industrial Use	2		Settlements
	Services Use	3		Settlements
	Transport & Logistic Use	4_1, 4_2		Settlements
	Utilities Use	4_3, 6_1**		Settlements
	Residential Use	5		Settlements
Water Use	Aquaculture Use	1_4_1		Water
	Other water Use / No economic Use	6_3_2		Water
Other Ecosystem Service Use / No Economic Use	Wetland "Use"	6_3_1	7_1_2 or 7_1_4 or 7_1_15	Wetlands
	Other no economic Use	6_3_1		Other land

В резултат на прегледа и анализа на получените национални ресурси от данни, осем от тях бяха избрани като подходящи за по-нататъшна работа, свързана с преходните класове на LU:

1. LPIS Physical blocks;
2. IISCPR - Cadastral estates;
3. Major air transport - airports;
4. URBAN ecosystems ;
5. Protected areas;
6. Concessions;
7. WETLAND ecosystems ;
8. FRESHWATER ecosystems.

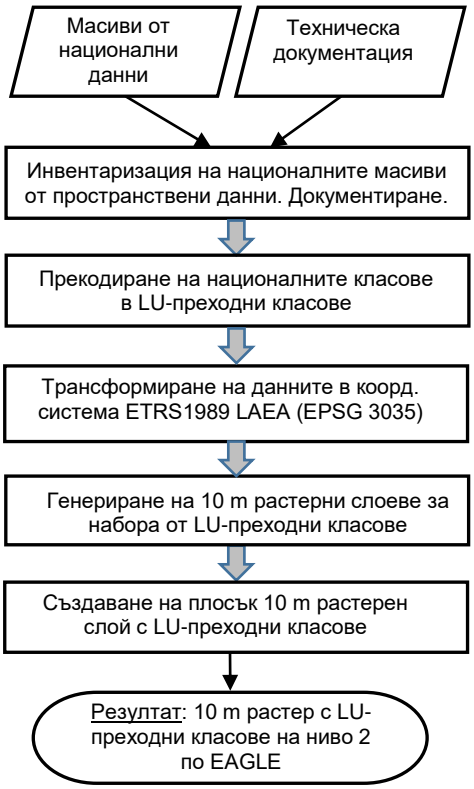
В специално подготвена електронна таблица се попълват данни за националните масиви и класове, като те се поставят в съответствие на LU класовете за преход. Особеностите се отразяват в полета за коментари. За някои от преходните класове на LU се оказва, че няма подходящ единичен национален масив (ресурс) от тематични данни, който точно им съответства. Тогава се налага съпоставяне на комбинации от тематични класове и ресурси. Физическите блокове от системата за идентификация на земни парцели (СИЗП/LPIS), със своята геометрична и тематична детайлност, се оказаха основен масив от данни. Част от базите данни на завършените през 2017 г. проекти за картографиране и оценка на екосистемите и техните услуги, също съдържат полезни данни за земеползването.

Ресурсите от входни данни бяха анализирани и оценени чрез пространствен анализ и фотоинтерпретация, използвайки главно ортофото изображения и други референтни данни. В някои случаи трябваше да избираме между конкуриращи се национални данни за земеползване, описващи даден преходен клас. За преходния клас "Аквакултури" липсват национални пространствени данни, така че този преходен клас не е генериран.

При търсенето на съответствие между националните класове и класовете EAGLE е използвана "Обяснителната документация на концепцията EAGLE" [4], като за някои от националните класове съответният клас EAGLE е споменат в полето за коментар на резултантната таблица.

Създаване на опростен LUA слой

Редът на изпълнение и съдържанието на стъпките в процеса на обработка е показан на Фиг. 1. В първия операционен блок са отбелязани и дейностите по инвентаризацията на националните масиви от данни.



Фиг. 1. Блок-схема на процеса на създаване на LU-преходни класове на ниво 2 по EAGLE

Стъпките, за изпълнение на задачата по създаване на опростен LUA слой за целите на LULUCF, са следните:

- Прекодиране на националните класове в LU-преходни класове;
- Трансформиране на данните в координатна система ETRS1989 LAEA (EPSG 3035);
- Генериране на 10 m растерни слоеве за набора от LU-преходни класове;
- Създаване на плосък 10 m растерен слой с LU-преходни класове (прилагат се правила за приоритет между участващите в операцията слоеве).

LU класовете за преход, съгласно Таблица 1, са 17, но в нашия случай те са 15, защото липсват следните два: Agroforestry (не се среща в страната) и Aquaculture (няма данни, не са получени от екипа на проекта). Правилата за приоритет са предварително зададени, като най-висок е на преходния клас Forestry Use - 1, последван от Agriculture Use - 2, и т.н.

В случай, че в плоския 10 m растерен слой възникнат празни пространства, то те се запълват с данни и класове от CLC2018, за класовете които е предвидено съответствие с LU-преходните класове чрез специална таблица. За пространствено отразяване на такива случаи се генерира отделен растерен слой със стойност „1“ за пиксели, запълващи празноти с

празнини чрез CLC2018, и стойност „0“ за другите територии с наличност на национални данни и липса на пропуск.

Трансформиране на преходния слой на LU в слой с класове на LULUCF.

Като допълнителна възможност, картата с LU преходни класове може праволинейно да бъде преобразувана в карта с категории по LULUCF. За целта трябва да се използва таблицата за прекодиране от LU-преходни класове към LULUCF категории. В резултат се получава 10 m растер, съгласно номенклатурата на LULUCF.

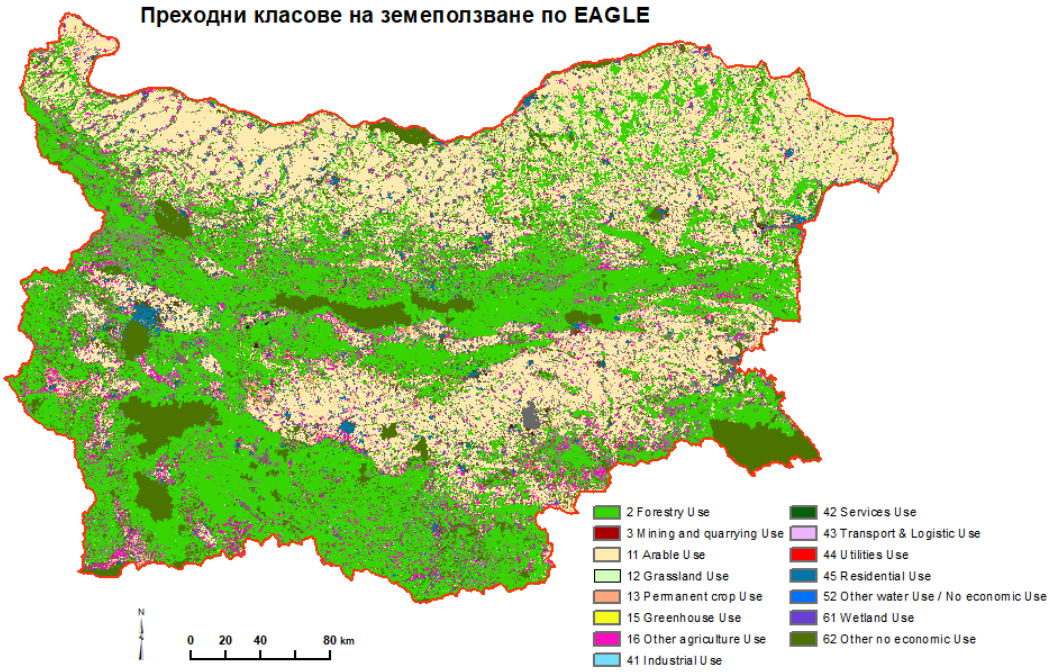
Резултати и обсъждане

Най-напред представяме подробности по начина на вземане на решения в хода на работа с масивите от данни при съпоставянето им с преходните класове и прекодирането.

Класът "Зони за спорт и отдих" в масива на физическите блокове от LPIS включва курорти, селски паркове, спортни съоръжения, селски стадиони, голф клубове и други подобни. По този начин той обхваща два класа от набора от данни за градските екосистеми: зона за отдих извън градовете и градски зелени площи (включително съоръжения за спорт и отдих). Поради това, изборът беше направен в полза на класа LPIS за целите на генерирането на междукласове за използване на услуги. Класът LPIS "Зони за спорт и отдих" описва следните класове от EAGLE по неразделен начин: 1_3_Accommodation And Food Services, 3_4_3_Sports Infrastructure и 3_4_4_1_Urban Greenery And Parks. По този начин обаче той частично описва преходния клас Services Use.

Клас J6. Industrial sites `(вкл. търговски обекти) от набора от данни за градските екосистеми включват по неделим начин EAGLE LUA класове _1_Manufacturing / producing industry и 3_1_Commercial Services. В резултат на анализ е установено преобладаване на индустриални обекти.

Картата на базата на растерния 10 m слой с LU-преходни класове е показан на Фиг. 2. В легендата класовете са представени с названието и кода си.



Фиг. 2. Карта с преходни класове, на ниво 2 от класификационната схема на EAGLE

Измерването в резултантния 10 m слой с LU-преходни класове показва, че относителната площ на териториите в страната, запълнени по прекодираните класове на CLC2018, е 0.95%, което показва висок резултат за приложените национални ресурси от пространствени данни. В Таблица 2, от своя страна, е представено разпределението на площите на класовете за преход в територията на страната. Полето Count показва броя 10 m пиксели за всеки клас, а полето Percent_Area - относителната площ в проценти.

Таблица 2. Разпределение на площите на класовете за преход

ClassCode	Inter-class Name	Count	Percent_Area
2	Forestry Use	393968175	35.50
3	Mining and quarrying Use	2962643	0.27
11	Arable Use	343459757	30.95
12	Grassland Use	97721038	8.80
13	Permanent crop Use	19731790	1.78
15	Greenhouse Use	1422776	0.13
16	Other agriculture Use	51390565	4.63
41	Industrial Use	8557533	0.77
42	Services Use	886128	0.08
43	Transport & Logistic Use	10294280	0.93
44	Utilities Use	838137	0.08
45	Residential Use	26866980	2.42
52	Other water Use / No economic Use	17390622	1.57
61	Wetland "Use"	724899	0.07
62	Other no economic Use	133630834	12.04

Заключение

Представените методи и практически подход за работа с реални пространствени данни показват висока ефективност при решаване на конкретната задача за генериране на опростен тематичен слой на земеползването за LULUCF, насочен към по-точно моделиране на климатичните промени. Важна роля има професионалният подход при изследване и разбиране на класификационните схеми на различните ресурси от тематични данни за правилното им комбиниране и постигане на крайния резултат.

Литература:

1. Arnold, S., B. Kosztra, G. Banko, G. Smith, G. Hazeu, M. Bock, Valcarcel-Sanz, N. (2013): The EAGLE concept - A vision of a future European Land Monitoring Framework. In: Lasaponara R., Masini N., Biscione M. (Editors): EARSeL Symposium proceedings 2013, "Towards Horizon 2020", 551–569.
2. Technical specifications for implementation of a new land-monitoring concept based on EAGLE. Public Consultation document for CLC+ Core, Version 1.0, 22.04.2020, 84 p.. достъпен на https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/clc-core-consultations-for-the-technical-specifications
3. Instructions for implementation of Task 1.3 (Land Use related tasks), prepared by B. Kozstra, Version 3.5 10/12/2021, Framework Service Contract EEA/IDM/R0/16/009/xx, EEA.
4. Explanatory Documentation of the EAGLE Concept, Version 3.1.2,2021, Prepared by: Arnold S., B. Kosztra, G. Banko, P. Milenov, G. Smith, G. Hazeu, EEA, 2021, 134 p.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ИЗПОЛЗВАНЕ НА БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТЯЩИ УСТРОЙСТВА В АРХЕОЛОГИЧЕСКИТЕ ТЕРЕННИ ИЗДИРВАНИЯ. ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА РИМСКА ПЪТНА СТАНЦИЯ „КАЗАЛЕТ“ РАЗПОЛОЖЕНА НА ПЪТЯ АНХИАЛО-МАРЦИАНОПОЛ

Живко Узунов[1], Боян Думанов[1], Ирена Димитрова[1], Ралица Берберова[2]

[1]Нов български университет, Департамент „Археология”
[2]Нов български университет, Департамент „Природни науки”
e-mail: zhuzunov@nbu.bg

Ключови думи: *археология; теренни издирвания; безпилотна летяща платформа; дистанционни методи.*

Резюме: *Използването на безпилотни летящи устройства за дистанционна детекция на археологически обекти е утвърдена традиция вече повече от едно десетилетие. С напредъка на технологиите използването им става по-достъпно и в днешно време е неизменна част при теренните изследвания, свързани с проучването на археологически обекти. Статията представя резултатите от опит за локализиране на римска пътна станция „Казалет“, намираща се на античния път, свързващ Анхиало с Марцианопол и отбелязана на Певтингеровата карта.*

USING UNMANNED AERIAL VECHICLES IN ARCHAEOLOGICAL FIELD SURVEY. SEARCHING OF A ROMAN ROAD STATION "CAZALET" ON THE ROMAN ROAD ANCHIALOS-MARTIANOPOLIS

Zhivko Uzunov[1], Boyan Dumanov[1], Irena Dimitrova[1], Ralitza Berberova[2]

[1]New Bulgarian University, Department of Archaeology
[2]New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
e-mail: zhuzunov@nbu.bg

Keywords: *archaeology; field survey; unmanned aerial vehicle (UAV); remote sensing.*

Abstract: *The use of unmanned aerial vehicles (UAV) for remote sensing of archaeological sites has been an established tradition for more than a decade. With the advancement of technology, their use has become more accessible and is nowadays an indispensable part of archaeological field survey. The aim of the article is to present the results from an attempt of localization a Roman road station Cazalet located on the ancient road Anchialos-Marcianopolis and marked on the Tabula Peutingeriana.*

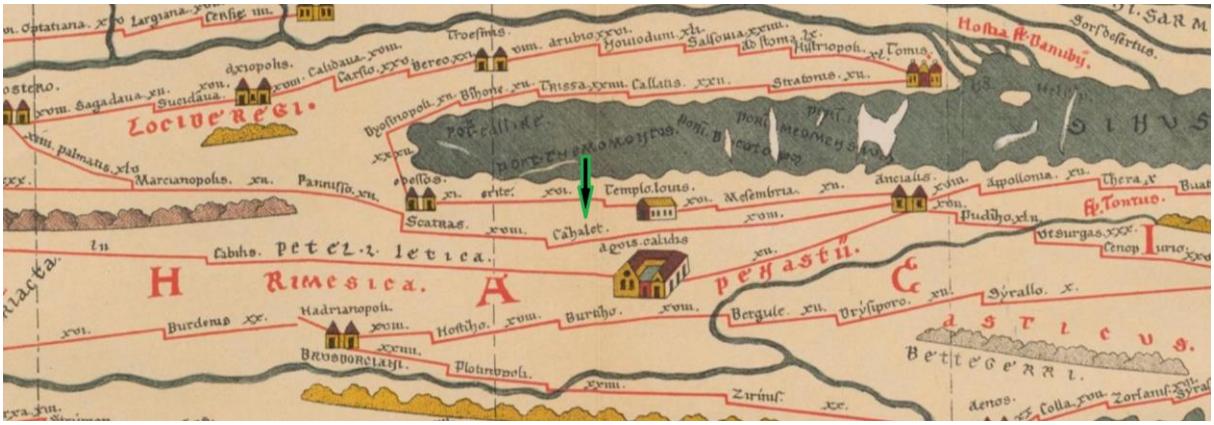
Въведение

Използването на безпилотни летящи устройства за дистанционна детекция на археологически обекти е утвърдена традиция вече повече от едно десетилетие. С напредъка на технологиите използването им става по-достъпно и в днешно време е неизменна част при теренните изследвания, свързани с проучването на археологически обекти.

Традицията за търсене на археологически обекти чрез методите на въздушната фотография в България стартира в годините на Втората световна война, като едни от първите сериозни проучвания са направени на римския град Никополис ад Иструм, намиращ се при днешното с. Никюп, Великотърновско. С помощта на самолет Щорк F1 156 C-1 е направена отлична ортофотография на плана на града с видимите останки от сгради, което предпоставя и насоката на проучванията дори в наши дни.

Основен недостатък на използването на авиационна техника при документирането на археологически обекти е високата цена и ограниченото време за заснемане на избраните изследователски райони. Ето защо, масовото навлизане на безпилотни летателни устройства в последното десетилетие доведе до пробив в развитието на дистанционните методи в археологията. Възможността да се заснемат във видимия и инфрачервения спектър зони за изследване от самите археолози доведе до много по-пълно и детайлно разбиране на археологическите обекти и тяхната заобикаляща среда.

Настоящото изследване е посветено на издирването на пътна станция, известна с името „Казалет“, която е разположена на пътя Анхиало – Марцианопол през римската епоха. Станцията е отбелязана на Певтингеровата карта (Tabula Peutingeriana), като разстоянието е 18 римски мили (26.6 km) от Анхиало (Фиг. 1).



Фиг. 1. Певтингеровата карта и местоположението на римската пътна станция

Методи на изследването

Районът, определен за заснемане с летяща платформа, е от 5 km^2. Намира се в землището на с. Порой, общ. Поморие, обл. Бургас. Теренът е предимно равнинен, като част от площите попадат в чашата на яз. Порой. Обект на заснемане са няколко регистрирани археологически обекта – три селища и пет могилни насипа (Фиг. 2), издигнати най-вероятно покрай пътя, свързващ Анхиало с Марцианопол.

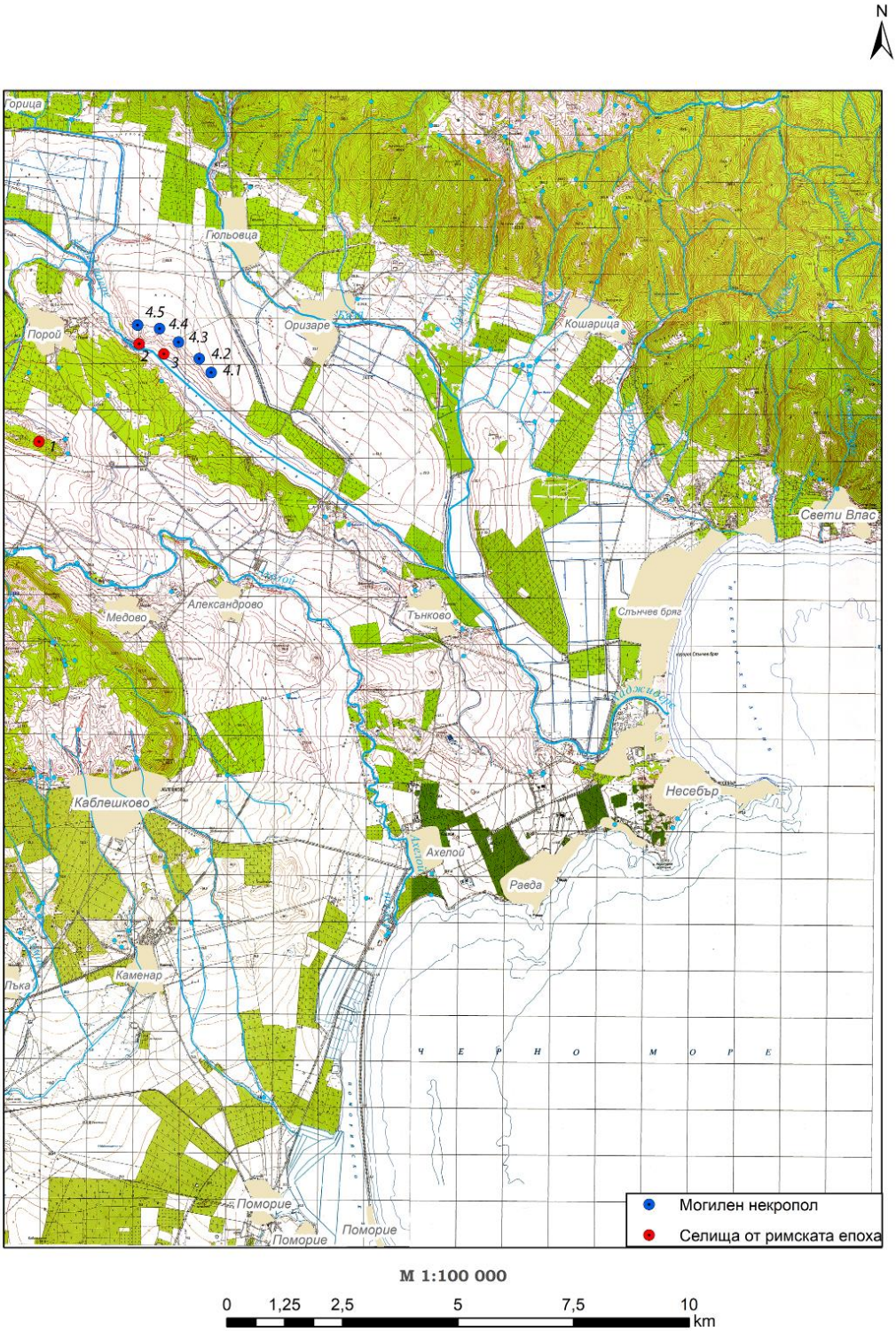
За постигане на определените цели е използвана летяща платформа DJI Phantom 4 Pro с камера FC 6310. Изображенията са с висока резолюция, като въз основа на тях са изготвени триизмерни модели на терена, където се разполагат селищата и могилните насипи. Използван е софтуер ArcGis версия 10.5 за анализиране на добитата информация.

Информация за археологическите обекти

Първото селище се намира в м. Бейкьой, землище на селата Бата и Порой. Разполага се на поредица възвишения, попадащи между реките Ахелой и Хаджийска. Известен от почти век, на него не са провеждани археологически разкопки. За това време той е бил предмет на множество публикации, касаещи случайни находки от къснокласическата до римската императорска епохи. За пръв път през 1929 г. за обекта споменава И. Пандалеев, описвайки серия обекти в Бургаско. Той определя площта на обекта на над 1000 daa, като споменава, че от това място са открити монети на Констанций, Гордиан, Антонин Пий и Юстиниан [1]. В следващите години Г. Кацаров публикува няколко мраморни оброчни плочки от землището на селата Бата и Порой [2], като две от тях са именно от м. Бейкьой с посветителни надписи θεὸς Εισηνος и Ἥρως Προπύλαιος [3, 4, 5]. Въз основа на информация на местен жител, според който по повърхността на обекта са се откривали множество тухли и монети, първоначална интерпретация на Г. Кацаров за обекта е селище [3]. От 1938 г. е едно известие на Д. Дечев за открита долна част на оброчна плочка, изработена от мрамор, с надпис посветен на Аполон отново с локалния епитет Εισηνος [6]. Интерпретирането на обекта не като селище, а като светилище от римската епоха, и по-специално в първата половина на III в., е предложено именно въз основа на тези случайно открити паметници [4].

Според друго разпространено мнение на това място се е намирала римската пътна станция станция „Казалет“ [7]. Аргумент в подкрепа на това е откритият мраморен фриз с релефни гирлядни и букраний, преупотребен като пътен знак [8], както и приблизителното съвпадение на разстоянието от Анхиало до Бейкьой с отбелязаното на картата [9]. При

инициираните теренни издирвания през 2006 и 2007 г. е констатирано наличието на керамични фрагменти от бронзовата епоха, ранната желязна епоха, римската и късноримска епоха, късната античност и Възраждането [10]. В няколко следващи публикации на проучвателите Л. Вагалински, Й. Михайлов и К. Кръстев, асоциирането на обекта с „Казалет“ е оспорено. Основните доводи са, че липсват достатъчно значителни останки, въпреки че разстоянието между обекта и античния Анхиало съвпада с посоченото в Певтингеровата карта [9, 11, 12].



Фиг. 2. Карта с разположението на селищата от римската епоха (1, 2 и 3) и могилния некропол състоящ се от пет надгробни могили (4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5)

Откриването на оброчни плочки, посветени на Аполон Ейсенос, Херос Пропилайос показва вероятна хипотезата за наличието на храм с портик на това място през римската епоха [13]. Интерпретацията на мраморния блок като жертвеник, част от светилище или храм от

елинистическата епоха, също изглежда като вероятна хипотеза и евентуалната приемственост във времето също не трябва да бъде изключвана. Вероятността на това място да е съществувала монументална сграда, храм посветен на Аполон, се подкрепя както от използването на мрамор, така и от висококачествената изработка на фриза [13, 14]. Според К. Господинов наличието на храмова сграда от елинистическата епоха подкрепя хипотезата на И. Карайотов за наличието на селищни структури принадлежащи на хóрата на Месамбрия [13], но напълно вероятно е издигането ѝ тук да указва нейната западна граница. Както е добре известно, маркирането на крайградските територии на гръцките полиси със светилища не е изключение. Строежът на храмове играе основна роля в посредничеството между местното население и гръцките колонисти, осигуряващо сплотеност между отделните етносни и социални групи [15]. Разстоянието от Месамбрия до обекта в м. Бейкьой е около 18 km по права линия и вероятно не повече от 20 km, използвайки сухоземните трасета. Напълно вероятно е обектът да се разполага не на трасето, известно през римската епоха като пътя Анхиало-Марцианопол, а на пътя, преминаващ по долината на р. Хаджийска и водещ към вътрешните райони на Тракия, и известен в много по-късно време като „пътят на солта“ [13, 16, 17].

Второто селище от района на изследването се намира в чашата на яз. „Порой“. За пръв път за него споменава И. Карайотов във връзка с един открит змиевиден златен пръстен, който той датира в V в. пр. Хр. [18, 19, 20]. Официално обектът е регистриран при теренни издирвания през 2007 г., като това става възможно следствие на продължителното засушаване и значителното отдръпване на водите на язовира. Площта с регистрирани материали е около 15 dka [9, 16–20]. Проучвателите отбелязват концентрации на керамика на две стръмни тераси. Според тях обектът представлява селище от римската епоха, но отбелязват че освен керамика от това време, се открива такава и от по-ранни епохи [16–20]. Описаните структури от римската епоха, обаче са твърде малко, като по всяка вероятност те маркират периферията на друг, много по-голям обект, развиващ се по левия бряг на р. Хаджийска. Именно такъв е регистриран на около 300 m в югоизточна посока, като площта му във видимите части до бреговете на язовира надхвърля 50 dka, но вероятно е много повече, ако се вземат предвид залетите с вода брегове на реката. Този обект е третото селище, попадащо в изследвания район. По повърхността личат множество основи на зидове, както и керемиди, питоси и др. от римската и късноримската епохи [20]. Напълно възможно е двата обекта да са част от един по-голям [20] или останките на един от тях да принадлежат на пътната станция „Казалет“ [9]. За разлика от предходния обект тук следите от постройки са много повече, а подземният археологически материал също в много по-големи количества. Обектът е регистриран през същата 2007 г. като по това време са документирани множество каменни зидове от сгради [16–20]. На това място е открит добре обработен каменен блок, а в близост е намерена и една монета на Констанций II, отсечена в Константинопол [20].

Резултати от изследването с безпилотната летяща платформа

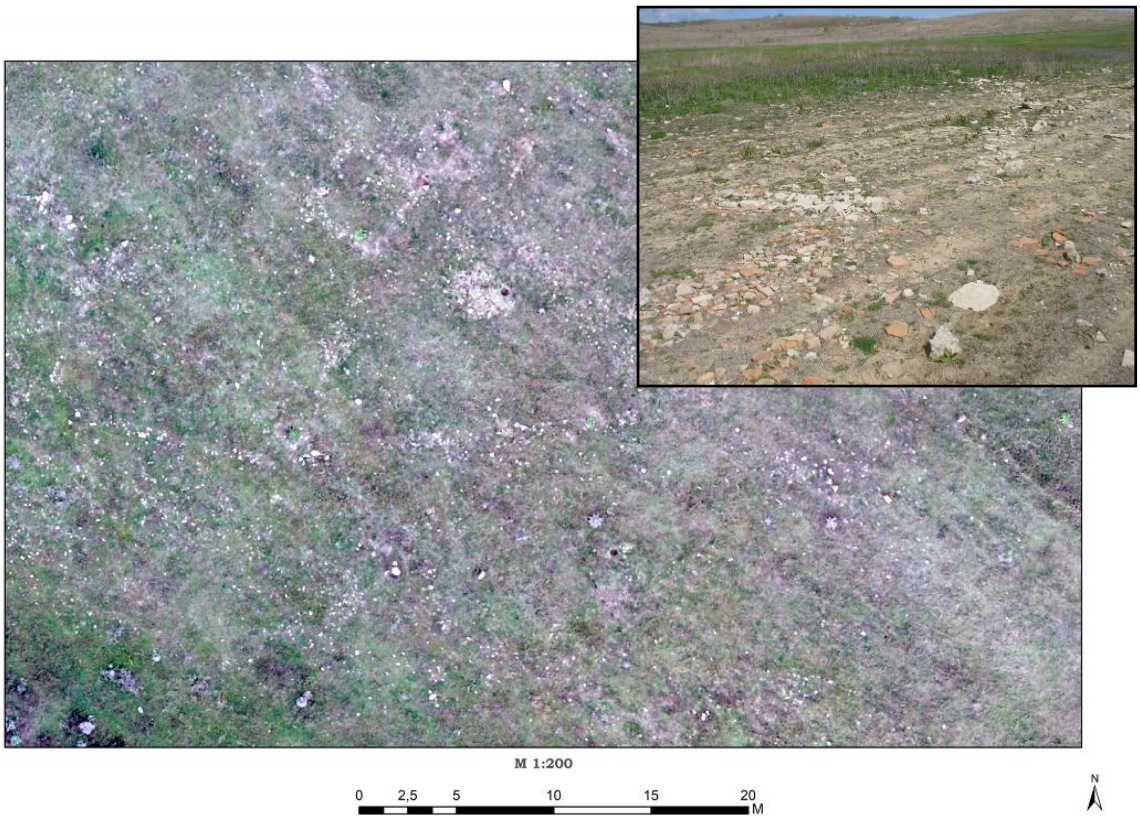
Резултатите от извършената ортофотгорафия установиха, че на първото и второто селище липсват видими структури, които да бъдат асоциирани със сгради с монументална архитектура от римската епоха. На третия обект обаче, бяха документирани следи от постройки, изградени частично или изцяло с каменна зидария и покриви от керемиди. Облитането на ниска височина позволи да се засекат основите на сграда със страни 11 x 11 m. Информация за сграда с подобни размери дава К. Кръстев при направените теренни издирвания през 2007 г. [9]. Друга, неизвестна до този момент сграда с помещение също с квадратен план (5 x 5 m) бе документирана на изток от предходната постройка (Фиг. 3). Южно от нея бе заснета трета сграда с няколко помещения, едно от които е с почти изцяло запазен план с размери 12.50 x 7.50 m (Фиг. 4). Дебелината на зидовете варира от 0.60 до 0.75 m. Високите води на язовира към момента на заснемане не позволиха детайлното проследяване на структурите в южна посока, към коритото на реката, където предполагаемо се намират още постройки.

Селището отстои най-близо до могилния некропол, който е съставен от пет могилни насипа, разположени по поречието на р. Хаджийска в дълга редица. Известно е, че в някои случаи могилните насипи се разполагат покрай пътища [9] и взимайки предвид разположението им, то трасето следва да преминава през самия обект.

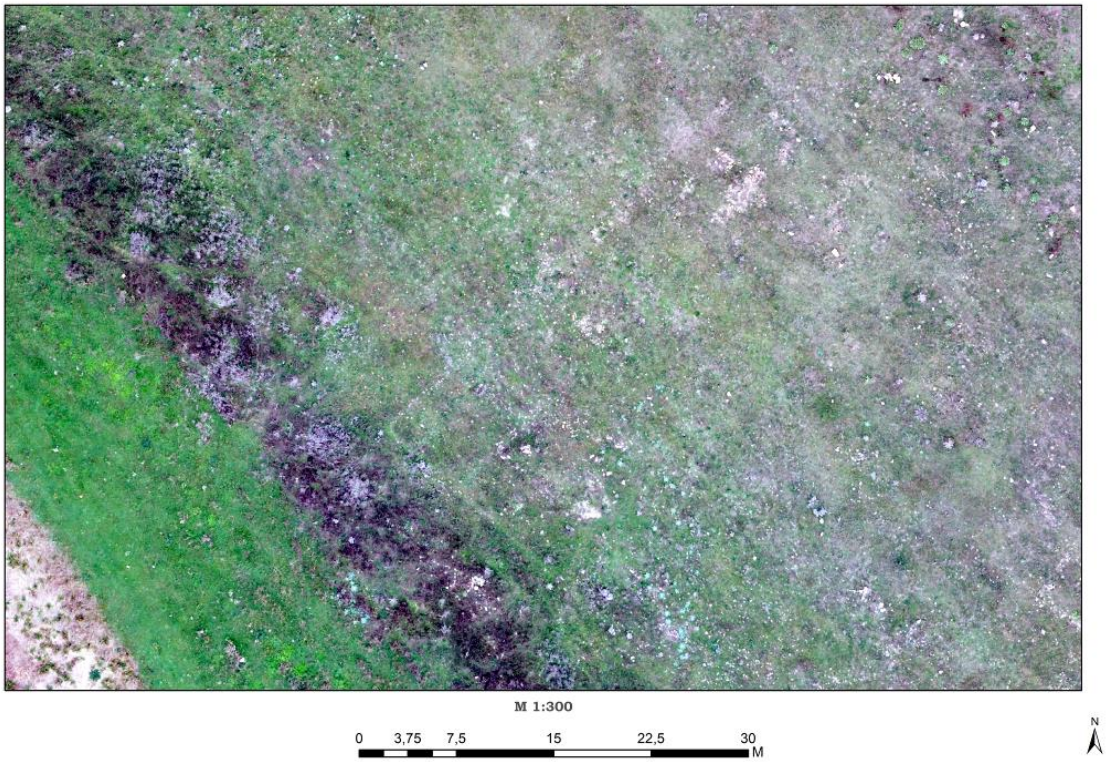
Заключение

Направеното заснемане с летяща платформа на трите селища констатира основите на сгради с големи размери, с каменни стени и покриви от керемиди само на третия обект. Археологическите материали, документирани по време на издирванията, датират постройките в

римската императорска епоха. Отчитайки тези факти, структурите от последния обект засега остават най-вероятната възможност да принадлежат на останките от пътната станция „Казалет“.



Фиг. 3. Останки от сграда с помещение 5 x 5 m в югоизточния сектор на обект 3 от римската епоха



Фиг. 4. Останки от сграда с помещение 7.50 x 12.50 m в южния сектор на обект 3 от римската епоха

Благодарности

Статията е резултат от работата по проект финансиран от фонд „Научни изследвания“ – МОН. Договор КП-06-Н40/6: Археология на ландшафта: модели за реконструкция на древна жизнена среда.

Литература:

1. Пандалеев, И. Археологически вести. Нови археологически находища в Бургаско. – Известия на българския археологически институт ,V, 1928–1929 г., 325–328.
2. Kazarow, G. Die Denkmäler des thrakischen Reitergottes in Bulgarien, Budapest, 1938.
3. Кацаров, Г. Антични паметници из България. – Известия на българския археологически институт, VI, 1930–1931 г., 117–134.
4. Вълчев, И. Извънградските светилища в римската провинция Тракия, София, 2015.
5. Slavova, M. Transliteration of Thracian Names Through the Resources of the Greek Alphabet: Digraphs in the Thracian Names. – In: Proceedings of 10th Congress of Thracology. October 2005, Komotini–Alexandroupolis. Athens, 2007, 553–556.
6. Дечев, Д. Антични паметници. – Известия на българския археологически институт, XII, 1938, 281-303.
7. Горова, Д. Нови археологически находки от римската пътна станция Казалет. – Музеи и паметници на културата, 1978, 2, 18–21.
8. Кръстев, К. Археологически обекти от втората половина на I хил. пр. Хр. на територията на община Поморие. Проблеми на изследванията на тракийската култура. 2014, Том 7.
9. Кръстев, К. Римски и късноантични обекти по левия бряг на язовир „Порой“ (Проблемът с локализацията на Казалет). – Известия на музеите от Югоизточна България, 2009, том XXIV, 118–134.
10. Михайлов, Й. Теренно издирване на археологически обекти в землищата на селата Бата, Габерово, Медово, Порой, Александрово, общ. Поморие.–В: Археологически открития и разкопки през 2007 г. София, 2008, 788–789.
11. Вагалински, Л., Й. Михайлов. Теренни издирвания в община Поморие. – Археологически открития и разкопки през 2006 г. София, 2007, 592–593.
12. Вагалински, Л., Й. Михайлов. Археологическо теренно издирване в община Поморие. – Известия на Исторически музей – Поморие, 2007, 13–22.
13. Господинов, К. Плоча с релеф на букраний от елинистическата епоха в Несебър. В: Т. Стоянов, М. Тонкова, Х. Прешленов, Х. Попов (ред.), Heros Hephaistos, Studia in honorem Lubae Ognenova-Marinova. Велико Търново, 2005, 165–175.
14. Димитров, З. Приемствеността между елинистическата и римската архитектурна декорация в западнопонтийските градове. – В: Античните цивилизации и морето. Международна конференция в чест на 70-годишнината на проф. Михаил Лазаров, Варна, 13-15 октомври 2004, Acta Musei Varnaensis V, Варна, 2004, 372–390.
15. Полиняк, Ф. Раждането на гръцкия град. Култове, пространство и общество VIII-VII в. пр. Хр. София, 2022.
16. Карайотов, И., Старини по пътя на солта. – Море, 1993, 8-9, 14–18.
17. Карайотов, И., Анхиало, началото на „Пътя на солта“ – Море II, 1994, 5, 9–14.
18. Карайотов, И. Големите епохи на Месамбрия (Die grossen Epochen von Messambria), Проблеми на изкуството, 2004, 1, 9–18.
19. Карайотов, И. Анхиалос през античността. Бургас, 2015.
20. Кръстев, К. Теренни обхождания в селата Кошарица, Оризаре и Гюльовци, община Несебър. – В: Археологически открития и разкопки през 2007 г. София, 2008, 784–788.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

IMPACT OF AIR POLLUTION ON COV-19 CONTAMINATION IN SOFIA FOR THE PERIOD 2020-2022

Maria Dimitrova, Plamen Trenchev, Deyan Gochev, Lachezar Filchev, Georgi Jelev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: maria@space.bas.bg

Keywords: *Remote sensing, Air pollution, COV-19*

Abstract: *In this paper we present the results of comparison between air pollution over Sofia city and numbers of new and active COV-19 cases. Air pollution measurements are on the base of Sentinel 5P data and 5 ground stations (AIS), based in Sofia city. Results show a good compliance between air pollution level and COV-19 cases*

ВЛИЯНИЕ НА АТМОСФЕРНОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ ВЪРХУ COV-19 ЗАБОЛЕВАЕМОСТТА В СОФИЯ ЗА ПЕРИОДА 2020-2022

Мария Димитрова, Пламен Тренчев, Деян Гочев, Лъчезар Филчев, Георги Желев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: maria@space.bas.bg

Ключови думи: *дистанционни изследвания, спътникови данни, COV-19*

Резюме: *В тази статия представяме резултатите от сравнението между замърсяването на въздуха над град София и броя на новите и активни случаи на COV-19. Измерванията на замърсяването на въздуха са на базата на данни от Sentinel 5P и 5 наземни станции (AIS), базирани в град София. Резултатите показват добро съответствие между нивото на замърсяване на въздуха и случаите на COV-19*

Introduction

Coronavirus disease 2019 (COVID-19) is a contagious disease caused by a virus, the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2). The first known case was identified in Wuhan, China, in December 2019 [1]. The disease quickly spread worldwide, resulting in the COVID-19 pandemic.

Symptoms of COVID-19 are variable, but often include fever [2] cough, headache [3] fatigue, breathing difficulties, loss of smell, and loss of taste [4, 5, 6]. Symptoms may begin one to fourteen days after exposure to the virus. At least a third of people who are infected do not develop noticeable symptoms [7] Of those people who develop symptoms noticeable enough to be classed as patients, most (81%) develop mild to moderate symptoms (up to mild pneumonia), while 14% develop severe symptoms (dyspnoea, hypoxia, or more than 50% lung involvement on imaging), and 5% develop critical symptoms (respiratory failure, shock, or multiorgan dysfunction) [8]. Older people are at a higher risk of developing severe symptoms. Some people continue to experience a range of effects (long COVID) for months after recovery, and damage to organs has been observed [9]. Multi-year studies are underway to further investigate the long-term effects of the disease.

At the beginning of 2020, COV-19 pandemic made humanity to think about such actual problems as the air quality and it impact over human health. This involves us also to study the impact of other sources of respiratory distress on the increase of COV-19 morbidity.

Data and methodic

For this investigation we chose the biggest Bulgarian city – Sofia.

Our choice is to use grand station measurements and satellite data for air quality inventory.

On Fig. 1 we show positions of the 5 used ground measurement station – AIS: Mladost, Drujba, Nadejda, Hipodruma and Pavlovo. The sixth one – the one at Orlov most doesn't provide free data at the moment [10].

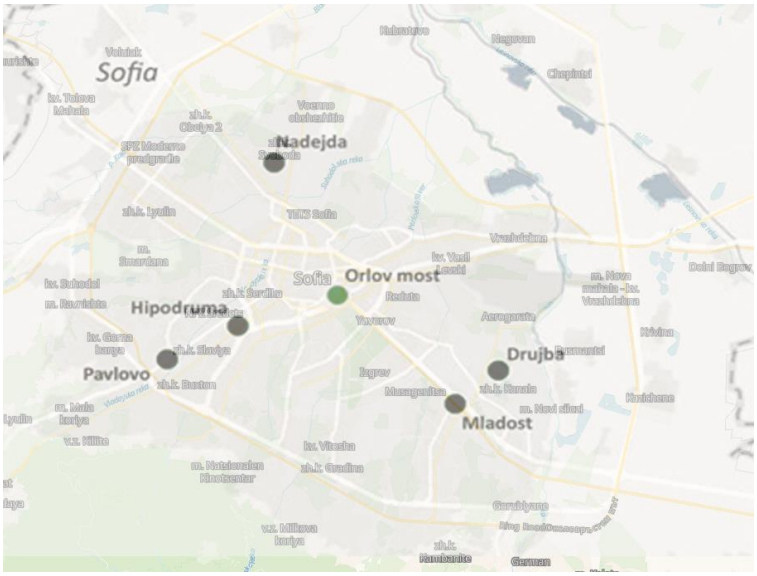


Fig. 1. Positions of AIS in Sofia

From all the five AIS we use data for PM10, NO_2 and CO. Only one station – the one at Hipodruma provides data for PM2.5 and we use this data too.

We use Sentinel 5P satellite data [11, 12] On Fig. 2 we show space resolution of this data above the Sofia region. Each differently colored rectangle is one data pixel.

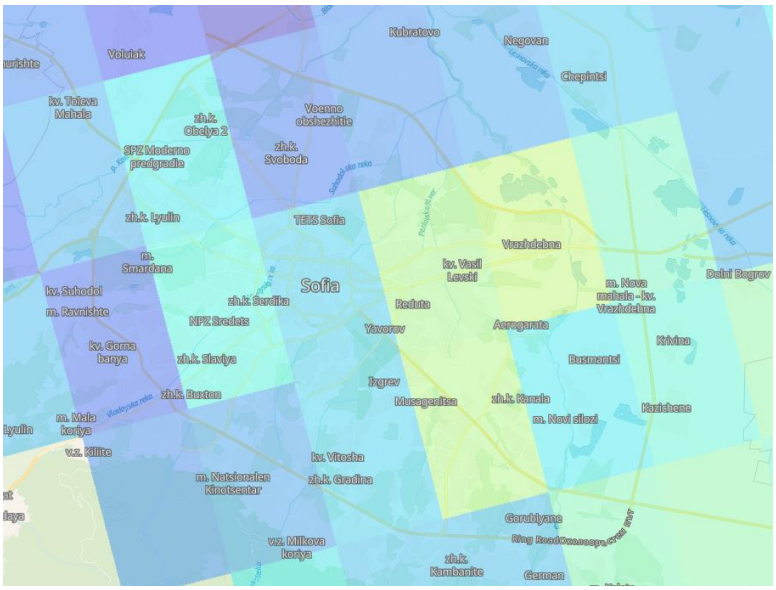


Fig. 2. Illustration of the spatial Sentinel 5P resolution

For the data for COV-19 new and active cases in Sofia city we use data from the official government open data portal [13].

Results

On Fig. 3 we show the distribution of the new COV-19 cases in Sofia city on a daily scale.
On Fig. 3, 5 and 6 we show AIS data for PM10, NO_2 and Co respectively.
On Fig. 7 we show the distribution of active COV-19 cases in Sofia city.

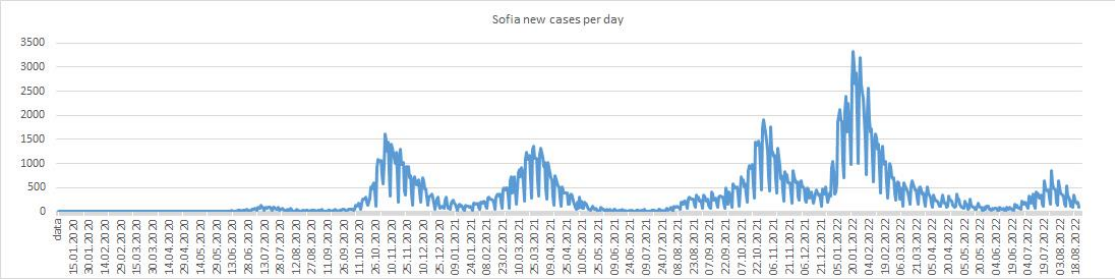


Fig. 3. Distribution of new COV-19 cases in Sofia city

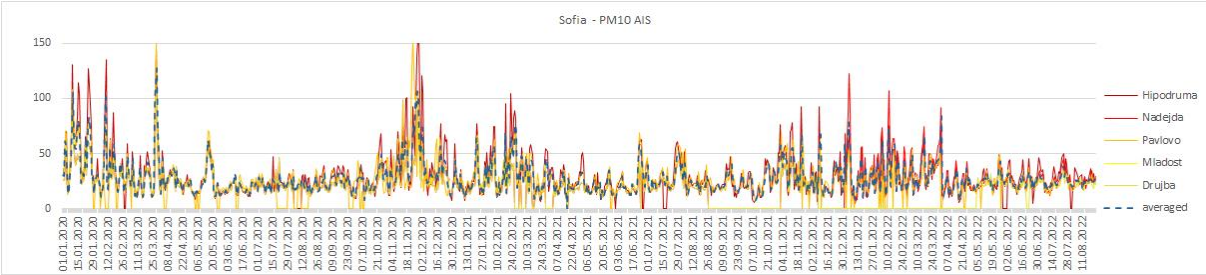


Fig. 4. PM10 in Sofia city measured from AIS and averaged PM10 value

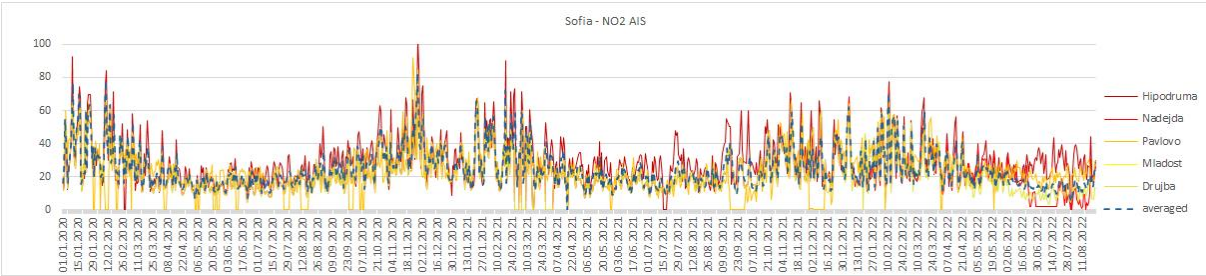


Fig. 5. NO_2 in Sofia city measured from AIS and averaged NO_2 value

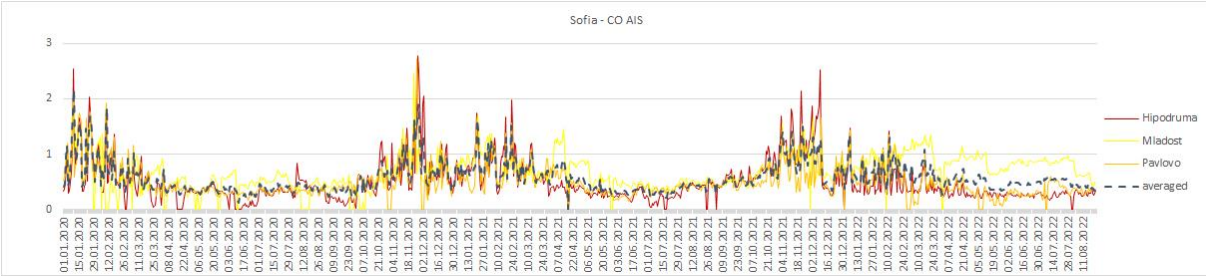


Fig. 6. CO in Sofia city measured from AIS and averaged CO value

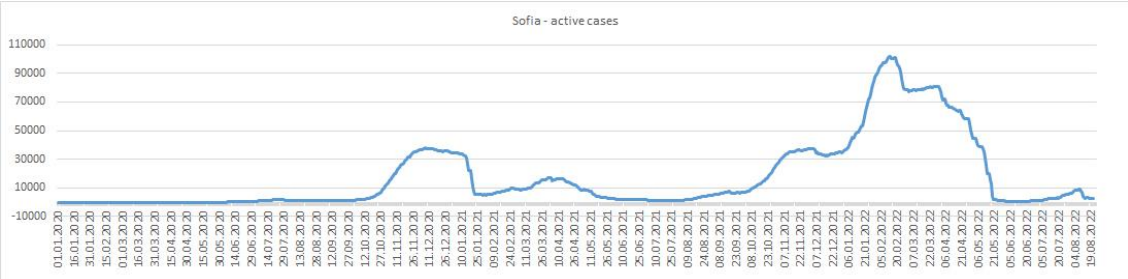


Fig. 7. Distribution of active COV-19 cases in Sofia city

As we see in Fig. 3 – 6, there is a very good match between the daily new COV0-19 cases and all three air pollutants.

Fig. 7 shows time delay between COV-19 active cases and air pollution. Such time delay is naturally caused by COV-19 duration.

For PM2.5 not only we have data from just one station in Sofia, but also it has a gap of data for a full year between March 2020 and March 2021. On Fig. 8 we show the existing PM2.5 data from Hipodruma station.

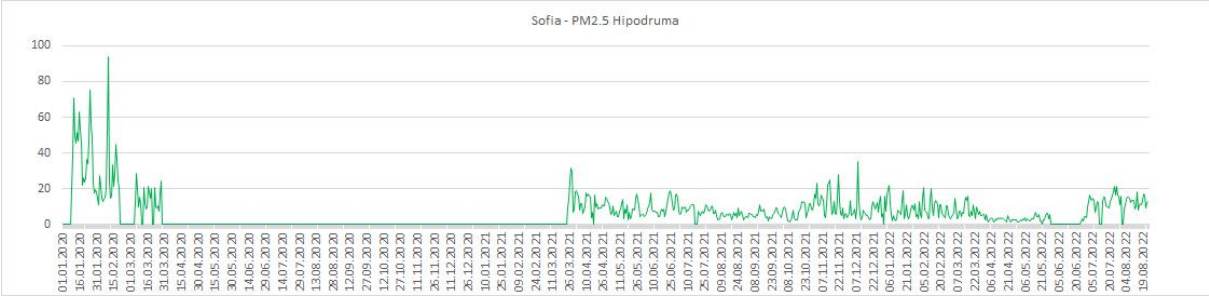


Fig. 8. PM2.5 in Sofia AIS Hipodruma

From the Sentinel 5P satellite data we find days with NO_2 pollution in the atmosphere over the city. In Fig. 9 we show diagram of days with pollution.

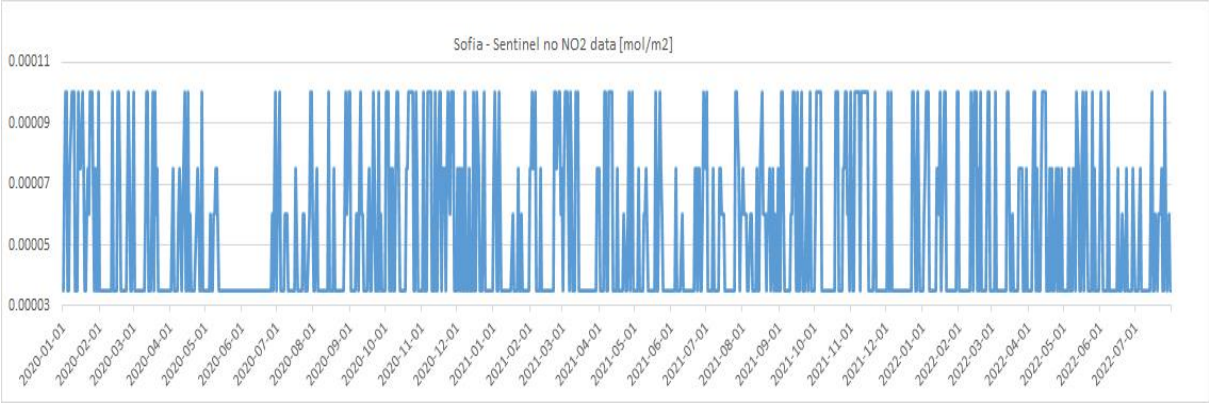


Fig. 9. NO_2 pollution days over Sofia

As we see on the Fig. 9, there is a gap in the days with pollution during the lockdown in Sofia during the spring of 2020, the increase of days with pollution during the second and third COV-19 wave, as well as at the end of 2021 (forth COV-19 wave).

The increase of other pollutant (CO and dust) we can not see from Sentinel 5P data. Their concentration over the city didn't show significant increase over Sofia.

The case of dust pollution registration from satellite data is very complicated as whole. Satellite data contain only AI (aerosol index) or AAI (absorption aerosol index) but no direct dust measurements.

Conclusions

As we see from the previous chapter, both new and active COV-19 cases per day show perfect correlation with air pollution increases in Sofia city in the first half of the spread of COV-19. This made us think that we must pay bigger attention to the decreasing of greenhouse gases not only to prevent future Global Warming, but also to prevent future respirator pandemics.

Acknowledgement: Фонд научни изследвания (ФНИ) към МОН за финансовата подкрепа по проект "Smart Integrated Devices For Telemedicine to Combat COVID-19 Toward New Resilience City" (Smart4COV19/ Telemed), дог. № КП-06-Д002/8, сключен м/у ИКИТ-БАН и ФНИ по 6-та покана за проектни предложения на програмата SEA-EUROPE JFS

Refferences:

1. Page, J, Hinshaw D, McKay B (26 February 2021). *"In Hunt for Covid-19 Origin, Patient Zero Points to Second Wuhan Market – The man with the first confirmed infection of the new coronavirus told the WHO team that his parents had shopped there"*. *The Wall Street Journal. Retrieved 27 February 2021*.**^**
2. Islam, MA (April 2021). *"Prevalence and characteristics of fever in adult and paediatric patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19): A systematic review and meta-analysis of 17515 patients"*. PLOS ONE. 16 (4): e0249788. Bibcode:2021PLoSO..1649788I. doi:10.1371/journal.pone.0249788. PMC 8023501. PMID 33822812.
3. Islam, MA (November 2020). "Prevalence of Headache in Patients With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Systematic Review and Meta-Analysis of 14,275 Patients". Frontiers in Neurology. 11: 562634. doi:10.3389/fneur.2020.562634. PMC 7728918. PMID 33329305.
4. Saniasiaya, J, Islam MA (April 2021). "Prevalence of Olfactory Dysfunction in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Meta-analysis of 27,492 Patients". The Laryngoscope. 131 (4): 865–878. doi:10.1002/lary.29286. ISSN 0023-852X. PMC 7753439. PMID 33219539.
5. Saniasiaya, J, Islam MA (November 2020). "Prevalence and Characteristics of Taste Disorders in Cases of COVID-19: A Meta-analysis of 29,349 Patients". Otolaryngology–Head and Neck Surgery. 165 (1): 33–42. doi:10.1177/0194599820981018. PMID 33320033. S2CID 229174644.
6. Agyeman, AA, Chin KL, Landersdorfer CB, Liew D, Ofori-Asenso R (August 2020). "Smell and Taste Dysfunction in Patients With COVID-19: A Systematic Review and Meta-analysis". Mayo Clin. Proc. 95 (8): 1621–1631. doi:10.1016/j.mayocp.2020.05.030. PMC 7275152. PMID 32753137.
7. Oran, DP, Topol EJ (January 2021). "The Proportion of SARS-CoV-2 Infections That Are Asymptomatic: A Systematic Review". Annals of Internal Medicine. 174 (5): M20-6976. doi:10.7326/M20-6976. PMC 7839426. PMID 33481642.
8. "Interim Clinical Guidance for Management of Patients with Confirmed Coronavirus Disease (COVID-19)". U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 6 April 2020. Archived from the original on 2 March 2020. Retrieved 19 April 2020.
9. Jump up to:[a] [b] CDC (11 February 2020). "Post-COVID Conditions". U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Retrieved 12 July 2021.
10. Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух - https://www.eea.government.bg/kav/
11. Sentinel-5P Pre-Operations Data Hub - https://s5phub.copernicus.eu/dhus/#/
12. Sentinel EO Browser - https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/
13. Open data portal - https://data.egov.bg/data/resourceView/cb5d7df0-3066-4d7a-b4a1-ac26525e0f0c

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ И ЕНЕРГИЙНИЯТ БАЛАНС НА ПОВЪРХНОСТТА НА ЧЕРНО И КАСПИЙСКО МОРЕТА

Ангел Манев, Веселин Ташев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: amanev@abv.bg

Ключови думи: *Слънце, активност, повърхност, температура, Черно, Каспийск,о море*

Резюме: *Проведено е изследване на чувствителността на повърхностната температура на водата на Черно и Каспийско море към промените в слънчевата радиация по време на нарастваща слънчева активност. Разгледани са два възможни варианта за контакт между слънчевата енергия и повърхността на моретата. Анализирани са само възможните ситуации за такъв тип изследвания в период от 14 години. Използвани са сателитни данни от радиометъра AVHR за NOAA. Обсъждат се възможните причини за различната точност на резултатите.*

SOLAR ACTIVITY AND TEMPERATURE BALANCE ON THE SURFACE OF THE BLACK AND CASPIAN SEAS

Angel Manev, Veselin Tashev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: amanev@abv.bg

Keywords: *solar, activity, surface, temperature, Black, Caspian, sea*

Abstract: *A study of the sensitivity of the water surface temperature of the Black and Caspian Sea to changes in solar radiation during increasing solar activity was conducted. Two possible options for contact between solar energy and the surface of the seas are considered. Only the possible situations for this type of research in a period of 14 years have been analyzed.Satellite data from the radiometer AVHR for NOAA were used. The possible reasons for the different accuracy of the results are discussed.*

Черно и Каспийско морета са затворени континентални морета с всички условия за консервативност на хидро-динамичните характеристики на водите им. Двете морета са отделени от океаните и в акваторията им няма значителен приток на външни води. Стокът се осъществява предимно за сметка на втичащите се сладки води от прилежащите им водосборни зони. Басейните са сравнително големи и затворени без да има условия за хоризонтален пренос на водни маси между райони с много различни синоптични условия. Поради тези си особености двете морета са много удобен полигон за изследване на Слънчево-Земните въздействия и за моделиране на енергийните процеси на повърхността на моретата и в атмосферата над тях.

Често се наблюдават краткотрайни, до 3–4 денонощия, аномални изменения на температурата на морската им повърхност. Сравнително малко са изследванията за краткотрайното въздействие на Слънчевата активност върху генерацията на такива кратки температурни аномалии. Причините са в много слабата промяна на Слънчевата константа във времето и трудната откриваемост на синхронни събития на Слънцето и повърхностите на моретата.

В настоящото изследване са използвани ежедневните температурни данни от апарагурата AVHRR на спътниковата система NOAA. При анализите се обхваща водните райони на Черно и Каспийско морета като цяло и с по пет и четири избрани целево характеристични зони. Изследван е годишния времеви период от април до октомври тъй като в

късния есеен, зимния и ранния пролетен период наличието на голяма облачност над моретата не дава възможност да се определя надеждно повърхностните температури. Периодът в който са търсени краткотрайни аномалии е 14 години от 1985 до 2005 година без 1987-ма поради липса на данни.

Изследването е проведено като на повърхностите на двете морета се анализират съответно за Черно море 5446 пикселни температури, а за Каспийско 2811 пикселни температури. Пикселната температура на всеки пиксел представлява осреднената температура, регистрирана от радиометъра, на поле с размери 9x9 km от повърхността на всяко море. Това е приблизително реална „запълненост“ на Черно и Каспийско море.

За целите на изследването са създадени пет критерия за отбор на достоверните аномалии при които едновременно се регистрират повишавания на стойностите на температурите и слънчевата радиация [2]. Изключено е влиянието на антициклоните и локалните повишавания на температурите, дължащи се на макомащабни процеси. На анализ се поставят само аномалии с продължителност до 3–5 денонощия. За всяка аномалия се изследва градиента на нарастване на температурата, нейния максимум и последвалия спад. Общият брой изследвани аномалии е 720. В този брой се включват и всички аномалии, които възникват на повърхността и на характеристичните зони.

След първият етап, когато се определят видимите краткотрайни аномалии, е проведен бинарен корелационен анализ за отделяне само на тези аномалии при които съществува значима корелация между темпретурния ход на двете морета и на всяко море с временния ред от стойностите на радиацията, регистрирана в диапазон около 10.7 cm. Внимателният анализ определеля само три аномалии за които може да се твърди, че отговарят на условията едновременно да се наблюдават и на двете морета и в същото време Слънчевата активност да нараства [2].

В Таблица 1 са представени два вида експериментални резултати. Първо са показани бинарните корелационни коефициенти между за изменението на температурите на Черно и Каспийско морета, после за всяко море и Слънчевата активност. Високите корелационни коефициенти, по-големи от 0.7 гарантират наличието на надеждни аномалии.

Таблица 1

Дата	Корелации			$C_{A10.7}$	$\Delta C_{A10.7}$	C_A	ΔC_A
	Ч-К	СА-Ч	СА-К	[$10^{-22}Wm^{-2}Hz^{-1}$]	[$10^{-22}Wm^{-2}Hz^{-1}$]	[$W.m^{-2}$]	[$W.m^{-2}$]
12.08.91	0.999	0.923	0.909	146.8	8.2 (5.5%)	1361.940	0.809 (0.059%)
09.08.93	0.910	0.976	0.799	96.5	5.6 (5.8%)	1360.984	0.259 (0.019%)
20.06.99	0.749	0.705	0.998	151.5	12.7 (8.4%)	1361.670	0.063 (0.005%)
					8.83 (**6.6%**)		0.376 (**0.027%**)

В последните четири колони на Таблица 1 са показани максималните стойности на регистрираната радиация в диапазона 10.7 cm [6] и тоталната стойност на Слънчевата константа [5], със съответните им изменения спрямо предходния на максимума на аномалията ден. Тоталната слънчева радиация се променя, в рамките на първия ден на аномалиите, в рамките на 0.03%, което е крайно малко за съществени въздействия върху инертни обекти. В същото време радиацията, регистрирана в диапазона 10.7 cm варира около 6.6%. По-голямата изменчивост на радиацията 10.7 cm дава възможност по-детайлно да се регистрира и изследва Слънчевото въздействие.

Откритите три денонощия, които отговарят на условията за наличие на температурни аномалии на повърхността на Черно и Каспийско морета, са удобни за моделиране на енергийния баланс на повърхността на моретата само ако атмосферните процеси над тях са хомогенни и устойчиви. За проверка на хипотезата за устойчивост и хомогенност е направено предположение, че атмосферата не влияе върху температурния баланс на повърхността. Направена е проверка за чувствителността на реакцията на моретата за активното въздействие на слънчевата радиация. За целта коефициентът на реакция е пресметнат според два възможни модела на взаимодействие. Първият модел предполага енергиен баланс, пресметнат по формулата [1]:

(1)
$$L_0 = \delta\sigma T_e^{\,4}$$

където:

- L_0=239.2 W/m2 е радиационната енергия приета от земната повърхност;

- T_e = 2580K е ефективната температура на излъчвяне на земната повърхност;
- σ е канстантата на Стефан-Болцман;
- δ е коефициентът на чернота на земната повърхност.

Диференцирайки (1) и после разделяйки го с резулатното уравнени се получава:

$$dT_e = \frac{T_e}{4 \times L_0} dL_0$$

или :

$$\frac{dT_e}{dL_0} = \frac{T_e}{4 \times L_0} = \beta$$

Величината β представлява чувствителността на температурата на земната повърхност без атмосферата към изменението на слънчевата радиация“ е равна на 0.27 K.W-1.m^{-2}. Тази стойност на β означава, че при повишаване на слънчевата радиация с 1% повърхността на Земята ще се увеличи с 0.650C. Наличието на атмосфера увеличава равновестната температура на повърхността и затова Международният комитет по изменението на климата препоръчва да се използва за стойността 0.625 K.W-1.m^{-2} [3]. Тогава на промяна с 1% на слънчевата константа повърхността ще отговори с промяна на температурата си с 1^{0}C. Такава връзка на промяната на слънчевата константа, непосредствено свързана със слънчевата активност, с равновестната земна температура е крайно недостатъчно за да предизвика измененията които се наблюдават в енергийната климатична система на Земята.

При Вторият модел за оценка на енергийния баланс [4], може да се приложи упростен модел при който съществува баланс между постъпващата от Слънцето инфрачервена енергия и излъчената от земната повърхност и преминала през атмосферата инфрачервена енергия в близък спектрален диапазон [7]:

(2)
$$\frac{S \times (1 - A)}{4} = (1 - \frac{\varepsilon}{2}) \times \sigma \times T_s^4$$

където:

- S е тоталната слънчева радиация достигнала до горната част на земната атмосфера, наричана „слънчева константа;
- A е албедото на Земята.
- Ts е температурата на земната повърхност;
- σ е канстантата на Стефан-Болцман;
- ε е дълговълновата излъчвателна способност на атмосферата;

Диференцирайки (2) и извършвайки преобразувания получава:

(3)
$$\frac{dT_s}{dS} = \frac{(1 - A)}{16 \times (1 - \frac{\varepsilon}{2}) \times \sigma \times T_s^3} - \frac{dA}{16 \times (1 - \frac{\varepsilon}{2}) \times \sigma \times T_s^3} \times \frac{S}{dS} + \frac{\sigma \times T_s^4}{8 \times (1 - \frac{\varepsilon}{2})} \times \frac{d\varepsilon}{dS}$$

Първото събираемо в уравнение (3) е свързано с изменението на Слънчевата константа, второто с изменението на Албедото на Земята, или атмосферната абсорбция а третия член е свързан с изменението на излъчвателна способност на земната повърхност. Такива промени могат да настъпят в следствие на промяна на концентрацията на CO_2 (или други парникови газове), промяна в концентрацията на водните пари в атмосферата или промяна в облачната покривка на Земята.

Промяната на Земното албедо в рамките на 2–3 денонощия е незначителна и затова може да се пренебрегне в уравнение (3). Тогава директно измерваното отношение dT_s / dS може да участва в различни моделирания, свързани с промяната в състоянието на земната атмосфера в рамките на 2–3 денонощия, повлияни от промените в Слънчевата константа (отношението dT_s / dS).

Резултатите от двата модела са показани в Таблица 2.

Дата	Каспийско море				Черно море			
	T_{max} [C^0]	ΔT [C^0]	β	$\Delta T/\Delta C_A$	T_{max} [C^0]	ΔT [C^0]	β	$\Delta T/\Delta C_A$
12.08.91	26.39	0.270	0.03263	0,045861	26.77	0.325	0.03963	0,045683
09.08.93	26.82	0.276	0.04928	0,045664	25.23	0.293	0.05232	0,046396
20.06.99	23.74	0.480	0.03779	0,047100	23.88	0.420	0.03307	0,047032
			0.04000	**0,046208**			**0.04163**	**0,046370**

В Таблица 2 са показани резултатите от изчисляването на коефициента β и съответното му отношение $\Delta T/\Delta C_A$ според модела на Kravitz [4].

В колоната за $\Delta T/\Delta CA$ са показани резулати при предположение, че са изключени влиянията на атмосферните газове и промените в излъчвателната способност на атмосферата – изключени са двете последни събираеми в пълното уравнение (3). Получените резултати са близки, независимо, че при пресмятането на β в първия случай се изключва влиянието на атмосферата още в самото начало на разсъжденията, а при пресмятането на отношението $\Delta Ts/\Delta S$ участието на характеристики на атмосферата се изключват влиянието на парниковите газове и аерозолите. Този резултат указва на близки до идеалните атмосферни условия за поставяне на експеримент за точното определяне на отношението $\Delta Ts/\Delta S$ за посочените дати, като се прилагат различни атмосферни модели.

Систематичното отклонение на получените стойности за β и за $\Delta Ts/\Delta S$, спрямо обикновено цитираните в литературата реакции на земната повърхност на измененията на слънчевата радиация, се дължат на реалното участие на атмосферата при тренспортирането на слънчевата енергия до повърхността на морето. Обикновено при пресмятанията на тези две величини се използват идеализирани атмосферни условия, докато в настоящото изследване стойностите на температурите и нивото на радиацията са реално регистрирани и достатъчно конкретни за да се продължат изследванията в тази област..

От друга страна близостта на стойностите на температурната реакция на Черно и Каспийско морета, при повишаващата се слънчева активност, указва на правилността посочените дати да се използват за прилагане на различни атмосферни модели. По този начин, на тези дати, Черно море се явява удобен полигон за изследването и на слънчево-земните въздействия. На посочените дати атмосферните условия са хомогенни и устойчиви. Те са еднакви и над двете морета и ситуациите могат да се използват за количествени оценки на енергийния баланс на двете морета. Коефициентът на чувствителност може да бъде пресметнат по реални полеви данни.

Литература:

1. Жеребцов, Г. А., Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана, *Изв. Иркутского государственного университета*, Серия «Науки о Земле» 2013. Т. 6, № 1. С. 61–79, УДК 551.58:551.590.21.
2. Манев, А. , Ташев В., Сезонни характеристики на температурата на морската повърхност на Черно и Каспийско морета,Сборник от доклади на годишна научна конференция на НВУ „Васил Левски”, 30.06-01.07 2022, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски” ,ISSN 2367-7481
   Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // *Успехи физ. наук.* 2000. Т. 170, № 4. С. 419–445.
3. Intergovernmental Panel on climate change. *Climate change.* – Cambridge University Press, 1995.
4. Kravitz, P. Rasch, +16 authors Jinho Yoon, The climate effects of increasing ocean albedo: an idealized representation of solar geoengineering, Atmospheric Chemistry and Physics, Environmental Science, Published 12 September 2018, pp.13097–13113, DOI:10.5194/ACP-18-13097-2018 Corpus ID: 44108327
5. National Geophysical Data Center, Solar Data Service, Sun, solar activity and upper atmo-sphere data, 2013, http://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/solardataservices.html.
6. http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/flux10.7/daily/

Session 4

Ecology and Risk Management

Chairman: Prof. Garo Mardirossian
Secretary: Tsveta Srebrova, MS

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

АНАЛИЗ НА РИСКА И ЗАПЛАХИТЕ, ВЪРХУ КРИТИЧНАТА ИНФРАСТРУКТУРА ПРИ ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ, АВАРИИ И КРИЗИ НА ТЕРИТОРИЯТА НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Петър Гецов[1], Бойко Рангелов[2], Гаро Мардиросян[1], Георги Сотиров[1], Димитър Недялков[1], Димо Зафиров[1], Зоя Хубенова[1], Павел Пенев[1], Павлин Граматиков[1], Евгени Хубенов[1], Николай Загорски[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките, София,
[2]Минно-геоложки институт „Св. Иван Рилски“, София, България
e-mail: getsovp@space.bas.bg, branguelov@gmail.com

Ключови думи: *Мобилна авиационна система, критична инфраструктура, бедствия и кризи*

Резюме: *Предложеният доклад е посветен на проблемите и задачите, свързани с анализа и синтеза на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура на Република България при природни бедствия и кризи. Разгледани са съществуващите елементи на националната критична инфраструктура и е обоснована необходимостта от въздушен сегмент подпомагащ вземането на решение от оторизираните държавни органи.*

ANALYSIS OF THE RISK AND THREATS TO THE CRITICAL INFRASTRUCTURE DURING NATURAL DISASTERS, ACCIDENTS AND CRISES ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BULGARIA

Petar Getsov[1], Boyko Rangelov[2], Garo Mardirosyan[1], Georgi Sotirov[1], Dimitar Nedyalkov[1], Dimo Zafirov[1], Zoya Hubenova[1], Pavel Penev[1], Pavlin Gramatikov[1], Evgeni Hubenov[1], Nikolay Zagorski[1]

[1]Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
[2]University of mining and geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria
e-mail: getsovp@space.bas.bg, branguelov@gmail.com

Keywords: *Mobile aviation system, critical infrastructure, disasters and crises*

Abstract: *The proposed report is dedicated to the problems and tasks related to the analysis and synthesis of a mobile aviation system for monitoring the critical infrastructure of the Republic of Bulgaria during natural disasters and crises. The existing elements of the national critical infrastructure are examined and the need for an air segment supporting the decision-making by the authorized state bodies is justified.*

Критична инфраструктура

Терминът „критична инфраструктура“ (КИ) е въведен в българското законодателство през 2005 г. с приемането на Закона за управление при кризи (ЗУК). Паралелно с дефиницията за КИ в ЗУК, в Република България се използват поне още четири подобни определения, съответно в Закона за отбраната и въоръжените сили, Закона за защита при бедствия и Закона на Държавна агенция „Национална сигурност“, както и в подзаконови актове (наредби, постановления и др.). Това налага систематизиране и изграждане на единен понятиен апарат за КИ.

От анализа на литературни източници по темата, следва, че системите за КИ представляват обекти с потенциална опасност за персонала и населението. Критичната инфраструктура включва жизнено важни възли и елементи, като негативните въздействия върху нея могат да имат разрушителни последствия [4]. Тези въздействия върху КИ могат да бъдат реализирани главно по три начина:

- компютърно въздействие;

- физическо разрушително въздействие;
- косвено разрушително въздействие.

Природните бедствия и техногенните аварии, въздействащи върху КИ, са свързани с втория и третия от горепосочените начини. Например, при пожар могат физически да се разрушат елементи на КИ, а при гръмотевична буря, придружена с мълнии, да се реализира косвено разрушително въздействие на КИ, като се изведе от строя за определено време системата й за управление.

Основните ключови дейности при защита на КИ са: Анализ и моделиране на инфраструктурата; Прогнозиране; Анализ на околната среда; Анализ на микроикономиката; Моделиране и симулиране.

Извършеното проучване по разглежданата проблематика показва, че най-развитите държави определят самостоятелно обхвата на термина „критична инфраструктура“. За Република България най-важните сектори с КИ са енергетика, транспорт, информационни и комуникационни технологии, земеделие и храни, регионално развитие и благоустройство. Върху тези сектори с КИ могат да окажат физическо разрушително въздействие и косвено разрушително въздействие редица природни бедствия и техногенни катастрофи.

Проведените изследвания в днешно време [3] от водещи в технологично отношение държави сочат непрекъснато нарастване на честотата на природните бедствия и хуманитарни катастрофи и тяхната мащабност, както и връзката между отделните катаклизми, което води до загуба на човешки живот, нарушаване и разрушаване на КИ и големи материални щети.

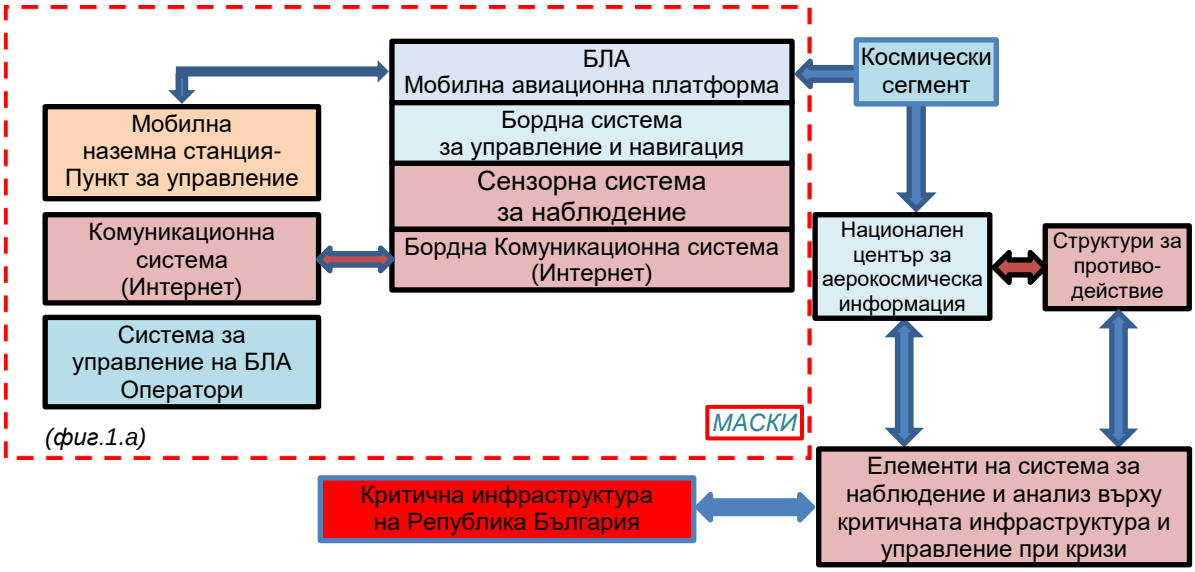
Според някои международни организации [7] посочените по-горе загуби за последните 20-30 години са по-големи от тези във военните и въоръжените конфликти за същия период.

От анализа на редица литературни източници [3] следва, че най-големи човешки и материални загуби предизвикват наводненията, ураганите, земетресенията и пожарите. В този контекст, по-конкретно за Република България, особено разрушителни и с негативни последици са наводненията, пожарите, мълниите и замърсяванията на водни площи. Това налага прилагане на широк комплекс от превантивни мерки и разработване на система за защита на КИ от най-вероятните за страната природни бедствия и техногенни аварии.

В хода на научната разработка по задача 1.1.6 от работния план за изпълнение на Национална научна програма „Сигурност и отбрана“ през следващите три години, при навлизане в същинската й част, следва да се разработи Функционален модел на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура (МАСКИ) от въздействие на природни бедствия и техногенни аварии е показана на Фиг. 1а. Моделът трябва да функционира за най-тежките варианти на физически и косвени разрушителни въздействия върху КИ.

На основание на горепосочения модел се предлага структура на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура. (Фиг. 1б) [1].

Структура на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура



Фиг. 1. Структура на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура

При разработването на Функционалния модел и Структурата на системата за защита на КИ следва да се използва апарата на теорията на риска.

Етапите на синтезирането на мобилната авиационна система са следните: Намерения; Разполагане; Действие; Финансиране.

Особено важно е осигуряването на безопасност и управление на информацията свързано с: Проучване на входящата информация; Събиране на данни за техническите изделия за свръзка; Анализ на системата; Определяне на критичните структури; Защита на информацията.

"Потенциално опасен обект" от критичната инфраструктура е този, който поради своите функции, размери или обслужвана зона може, при повтарящи се отклонения от нормалната експлоатация или при увреждане или разрушаване, да причини в големи размери увреждане на здравето на населението, смърт, материални щети или разстройване на жизненоважни социално-икономически дейности.

Значимостта на последиците се оценява в зависимост от междусекторни критерии. Те включват и последиците от междусекторните зависимости върху други видове инфраструктури.

„Анализ на риска" означава отчитане на съответните сценарии за действие при различни заплахи, с цел да се направи оценка на уязвимостта и на потенциалните последици от нарушаването или унищожаването на критична инфраструктура.

Оценката на заплахите включва: Идентификация на опасностите; Разработване на сценарии със заплахите; Оценка на риска; Управление на риска.

От тях произлиза и необходимостта от създаване на мобилна авиационна система за наблюдение и контрол, което изисква:

а) разработване на методология за кинематичен модел и матрица за вземане на решения при системите за ранно предупреждение;

б) изследване на ефективността на кинематичния модел и системите;

в) практическо приложение на кинематичния модел за обект от критичната инфраструктура (на примера на АЕЦ Козлодуй) и изследване на възможностите за интегриране на модула към системи за други природни бедствия (напр. пожари, наводнения, свлачища и др.)

Безпилотни летателни апарати

От проведеното първоначално проучване на съществуващите авиационни платформи могат да се представят следните:

- коптери: Bask Aerospace - AeroDrone MR4; CUAV - Xunwing X4; Hitec - SUI Endurance; Holybro - S500 V2 Kit; Holybro - X500 Kit; SkyRocket – Journey; TT Robotix - X-1300 EagleEyes Quadcopter; TT Robotix - H2-X6 Phoenix H6 Multirotor; TT Robotix - X-450 Scout Quadcopter; Various from UAVSystems; VimDrones Mazzy Star Drone - Light Show RTF;

- хеликоптери: TT Robotix - Thunder Hawk Helicopter; TT Robotix - SIRIUS Helicopter; TT Robotix - T-150 Maverick Helicopter; TT Robotix - CX-180 ICEMAN Helicopter;

- самолети: Dual RC - Elanus Duo; Event38 - e384; Hitec - HCS Xeno FX; MakeFLyEasy - Believer; MakeFLyEasy – Fighter; MakeFLyEasy - Striver Mini; mRobotics - Nano Talon; Various from UAVSystems;

- самолети с вертикално излитане: CUAV – Raefly; CUAV - Raefly VT260; Event38 - E400; FlyDragonDroneTech - FDG30; MakeFLyEasy - Fighter VTOL; MakeFLyEasy - Freeman 2300; MakeFLyEasy - Freeman 2100; MakeFLyEasy - Striver Mini VTOL; SpektreWorks - Cobalt 55 E-VTOL; SpektreWorks - Cobalt 55 G-VTOL; SpektreWorks - Cobalt 110 G-VTOL; Swan-K1;

- автомобили: AION ROBOTICS - R1 UGV; AION ROBOTICS - R6 UGV; AION ROBOTICS - M6 UGV; TT Robotix - Rhino 6x6; TT Robotix - Base 1 Rover.

От произвежданите в България авиационни платформи за целите на наблюдението и управлението на кризите при КИ може да се разработи „МОБИЛНА АВТОЖИРНА МНОГОФУНКЦИОНАЛНА АВИАЦИОННА СИСТЕМА" (МАМАС).

Автожирните авиационни системи са в етап на бързо развитие и на база на доказани предимства те намират все по-голямо приложение в системите за сигурност на много държави.

Тенденцията за нарастване на тяхното използване се дължи на доказаните им технологични предимства. Като основни такива могат да бъдат посочени следните: относително много по-ниска цена на авиационната и обслужваща техника, дори в сравнение с подобни леки вертолетни и самолетни авиационни системи; опростена конструкция, която позволява развръщане на производство в държави без традиции или прекъснати такива като България, в областта на авиационната индустрия; притежаване на необходимия височинно-скоростен диапазон и такъв за далечина и продължителност на полета за изпълнение на широк спектър от задачи в интерес на системата за национална и колективна сигурност; лесна и с ниска себестойност поддръжка в летателна годност, особено в условията на национално производство; лесна и с ниска себестойност подготовка на земен и летателен състав; съчетание на

предимствата на самолетна и вертолетна авиационна техника при условия на ежедневна експлоатация; позволява експлоатирането от неподготвени площадки с размери за излитане от (50 – 70) m и такива за кацане до 10 m, с възможност и за вертикално кацане и такова на подготвена лека корабна платформа с размери на (4 x 4) m и товароносимост до 500 kg; висока степен на сигурност на конструкцията, позволяваща продължителен жизнен цикъл; възможност за производство или бърза трансформация от пилотируем в безпилотен вариант, без това да изисква основни промени по конструкцията на летателния апарат.

В този смисъл решаването на ключови проблеми в областта на сигурността би могло да бъде постигнато в перспектива с развръщането на МАМАС, базираща способностите си на 6-то поколение модерни авиационни технологии.

Анализът на съществуващите продукти в рамките на необходимите за изграждане на МАМАС е на база на състава на системата за сигурност на Република България при възможни заявени инвестиционни намерения.

Система за управление и навигация

В състава на бордната система за управление се използват мобилни носители (дронове, автожири и други летателни средства). На борда им се монтира хардуер на мобилна комуникационна-информационна система, като: автопилот, сензори, борден мобилен рутер и др., които осигуряват управление на мобилните носители и мониторинг на критичната инфраструктура.

За предлаганата информационна система е избран софтуера на ArduPilot, който има две части- бордна и наземна. Примери за съвременен борден хардуер на автопилот, съвместим с ArduPilot, са микропроцесорните системи: CUAV V5 Plus; CUAV V5 Nano; CUAV Nora; CUAV X7/ X7 Pro; Drotek Pixhawk3; CubePilot ; Holybro Durandal H7; Holybro Pix32 v5; Holybro Pixhawk 4; Holybro Pixhawk6X; Holybro Pixhawk6C; mRo Pixhawk; mRo Pixracer; mRo X2.1; Beagle Bone Blue (Linux). Тези автопилоти софтуерно се настройват да работят в режим: коптер, самолет, автомобил, подводница или антенен тракер.

За задача № 1.1.6. подходящи автопилоти са CubePilot и Holybro. Предлагат се на пазара готови за приложение завършени производствени образци на различни производители:

Бордната част на софтуер ArduPilot съдържа софтуерна част ARDUCOPTER , която предлага следните функции на полета; Acro ; Ad-hoc commands in Flight; AirMode; Altitude Hold; Auto-level; Autonomous missions; Failsafes; Guided; Land; Loiter; Simple; Sport; Stabilize; PosHold; Return to launch и други.

Бордна комуникационна система

Според Закона за защита при бедствия в Република България [4] и документи на Европейската комисия [3] „критична инфраструктура” (КИ) е система, елемент или части от нея, които са от основно значение за поддържането на жизненоважни обществени функции, здравето, безопасността, сигурността, икономическото или социалното благосъстояние на населението и чиито нарушение или унищожение би имало значителни негативни последици за Република България или страна членка в резултат невъзможността да се запазят тези функции.

При решаване на редица основни задачи, произтичащи от комплексната безопасност и мониторинга на КИ в България съществуващата тенденция е да се използват платформи със сензори, или платформи за агрегиране на данни от стационарни и мобилни сензори, които са мобилни – монтирани на превозно средство или на безпилотни летателни апарати (БЛА) [7]. Мониторингът на критична структура на базата на подобни технически решения се налага при необходимост от доставка и анализ на данни от спешно инсталирани сензори по повод на конкретна ситуация, например пожари и ограничаването им в отдалечени местности, химически замърсявания в голям обем и с висока динамика с опасност за живота и здравето на хората, при необходимост от спешен оглед и експертна оценка на щети в обекти от КИ.

В определенията за инфраструктура се очертават две множества от елементи изградени от човека на местността [11]:

1. Обекти и съоръжения изградени и предназначени за цялостния мирновременен живот.
2. Обекти, създадени и предназначени за управление при кризи и военна инфраструктура.

Сензори за БЛА за наблюдение на критичната инфраструктура

До голяма степен характеристиките на избраните видове платформи и безопасността на системата се определят от теглото и размерите на сензорната подсистема, използвана за наблюдение на зоната на отговорност в критичната инфраструктура. Съществуващите сензори

за откриване, класифициране и проследяване на признаците за заплахи от природни бедствия, аварии и кризи върху критичната инфраструктура са камери и системи, работещи във видимия и инфрачервения спектър, радари, „сонарни“ системи и др.

В Таблица 1 са дадени параметрите на радари, използвани в БЛА за наблюдение на критичната инфраструктура [9,10].

Таблица 1

Производител	**Радар**	**Честота/ мощност на предаване**	**Обхват/ Зрително поле**	**Размери/ тегло**	**Захранване**
	FMCW/ Доплер	10,5 GHz/ 10 mW		155×100×90 mm/ 230 g	10–42 V DC
Echodyne	Масив за електронно сканиране на метаматериали		3 km/ 120×80°	180×100×10 mm/ 750 g	
Unmanned Systems Research Institute	Радар с фазирана решетка		100 m	300 g	
InSAR	NanoSAR/Радар със синтетична апертура	X диапазон	1 km/1 m	158×190×114 mm/ 900 g	
Brigham Young University	MicroSAR	X диапазон (9,75 GHz)		120×800×400 mm/ 2,8 kg	12–18 V DC

Основен компонент на системите за наблюдение са камерите за наблюдение във видимия и инфрачервения спектър. Те са разположени на стабилизирани платформи с възможност за насочване на камерите към три координати в пространството.

Във видимата зона се използват камери за наблюдение, поддържащи Ultra High Definition TV (3840x2160) 4K стандарт с максимална разделителна способност 8M пиксела и камери за наблюдение, поддържащи HDTV стандарт (1920x1080) с максимална разделителна способност 2M пиксела.

В инфрачервения или топлинния спектър камерите за наблюдение поддържат значително по-ниска разделителна способност, като добрите проби достигат разделителна способност от 640x480 пиксела. Използват се за наблюдение при лошо време или други условия и през нощта. Обикновено се използват с камери за наблюдение във видимата зона, като двете изображения могат да се смесват.

Мобилна наземна станция за управление

При нея е необходимо да се разгледат задълбочено и да се определят характеристиките на следните елемент и системи:

- операторите на БЛА;
- наземна система за управление;
- наземна комуникационна система за управление;
- обосновка и разработка на комуникационна системна инфраструктура в Интернет среда;
- осигуряване на среда за управление на БЛА в публични мобилни мрежи за предаване на данни (4G, 5G);
- защита на данните с виртуална частна мрежа.
- представяне на информацията и осигуряване на работно място за оператори в мобилни мрежи да предаване на данни (4G, 5G).

Разкриване на признаците за възникване на бедствия и аварии чрез космически мониторинг

От анализа на природните бедствия и техногенни аварии през последните десетилетия следва, че най-големи човешки и материални загуби предизвикват наводненията, ураганите, земетресенията и пожарите [2], а за Република България особено разрушителни и с негативни последици са наводненията, пожарите, мълниите и замърсяванията на водни площи. Това налага прилагане на широк комплекс от превантивни мерки, включително разкриването на признаците на възникване на природни бедствия и техногенни аварии, въздействащи върху КИ на страната.

Сред съвременните методи и средства за мониторинг на природни бедствия и техногенни аварии особено ефективни и перспективни са аерокосмическите средства за дистанционни изследвания [5, 6], преди всичко спътниците (сателитите) и БЛА.

Реализирането на тези методи и средства в условията на Република България налага, в съответствие със съвременните тенденции за използване на космическите системи, създаване на космически сегмент (КС) като перспективен компонент и превантивен фактор в системата за националната сигурност.

Космическият сегмент [8] ще се основава на информация от различни по предназначение космически информационни системи, които могат да се сведат в четири групи, съответно с четири основни функции: мониторинг (наблюдение и разузнаване); навигация; комуникация и метеорологично осигуряване.

Космическият сегмент ще приема информация от различни спътници в реален мащаб на времето (РМВ) или близък до реалния, ще извършва специализираната ѝ обработка, анализ и координация, с последващото ѝ разпределяне и предоставяне на съответните потребители. Същият ще е във функционална връзка с предвидения за изграждане в страната със средства на Европейския съюз Национален център за наблюдение, контрол и управление, използващ аерокосмическа информация.

За целите на първата основна функция- мониторинг, КС ще използва четири вида космическа информация- архивна; по заявка; текуща (от наземна приемна станция) и информация, получавана по електронен път [8]. На тази база КС ще решава широк кръг от задачи в мирно време и при кризи. Най-важните сред тези задачи са: ранно предупреждение за природни бедствия и техногенни аварии; непрекъснат контрол на критичната инфраструктура на страната; ранно откриване на опасни метеорологични явления; наблюдение и оценка на околната среда; осигуряване на операциите по търсене и спасяване; осигуряване на информация за разрешаване на кризи от различен характер и др.

Космическият сегмент ще има преди всичко информационен характер и ще позволи вземането на своевременни и адекватни решения в областта на националната сигурност на страната.

Реализирането на космически мониторинг в рамките на КС ще се осъществява чрез спътници за наблюдение, осигуряващи получаване на информация при голяма обзорност, с необходимата информативност, в РМВ или близък до реалния, позволяваща разкриване на признаците за възникване на природни бедствия и техногенни аварии, както и контрол на КИ. С подобни на космическия мониторинг възможности разполагат и БЛА. Предвид различния пространствен обхват на спътниците за наблюдение и БЛА, последните, по опита на редица водещи авиокосмически държави, успешно могат да изпълняват следспътников мониторинг на природни бедствия и техногенни аварии и контрол на функционирането на КИ.

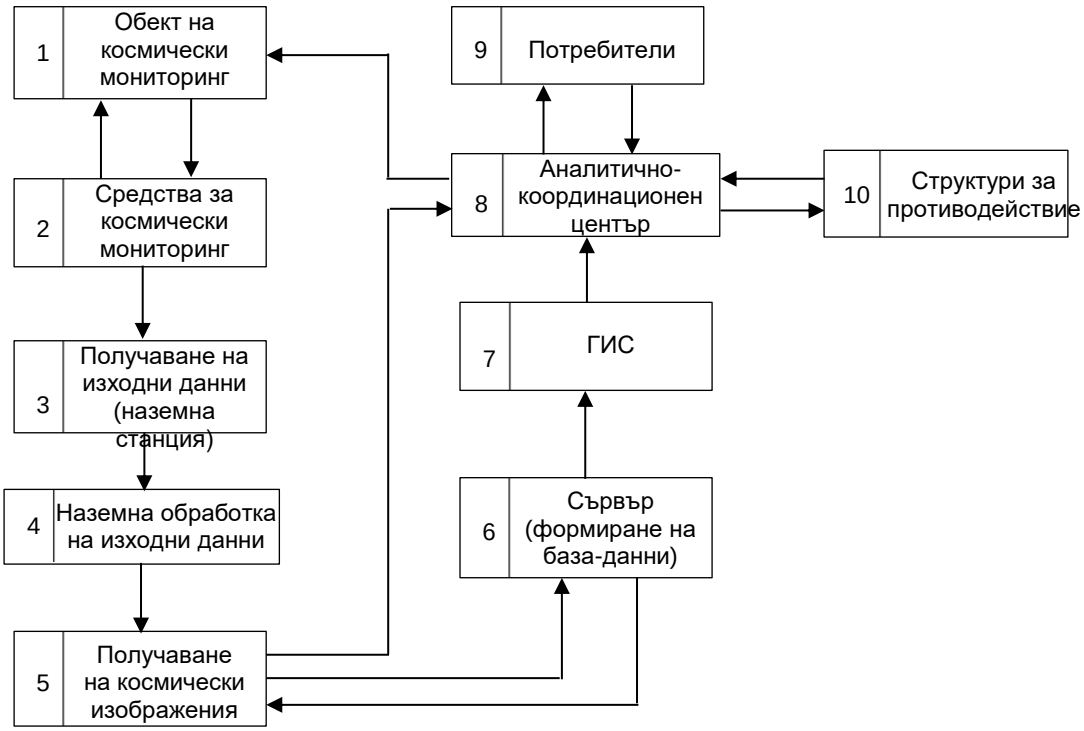
На Фиг. 2 е предложена структурна схема за провеждане на космически мониторинг по разглежданата тематика, като системата е отворена и за включване на следспътников мониторинг с помощта на БЛА. Показана е възловата роля на аналитично-координационния център (блок 8) в предлаганата система. Както се вижда, при необходимост и спешност, този център може директно да изисква получените космически изображения (т.е. от блок 5) с оглед извършване на оценка, директно да задейства структурите за противодействие на природните бедствия и техногенни аварии (блок 10), както и ако се наложи, да променя обекта на космически мониторинг (блок 1).

Разкриването чрез космически мониторинг на признаците за възникване на природни бедствия и техногенни аварии, въздействащи върху КИ, е обект и предмет на научната разработка, която е целесъобразно през следващите три години да премине през **три етапа:**

Първи етап: Класификация и категоризиране на природните бедствия и техногенни аварии, въздействащи върху КИ в условията на Република България. В хода на изследването, освен посочените по-горе наводнения, пожари, мълнии и замърсявания на водни площи, е възможно да се разкрият и други природни бедствия в условията на страната, въздействащи съществено на КИ, както и възможната връзка между тези катаклизми.

Втори етап: Формулиране на индикатори за възникване на природни бедствия и техногенни аварии, въздействащи върху КИ. В хода на изследването за най-вероятните природни бедствия и техногенни аварии следва да се формулират индикатори и симптоми, подсказващи възникването им, които могат да се регистрират с технически средства.

Трети етап: Възможности на космическия мониторинг за разкриване на признаците за възникване на природни бедствия и техногенни аварии, въздействащи върху КИ в условията на Република България. В хода на изследването се обосновават типа и характеристиките на сензорите на използваните спътници за оптикоелектронно и радиолокационно наблюдение. За първите от посочените космически средства се уточняват диапазоните на електромагнитния спектър, включително на многоспектралната и хиперспектралната апаратура, а за вторите- дължините на вълните при висока, средна и ниска разделителна способност.



Фиг. 2. Структурна схема на провеждане на космически мониторинг на природни бедствия и техногенни аварии, въздействащи върху критичната инфраструктура

Получените резултати от научната разработка могат да се използват при създаване в страната на Национална система за ранно предупреждение на кризи от различен характер.

Теоретична обосновка на проблема, подходи и методи

Защитата на КИ и действията при бедствия и аварии е задача на държавата, поради което подходът към подобни технически решения, които могат да бъдат разработени и да се ползват и от собственици, оператори на КИ или други оператори, трябва да е системен. Системните функции, необходими за изпълнение на задачите на системата, обусловени от нейните цели са:

- *доставка и обработка на данните в реално време с висока скорост*- налага се от динамичния им характер на пространствени данни, които пряко или непряко указват специфично местоположение или географски район и на неотложността на задачите, които обслужват и предимството при спасяване на човешки живот при обслужване на бедствия и аварии;
- *защита на данните*- от формирането им в сензорите, при транспорта им в мрежата, при формирането на информационни обекти с добавяне на метаданни, при обработката им със специфични приложения. Това се определя от принципа за поверителност, като достъпът до информацията да се предоставя по необходимост;
- *гъвкаво форматиране на информационните обекти* с цел включването им в други информационни системи (предимно на държавата) във връзка с функциите и отговорностите им за КИ;
- *класифициране на данните и информацията,* гъвкава класификация и управление на достъпа – налага се от едновременното действие на принципите за поверителност и публичност, когато информацията е от пряко значение за живота и здравето на хората;
- *интеграция, обработка, форматиране презентиране на получените в резултат на мониторинга* резултати с цел максимално удобство за практическо използване в реално време и осигуряване на възможност за включване на резултати от мониторинга на Информационната мрежа за предупреждение за критична инфраструктура (CIWIN).

Осигуряването на публично достъпни данни от системата за мониторинг, основано на опита в държавите-членки на ЕС, е показало, че за успешното въвеждане на дадена инфраструктура за пространствена информация е важно да бъдат предоставени безплатно минимален брой услуги на обществеността. Предоставянето на мрежови услуги следва да се извършва при пълно спазване на принципите, свързани със защитата на личните данни

(съгласно Директива 95/46/ЕО на ЕП). Динамичните граници на обекти на КИ предполагат отсъствие на класически стационарни системи за мониторинг и липса на априорна информация за необходими сензори и датчици.

Изискванията към мобилна система за мониторинг на КИ, които не са присъщи за съществуващите класически решения, са:

- системата трябва да е мобилна и да осигурява мониторинг на параметри от пространствено разпределени мобилни сензори при висока динамика на данните в труднодостъпни или опасни за човек области и при необходимост от доставянето на данни в реално време;
- системата за мониторинг да осигурява работа с датчици с различен интерфейс и сензори за различни физически величини. Интеграцията на данни предполага работа със сензори, осигуряващи данни от различни информационни клъстери, получени от сензори на мобилния носител или получени от други сензори през мобилен възел за събиране на данни;
- системата трябва да бъде модулна поради ограничения обем и тегло на носителя, ако той е БЛА. Тава се налага от изисквания за гъвкавост, породена от това, че едни и същи събития, свързани с КИ предполагат различни по тип сензори за мониторинг. Например: видеонаблюдение в реално време при възникване и гасене на пожар, термокамери за откриване на активни точки след овладяване на пожара, датчици за замърсяване на въздуха от различен тип в по-широка географска област;
- системата да осигурява автоматизирано събиране или автоматично агрегиране на данни без необходимост от работа на оператор на място с използване на БЛА;
- системата трябва да осигурява комплексен мониторинг на сензори в региона на интерес: 1) да осигурява в реално време автоматизирано събиране и агрегиране на потоци от данни от сензори от различен клас; 2) привързване на данните с пространствено-временната информация и класа на сензора в информационен обект; 3)експортиране на обектите в Интернет, където има достатъчен изчислителен ресурс за обработка и презентиране;
- системата трябва да осигурява оперативен и удобен за работа мониторинг, който включва: обработка на резултатите от мониторинга и предоставяне на произволно избран носител с достъп до Интернет през мобилен телефон, таблет или персонален компютър в реално време в подходящ за устройството и състоянието на мрежовата връзка формат; да позволява въвеждане на оперативни препоръки, разпореждания и предложения от обслужващата системата организация;
- системата трябва да осигурява интелектуален мониторинг, например обработка на изображения за насочване на вниманието на обслужващия персонал на терен, откриване и сигнализиране с прагови аларми на допустими величини, прогнозиране на трендове, генериране на метаданни за експорт към други информационни системи.

Оценката и анализът на състоянието на КИ са от изключителна актуалност, защото е пряко свързана с основния проблем за безопасността, сигурността, икономическото и социалното благосъстояние на населението. Усъвършенстването на технологията за изследване на рискови обекти от критичната инфраструктура трябва да е непрекъснат процес, обновяван в светлината на развитието на съвременните научни постижения и върхови технологии. Краткият хронологичен преглед на историята на защитата на критичната инфраструктура показва, че проблемът се разисква от няколко години насам, като акцентът пада върху заплахата от тероризъм.

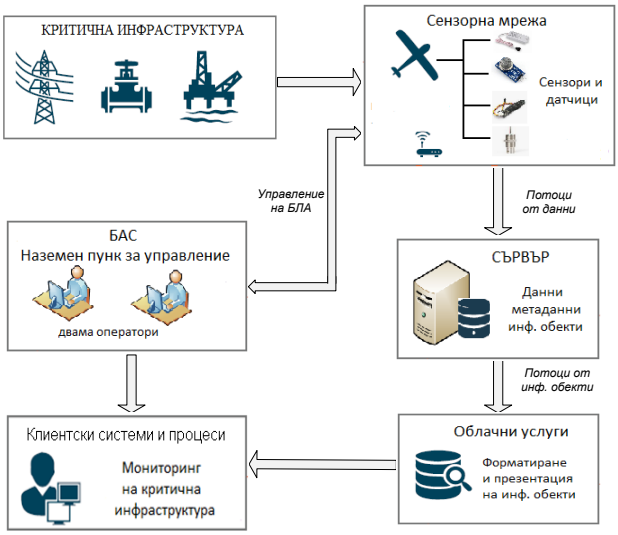
Концепция за създаване на интелигентна система за мониторинг на КИ на база безпилотната авиационна система

Целта на изследванията са да се предложат нови съвременни иновационни решения за интелигентна система за мониторинг за защитата на критичната инфраструктура на база мобилна комуникационна-информационна система за събиране, агрегиране, обработка и презентиране в реално време на потоци от информационни обекти в Интернет среда.

Разкриването на същността и съдържанието на понятието “инфраструктура” е продиктувано и от някои нови изисквания, стоящи пред органите за управление на риска:

- *определяне на критичните елементи от инфраструктурата – жизнено важни за функциониране на националното стопанство и сигурността на държавата;*
- *осигуряване ръководителите от всички звена с оперативна информация, която се характеризира с голямо количество и плътност на обмена;*
- *документите трябва да съответстват на изискванията на системите за автоматизирана обработка.*

Технологичната последователност на етапите при решаване на задачите е показана на Фиг. 3.



Фиг. 3. Интегрирана мобилна система за интелектуален мониторинг на КИ

Концепцията за създаване на такава интелигентна система за мониторинг на КИ на база безпилотната авиационна система включва:

- синтез на концептуален модел на системна комуникационно-информационна архитектура, избор на мрежови и информационни технологии, моделиране и разработка на структура и топология на мобилна мрежа и автоматизирана информационно-управляваща система с безпилотни летателни апарати и мобилни възли за интелигентен мониторинг и управление на критична инфраструктура и параметри на средата с обществена значимост;
- формиране на безпилотната авиационна система (БАС) с IP транспорт на управлението на БЛА и телеметрични данни от БЛА. Оптимизация на мрежата и на системата за управление на БЛА за работа в мобилна мрежа за транспорт на данни 3G/4G. Създаване на пункт за управление на БЛА и за мониторинг с две работни места за оператор на БЛА и за оператор за интелигентен мониторинг с достъп през Интернет;
- избор и обосноваване на информативни параметри, свързани с интелигентен мониторинг на критична инфраструктура, които отчитат динамиката на пространственото движение на датчиците и носителите, избор и обосновка на критериите за групиране и клъстеризация на сензорите по интерфейс на достъп до данните, по технология за отдалечен мобилен достъп и по предназначение. Обосноваване на структура и метаданни за формиране на информационни обекти от данните за мониторинг;
- избор на технология и структура на мрежата за отдалечен достъп до сензорите и изпълнителните механизми, анализ и моделиране за оценка на възможностите за мрежата. Избор и обосновка на решенията за протоколни шлюзове към IP мрежа. Моделиране и оценка на техническите параметри и възможности на мрежовите решения. Разработка на конфигурации и практически решения за протоколните шлюзове и сензорите;
- разработка на топология и структура на информационната система, избор на решенията за декомпозицията на данни от сензорите, които принадлежат към различни клъстери и на технологията им за експортиране в Интернет информационното пространство. Избор на начина на форматиране на данните и метаданните, на формите на презентиране и на управление на достъпа до тях в Интернет информационното пространство;
- оценка на информационната сигурност на сензорната, комуникационната и информационната част от системата. Избор на решения за защита и за класифициране на данните и управление на достъпа в Интернет;
- синтез, моделиране и разработка на структура и топология за IP виртуална частна мобилна мрежа със защита на данните и транспорт през мобилни мрежи за предаване на данни (3G/4G) с работни места за оператор за интелигентен мониторинг и както и интерфейси към протоколни шлюзове за други информационни подсистеми от сензори и към изпълнителни механизми с радиочестотен достъп и към Интернет.

Предназначението на мобилната комуникационна-информационна система е събиране, агрегиране и обработка в реално време на потоци от данни от клъстерно-организирани пространствено-разпределени сензори и към изпълнителни механизми, с последващо формиране на информационни обекти с необходимите метаданни и експортиране в Интернет за

достъп, интегриране и ползване в състава на други информационни системи. Задачите, които система решава са осигуряване на двупосочен обмен на информация от мобилни и пространствено-разпределени, труднодостъпни или мобилни сензори и към изпълнителни механизми, свързани с мониторинг и управление на критична инфраструктура, както и агрегиране и обработка на данни и експортирането им като информационни обекти с Интернет достъп в реално време.

Предназначението на виртуалната мрежа е да осигури IP комуникационна свързаност в Интернет среда и с транспорт в мобилни мрежи за пренос на данни на безпилотни летателни апарати и други мобилни възли и елементите на безпилотната авиационна система – пункт за управление и мониторинг с работни места на оператор. Мрежата трябва да осигури високо ниво на системна автоматизация и автономност, транспорт на данни от и към Интернет, както и IP свързаност с протоколни шлюзове за други подсистеми на БАС, свързани с мониторинг, идентификация, проследяване, наблюдение и специфични функции на БЛА.

На основание на избрана топология на мрежата трябва да бъде направен избор на оборудване с икономическа обосновка и предложение за техническо решение по избрана топология и с очаквани технически параметри. Техническото решение трябва да осигури IP свързаност между елементите на БАС – БЛА и работни места за оператор, както интерфейси за шлюзове с други информационни подсистеми, свързани с управлението и функциите на БЛА.

Благодарности: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана” (приета с ПМС №731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“.

Литература:

1. Гецов, П., Национална аерокосмическа система за мониторинг и защита от природните екокатастрофи, С., Изд. на БАН „Проф. Марин Дринов“, 2014.
2. Димитров, Н., Н. Системен подход към критичната инфраструктура, В., ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“, 2019.
3. Директива 2008/114/ЕО НА Съвета на ЕС от 8.12.2008.
4. Закон за защита при бедствия, обн. ДВ. бр.102,2006 г., изм. и доп. ДВ. бр.51,2016 г.).
5. Мардиросян, Г., Природни бедствия и екологични катастрофи, С., Изд. на БАН „Проф. Марин Дринов“, 2020.
6. Мардиросян, Г., Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване, С., Изд. на БАН „Проф. Марин Дринов“, 2000.
7. Националната система за мониторинг на околната среда (НСМОС).
8. Пенев, П., Космос и сигурност, С., Витал, 2014.
9. ADS-B Transceivers, Receivers and Navigation Systems for Drones, http://www.unmannedsystemstechnology.com/company/uavionix-corporation/.
10. Ji, Z., Hu, E., Zhang, Y. et al. Research on micro-Doppler feature of spatial target, J. Wireless Com. Network, 2017, 177. DOI: 10.1186/s13638-017-0963-7.
11. Kellogg Anita, Preparing You to Protect Critical Infrastructure, 9300 Lee Highway, Fairfax, VA 22031 USA.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF HIGH SEISMIC RISK LOCATED SETLEMENTS

Boyko Ranguelov[1], Atanas Kisiov[1], Stefan Dimovsky[1], Edelways Spassov[2], Yulia Krumova[3]

[1]Mining and Geology University – Sofia
[2]Kinemetrics – LA, USA
[3]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – BAS
e-mail: branguelov@gmail.com

Keywords: *Seismic hazard, high risk zones, quantitative models*

Abstract: *The most seismic hazardous setlements in Bulgaria are under investigation in the area of Kresna-Krupnik seismic source. The expected Peak Ground Accelerations (PGA)are modeled as a measure for the seismic risk. The methodology is applied to the towns of Simitli and Kresna and the village Krupnik. It is proved that the main factors for the seismic risk are the distance to the fault and the soil ground conditions, mainly influenced by the geology layers and underground waters. The quantitative parameters are under investigation and comparative analysis.*

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ ЗА СЕЛИЩА РАЗПОЛОЖЕНИ ВЪВ ВИСОКО РИСКОВИ ЗОНИ

Бойко Рангелов[1], Атанас Кисьов[1], Стефан Димовски[1], Еделвайс Спасов[2], Юлия Крумова[3]

[1]Минно-геоложки университет - София
[2]Кинеметрикс – Лос Анжелос
[3]Национален институт по геофизика, геодезия и география - БАН
e-mail: branguelov@gmail.com

Ключови думи: *Сеизмична опасност, високорискови зони, количествени модели*

Резюме: *Разгледани са най-застрашените от сеизмична опасност селища в района на сеизмично огнище Кресна-Крупник. Моделирани са очакваните максимални ускорения, като мярка за сеизмичния риск. Методологията е приложена за селищата Симитли, Крупник и Кресна. Показано е че най-съществено влияние оказват разстоянията до сеизмичния източник и грунтовите условия доминирани от геоложкия строеж и състава на горележащите скали и подпочвените води. Анализирани са количествените показатели за различните селища.*

Introduction

The mapping of the natural hazards and environmental threats, vulnerability of structures and risk assessment and management are important issues to the prevention of population and the infrastructure [1, 2]. The assessment of the damages and losses is the most important task in case of huge catastrophes and frequently influenced the GDP of any country [3]. The most advanced techniques and technologies are extensively used for the research and assessment of the consequences of the natural and technological disasters such as space remote sensing, high effective communication systems, etc. [4, 5].

The seismic hazard and risk assessment in the recent times are exploited and implemented using different technologies, the most popular of which are models for simulation risk calculations and risk management [6]. The present study is focused to the seismic hazard assessment of the high seismic risk located settlements. The observations of the highest intensities, registration of PGA and PGV, and predictive models are so complicated and do not coincide with the observations so that the recent seismology is looking for more universal approach, especially to the near field areas of

the activated faults. Several cases show surprising facts – for example Izmit (17th Aug. 1999, M7.6), Loma Prieta (17th Oct. 1989, M7), Kobe (17th Jan. 1995, M7), Tohoku (11th March, 2011, M9) and many other strong earthquakes show significant differences to the near field PGA and predicted model values.

Special attention is focused to the near field settlements to the active faults, because the nonlinear behavior of the attenuation is frequently observed [7]. In many cases the observed strong ground motions are far from the predicted values. Not only the ground conditions are influencing the strong motions, but also the direction of the energy emission, the activation of the fault segment especially in case of very strong seismic events during the event time history development, the activated depth fault plane, the soil conditions, the fault's parameters etc.

Considering the well-known history and available documentation our target cities and settlements for the seismic hazard modeling are the cities Simitli, Kresna and the village of Krupnik, all of them located at the near field of the Krupnik seismogenic fault. Krupnik itself lie on the fault segment generated the famous Kresna-Krupnik earthquake of 4th April 1904. In fact there were two very strong seismic events separated by a time interval of 20 minutes - M7.8 and M7.2 considered as a foreshock of the main event.

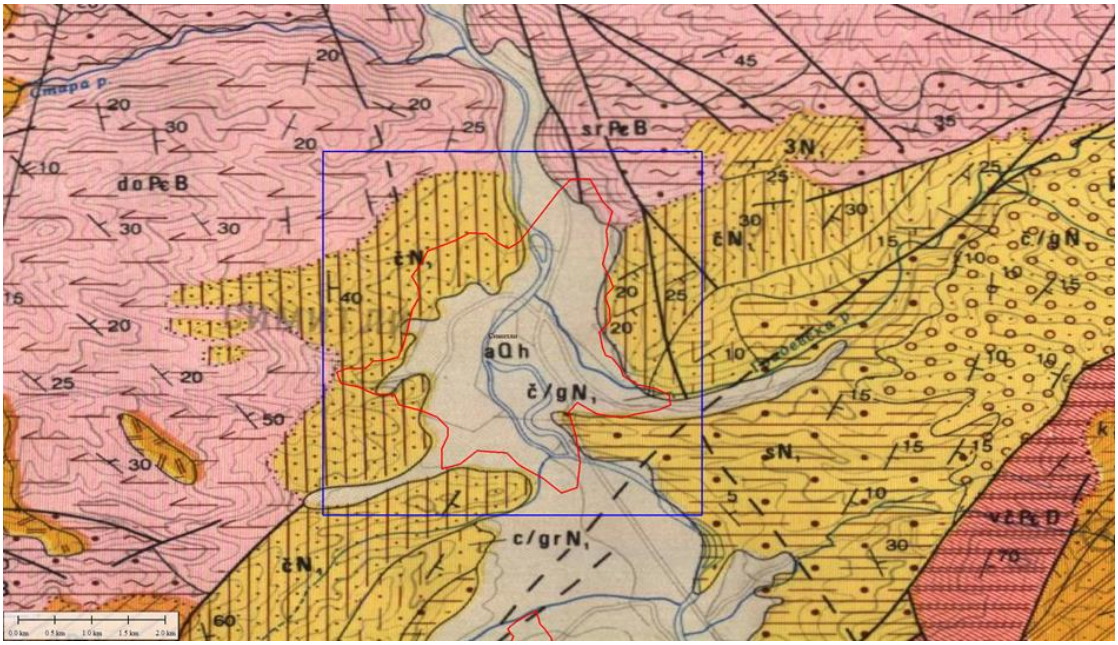
Methodology and modeling

The main focus of the presented investigations is on the area of SW Bulgaria – the most seismic hazardous region of Bulgaria due to this M7.8 earthquake occurred on 4th April 1904 [8].

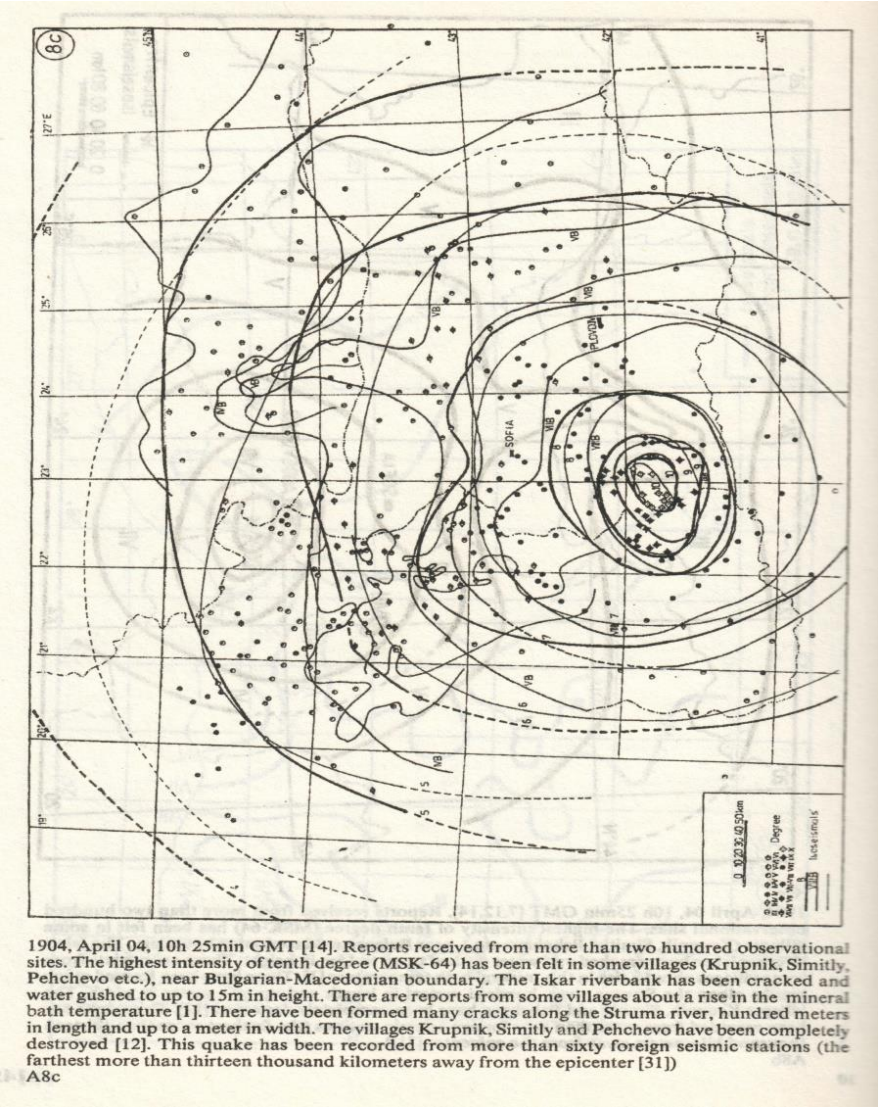
For the calculations of the PGA (Peak Ground Acceleration), Sa (Spectral acceleration for the respective frequencies (0.3 and 10 – the first value representing low frequency content of the seismic waves, and the second one of the high frequency content) and "sigma" as a measure of the accuracy of calculations. All these values are calculated and mapped considering wide spectrum of primary data and specialized newly developed software [12, 13, 15].

For example:

- Geological maps of different scales, layers of petrology composition, age, time of origin, thickness, roughness of the layers overlapping boundaries, lateral inhomogeneity, etc. Usually almost all found maps and schemes are presented on paper as colored pictures and legend describing the meanings of colors and symbols (Fig. 1.) [11].
- Morphology and surface faults (Fig. 2.) [9, 10].
- Macroseismic maps (Fig. 3.) [8].
- Deep faults (Fig. 4.) [SHARE data base].
- Borehole diagrams.
- Pictures, sketches, schemes, photographs, etc.
- Seismic, electromagnetic, radioactivity profiles and measurement points, etc. [13].
- Hydrogeology and water bodies maps, sedimentation analysis, etc. [14].



Фиг. 1. Analogue geology map (scale 1:100 000) of Simitly
(red line – town boundary), interested area (blue quadrat) [2]



Фиг. 2. A facsimile of the macroseismic map of the 1904 (M7.8) earthquake [8]

All analogue maps are digitized to transform the available information (mostly archive) and to make it available to the recent computing models for seismic hazards assessment [12, 15].

Results and discussion

The calculations include seismic hazard assessment expressed by PGA (Peak Ground Acceleration) and Sa (spectral acceleration at different frequencies – 0.3 and 10 Hz). The last two values of Sa are selected according the representative role of 0.3 Hz (as low frequency characterizing far field seismic sources) and 10 Hz representative of the very near field sources. Such approach gives alternatives to investigate the intensity of the seismic waves, their influence to the structures (sensitive to resonance effects of low and high frequency content) and the soil conditions as main modifying factor to the spectrum of the seismic waves.

All this information is synthesized with a main purpose – to assess the seismic hazard including the integral influence of the ground conditions [9, 16]. The results show the influence of the variety of ground conditions of the different settlements. All of the investigated settlements are located in near field or directly on the active segments of seismoactive faults. This change significantly the picture of PGA and Sa. The fault location is another investigated parameter and shows the great influence of the distance to the fault, clearly expressed to the modeled results. The fault trace on the surface and the fault plane are schematized and presented on Fig. 3.

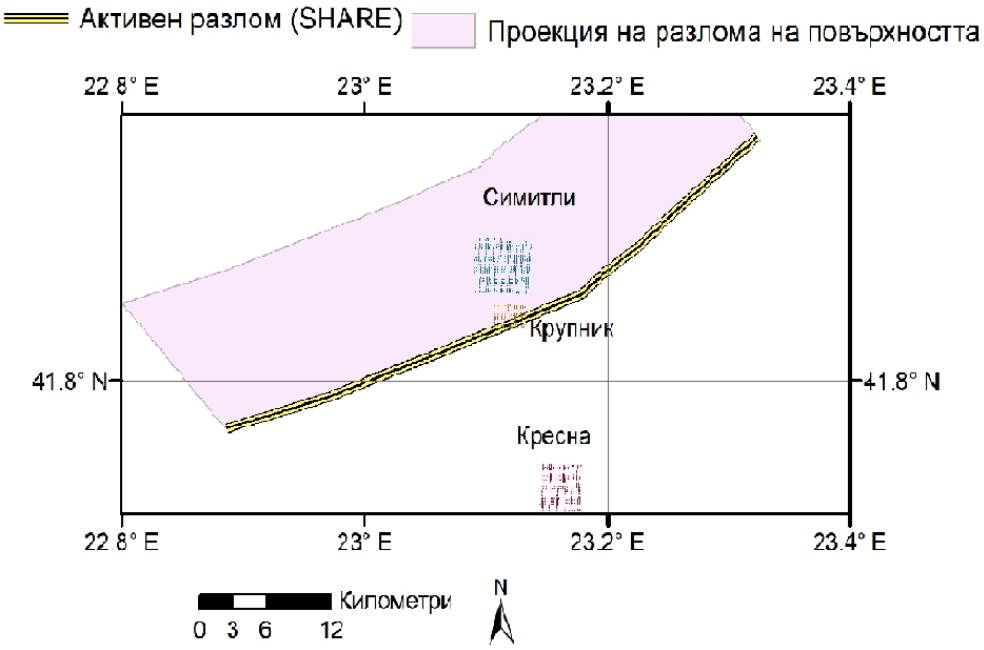


Fig. 3. Geography position of the selected settlements for seismic hazard assessment.
The line is accepted to model the active fault surface trace and the projection of the fault plane (in NW direction) is denoted by pink area (according SHARE).

The calculations are executed by specialized developed software by D.Solakov [12,15] and considered the general faults attributes – depth, plane, elongation, dip, strike, slip, etc.

The results of the modeling are presented to the next figures – Fig. 4, Fig. 5, and Fig. 6:

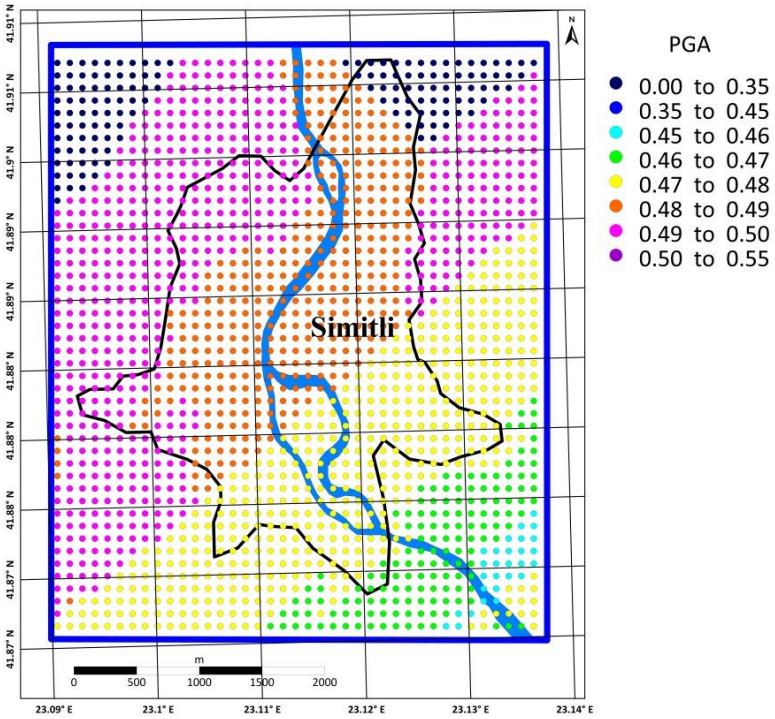


Fig. 4. PGA results for Simitly town

The picture of the seismic hazard for Simitly town is presented to Fig. 4. The diapason of PGA values are in a wide interval 0.3 to 0.5 cm/s^2 and spread across the town increasing to the NW. The dominant values are between 0.46 to 0.49 (more than 70% of the area). The influence of the river sediments is clearly expressed as well as the direction of the fault's plane. A little bit strange is

cthe straight line crossing the town from SW to NE separating the values 0.47-0.48. The influence of the soil conditions is also significant and visible mainly to the North.

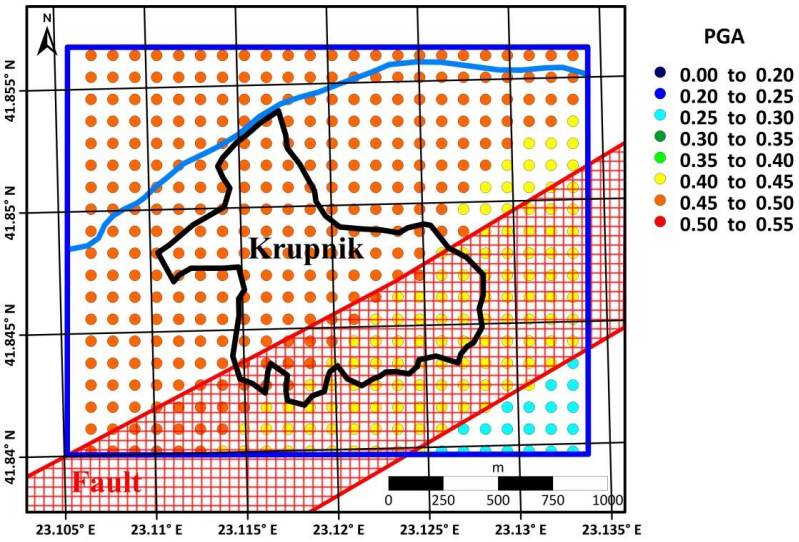


Fig. 5. PGA results for Krupnik village

The PGA distribution over Krupnik is presented to Fig. 5.The fault's plane is in red. As seen on the picture the highest values of PGA ate on the boundaries of the fault reaching 0.4 to 0.45. The village is entirely covered by these values which mean rather high seismic risk for the whole settlement. The soil conditions lateral changes are effective mainly to the SE.

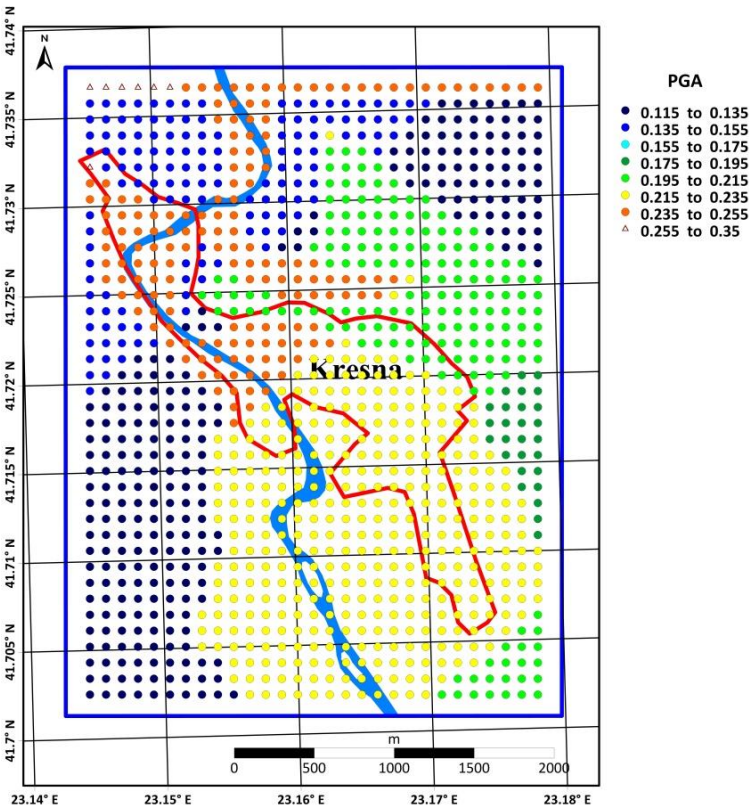


Fig. 6. PGA results for Kresna town

The Kresna town case (Fig. 6) is rather different than the others two settlements with very high seismic risk. The PGA has lowest values varied between 0.1 to 0.2 cm/s^2. The influence of soil conditions is significant and located around the river bed. The thick sediments modify the effect of seismic waves increasing the seismic effect to the S and NW. Larger portion of the town is covered by

highest a value which is important for the construction and building works. The small spots with the lowest PGA are located in the North central part of the town.

The comparative analysis of the results obtained shows that the highest seismic risk is for the Krupnik village – PGA between 0.4 and 0.55 cm/s^2. This is due to two general considerations. First - the active seismogenic segment of the fault is crossing the area just under the village. And second – the influence of the soil conditions amplify the seismic effect. The Simitly is the second larger town with very high seismic hazard – 0.45-0.5 cm/s^2. Same considerations are valid, but the values are spreading and covered larger areas. This is due to the fault's plane domination the left-right lateral inhomogeneity's distribution. The Kresna case is completely different. The low values are due to the location of the town far from the seismogenic fault. The influence of the soil conditions are significant and show amplifying effect of the thick river sediments. In general the variation of the PGE is less than 20%.

Conclusions

The modeling and calculations about seismic hazard for nearly located settlements to the seismoatcive fault is done considering the position and the soil conditions – as main influencing factors to the seismic wave's propagation and their destructive effect.

It is quantitatively assessed the seismic hazard and risk for three near located towns and a village. The results obtained confirm in high percentage the observed effects of the 1904 strong seismic effects – M7.8 and M7.2 to the mentioned settlements. This shows the reliability of the used models and software.

The future work is targeted to the assessment of the sensitivity and resolution of the methodology used and will include spectral acceleration at different frequency windows.

References:

1. Frantzova, A., 2016. Risk mapping methodology for environmental hazards, Proceedings, 6th Intl. Conf. On Cartography and GIS, 13-17 June 2016, Albena, Bulgaria
2. Frantzova, A., 2017. Risk mapping methodology and classification for environmental hazards (Lambert AcademicPublishing).
3. Frantzova, A., 2016. Classifications and typology of the natural and triggered technological risks according to the GDP and probability of occurrence Proceedings, 6th Intl. Conf. on Cartography and GIS,13-17 June 2016, Albena, Bulgaria.
4. Frantzova, A., 2012. Remote sensing data for snow cover monitoring and mapping South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics, Vol 1, No 1.
5. Frantzova, A., 2012. Detecting and monitoring of wildfires with remote sensing data South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics, Vol 1, No 2.
6. Frolova, N, Larionov V, Bonnin J, Suchshev S, Ugarov A and Malaeva N., 2019. Impact data bases application for natural and technological risk management Nat. Hazards Earth Syst. Sci. NHESS (2019)264
7. Ranguelov, B., 2011. Natural Hazards – Nonlinearities and assessment. (Sofia: Bulgarian Academy of Sciences Pres)
8. Ranguelov, B, Rizhikova S and Toteva T., 2001. The earthquake (M7.8) source zone (South-West Bulgaria) (Sofia: Bulgarian Academy of Sciences Pres).
9. Muco, B., Alexiev G., Aliaj S., Elezi Z., Grecu B., Mandrescu N., Milutinovic Z., Radulian M., Ranguelov B. and Shkupi D., 2012. Geohazards assessment and mapping of some Balkan Countries., Nat Hazards 64 2
10. Ranguelov, B., Alexiev G., Gospodinov D., Scheer S. 2010 Natural hazards and preventive measures in Bulgaria., In Bulgaria and Bulgarians in Europe., (Ed. P. Petkov), "Faber", V.Turnovo, pp 385–393
11. Ranguelov, B., D. Solakov, S. Dimovsky, and A. Kisyov., 2020. Digitalization of the ground conditions for big cities in North Bulgaria – Varna, Ruse, V.Tarnovo., Proc. XVI Intl. Conf. SES2020. http://www.space.bas.bg/SES/archive/SES%202020_DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202020.pdf
12. Solakov, D., S.Simeonova, P. Raykova, B. Rangelov, C. Ionescu, 2020. Earthquake scenarios for the city of Ruse. Proceeding of 1st International conference on Environmental protection and disaster RISKs, https://doi.org/10.48365/envr-2020.1.34
13. Georgieva, B., B. Ranguelov, D. Solakov, S. Dimovsky, and A. Kisyov. 2020. Methodology of mapping and digitalization of V_{s_30} for the seismic hazard assessment in big cities., Journal of Mining and Geology., vol. 63. http://mgu.bg/new/docs/2020/Journal%20of%20MG%20Sciences%2063-2020.pdf
14. Kisyov, A., B. Ranguelov, D. Solakov, S. Dimovsky, Bozhurka Georgieva., 2020. Digitalization of V_{S_30} for large cities (Sofia city)., XXX Int. Symp. On modern technologies, education and professional practice in Geodesy., Sofia, 05 – 06 November 2020 http://symp2020.geodesy-union.org/wp-content/uploads/2020/11/EN-Paper-Sofia-16-9-2020-2.pdf
15. Solakov, D. , S. Simeonova, P. Raykova, and B. Ranguelov, 2020, Earthquake scenarios for the city of Blagoevgrad, Proc. 20th International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM 2020, 272–280.
16. Ranguelov, B., D. Solakov, A. Kisyov, S. Dimovski, N. Stoyanov, M. Tomova, Ch. Tzankov, D. Gospodinov, E. Spassov, B. Georgieva, S. Christov and B. Milenkovich., 2021. Methodology of data extraction from archive information for the ground conditions**.** Proc. Days of Phisics, TU, SOFIA, 21-24 April 2021., http://phys.tu-sofia.bg/physdays_files/Sbornik/Sbornik_v13_2021.pdf

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЕИЗМОГЕННИЯ ВИТОШКИ РАЗЛОМ С КОСМИЧЕСКИ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРАНЕ

Димитър Димитров

Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: clgdimi@abv.bg

Ключови думи: *Витошки разлом, GNSS, InSAR данни*

Резюме: *За изследване на сеизмогенният Витошки разлом са приложени космическите технологии GNSS и InSAR. Получените от изследванията с GNSS резултати показват движения около Витошкия разлом от 2–3 ± 1 mm/y, спрямо стабилна Евразия. Тези резултати са съвместими с определените с методът InSAR потъвания в софийския грабен, както и с данните от геодезическия мониторинг с прецизна геометрична нивелация и с регионалните тектонски хипотези. Малките стойности на скоростите на регионалните движения, ограниченият брой данни и тяхното разположение спрямо разлома, не позволиха еднозначно да се определят чрез моделиране с обратната геофизична задача, сеизмотектонските параметри на Витошкия разлом. Мониторингът с космическите технологии GNSS и InSAR в района ще осигури данни за активността на Витошкия разлом, за оценка на тектонските напрежения и сеизмичния риск.*

STUDY OF SISMOGENIC VITOCHA FAULT BY SPACE TECHNOLOGY AND MODELING

Dimitar Dimitrov

National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: clgdimi@abv.bg

Key words: *Vitocha fault, GNSS, InSAR data*

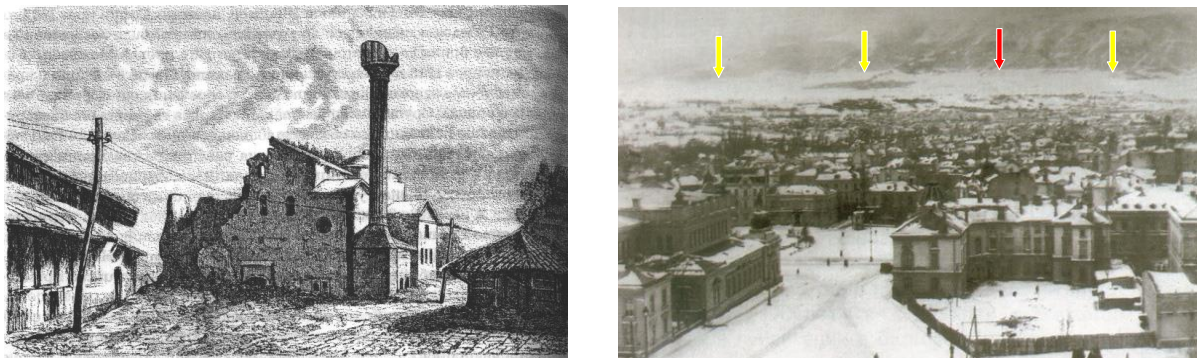
Abstact: *We study seismogenic Vitocha fault by GNSS and InSAR data. Analisis the data of GNSS stations around Vitocha fault present the movements the 2–3 ± 1 mm/y from Eurasia. This result is according with results of InSAR study of Sofia graben, with results of leveling monitoring data and tectonic hypothesis. Investigation of obtained results by model of Okada/82 don't present very clear result because the data is non significative. Monitoring by space technology GNSS and InSAR in the region obtained results for activate of Vitocha fault for control of tectonic stress end seismic risk.*

Описание на зоната и на сеизмогенния Витошки разлом

Районът на юг и югоизток от град София е определен като изявена в структурно-геоморфоложко, тектонско и сеизмично отношения сеизмогенна зона, където могат да се очакват силни земетресения. Тази сеизмогенна зона се свързва с т. нар. "Витошки разлом", разделящ Витошкият долнопалеогенски плутон от потъналия под неогенски утайки, сложно разбит Софийски грабен [1, 2].

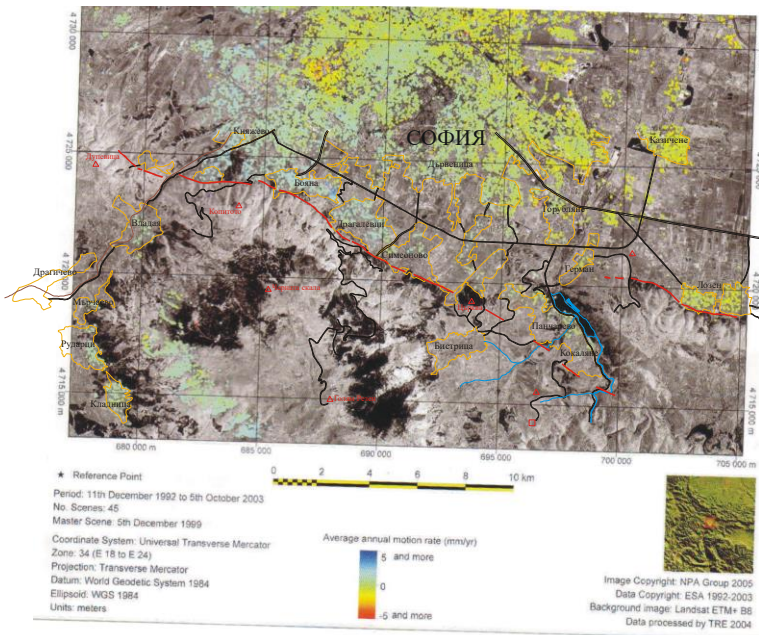
Сеизмичната активност на Софийската зона е обект на активен интерес поради голямата концентрация на жилищно и промишлено строителство и голямата плътност на населението в района. Историческият преглед на земетръсната активност [2, 3] показва, че в района са ставали силни и разрушителни земетресения. Трусовете от 23 април 1818 г. (Io=VII-VIII) и от 18 (30) септември 1858 г. са най-разрушителните през последните два века и сравнително добре описани. Земетресението от 1858 г. недвусмислено се свързва с разломната линия югоизток–югоапад в подножието на Витоша - т. нар. Витошки разлом, по който е наблюдавано разкъсване на земната повърхност и са се появили нови термални извори

(Филаретов,1858, Цариградски вестник). Главната пукнатина имала вертикално отместване около 50 cm и дължина около 3 к над с. Драгалевци.



Фиг. 1. Църквата “Св. София” в гр. София, пострадала при земетресението от 1858 г. (Ф. Каниц, 1871) и Витошкият разлом в подножието на Витоша (снимка 1928 г.). Стрелките указват местоположението на разлома, а червената стрелка - районът на максималното теренно разкъсване.

Софийската зона е разтърсена отново от трусовете от април 1904 г. в долината на река Струма, и от по-слаби локални събития през 1907, 1909, 1910, 1917, 1922, 1942, 1946, 1947, 1951, 1952, 1961, 1983, 1986, 2008 [2,3]. Повечето от трусовете в района на град София имат близки координати на хипоцентровете и се свързват с южните части на Софийската котловина и активността на Витошкия разлом. На база на данни от земетресенията за 150-годишен период [3, 4] установяват, че *“общата сеизмичност на района е доста интензивна и се свързва с активността на Витошкия плутон или непосредствените му подножия, а дълбочината на земетресенията е 8-9 км”.* По-новите изследвания [2] показват че, най-силните събития с M>3 се локализират по Витошкия разлом, и че броят на трусовете с M>2 не надвишава 25 на година.



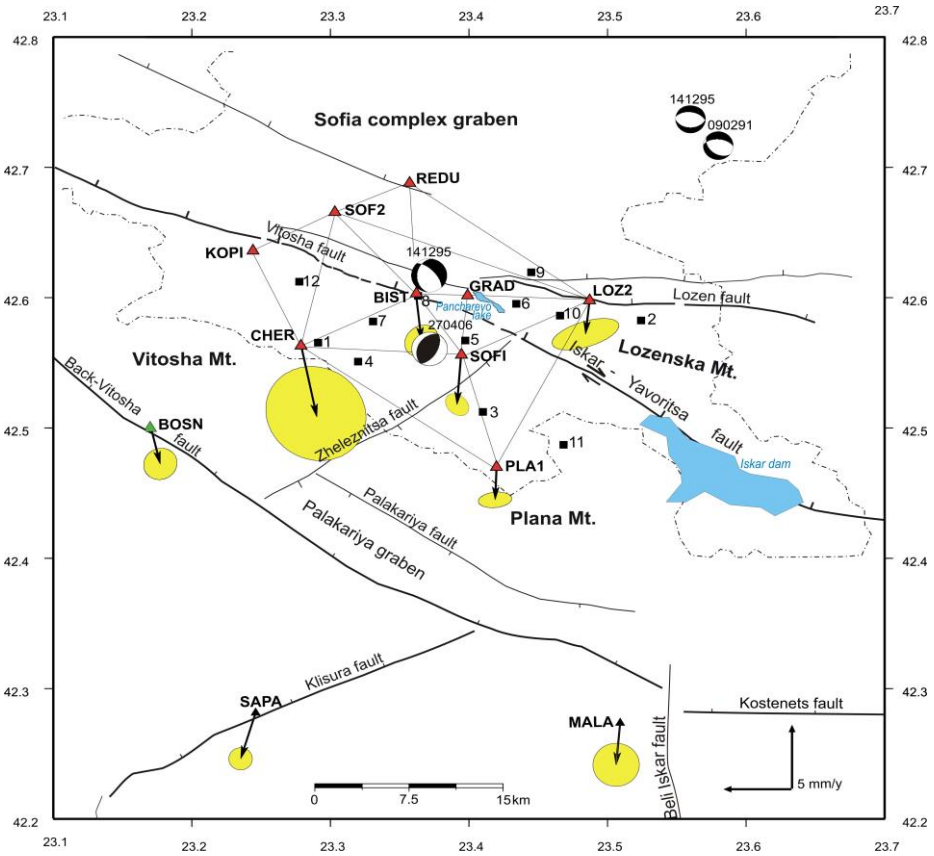
Фиг. 2. Повърхностните изяви на Витошкият и част от Лозенския разломи в южната част на град София, представени с червени линии. Разломите са върху космически образ с определените релативни вертикални потъвания чрез методът InSAR.

Резултати от мониторинг на зоната около Витошкия разлом

Военнотопографската служба (ВТС) на Българската Армия организира и осъществи два цикъла високоточни класичесики геодезически измервания в зоната юго-източно от гр. София [5]. Изследователската геодезическа мрежа не покрива изцяло Витошкия разлом, а и получените резултати не показаха представителни хоризонтални премествания.

Мониторингът от 1982 до 1991 г. на ЦЛВГ за вертикалните движения, осъществяван с високоточна геометрична нивелация в района около т.нар. «Панчаревски възел» свидетелства за симпоматична активност на Витошкия разлом, изразена в релативно издигане на реперите от Витошкия блок и потъване на репери от Софийския грабен, от порядъка на 2–3 ± 1 mm/y спрямо изходен векови репер от националния еталонен нивелачен ход [6].

Резултатите от геодезическият мониторинг дадоха основание да се осъществят периодични GPS измервания от 1995–2003 г. на изследователска мрежа, включваща 4 точки от Софийския грабен и 4 от южния борд на Витошкия разлом [7] Фиг. 3.

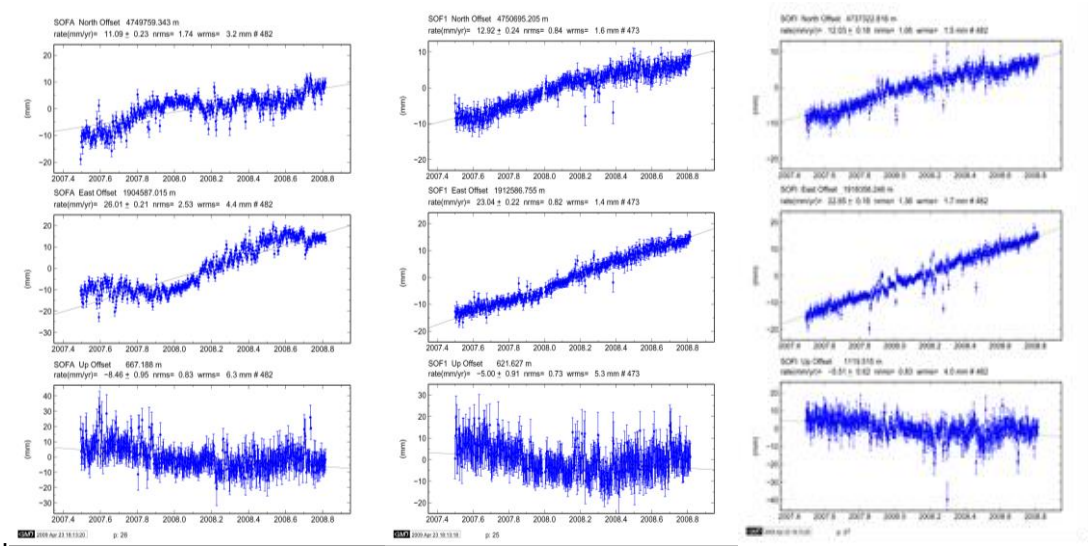


Фиг. 3. GPS мрежа за мониторинг на Витошкия разлом. Хоризонталните скорости в мм/год за периода 1995 – 2003 г. релативни спрямо стабилна Евразия. С черните квадрати и цифри са представени точките от изследователската мрежа на ВТС, с червени триъгълници и буквени имена са представени точките от GPS мрежата на ЦЛВГ. Разломите са по Шанов и др.1998.

Резултатите от периодичните GPS измервания в зоната околло Витошкия разлом Фиг. 3 показват бавни тектонски движения от 2 до 3 ± 1 mm/год [7].

Към настоящият момент в югоизточната зона на град София функционират 5 перманентни GPS станции: постоянната станция на международната геодинамична служба SOFI над с. Кокаляне (от май 1997 г.); SOF1 (от май 2007 г.); SOFA (от май 2007 г.) и в Ръководството на Въздушния транспорт (РВД) и в геодезическа обсерватория Плана.

На Фиг. 4 са представени временните редове от перманентните GPS станции SOF1 и SOFA, които са позиционирани Софийския грабен, в близост до Витошкия разлом, и скоростта на постоянната GPS станция SOFI за същият период

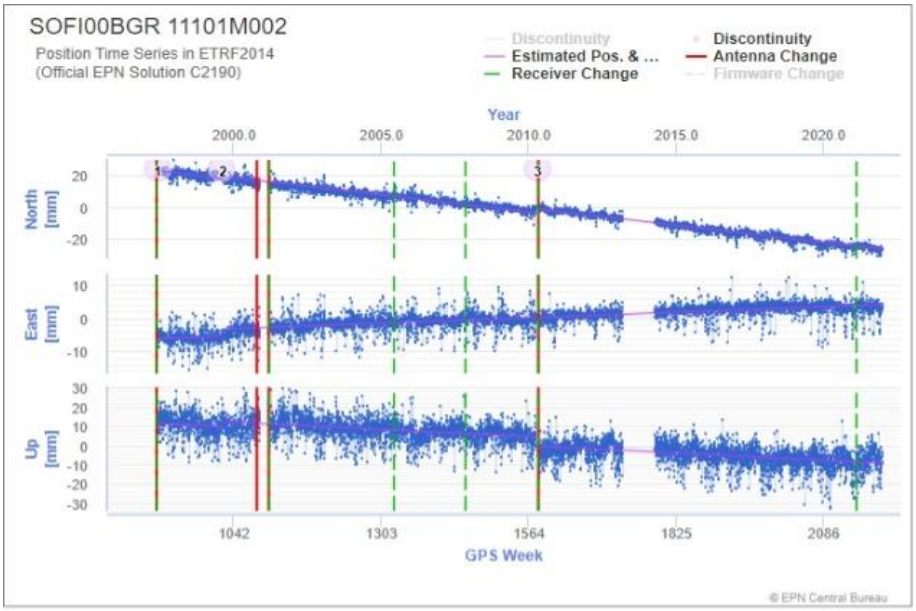


Фиг. 4. Сравняване на времевите редове на абсолютните скорости на постоянната GPS станция SOFI в ITRF2005, EPOCH 2000.0., представени за сравнени за същия период на наблюдения от станциите SOFA и SOF1

Независимо от сезонните движения на станцията станцията SOFA (на покрива на Агенцията по геодезия, картография и кадастър) двете станции SOFA и SOF1 показват идентични скорости в ITRF2005 (Фиг. 4.), със скоростта на постоянната GPS станция SOFI за същия период. Перманентната станция SOFI се счита по тектонски данни, че се намира южно от Витошкия разлом и би трябвало да показва скорост на движение различна от скоростта на станциите, разположени в Софийския грабен. Същевременно времевите серии от станцията SOFA, свидетелстват за нестабилност на най-близката до разлома станция (Фиг. 4.).

Резултатите от временните серии на постоянната GPS станция SOFI, действаща от май 1997 г. взети от сайта на EUREF. Представените релативни, спрямо Евразия скорости ETRS89 (ETRF2014) за периода 1997–2022 г. имат стойности:

V North **- 2.13 ± 0.00 [mm/y**] **V** East **0.32 ± 0.00 [mm/y**] **V** Up **- 0.75 ± 0.02 [mm/y]**



Фиг. 5. Компоненти на релативните спрямо Европа скорости на постоянната станция SOFI ETRS89(ETRF2014)

Получените релативни скорости на движения от времевите GNSS серии се съгласуват с резултатите от InSAR анализът на вертикалните движения в зоната за периода 1992–2003 г. представени с цветовата скала на Фиг. 2. GNSS скоростите се съгласуват и с резултатите от мониторингът на вертикалните движения в района определени от нивелачните преизмервания.

С резултатите от мониторинга на регионалните движения около Витошкият разлом, беше направен опит за определяне на сеизмотектонските му параметри. Приложена е обратната геофизична задача, чрез моделът на [8] с данни от сеизмичността и теренните наблюдения. Тествани бяха различни модели спрямо картираното положение на разлома Фиг. 2 и следните тектонски параметри:

- ориентацията на разлома спрямо посоката Север (Strike) Φ = 202.5°;
- наклон на разлома спрямо равнината Dip - от 35 до 45°;
- дължина на разлома 2L – от 20-25 km;
- ширината на разлома W – от 7 до 10 km:
- вектор на вертикално хлъзгане по разлома в дълбочина (Slip) от 0.5 до 1 m.

Моделното изследване не даде еднозначно решение поради ограниченият брой данни и малките стойности на получените скорости на движение (1-2 mm/год) в Софийския грабен и в близост до разлома. Предложените сеизмотектонси параметри се съгласеват с геоложките, геофизичните изследвания [4] и с тектонски хипотези в района на Витошкия разлом [8].

Заключение

Получените от изследването с космическите технологии GNSS на движения около Витошкия разлом от 2–3 ± 1 mm/y, спрямо стабилна Евразия, са съвместими с определените с методът InSAR потъвания в Софийския грабен, както и с данните от геодезическия мониторинг с прецизна геометрична нивелация и с регионалните тектонски хипотези.

Малките стойности на скоростите на регионалните движения, ограниченият брой данни и тяхното разположение спрямо разлома, не позволиха еднозначно да се определят геометричните и тектонски параметри на Витошкия разлом;

Мониторингът с постоянни GNSS станции и InSAR технологията в района ще осигури данни за активността на Витошкия разлом, за оценка на тектонските напрежения и сеизмичния риск.

Литература:

1. Бончев, Е. 1980 Геодинамика на Балканите, София, 83–93.
2. Solakov, D., S. Simeonova and L. Christoskov, 2001 Seismic hazard assessement for the Sofia area, Annali di Geofisica, 44 (3), 541–556.
3. Киров, К. 1952 Принос към изучаването на земетресенията в Софийската котловина. Год. Гл. Дир. Геол. и Мин. проучв., 5, 407.
4. Велчев и др.1985 Физическа география на България, 408.
5. Стефанов, Л. 1993 Геодезически изследвания за хоризонтални движения на земната кора в България, Технически бюлетин на ВТС на БА бр.2, 51–89.
6. Димитров, Д. Ст. 1993 Резултати от геодезическите изследвания 1982-1991 год. на ЦЛВГ за вертикални движения на земната повърхност на Експерименталната площадка в района на село Панчарево", Технически бюлетин на ВТС на БА, бр. 2,.
7. Georgiev, I., D. Dimitrov, L. Pashova, M. Ilieva, St. Shanov, G. Nikolov 2006 Geodynamic study in the region south of Sofia by GPS, National Conference with international participation "Geosciences 2006", November 30-December 1, 2006, Sofia.
8. Okada, Y. 1992 Internal deformation due to shear and tensile faults in a half space, B.S.S.A., 82, 1018-1040.
9. Shanov, S., Tz. Tzankov, G. Nikolov, A. Boykova, K. Kourtev 1998 Character of the recent geodynamics of the Sofia Complex Graben, Rev. Bulg. Geol. Society, 59, 1, 3–12.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

RECONSTRUCTION OF KNOWLEDGE OF THE ENVIRONMENT IN LATE ANTIQUITY IN THE AREA OF GORNO NOVO SELO VILLAGE

Bilyana Kostova[1], Boyan Dumanov[2], Zhivko Uzunov[2], Ralitza Berberova[1], Ventseslav Stoyanov[3,4]

[1]New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
[2]New Bulgarian University, Department of Archaeology
[3]University of Structural Engineering and Architecture "Lyuben Karavelov"
[4]Academy of the Faculty of Fire Safety and Civil Protection, 171 Pirotska Str., 1309 Sofia, Bulgaria
e-mail: bkostova@nbu.bg

Keywords: *Reconstruction of people's environmental knowledge, Late Antique mortar*

Abstract: *The work aims to reconstruct the knowledge of the environment in the area of Gorno Novo Selo village during Late Antiquity by methods of archaeological chemistry. Such a study provides information on used raw materials and technologies applied in the past. The investigation of ancient mortar includes determining the phase composition, hydraulicity, and binder-aggregate ratio. Using X-ray fluorescence, chemical, and Powder X-ray diffraction analysis, Late Antique mortars from Bulgarian archaeological sites and associated geological resources were investigated. The obtained results confirm good knowledge of the environment in the residence territory during Late Antiquity and are of fundamental and practical use, helping a future archaeological interpretation.*

РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ЗНАНИЯ ЗА ОКОЛНАТА СРЕДА ПРЕЗ КЪСНАТА АНТИЧНОСТ В РАЙОНА НА ГОРНО НОВО СЕЛО

Биляна Костова[1], Боян Думанов[2], Живко Узунов[2], Ралица Берберова[1], Венцеслав Стоянов[3]

[1]Нов български университет, Департамент „Природни науки"
[2]Нов български университет, Департамент „Археология"
[3]Висше строително училище „Любен Каравелов"
e-mail: bkostova@nbu.bg

Ключови думи: *Реконструкция на знанията за околната среда, хоросан от Късна античност*

Резюме: *Целта на настоящата работа е да се направи реконструкция на знания за околната среда в района на Горно ново село през Късната античност чрез използването на методи на археологическата химия. Получените резултати ще предоставят информация за използваните суровини и технологии. Изследването на древен хоросан включва определяне на фазовия състав, хидравличността и съотношението „свързващо вещество-агрегат". Изследвани са късноантични проби от хоросан от български археологически обекти и проби от геоложки ресурси от района чрез химичен, рентгено-флуоресцентен анализ (XRF) и прахова рентгенова дифракция (PXRD). Получените резултати имат фундаментална стойност (потвърждават добро познаване на околната среда на обитаваната територия през Късната античност) и приложен характер (подпомагат интерпретацията на археологическите находки и обекти).*

Introduction

The methods used in modern archeology generally can be classified into two main groups – non-destructive (for the discovery, delineation, and mapping of archaeological sites) and destructive (for the study of artifacts). The first group includes field excavations [1] and geophysical methods such as ground-penetrating radar system (GPRS), geomagnetic and radiometric measurements, and remote sensing methods like drone and satellite photos survey, etc. [2]. The second includes methods

of archaeological chemistry such as chemical and X-ray fluorescence analysis, powder X-ray diffraction measurements, thermal analysis, etc. [3].

Archaeological artifacts, such as pottery and mortar, can be studied by archaeology chemistry methods [4, 5]. The study of ancient mortar includes determining the phase composition, hydraulicity, binder-aggregate ratio (B/A), and the potential source of raw materials used [3, 5, 6]. Mortar is a composite material prepared from a binder and aggregate. Slaked lime (portlandite, $Ca(OH)_2$), obtained by calcination of carbonate rocks (limestones, marls), was used as the raw material of the mortar binder. Over time the portlandite is replaced by calcite, i. e. the mortar hardens. In some mortars, in addition to calcite, hydraulic phases such as calcium hydro-silicates, mono-carboaluminates, etc., were found in the binder, imparting hydraulic properties to the mortar [6–8]. The formation of hydraulic phases can be by adding to the fresh mortar mixture the pozzolanic additives (volcanic ash, ceramic fragments, etc.) or clay rocks, which are high in Al and Si [7–9]. The binder is usually of silicate and aluminosilicate composition, most often of crushed silicate rocks or river sand, with the mineral composition of quartz, feldspar, and mica. The binder is an inert phase in the mortar, which creates the mortar's characteristic porous structure, preventing the formation of mold [6]. Clarifying the recipe for mortar preparation is necessary to determine the B/A ratio and the potential raw material for its production. Additionally, studying the phase composition of artifacts and comparing those with geological resources in the residence territory, provide information on raw materials and technologies used in the past.

This paper aims to make reconstruction of knowledge of the environment in the area of Gorno Novo Selo village during the Late Antiquity by examining mortar and local geological resource samples using X-ray fluorescence, chemical, and powder X-ray diffraction analysis. Such investigation also contributes to the conservation and reconstruction of archaeological sites.

Materials

Three mortar samples collected from two Late Antiquity archeological sites were studied. Both sites' location was in the region of Gorno Novo Selo village (Bulgaria). The selected area is of great importance for the central part of Sarnena Sredna Gora mountain, as the archaeological sites located there formed a settlement complex, defined as the regional management, economic and religious center [10]. The examined samples were: (i) a mortar sample № 1 from the site № 14 – Gorno Novo Selo, Sveti Nikola area. The site was defined as a fortified settlement with preserved fortress and church stone walls (Fig. 1), and ii) mortar samples № 17 and № 18 from site № 16 Gorno Novo Selo, church Extra Muros 2. The site was with preserved stone walls of church and building (Fig. 2). Samples № 1 and № 17 were collected from the church stone walls, and sample № 18 – was from the church floor made of bricks. At both archaeological sites, the stone walls were of gneisses, and tiles, bricks, also pottery were found.

Fig. 1. Archaeological site № 14

Fig. 2. Archaeological site № 16

To trace the raw materials used for mortar production, the rocks that outcrop on the earth's surface at the archaeological sites and close to them were investigated. Gneisses were found at the location of the two archeological sites, and limestones and marls to the south of the sites. Seven samples of these rocks were investigated: i) three samples of limestone – № 24.1, № 31.1, and № 31.3; ii) two samples of marls – № 32 and № 67, and iii) samples № 24.2 of fresh gneiss and № 4 of weathered gneiss.

Methods

X-ray fluorescence (XRF) analysis: The XRF analysis was performed by energy dispersive Micro-XRF Spectrometer M1 MISTRAL, Bruker (Rh-tube, Peltier cooling, 30 mm², Si-drift detector (SDD), MnKα resolution <150 eV, collimator 0.1 mm to 1.5 mm). The samples were prepared as pressed pellets with H_3BO_3 binder (1 g sample + 0.5 g H_3BO_3).

Chemical analysis: Moisture content determination: an equal amount of the mortar was dried at the temperature of T = 110°C. The dry mass of the samples was determined using an analytical balance. CO_2 amount determination: The powdered dried mortar samples were heated at T = 930°C in a porcelain crucible. The sample's CO_2 losses were determined using an analytical balance. Determination of binder aggregate ratio (B/A): the samples were solved with 1N HCl for 20 min. After the acid treatment, the obtained solutions were filtered, and the sediments were dried at T = 110°C and weighed [11, 12].

Powder X-ray diffraction (PXRD) analysis: The powder X-ray diffraction (PXRD) measurements were made by Empyrean, "Panalytical", CuKα radiation (λ = 0.15418 nm) (operating at 40 kV, 30 mA) from 5 to 90° 2θ with a step of 0.013 2θ, 30 s/step.

Microscopic observations: Levenhuk 3ST, 20-40x optical zoom.

Results and discussion

Table 1 shows the results of the XRF analysis of investigated rocks and mortars.

Table 1. Results of XRF analysis

Sample		wt%									
Type	**Number**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**K_2O**	**CaO**	**Fe**	**Ti**	**Mn**	**S**
Limestone	№ 24.1	<LOD	0.60	1.60	0.15	<LOD	55.18	0.28	3.86	0.01	0.24
	№ 31.1	6.03	1.70	17.71	0.41	0.58	46.45	1.18	0.14	0.04	0.26
	№ 31.3	7.22	1.08	22.40	0.14	0.14	44.78	1.04	0.17	0.17	0.24
Marl	№ 32	<LOD	3.63	16.24	0.15	1.55	49.36	3.18	0.33	0.05	0.27
	№ 67	<LOD	3.70	22.44	0.10	1.42	43.24	3.60	0.32	0.08	0.11
Gneiss	№ 4	<LOD	14.33	67.29	<LOD	2.48	0.98	3.26	0.55	0.55	0.11
	№ 24.2	<LOD	14.19	64.19	0.44	3.37	0.57	0.55	0.04	0.03	0.43
Mortar	№ 1	2.56	7.39	50.21	0.32	1.73	17.00	1.20	0.11	0.04	0.02
	№ 17	2.74	8.34	50.64	0.18	1.65	10.24	1.20	0.11	0.03	0.03
	№ 18	4.23	8.44	44.77	0.11	1.64	17.21	1.21	0.12	<LOD	<LOD

LOD – limits of detection

The chemical composition of the rocks is as follows:

- Limestones: mainly by CaO with varying contents from 44.78% to 55.18%. The MgO – from values under limits of detection (LOD) up to 7.22%, which supposes that the main carbonate mineral in the limestones is calcite ($CaCO_3$). The SiO_2 was in concentrations from 1.60% to 22.40%, the Al_2O_3 - from 0.6% to 1.08%, which implies variable content of silicates in limestones. The low concentration of Al_2O_3 suggests that the aluminosilicates (clay minerals) were not present [13]. In this regard, the Si and Al variable content probably were of a sandy fraction - from a minimum amount (sample № 24.1) to a relatively high content in samples № 31.1 and № 31.3.
- Marls: mainly by CaO and SiO_2. The concentration of Al_2O_3 was higher than that of limestones which suggests the presence of aluminosilicate phases.
- Gneisses - metamorphic rocks, composed mainly of silicate and aluminosilicate minerals, which determines the results of chemical analyzes: mainly SiO_2 (34% - 37%) and Al_2O_3 (~ 14%), and a small amount of K_2O (2.48%) – 3.37%).

The mortar samples was composed mainly by CaO – from 10.24% up to 17.21%, SiO_2 – from 44.77% to 50,64%, and Al_2O_3 – from 7.39% to 8,44%. The MgO was measured from 2.56 up to 4.23%. K_2O, P, and Ti were measured in approximately equal quantities in all samples. The high content of Ca, the low content of Mn, and the low content of S suggest that the binder in the mortars was composed mainly of $CaCO_3$ (calcite). The low concentration of Fe, Ti, and Mn also suggests that these elements do not form their separate phases. The high content of Si and Al suggests that the mortar aggregate was composed mainly of silicate and aluminosilicate phases.

Figures 3, 4, and 5 show the results of rock PXRD analysis.

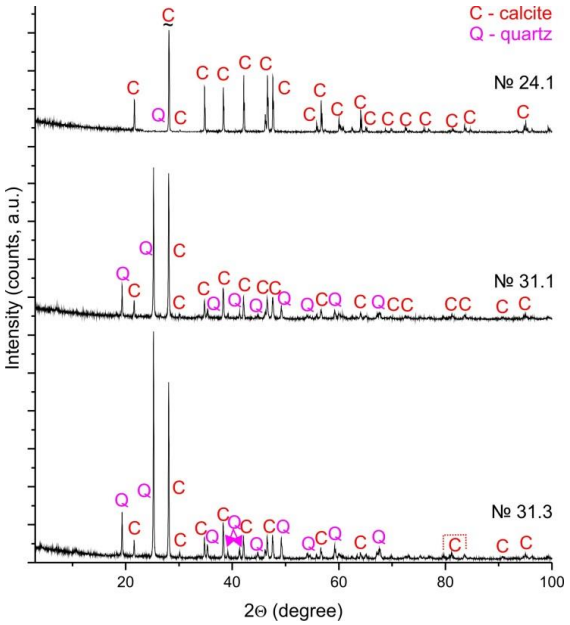


Fig. 3. PXRD patterns of limestones

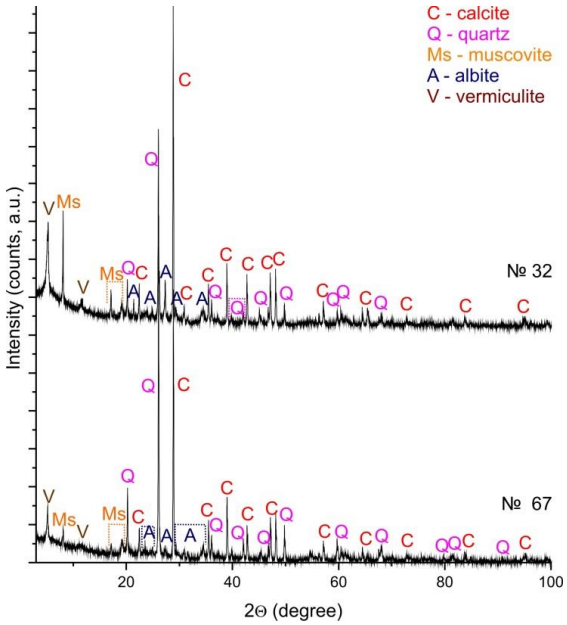


Fig. 4. PXRD patterns of marls

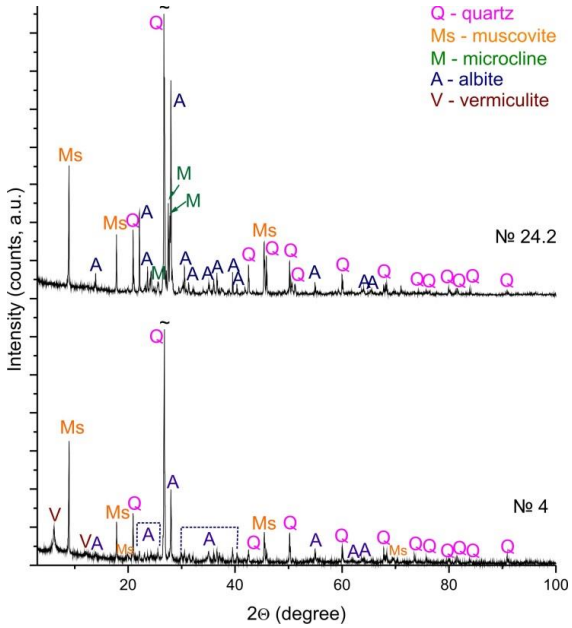


Fig. 5. PXRD patterns of gneisses

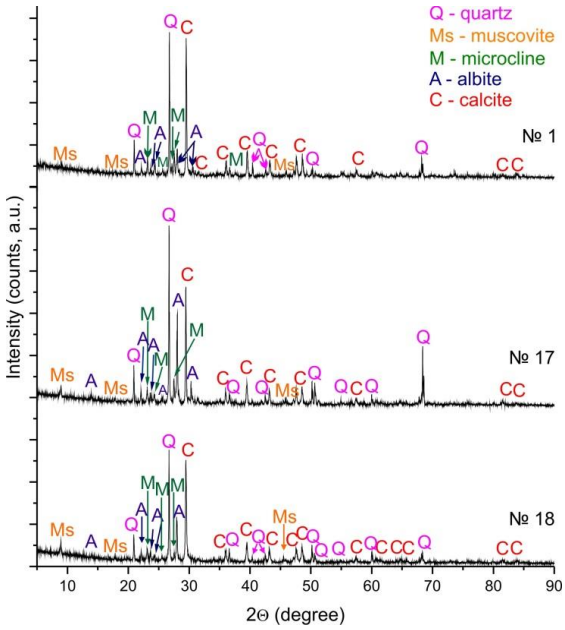


Fig. 6. PXRD patterns of mortars

All studied limestone samples (Fig. 3) were composed of calcite ($CaCO_3$ - PDF#06-6528 [14]) and quartz (SiO_2 - PDF#06-1757 [14]). The marls (Fig. 4) – of calcite, quartz, muscovite ($KA_{l2}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ [15]), albite ($Na(AlSi_3O_8)$ - PDF#89-6426 [14]), and vermiculite ($Mg_{0.7}(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4.8H_2O$ [16]), a mineral of smectite group. The gneisses (Fig. 5) - of quartz, muscovite, microcline ($K(AlSi_3O_8)$ - PDF#19-0926 [14]), and albite. Vermiculite was also found only in sample № 4 - weathered gneiss, formed by alteration of micas [17].

Figure 6 shows the results of the mortar's PXRD analysis. All the studied samples were composed of calcite, quartz, muscovite, albite, and microcline. Vermiculite has not been identified as well as calcium-magnesium carbonate, and calcium sulfate phases.

According to PRXD analysis, the mortar samples were the same phase composition. The binder was composed only of calcite. The aggregate of mortars was composed of silicate and alumosilicate phases. The B/A ratio results (Table 2) show the main mortar phases are those of aggregate, while calcite is in the subordinate quantity. The portlandite ($Ca(OH)_2$) amount used for mortar preparation was also calculated – from 13.49 to 22.67%.

Table 2. $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, and binder/aggregate (B/A) ration in mortar samples

Sample	$CaCO_3$ (wt%)	$Ca(OH)_2$ (wt%)	aggregate (%)	B/A ratio
№ 1	30.26	22.39	69.74	0.43 (1:2)
№ 17	18.23	13.49	81.77	0.22 (1:4)
№ 18	30.63	22.67	69.34	0.44 (1:2)

The PXRD results of the mortar study show the absence of hydraulic phases, as the production of hydraulic mortar was known during this archaeological epoch [9, 18], and local raw materials (marls) and pozzolans (ceramic fragments) were available. When preparing the binder with marls, during marl's calcination the vermiculite would be decomposed with a separation of free and chemically active Al and Si ions [17]. These ions would formate the hydraulic phases during mortar hardeners. That shows the raw material for binder preparation was limestone. The absence of calcium aluminate hydraulic phases prevented the ettringite and thaumasite formation, thus delaying the mortar destruction over time [19]. The absence of gypsum ($CaSO_4.nH_2O$) in the mortar binder shows: (i) no use of imported raw material (at the area of the archaeological site were no known gypsum deposits); (ii) environmental conditions did not cause the gypsum formation (in archaeological mortars has been proved the sulfation processes were caused by acid rain [20]); and (iii) the sulfur content in rocks was insufficient (Table 1) and was not enough for gypsum deposition. All the results define investigated mortars as lime mortars without hydraulic properties. Their use for church walls and floor binding was suitable, as this type of mortar is an excellent permeable binder, keeping dry, i. e. protecting against mold.

The PXRD results prove that for mortar aggregate was used gneisses whose mineral composition correspond to that of the mortars. The vermiculite absence shows that the used gneisses were unweathered.

The mortar's aggregate (quartz) granulometry was inspected using microscopic observations. Results obtained show altered granulometric compositions: in sample № 18, the quartz was approximately one-dimensional, in samples № 1 and № 17 – with variable sizes from 1 – 2 mm approximately up to 15 mm. In quicklime production, raw limestones were placed crushed in the kilns, the milling was made after the calcination [21]. This approach allowed the limestone solid-phase impurities to pass into the mortar. That results determined sandy limestone (samples № 31.1 and № 31.3) as the most likely raw material.

Apart from the difference in aggregate granulometric compositions, the samples also show different B/A ratios (Table 2). Such variation can be explained by: (i) different recipes, depending on the mortar application; (ii) raw limestone with different amounts of sandy fraction, which violated the original recipe due to the inability to control the amount of $Ca(OH)_2$ used in the mortar; (iii) lacking a specific recipe for the mortar preparation. The samples № 1 and № 17 were collected by the church walls and are of different B/A ratios – 1:2 and 1:4, respectively. The sample № 18 – by the church floor with the B/A ratio is the same as sample № 1. The measured difference in the B/A ratio for samples № 1 and № 17 was quite big and cannot be achieved only by different amounts of sandy fraction in limestones. That confirms no connection between the B/A ratio and the purpose of the mortar used. The preparation of mortar with a high B/A ratio may be associated with a targeted reduction in the limestone amount, probably because of the need for raw material transportation at long distances. All the results obtained show lacking specific recipes in the mortar preparation.

Conclusions

Based on the results obtained from X-ray fluorescence, chemical, and powder X-ray diffraction analysis and the discussions on them, the following conclusions are formulated:

- The studied mortars were defined as lime mortars without hydraulic properties prepared without a specific recipe. This mortar type was associated with the application as a permeable binder, protecting against mold at church buildings.
- The phase composition of studied mortars and its comparison with the rocks mineral composition proves the use of only local raw materials, namely sandy limestone (for binder) and gneiss (for aggregate). The results determine the local mortar production and people's good knowledge of the environment during Late Antiquity.

Such results are of fundamental and practical uses allowing future archaeological interpretation and adequate restoration and conservation of archaeological sites.

Acknowledgments

This work was funded by the Bulgarian Science Research Found (grant № KP-06-N39/9). The authors gratefully acknowledged the New Bulgarian University, Department of Natural Sciences and Geology laboratory – BF.

References:

1. Uzunov, Zh., 2017a. Research methods in the field excavations of archeological sites in the area of Sarnena Sredna gora mountain. In B. Dumanov (Ed): SARCHUS-AIR. Localization and experimental reconstruction of ancient roads and habitats, 35–37.
2. Ranguelov, B., 2021. Innovation: Complex Geophysics in the Field of Archaeology (South Bulgarian Black Sea Coastline). Annual of Natural Sciences Department, Vol. 6, 2020-2021, 7–22. https://doi.org/10.33919/ansd.20-21.6.2
3. Goffer, Z., 2007. Archaeological chemistry. Chemical analysis: A series of monographs on analytical chemistry and its applicationsjohn. 2nd Ed. Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 623 p. ISBN 978-0-471-25288-7.
4. Uzunov, Zh., B. Dumanov, B. Kostova, V. Stoyanov, R. Berberova, B. Zlateva. 2021. Determination of Hellenistic pottery and wall plaster mineral composition. Proceedings of XVII International Scientific Conference Space, Ecology, Safety SES'2021, SRTI-BAS, 308-312. ISSN 2603-3321 (online).
5. Velosa, A., J. Coroado, M. Veiga, F. Rocha, 2007. Characterisation of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair. Mater Charact, 58, 1208. doi:10.1016/j.matchar.2007.06.017
6. Borsoi, G., A. Santos Silva, P. Menezes, A. Candeias, J. Mirão, 2019. Analytical characterization of ancient mortars from the archaeological roman site of Pisões (Beja, Portugal). Constr Build Mater, 204, 597. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.233
7. Boke, H., S. Akkurt, B. İpekoglu, E. Ugurlu, 2006. Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. Cem Concr Res, 36, 1115. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.03.011
8. Elesen, J., K. Van Balen, G. Mertens, 2012. Hydraulicity in Historic Lime Mortars: A Review. In: Válek J., Hughes J., Groot C. (eds) Historic Mortars. RILEM Bookseries, 7. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4635-0_10
9. Klrca, O., 2005. Ancient binding materials, mortars and concrete technology:history and durability aspects. In: Structural Analysis of Historical Constructions - 2 Volume Set: Possibilities of Numerical and Experimental Techniques - Proceedings of the IVth Int. Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, 10-13 November 2004, Padova, Italy, 87–94. Taylor & Francis Group, London, ISBN 04 1536 379 9.
10. Dumanov, B., 2017. The settlement complex near the village of Gorno Novo Selo - a regional administrative, economic and religious center in the central part of Sarnena Sredna Gora. In B. Dumanov Ed. SARCHUS-AIR. Localization and experimental reconstruction of ancient roads and habitats. Sofia: Askoni-Izdat OOD [LTD], 55.
11. Lesigyarski, D., B. Zlateva, I. Kuleff, 2016. Investigation of Mortar from Bulgaria Dated from 5th Century BC for 13th Century AD. Arch Bulg., XX (2), 75.
12. Carò, F., M. P. Riccardi, M. T. Mazzilli Savini, 2008. Characterization of plasters and mortars as a tool in archaeological studies: the case of Lardirago castle in Pavia, northern Italy. Archaeometry, 50 (1), 85. (https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2007.00337.x).
13. Arifuzzaman, MD., M. Najjar, M. N. Mahmud, A. B. M. Saiful Islam, I. Khan, M. M. Ali, 2017. Enhancing the Properties of Marl Soils for Effective Construction in Saudi Arabian Region. ENGINEERING JOURNAL, 21 (4), 111. DOI:10.4186/ej.2017.21.4.111.
14. Powder diffraction file (PDF): copyright by International Centre for Diffraction Data (ICDD) Newtown Square; 12 Campus Blvd., Newtown Square, PA 19073-3273.
15. Singh, M., L. Singh, 2016. Vibrational spectroscopic study of muscovite and biotite layered phyllosilicates. Indian J. Pure Appl. Phys, 54, 116.
16. Mathieson, A. M., G. F. Walker, 1954. Crystal structure of magnesium-vermiculite. Am Mineral, 39, 231.
17. Prakas Narasimha, K. N., H. Ramalingaiah, K. Melka, K. Krishnaveni, P. S. R. Prasad, C. Krishnaiah, K. S. Jayappa, A. V. Ganesha, 2006. Vermiculite mineralization associated with ultramafics in agasthyapura area, mysore dist., karnataka state, India - A mineralogical study. Acta Geodyn. et Geomater, 3 (4), 19.
18. Crisci, G. M., M. Franzini, M. Lezzerini, T. Mannoni, M. P. Riccardi, 2004. Ancient mortars and their binder. Per Mineral, 73, 259.
19. Ciliberto, E., S. Ioppolo, F. Manuella, 2008. Ettringite and thaumasite: A chemical route for their removal from cementious artefacts. Journal of Cultural Heritage, 9, 30. https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.05.004.
20. Corti, C., L. Rampazzi, R. Bugini, A. Sansonetti, M. Biraghi, L. Castelletti, I. Nobile, C. Orsenigo, 2013. Thermal analysis and archaeological chronology: The ancient mortars of the site of Baradello (Como, Italy). Thermochim Acta, 572, 71. https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.08.015.
21. Adam, J. P., 2005. Roman building. Materials and Techniques. Taylor & Francis Group, London and New York, 727 p.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНФРАЧЕРВЕНОТО ТОПЛИННО ИЗЛЪЧВАНЕ ОТ ПРОМИШЛЕНИ И БИТОВИ СГРАДИ С ПОМОЩТА НА УРЕД МОНТИРАН НА ДРОН

Веселин Ташев, Ангел Манев, Димитър Вълев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: veselinlt@abv.bg

Ключови думи: *Измерителни фотодиоди, инфрачервени лъчи*

Резюме: *Всяко тяло, което е загрято до определена температура излъчва електромагнитни вълни с определен спектър. Измерването на интензитета на тези вълни излъчени в диапазона от 700 до 1000 nm., дава възможност да се направи топлинен аналиаз на различните тела. Колкото по-висока е температурата на обекта, толкова по-голямо е излъчването от него. Този метод на анализ се нарича инфрачервена термография. С негова помощ лесно и бързо се откриват точките с повишено топлинно излъчване от сградите. С помощта на дрон се обхожда сградата по обиколка и по височина. Подходящ сензор за прецизно измерване на инфрачервените излъчвания е инструмента S9295, производство на фирмата HAMAMATSU. Той се състои от измерителен фотодиод с широк спектрален диапазон и висока чувствителност, като и прецизен операционен усилвател с полеви транзистори на входа. Устройството включва също TE-охладител и термистор за контрол на температурата. Всички компоненти са изградени като един пакет, поставен на сапфирена плочка.*

INVESTIGATION OF INFRARED THERMAL RADIATION FROM INDUSTRIAL AND RESIDENTIAL BUILDINGS USING A DRONE-MOUNTED INSTRUMENT

Veselin Tashev, Angel Manev, Dimitar Valev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: veselinlt@abv.bg

Keywords: *Photodiodes, Infrared rays*

Abstract: *Any body that is heated to a certain temperature emits electromagnetic waves with a certain spectrum. The measurement of the intensity of these waves emitted in the range from 700 to 1000 nm, makes it possible to make a thermal analysis of the different bodies. The higher the temperature of the object, the greater the radiation from it. This method of analysis is called infrared thermography. With its help, points with increased heat radiation from buildings can be easily and quickly detected. With the help of a drone, the building is walked around by circumference and height. A suitable sensor for precise measurement of infrared radiation is the S9295 instrument, manufactured by the HAMAMATSU company. It consists of a measurement photodiode with a wide spectral range and high sensitivity, as well as a precision operational amplifier with field-effect transistors at the input. The device also includes a TE-cooler and a thermistor for temperature control. All components are built as a single package placed on a sapphire tile.*

1. Въведение

Всяко тяло, което е загрято до определена температура излъчва електромагнитни вълни с определен спектър. Особенно интересни са тези вълни излъчени в диапазона от 700 до 1000 nm., наречени още инфрачервени лъчи. Това са така наречените топлинни вълни, чиито интензитет е пропорционален на температурата на тялото. Измерването на интензитета на тези вълни дава възможност да се направи топлинен аналиаз на различните тела. Този метод на анализ се нарича инфрачервена термография. С негова помощ лесно и бързо се откриват точките с повишено топлинно излъчване от сградите. Това се дължи на нарушената

цялостта на обектите, което довежда до топлините загуби. Отстраняването на тези дефекти дава възможност съществено да се намалят енергийните загуби в жилищните сгради и други помещения.

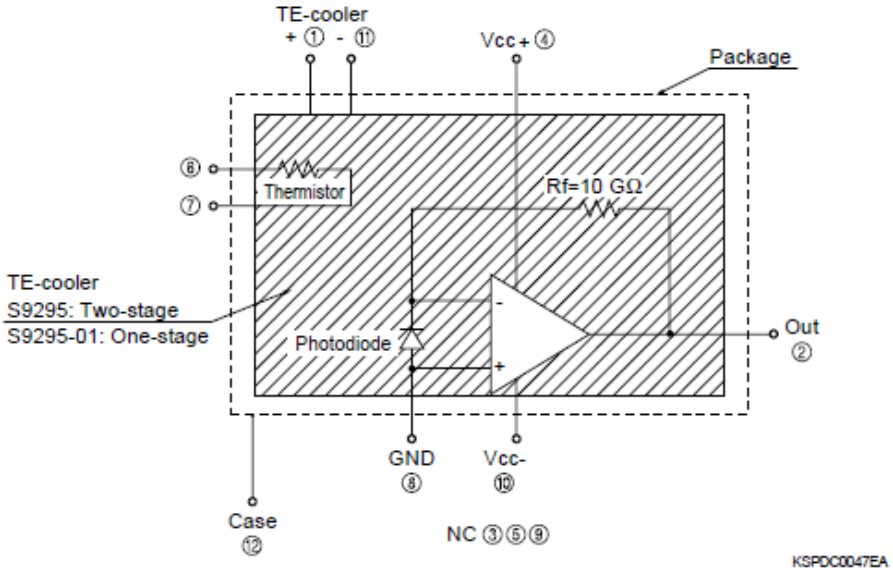
Ефективността на едно такова техническо решение, обаче може да се измери само с прецизен фотометър. Последните високотехнологични разработки в областта на фотодиодите ги прави силно конкурентни по-отношение на важни технически характеристики спрямо останалите сензори. Такъв е приборът S9295, производство на фирмата Hamamatsu. Той съдържа измерителен фотодиод с висока чувствителност, който се използва като сензор за първично преобразуване на светлината в електричен сигнал както и прецизен операционен усилвател с полеви транзистори на входа за неговото усилване. Високата чувствителност в инфрачервената област на прибора S9295 го превръща в много подходящ сензор за измерване на подобни сигнали.

Фотометъра изграден на базата на инструмента S9295 се монтира на дрон. С помощта на този дрон се обикаля сградата и се снема инфрачервената термографична графика.

2. Прибор за измерване на много слаби светлинии потоци в инфрачервената област

Схемата на прибора S9295 е показана на Фиг. 1.

Освен фотодиод и усилвател приборът съдържа и резистор Rf = 10 GΩ, термистор за измерване на температурата и електронен охладител за поддържане на температура от -25 °C. Всичко това е изградено върху един чип със сапфирена подложка, която е с много голямо съпротивление и за това токовете на утечка са практически равни на нула.



Фиг. 1. Схема на прибора S9295

Чипът S9295 има следните по-важни параметри:

Голяма активна площ във вид на прозорче с размери 10x10 mm.

Силициев фотодиод е оптимизиран за прецизна фотометрия в близкия инфрачервен диапазон и по-точно от 700 до 1100 nm.

Компактен херметизиран корпус със сапфирен прозорец.

Вграден прецизен операционен усилвател с много голямо входно съпротивление и FET транзистори на входа.

Много високо усилване обезпечено от вградения високоомен резистор Rf = 10 GΩ, включен в обратната връзка на операционния усилвател.

Ниско ниво на шум.

Високоефективно охлаждане вградено на самия чип с температурна разлика от 50 °C.

Вграден термистор с висока стабилност.

Тези параметри гарантират, че могат да бъдат измерени потоци светлина с много слаба интензивност.

3. Предназначение и описание на прибора S9295

Основното предназначение на прибора е измерване на светлинни потоци, предимно в инфрачервената област с много ниска амплитуда. Това се постига благодарение на високата му чувствителност, която е -5.1 V/nW. За да покажем какво означава тази чувствителност на практика, ще направим едно сравнение между фотодиодния прибор S9295 от една страна и един фотоелектронен умножител (ФЕУ), прибор който е лидер в това отношение.

За целта можем да пресметнем, какво е изходното напрежение при предположение, че на фотокатода на ФЕУ попадне един фотон. В режим на броене на фотони единичния фотоелектрон, който се емитира от фотокатода има заряд q= 1.6*10-19 [C]. Ако усилването на електронния фотоумножител е μ = 5*106 , тогава анодния изходен заряд се дава от:

(1) $$Q = q \times \mu = 1.6 \times 10^{-19}[C] \times 5 \times 10^{6} = 8 \times 10^{-13}[C]$$

Ако широчината на изходния импулс на изхода на фотоелектронния умножител е t=10 ns тогава за пика на изходния ток IP се получава:

(2) $$Ip = \frac{q \times \mu}{t} = \frac{8 \times 10^{-13}[C]}{10^{-9}[s]} = 80[\mu A]$$

Ако товарното съпротивление или входния импеданс на прилежащия усилвател е 50 Ω , то изходния импулс има пиково напрежение :

(3) $$Vo = Ip[\mu A] \times Z[\Omega] = 80[\mu A] \times 50[\Omega] = 4[mv]$$

Импулсния усилвател след изхода на ФЕУ има усилване от 36 dB или 63 пъти.

(4) $$Vout = 4[mV] \times 63 = 252[mV] = 0.252[V]$$

От характеристиките на фотодиода виждаме, че той има чувствителност от 5.1 V / nW, включително вградения операционен усилвател и вградения високоомен резистор.

Енергията, която пренася един фотон е :

(5) $$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} J.s) \times (2.998 \times 10^{8} m/s)}{555nm} = 2.22[ev]$$

Или в джаули получаваме:

(6) $$E = 2.22[eV] \times 1.602 \times 10^{-19}[J] = 3.56 \times 10^{-19}[J]$$

Ако предположим теоретично, че времето на действие на фотона е същото както на ФЕУ, т.е. 10 nS, то за мощността получаваме:

(7) $$P = \frac{E}{t} = \frac{3.56 \times 10^{-19}[J]}{10 \times 10^{-9}[s]} = 3.56 \times 10^{-11}[W] = 0.0356[nW],$$

а за изходното напрежение:

(8) $$Vout = 0.0356[nW] \times 5.1 \frac{[V]}{[nW]} = 0.182[V]$$

Тези изчисления показват, че доколкото стойностите 0.252 V и 0.182 V кореспондират една с друга, то по отношение на регистрация и усилване на слабите светлинни сигнали специализираните измерителни фотодиоди все повече настигат характеристиките на ФЕУ. Фотодиодите обаче работят само в аналогов режим, което в случая не е от значение.

Фотодиодите са прибори, които преобразуват директно попадналата светлина в техния p–n преход в електрическа енергия под формата на електрически ток. Много важно е да се

знае, че генерирания ток е правопропорционален на количеството светлина попаднала на p-n прехода. Генерирания от фотодиода ток показан на фиг. 1, минава през резистора Rf , преобразува се в напрежение и се усилва от операционния усилвател. Той е с много високо входно съпротивление, гарантирано от полевите транзистори на входа, така че консумацията на ток практически е равна на нула. В самия чип има вграден термоохладител, който ефективно може да намали температурата с 50 ºC и тя да достигне до -25 ºC, при ефективна температура на околната среда +25 ºC. При тези ниски температури на охлаждане токът на тъмно силно намалява. Наличието на термистор върху самия чип, дава възможност да се измери температурата на фотодиода. Ако има разлика между текущата температура на фотодиода и зададената, автоматично се включва терморегулатора, който охлажда чипа до необходимата температура. Това на практика означава, че ако се зададе работна температура от -25 ºC тя може да се поддържа автоматично до +25 ºC на околната среда.

4. По-важни електрически и оптически характеристики на прибора S9295 [1]

4.1. Максимални характеристики. Те са показани в Таблица 1.

Таблица 1. Максимални характеристики на прибора S9295

Параметър	Символ	Стойност	Забележка
Приложено напрежение	Vcc	± 20 V	
Работна температура на чипа	Toper	-30°C+60° C	
Работна температура на фотодиода	Td	-30°C +60° C	
Приложено напрежение на охладителя	Vte	+5 V	
Ток на охладителя	Ite	1 A	
Разсеяна мощност на термистора	Pth	0.2 mW	

4.2. Типични характеристики

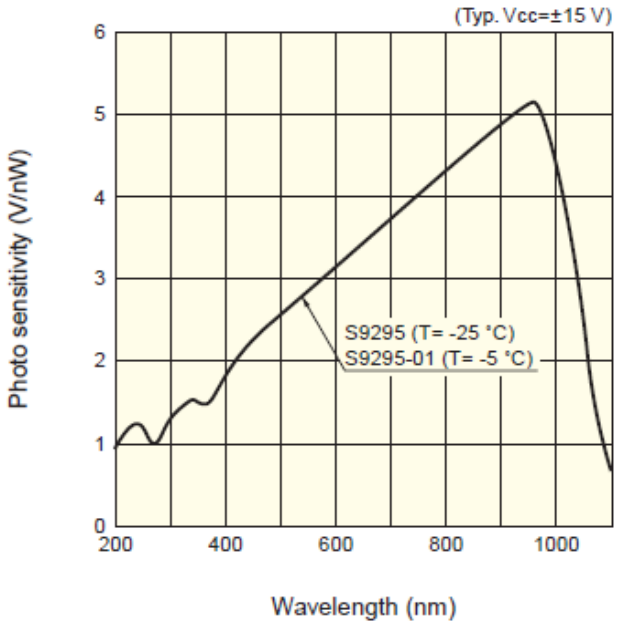
Характеристиките при Vcc=±15 V, RL = 1 MΩ са показани в Таблица 2.

Таблица 2. Типични характеристики на прибора S9295

Параметър	Символ	Условие	Стойност	Единици
Приложено напрежение на усилвателя	Vcc		±5до±15	V
Ток на охладителя	Ite	max	0.8	A
Разсеяна мощност на термистора	Pth	max	0.03	mW
Товарно съпротивление	Rl	min	100	kΩ
Спектрален диапазон	λ		190-1100	nm
Пик на чувствителност	λp		960	nm
Съпротивление в обратната връзка	Rf		10	GΩ
Фото чувствителност	S	λ=λp	-5.1	V/nW
Шум на изхода	Vn	F = 10 Hz	25	μVrms/Hz
Изходно напрежение на отместване	Vos	Dark state	±2	mV
Честота на среза	fc	-3dB	190	Hz
Амплитуда на изходното напрежение	Vo		-13	V
Ток на консумация	Icc	Dark state	0.3	mA
Съпротивление на термистора	Rth	86		kΩ

4.3. Спектрална характеристика

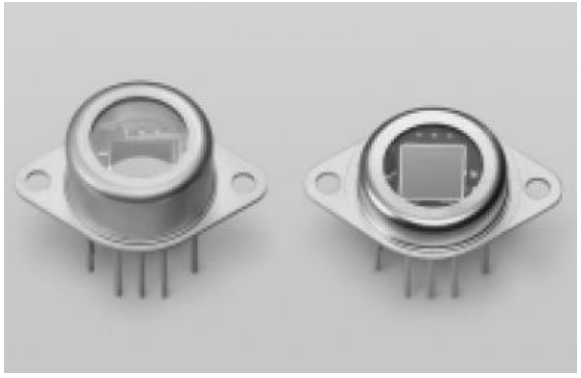
Спектралната характеристика на прибора е показана на Фиг. 2. От нея се вижда, че чувствителността на фотодиода е в диапазона от 500 до 1100 nm, като пика е на 960 nm.



Фиг. 2. Спектрална характеристика на прибора S9295

4.4. Механична конструкция на прибора S9295

Механичната конструкция е показана на Фиг. 3



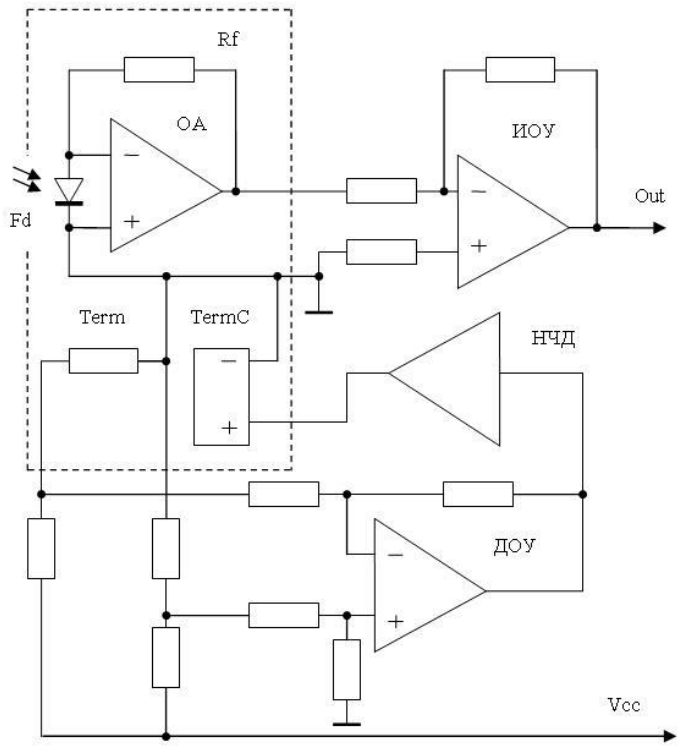
Фиг. 3. Механична конструкция на прибора S9295

5. Електрическа схема на фотометъра

Електрическата схема на фотометъра е показана на фиг. 4. Освен прибора S9295, който е показан с пунктир на чертежа, той съдържа още няколко усилвателя.

Изходния сигнал от прибора се усилва допълнително от инвертиращ операционен усилвател ИОУ, показан на Фиг. 4. Този усилвател трябва да бъде с високо входно съпротивление, защото той представлява товар за полезния сигнал. Според техническите изисквания неговата стойност трябва да е по-голяма от 1 MΩ.

Термисторът Term е включен в мостова схема, където се изработва сигнал на грешката между зададената и текущата температура. Този сигнал се усилва от диференциален усилвател ДОУ и се подава към нискочестотен драйвер НЧД. Мощния НЧД подава достатъчно силен ток от порядъка на 0.8[A] за да работи термо охладителя в режим на охлаждане или затопляне в зависимост от околната температура и най-вече от температурата на чипа S9295.



Фиг. 4. Електрическата схема на фотометъра

Най-често тази температура се поддържа на стойност -25º C, за да се получи максимално ниска величина на тока на тъмно. При тези ниски стойността на температурата тока на тъмно е от порядъка на няколко пикоампера. Тъй като минималния полезен сигнал е от порядъка на 10 nm, това осигурява много добро съотношение между сигнал и шум.

6. Извод

От разгледаните характеристики става ясно, че съвременните фотодиоди специализирани за измервателни приложения на слаби сигнали са силно конкурентни на фотоелектронните умножители, които традиционно се използват. Те притежават висока чувствителност, широка спектрална характеристика, много добра линейност, нисък ток на тъмно, висока квантова ефективност, непретенциозно захранване и не на последно място здрав корпус и устойчивост към механични натоварвания.

Към слабостите могат да се причислят сравнително ниското бързодействие на измерителните фотодиоди, невъзможност да работят в режим с броене на фотони, както и други по-маловажни характеристики.

Една от областите, където фотодиодите с интегриран операционен усилвател имат предимство е за откриване и регистрация на слаби излъчвания в широк светлинен диапазон.

Литература:

1. HAMAMATSU “Measuring silicon photodiodes with preamplifier and TE-cooler”

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

МНОЖЕСТВЕНА РЕГРЕСИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО НА НЯКОИ ФАКТОРИ ВЪРХУ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКАТА ОСЦИЛАЦИЯ

Цветелина Величкова

Институт за изследване на климата, атмосферата и водите – Българска академия на науките
e-mail: tsvetelinavelichkova@abv.bg

Ключови думи: *Множествена регресия, Северо-Атлантическа осцилация, статистика*

Резюме: *Целта на настоящия доклад е да се оцени влиянието на някои фактори (озонът в двата центъра на действие на Северо-Атлантическата осцилация (NAO), въглеродният диоксид, броят слънчеви петна и вековите вариации на интензитета на геомагнитното поле) върху изменчивостта на NAO модата. Оценката е направена с помощта на множествената регресия. Анализът показа, че съществен принос в климатичните промени на Северноатлантическия регион в разглеждания период 1900 – 2019 г. имат озонът в ниската стратосфера и земното магнитно поле в Рейкявик и Понта Делгада.*

AN ESTIMATION OF SOME FACTORS INFLUENCING NORTH ATLANTIC OSCILLATION USING MULTIPLE REGRESSION

Tsvetelina Velichkova

Climate, atmosphere and water research institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: tsvetelinavelichkova@abv.bg

Keywords: *Multiple regression, North Atlantic Oscillation, statistics*

Abstract: *The purpose of this article is to estimate the influence of some factors (ozone in the two action centers of the North Atlantic Oscillation (NAO), the carbon dioxide, the number of sunspots and the centennial variations of geomagnetic field intensity) on the variability of the NAO mode. The evaluation was made using a multiple regression. The analysis showed that the significant contributions to climate change of the North Atlantic region, for the studied period 1900 – 2019, are the lower stratospheric ozone and geomagnetic field in Reykjavik and Ponta Delgada.*

Въведение

Основната цел на множествената регресия е да се състави модел, с който да се анализира влиянието на две или повече независими променливи върху една зависима променлива. Този метод позволява да се оцени както индивидуалното, така и общото влияние на тези фактори.

Функцията изразяваща връзката между X_i (независимите променливи) и Y (зависимата величина) се представя със следното уравнение:

(1) $$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 \dots b_nx_n + \varepsilon$$

тук *a* е свободният член на функцията, $b_1, b_2, \dots b_n$ се наричат регресионни коефициенти и показват връзката между *Y* и този *X*, пред който се намира съответният коефициент, ε е случайната грешка.

Независимите променливи, включени в модела, трябва да отговарят на следните изисквания:

1. Те трябва да са количествено измерими. Ако е наложително в модела да се включва качествен факторен показател, трябва да му се придаде количествено измерване, т.е. той трябва да се квантифицира.

2. Факторите да не са корелирани помежду си, т.е. да не са обвързани помежду си с функционална зависимост.

Неизпълнението на 2-то условие поражда проблема за колинеарност или мултиколинеарност на независимите променливи (в дясната страна на регресионното уравнение). Това води до завишаване оценките на дисперсиите (общата: $\sum(y-\bar{y})^2$; факторната: $\sum(\hat{y}-\bar{y})^2$ и остатъчната: $\sum(y-\hat{y})^2$), влошавайки параметрите на модела. Заключенията, относно влиянието на факторните променливи върху резултативния показател на модела, стават ненадеждни или некоректни. Проблемът мултиколинеарност води и до силна неустойчивост на оценките и грешките на модела (дори при несъществени изменения в изходните данни), до затруднения при определянето на самостоятелното влияние на отделните фактори и пр.

Адекватността на многофакторния регресионен модел се оценява посредством регресионния коефициент R (виж формула (2) и обясненията към нея), а също така и чрез F-критерия на Фишер, дефиниран с уравнението (3):

(2) $$\boldsymbol{R} = \sqrt{\left(\frac{\sum(\boldsymbol{Y_i}-\overline{\boldsymbol{Y}})^2-\sum(\boldsymbol{Y_i}-\widehat{\boldsymbol{Y_i}})^2}{\sum(\boldsymbol{Y_i}-\overline{\boldsymbol{Y}})^2}\right)}$$

Първият член в числителя на формула 2, както и знаменателят, означават пълната изменчивост на зависимата променлива Y, а вторият член в числителя – моделната грешка. Поради тази причина, регресионният коефициент винаги е положително число. Този критерий дава оценка на адекватността на модела дори и в случаите, когато зависимата променлива не е „нормално“ разпределена.

Прието е, че квадратът на регресионния коефициент R^2, умножен на 100, отразява процента на изменчивост на моделираната променлива, който регресионният модел е в състояние да опише.

(3) $$F = \frac{\frac{\sum(\hat{y}-\bar{y})^2}{m}}{\frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n-m-1}} = \frac{\sum(\hat{y}-\bar{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2}\cdot\frac{(n-m-1)}{m}$$

където числителят в (3) описва дисперсията на модела, а знаменателят – дисперсията на изходните данни; ***m*** са степените на свобода на многофакторния регресионен модел, а *n-m-1* са степените на свобода на остатъчната дисперсия.

Освен *общия* F-критерий, могат да се изчисляват и *частни* F-критерии, с които се оценява значимостта на всеки, включен в модела, фактор. Формулата за изчисляване на *частния* F-критерий, записана за фактора x_i има вида:

(4) $$F_{x_i} = \frac{R^2_{yx_1\ldots x_i\ldots x_m}-R^2_{yx_1\ldots x_{i-1}\,x_{i+1}\ldots x_m}}{1-R^2_{yx_1\ldots x_i\ldots x_m}}\cdot\frac{n-m-1}{1}$$

където $R^2_{x_1\ldots x_i\ldots x_m}$ е коефициентът на детерминираност на модела с включване на всички фактори; $R^2_{x_1\ldots x_{i-1}\,x_{i+1}\ldots x_m}$ е коефициентът на детерминираност на модела с изключен фактора x_i; *n* е броят на изходните данни използвани при статистическото моделиране, *m* – броят на независимите фактори включени в модела.

В следващите параграфи ще покажем резултатите получени с използването на множествената регресия.

Данни

Настоящото изследване включва анализ на сезонните данни за относителното съдържание на O_3 на 70 hPa за, взети от реанализа ERA 20 век, за месеците декември – март, за периода 1900-2019 г. Данните са взети в точките с приблизителните координати на Рейкявик, Исландия (60°с.ш.; 20° з.д.) и Понта Делгада, Азорските острови (40°с.ш.; 30°з.д) и са изгладени по 11 години. За анализа на въглеродния диоксид (CO_2) взехме неговите средно годишни стойности от обсерваторията Мауна Лоа в Хавай, както и исторически записи, получени от сондажни ядки на ледници в Антарктида. В изследването използвахме средно-годишни данни за броя на слънчевите петна (SSN) за периода 1900 – 2020г., които взехме от WDC-SILCO,

Кралската обсерватория на Белгия в Брюксел. Редът беше изгладен с 11- и 22- годишно плъзгащо се осредняване. Годишните данни за вековите изменения на геомагнитното поле (F_c) взехме от International Geomagnetic Reference Field model, взети отново за двете станции, определящи NAO индекса. 5-годишно плъзгащо се осредняване беше използвано за изглаждане на двата времеви реда на магнитното поле.

Месечните данни за атмосферния индекс NAO – определян като разликата в баричното налягане над Азорските острови и Исландия - взехме от Climatic Research Unit, University of East Anglia (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/). За анализа използвахме средно месечно на индекса за декември – март в периода 1900 – 2021 г. Редът беше изгладен по 22 години, тъй като ни интересува дългопериодичната изменчивост на модата.

За да извършим оценката на влиянието на променливите върху NAO модата ще използваме многофакторната линейна техника, заложена в статистическия пакет STATISTICA 8.

Резултати

Изследваните независими променливи за периода 1900–2019 г. са: озона (O_3) на 70 hPa; въглеродния диоксид (CO_2); вековите вариации на земно магнитно поле (F_c); броя на слънчевите петна (SSN). Атмосферният NAO индекс е избран за зависима променлива.

Широка практика в научните изследвания е създаването на многофакторни регресионни модели, в които приноса на всеки от потенциалните фактори влияещи върху изменчивостта на анализираната променлива се определя вътрешно в модела като парциален регресионен коефициент. Общата формула за изчисляването на частичните корелационни (парциални) коефициенти е следната [2]:

(5)
$$r_{yx_i.x_1x_2\dots x_m} = \frac{r_{yx_i.x_2\dots x_{m-1}} - r_{yx_m.x_1x_2\dots x_{m-1}} \cdot r_{x_ix_m.x_1x_2\dots x_{m-1}}}{\sqrt{\left(1-r^2_{yx_m.x_1x_2\dots x_{m-1}}\right).\left(1-r^2_{x_ix_m.x_1x_2\dots x_{m-1}}\right)}}$$

където:

$r_{yx_i.x_1x_2\dots x_m}$ е частичният корелационен коефициент, измерващ зависимостта между y и x_i при изключване на влиянието на $x_1, x_2 \dots x_m$;

$r_{yx_m.x_1x_2\dots x_{m-1}}$ е частичният корелационен коефициент, измерващ зависимостта между y и x_m при изключване на влиянието на $x_1, x_2 \dots x_m$;

$r_{x_ix_m.x_1x_2\dots x_{m-1}}$ е частичният корелационен коефициент, измерващ зависимостта между x_i и x_m при изключване на влиянието на y;

Частичните корелационни коефициенти, обаче, нямат самостоятелно значение. Най-често те се използват в етапа на формулирането на модела за изключването на факторите с несъществено влияние върху зависимата променлива.

Като илюстрация на възможностите на многофакторния регресионен анализ уточнихме регресионните коефициенти на уравнението:

(6)
$$NAO_{22} = a_0 + a_1.smtO_{3R} + a_2.CO_2 + a_3.smtF_{c_R} + a_4.SSN_{22}$$

отчитащо съвместното влияние на четири фактора върху променливата NAO_{22}. С $smtO_{3R}$ сме означили изгладените по 11 точки зимни стойности на озона за Рейкявик; CO_2 - редът с годишните стойности на въглеродния диоксид; $smtF_{cR}$ са вековите вариации на геомагнитното поле за Рейкявик, изгладени по 5 точки, а SSN_{22} – годишните стойности на броя на слънчевите петна, изгладени с 22-точков прозорец. Резултатите са представени в Таблица 1.

Статистически значимият коефициент на множествената регресия има стойност R=0,94, а справката с коефициента на детерминираност (R^2) показва, че моделът е в състояние да обясни 88% от пълната изменчивост на NAO индекса в изследвания период 1900–2019 г. Всички корелационни параметри са статистически значими, освен този на броя на слънчевите петна SSN.

Таблица 1. Оценка на свързаността между факторните променливи, участващи в множествения регресионен модел за Рейкявик

Redundancy of Independent Variables; Dependent Variabe: 22year smt. of winter NAO R-square column contains R-square of respective variable with all other independent variables				
	Toleran.	**R-square**	**Partial - Cor.**	**Semipart - Cor.**
11 yr. smt. wintO_3 for Reykjavik	0,591942	0,408058	0,756524	0,388547
ann. CO_2	0,503705	0,496295	0,240220	0,083117
5 year smt. F_c for Reykjavik	0,357673	0,642327	-0,828738	-0,497378
22 yr. avr. of tot. SSN	0,408040	0,591960	0,081046	0,027311

Анализът на регресионните коефициенти между факторните променливи, както и коефициента им на толеранс (представени в Таблица 1) показва добра независимост между тях. Освен това, анализът на парциалните и полу-парциалните регресионни коефициенти показва, че те „обясняват“ един добър процент от изменчивостта на Северо-Атлантическата осцилация. Магнитното поле и озонът са факторите с най-голям дял в изменчивостта на индекса в изследвания период.

Експериментът с множествената регресия бе повторен и за втория активен център на NAO индекса – Понта Делгада. Регресионното уравнение има вида:

(7) $$NAO_{22} = a_0 + a_1.smtO_{3PD} + a_2.CO_2 + a_3.smtF_{c_{PD}} + a_4.SSN_{22}$$

където $smtO_{3PD}$ е зимният озон за Понта Делгада, изгладен по 11 години; CO_2 - годишните стойности на въглеродния диоксид; $smtF_{cPD}$ – 5-годишните изгладени векови вариации на геомагнитното поле за Понта Делгада, а SSN_{22} – годишните стойности на броя на слънчевите петна, изгладени по 22 години. Резултатите са обобщени в Таблица 2.

Таблица 2. Оценка на свързаността между факторните променливи, участващи в множествения регресионен модел за Понта Делгада. Стойностите в червен цвят показват, че са статистически значими.

Redundancy of Independent Variables; Dependent Variabe: 22year smt. of winter NAO R-square column contains R-square of respective variable with all other independent variables				
	Toleran.	**R-square**	**Partial - Cor.**	**Semipart - Cor.**
11 yr. smt. wintO_3 for Ponta Delgada	0,411241	0,588759	-0,644504	-0,367851
ann. CO_2	0,660069	0,339931	0,260467	0,117730
5 year smt. F_c for Ponta Delgada	0,353478	0,646522	-0,498706	-0,251085
22 yr. avr. of tot. SSN	0,435633	0,564367	0,001219	0,000532

Линейният множествен регресионен коефициент е R=0,90. Моделът обяснява 81% от пълната изменчивост на NAO модата за периода 1900 – 2019 г. Корелационните параметри на три от факторите, участващи в моделното уравнение, са статистически значими. Коефициентът на SSN отново е статистически незначим. Ако броят на слънчевите петна бъде изключен от регресионното уравнение, то регресионният коефициент си запазва стойността, тоест в този случай SSN не играе роля в крайния резултат. Коефициентът на толеранс и регресионните коефициенти между факторните променливи демонстрират добра независимост между тях, както и техните парциални и полу-парциални коефициенти. Както и за северния активен център на модата – Рейкявик, така и за Понта Делгада, най-голям принос имат озона и магнитното поле.

Заключение

Този експеримент с използването на множествената линейна регресия показва, че подбирането на факторните променливи в регресионното уравнение трябва да става много внимателно, с отчитането на потенциалните зависимости между тях. Ако такава предварителна информация не съществува, то използването на разнообразни методи за определянето на адекватността на регресионния модел е абсолютно наложителна.

Благодарности

Авторът изказва благодарност на Фонд Научни изследвания - договор № КП-06-М54/1 от 15.11.2021, с чиято помощ бе осъществено изследването.

Литература:

1. Usoskin, I. G., Mursula, K., Solanki, S. K., Schuessler, M., Kovaltsov, G. A., 2002, A physical reconstruction of cosmic ray intensity since 1610, J. Geophys. Res., 107(A11), doi:10.1029/2002JA009343.
2. Петков, П. Иконометрия с Gretl и Exel, изд. Стопанска Академия « Д.А. Ценов», Свищов, 2010, ISBN 979-954-23-0452-4, 474 стр.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ВЛИЯНИЕ НА ВОДАТА КАТО ЕКОЛОГИЧЕН ФАКТОР ВЪРХУ СЪСТОЯНИЕТО НА ЧОВЕКА В РОДОПИТЕ

Геннадий Маклаков[1], Надежда Георгиева[1], Момчил Караиванов[2]

[1]Научно-изследователски център за биофотоника – Смолян, България
[2]Областна администрация Смолян
e-mail: gmaklakov@mail.bg; https://biophoton-research.eu

Ключови думи: *екология, вода, природни източници, рехабилитация, психическо състояние, биофотоника.*

Резюме: *Представени са резултати от проучвания за влиянието на водата в различни точки на Смолянска област върху психофизиологичното състояние на човека. Разгледано е влиянието на водата от природни източници като екологичен фактор, имащ значение за психофизиологичното състояние. За изучаване въздействието на водата върху състоянието на човека е използван методът на биофотонната визуализация. Направени препоръки могат да бъдат използвани за профилактика и възстановяване психическото състояние в условия на глобалната нестабилност.*

INFLUENCE OF WATER AS AN ENVIRONMENTAL FACTOR ON HUMAN CONDITION IN RHODOPI

Gennadii Maklakov[1], Nadejda Georgieva[1], Momchil Karaivanov[2]

[1]Biophotonics Research Center – Smolyan, Bulgaria
[2]Regional administration of Smolyan
e-mail: gmaklakov@mail.bg; https://biophoton-research.eu

Keywords: *ecology, water, natural resources, rehabilitation, mental state, biophotonics.*

Abstract: *The results of studies on the influence of water in different points of the Smolyan region on the psychophysiological state of man are presented. The influence of water from natural sources as an environmental factor relevant to the psychophysiological state is examined. To study the impact of water on the human condition, the method of biophoton visualization was used. Made recommendations can be used for prevention and restoration of the mental state in conditions of global instability.*

Въведение

Проучванията на рекреационни зони в Родопите, представени в тази статия, продължават цикъла изследвания на околната среда и влиянието й върху човека, публикувани в материалите на межнародната научна конференцията "Космос. Екология. Сигурност" през 2016-2021 година [1-6]. Особеност на нашия подход е, че рехабилитационните свойства на околната среда се разглеждат от гледна точка на възможностите те да бъдат използвани за профилактика и възстановяване психическото състояние на човека в съвременни условия. Глобалната нестабилност задълбочава кризата от продължаващата все още пандемия от коронавируса. Изследванията в различни страни сочат изключително високи нива на: тревожност, депресия, посттравматично стресово разстройство, психически дистрес, стрес. В екстремни ситуации като сегашната, психиката е подложена на силно натоварване и са възможни психически нарушения. Влошава се здравето като цяло, намалява

работоспособността, снижава се ефективността на приеманите решения в критично важни отрасли на промишлеността и въобще на местата, където се вземат важни решения.

Търсейки изход от задълбочаващите се проблеми на човешкото здраве, възстановителната медицина в световен мащаб сочи като особено актуално използването на естествените фактори на околната среда за физиотерапия и профилактика. В светлината на тази тенденция разглеждаме влиянието на водата от природни източници като екологичен фактор, имащ значение за психофизиологичното състояние на човека. Нашите проучвания по темата обхващат няколко района в България, но тук анализираме само характеристиката на водата в различни точки на Смолянска област.

Методология на изследванията

Изхождаме от тезата, че водата е най-важното химическо съединение, което определя възможността за живот на Земята като цяло и по-специално за човека. Както е известно, тя е около 70% от телесната маса, необходима е за съществуването на всички живи същества. Поради това съвременните научни изследвания отделят много внимание на качеството на водата, тъй като въздействието му върху човешкия организъм е неоспоримо. Новост в тази област е, че се прави анализ не само на физико-химичните, но и на така наречените биоенергийни информационни характеристики на водата. Постиженията на теоретичната и експерименталната физика доказват, че свойствата на водата и влиянието й върху живите организми са зависими от нейните структурни особености. Много интересен е и фактът, че от гледна точка на квантовата електродинамика биологичните свойства на водата в макро и нано мащабите имат фундаментална разлика. Без съмнение подобни констатации ни карат да се замислим за цялата тази сложна картина, която характеризира водата и която все още се допълва – при положение, че водата е основата на живота на Земята.

Нашите изследвания за влиянието на екологията, в това число и на водата, върху човека, бяха направени през 2016–2019 г. в Института по космически изследвания и технологии при БАН и продължени през 2020 г. в Научно-изследователския център по биофотоника. За регистриране параметрите на хомеостазата и адаптационните ресурси на човека като особено ефективен метод избрахме биофотонната визуализация, известна още като метод газоразрядна визуализация (ГРВ). Този метод осигурява бързи биологични характеристики на проба от течнофазен обект. Методът ГРВ притежава висока селективност и чувствителност при изучаването не само на различни видове вода, но и на всякакви течни обекти (растителни и животински масла, петрол, козметични продукти и т.н.).

Принципът на биофотонната визуализация и особеностите й в използването при изследване на околната среда са описани достатъчно подробно в наши публикации [2–6], обсъждани са в рамките на межнародната научна конференцията "Космос. Екология. Сигурност" и няма да бъдат цитирани тук. С няколко думи същността на този принцип е: оценяват се параметрите на околната среда посредством специални оптоелектронни сензори, а влиянието на околната среда върху човека – чрез компютърен анализ на изображение на пръстите на ръцете, заснето във високочестотно поле (ГРВ грами). Нашите изследвания са основани на следните принципи:

а) оценяване параметрите на околната среда чрез регистрирането им с ГРВ грами, получени с оптоелектронен сензор;

б) оценяване влиянието на околната среда върху човека чрез регистриране на ГРВ грами на пръстите на ръката и на тази основа изчисляване параметрите на хомеостазата на организма.

Най-информативни параметри на ГРВ грамите за изследване на околната среда са следните показатели [1–7]: обща площ на изображението (S); средна яркост на изображението (I_{av}); коефициенти на формата (K_f), на фракталността (K_{fr}) и на ентропията (K_{en}). За по-голямо удобство при анализа се използва опростен термин биоенергия на околната среда (W_{enb}) – обощаващ показател, който характеризира въздействието на всички фактори върху човешкия организъм. В общия случай $W_{enb} = F(S, I_{av}, K_f, K_{fr}, K_{en})$. Колкото показателят W_{enb} е по-висок, толкова по-благотворно е влиянието на околната среда върху човека.

Сравнението на влиянието на екологията в различни места на Смолянска област със София (ЖК „П. Яворов”) - еталонен (реперен) обект, се осъществява в петмерно пространство (S, I_{av}, K_f, K_{fr}, K_{en}) чрез оценяване отклонението на изследвания обект от реперния (по разстоянието между реперната и изследваната точка).

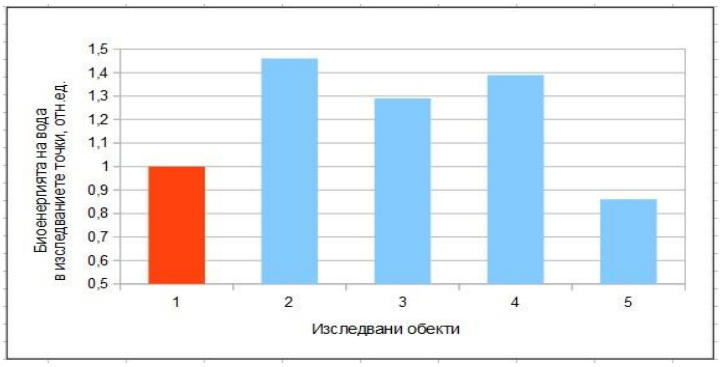
За да се осигури достоверност на измерванията, се използват статистически критерий на Стюдънт, критерий на Ман-Уитни, критерий на Валд-Волфовиц, критерий на Колмогоров-Смирнов и др.

Проучванията се извършват с многофункционален апаратно-програмен комплекс „ГРВ компакт ЕКО” на фирма «Kirlioniks Technologies International» при използването на специални сензори, разработени за мониторинг на околната среда и влиянието на нейните фактори върху човека.

Анализ на резултатите от изследванията

Изследвана беше биоенергията на водата в следните обекти: Чепеларе (хотел „Шоки”, Сивковска река, Янчовска река, чешма при параклис „Св. Мина”); с. Гела (вода от водопровода в различни стаи на хотел „Гела”, чешма в м. Илинденски поляни); Смолянски езера (Тревистото езеро, чешма в хотел „Oak Residence”); гр. Девин (хотелски комплекс „Исмена”, вода от извор Беденски бани); с. Полковник Серафимово (вила ”Кати”).

На Фиг. 1 са представени някои резултати от изследванията. За удобство на сравнението на всички диаграми, свързани с анализа на биоенергията на водата, са представени измервания на вода от водопровода в София (ЖК „П. Яворов”).

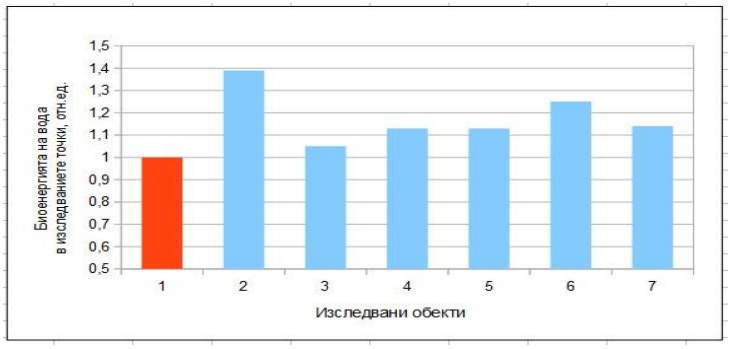


Фиг. 1. Биоенергия на водата от чешми в изследваните точки в региона: 1 - София, 2 - с. Гела (м. Илинденски поляни), 3 - гр. Девин (хотелски комплекс „Исмена”, двор, вода от извор Беденски бани), 4 - м. Смолянски езера (чешма близо до Тревистото езеро), 5 - гр. Чепеларе (чешма при параклис „Св. Мина”).

Както може да се види от диаграмата, по-високи стойности на биоенергията има водата от чешми: в Илинденски поляни (с. Гела) тя е с 46% повече, отколкото в София; чешма, близо до Тревисто езеро (м. Смолянски езера) - с 39% повече в сравнение със София; вода от извор Беденски бани, в двора на хотелски комплекс "Исмена" (гр. Девин) - с 29% повече, отколкото в София. Трябва да се отбележи, че водата от извора Беденски бани, въпреки че има сравнително по-ниска стойност от другите чешми, се използва за балнеолечение и профилактика. Водата от извора има високо съдържание на метасицилиева киселина, която много благотворно въздейства на човека, в частност приводейства на процеса на стареенето. Фактът, че тя има висока стойност на биоенергията, засилва нейния ефект върху хората.

Представлява голям практически интерес измерването на биоенергията на водата от чешми в помещения. На Фиг. 2 са представени някои резултати от изследванията.

Максимална стойност на биоенергията на водата от водопровод е измерена в ресторант „Гела” (с. Гела) - с 39% по-висока отколкото в София. Интересното е, че в стаите на хотела биоенергийните стойности за водата са по-ниски, например в стая 309 - с 13% по-високи отколкото в София, а в стая 310 само с 5% по-високи от биоенергийната стойност на водата в София. Това разпределение на биоенергията на водата добре корелира с проявлението на биоенергията на пространството. Измерванията показаха, че в стаи на хотел „Гела”, разположени съседно, биоенергията се различава примерно със 7%, което по различен начин въздейства на хората, живеещи в тях и на техните адаптационни възможности. В някои случаи може да се наблюдава възбудено емоционално състояние, включително до безсъние, което съвпада с наблюденията на собственика на хотела.

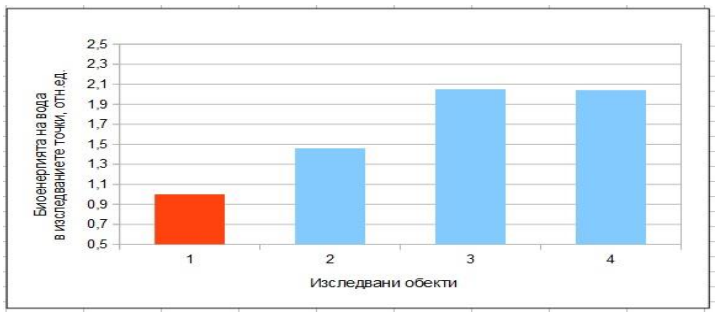


Фиг. 2. Биоенергия на водата от чешми в помещения в някои от изследваните точки :
1 - София , 2 - с. Гела (хотел „Гела", ресторант в хотела), 3 - с. Гела (хотел „Гела", стая 10), 4 - гр. Девин (хотелски комплекс „Исмена", стая. 309), 5 - с. Полковник Серафимово (вила „Кати"), 6 - м. Смолянски езера (хотел „Oak Residence"), 7 - гр. Чепеларе (хотел „Шоки").

Трябва да се отбележи високата стойност на биоенергията на водата в ресторанта на хотел „Oak Residence" (м. Смолянски езера), която е с 25% по-висока отколкото в София. Тук е възможно да се отразява биоенергията на близкото Тревисто езеро. Този въпрос изисква допълнително проучване

Цифровата обработка на биоенергийните показатели на водата от чешма извън или вътре в помещение потвърждава всеизвестния факт, че водата от чешмата у дома губи при протичането през тръбите много от свойствата си и активността й намалява в сравнение с водата от извор или река. Само в Смолянски район водата в помещенията в някои случаи запазва високата си биоенергия.

Интересни са резултатите от изследването на водата, получени в Чепеларе. Биоенергията на водата в хотел "Шоки", е относително слаба, въпреки че надвишава биоенергията на водата от водопровода в София с 14%. Анормално високи стойности са регистрирани в м. Сивковска река и м. Янчовска река. Резултатите от изследванията са представени на Фиг. 3.



Фиг. 3. Биоенергия на водата в гр. Чепеларе в изследваните точки:
1 - София, 2 - с. Гела (чешма в м.Илинденски поляни), 3 - гр. Чепеларе (м. Сивковска река), 4 - гр. Чепеларе (м. Янчовска река)

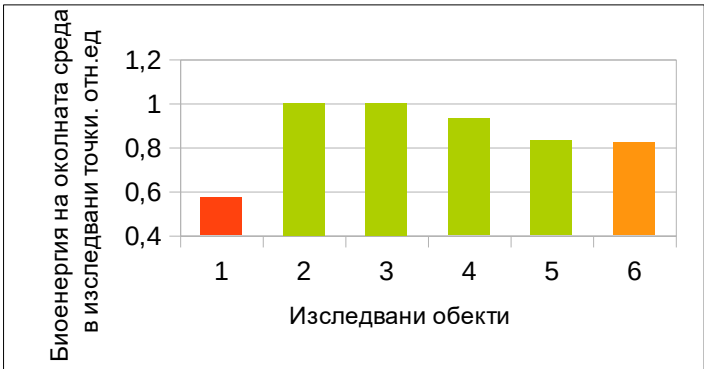
Водата от чешмите в тези места повече от два пъти (!) превишава биоенергията на водата в София, а биоенергията на чешмата на Илинденски поляни - с около 60% (село Гела). Може би влияе фактът, че измерванията са извършени по време на силен дъжд. За съжаление, поради лошо време, беше възможно да се направи само една серия от измервания. Във всеки случай, изучаването на това явление заслужава най-голямо внимание.

Представляват интерес особеностите на екологичната обстановка в м. Смолянски езера. Това е уникално място с много водни площи. Наличието им създава специфично екологично пространство. Затова ние проведохме разширени изследвания по метода биофотоника и измервахме допълнително параметри, които характеризират всички фактори, въздействащи върху човешкия организъм.

Най-голяма стойност на биоенергията при проучванията е регистрирана в м. Голямата ливада, в района на хотел «Oak Residence» и езеро Лагера (разликата в стойностите е

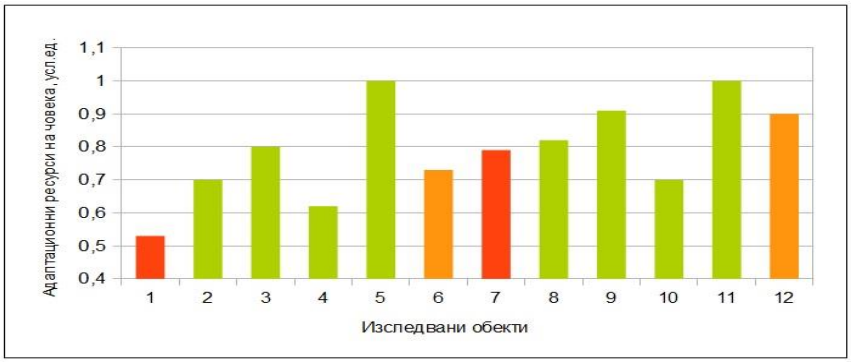
по-малко от процент). За удобство на сравнението стойността на биоенергията на средата в тези места е приета за 100%. Също за удобство на сравнението на всички диаграми, свързани с анализа на биоенергията на околната среда, са представени резултати от измервания в Стара планина (близо до Шипковски бани) и в София (ЖК „П. Яворов”).

На Фиг. 4 са представени някои резултати от изследванията.



Фиг. 4. Биоенергия на околната среда в изследваните точки:1 - София; м. Смолянски езера, 2 - езеро Лагера; 3 - Голямата ливада, в района на хотел «Oak Residence»; 4 - Мътното езеро, 5 - Тревистото езеро, 6 - Стара планина (близо до Шипковски бани).

На Фиг. 5 са представени изследванията на адаптационните ресурси, типични за мъже на възраст 70–75 години (т. 1 - 6) и за жени на възраст 70–73 години (т. 7 - 12).



Фиг. 5. Адаптационни ресурси на човека (мъже: 1-6, жени, 7-12) в изследваните точки: 1,7 - София; м. Смолянски езера , 2,8 - езеро Лагера; 3,9 – Голямата ливада, в района на хотел «Oak Residence»; 4,10 - Мътното езеро, 5,11 - Тревистото езеро, 6,12 - Стара планина (близо до Шипковски бани).

Най-добри резултати при мъжете са регистрирани на Голямата ливада, в района на хотел «Oak Residence». За удобство на сравнението тази стойност е приета за 100%. Също за удобство на сравнението са представени измервания в Каньона на водопадите (Орфеев водопад), Стара планина (близо до Шипковски бани) и в София (ЖК „П. Яворов”). Най-голяма за жените стойност на адпатационните ресурси е регистрирана на Тревистото езеро. За удобство на сравнението величината е приета за 100%. Също за удобство на сравнението са представени измервания в Каньона на водопадите (Орфеев водопад), Стара Планина (близо до Шипковски бани) и в София (ЖК „П. Яворов”).

Следва да се подчертае, че значението на регистрираните при проучванията показатели, които представяме тук, могат да се отличават в зависимост от мястото на измерване, както в конкретни сгради, така и в конкретно място около реките. При това голяма роля играе наличието на параклиси или други култови съоръжения в близост до точката на изследване. Следва също да се отбележи, че това е предварителен анализ и в този случай не са отчетени други важни показатели на водата като ентропия и фракталност.

Заключение

Проучванията върху екологията на рекреационни зони в Родопите и въздействието им върху психосоматиката на човека показват, че мястото предлага уникални възможности за рехабилитация на психо-физическото състояние. Огромна роля за този процес имат естествените водни източници. Това вероятно е добре известно на местното население, тъй като в Родопите има нещо като култ към изграждането на чешми по пътищата и в планината.

Родопите е изключително подходящ район за възстановяване на психоемоционалното състояние на хора, заети в критични производства, изискващи от тях стабилна психика (авиация, космонавтика, оператори в АЕЦ и т.н.). Използването на природните фактори за възстановяване на здравето би довело до осезателно подобряване на работоспособността и увеличаване на творческия потенциал. Ще напомним, че стабилизирането на психическото състояние е изключително важно - особено в настоящия момент - в условията на глобална нестабилност, при нестабилна политическа и икономическа обстановка.

Посещенията в планинските зони са подходящи за възрастни хора и хора с недобро здравословно състояние, тъй като предлагат принос за повишаване на имунитета им, за противодействие на появата на сериозни заболявания.

Природотерапията, съчетана с пиенето на вода от естествени водни източници, е все още недобре оползотворена. Смятаме, че тя ще се развива в бъдеще. За нейното прилагане обаче е важно природните зони да се оценят обективно, за да се използват най-благоприятните от тях за рехабилитация и организиране на лечебно-възстановителни процедури. Именно за мониторинг на рекреационни зони в Родопите наред с класическите биофотонни методи за оценяване на психофизическото състояние в нашите проучвания са използвани и специално разработени методи.

Благодарности

Изказваме голяма благодарност на инициатора и организатора на проучванията - зам.-кмета на гр. Смолян Марин Захариев, благодарение на чиято подкрепа стана възможно да се проведат тези изследвания. Особено искаме да отбележим сътрудничеството на г-н Рубин Хаджиев и г-н Петьо Николов.

Литература:

1. Маклаков, Г., Георгиева Н. Концепция за използване на изкуствен интелект за анализ на въздействието на околната среда върху човека. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2021”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2021. С. 9–20.
2. Маклаков, Г., Георгиева Н., Караиванов М. Приложение на биофотонната визуализация за мониторинг на рекреационни зони в Родопите и въздействието им върху психосоматиката на човека. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020. С. 298–303.
3. Маклаков, Г., Караиванов М. Изследване на биоенергийни зони в Родопите по метода биоелектрография. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурноси “SES-2019”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2019. С. 287–292.
4. Маклаков, Г. , Георгиева Н., Малев Е. Изследване на перспективни рекреационни зони в България за рехабилитация и профилактика чрез хронофизиотерапия на работещи в аерокосмическия отрасъл. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурноси “SES-2018”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2018. С. 335–340.
5. Маклаков, Г., Георгиева Н. Приложение на метода газоразрядна визуализация за изследване на перспективни рекреационни зони в Крушунския край (България). // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурноси “SES-2017”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2017. С. 255–261.
6. Маклаков, Г., Георгиева Н. Възможности за използване на ГРВ технологията за мониторинг на околната среда. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност. “SES-2016”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2016. С. 327–334.
7. Коротков, К. Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб, Изд. СПбГИТМО, 2001.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ЗАПЛАХИ ПРЕД КИБЕРУСТОЙЧИВОСТТА НА САТЕЛИТНИЯ СЕКТОР

Димитър Димитров, Димитър Николов

ВВМУ 'Н. Й. Вапцаров'
e-mail: dimitar@gmx.us; d.nikolov@nvna.eu

Ключови думи: *сателитен сектор, кибер атаки, квантови атаки, етични хакери*

Резюме: *В статията е разгледано значението на сателитния сектор в съвременния свят, секторите, в които се използват, и ползите от тях. Представени са някои от слабостите в киберсигурността на спътниците и техните принципи на комуникация. Направен е преглед на някои от кибер атаките в този сектор и техните последици. Акцентирано е на заплахите от квантови атаки и техните възможности. Описани са специални събития, насочени към етичните хакери, с цел откриване на нови слабости и подобряване на киберустойчивостта на спътниковия сектор.*

THREATS TO THE CYBER RESILIENCE OF THE SATELLITE SECTOR

Dimitar Dimitrov, Dimitar Nikolov

Nikola Vaptsarov Naval Academy
e-mail:dimitar@gmx.us; d.nikolov@nvna.eu

Keywords: *satellite sector, cyber attacks, quantum attacks, ethical hackers*

Abstract: *The paper discusses the importance of the satellite sector in the modern world, the sectors in which they are used and their benefits. Some of the cybersecurity weaknesses of satellites and their communication principles are presented. Some of the cyber attacks in this sector and their consequences are reviewed. Threats from quantum attacks and their capabilities are highlighted. Special events targeting ethical hackers are described with the aim of identifying new vulnerabilities and improving the cyber resilience of the satellite sector.*

Сателитният сектор и хакерите

Само шест десетилетия след изстрелването на първия изкуствен спътник тази технология вече доминира като основен метод за комуникация, навигация и свързаност. Благодарение на спътниковия сектор човечеството осъществи свързаност, каквато никога досега не е имало. В началото на експедициите до Антарктида никой не е предполагал, че ще може да комуникира в реално време от една точка на света до друга. Днес това е възможно благодарение на спътниковата комуникация. Геостационарните спътници помагат на транспортната индустрия да се движи и да бъде толкова ефективна, колкото е сега. Милитаризацията на спътниците естествено е била една от основните цели при тяхното създаване. Днес те служат на всички разузнавателни служби с многофункционални задачи. При тази зависимост от тях обаче ние оставаме уязвими в тяхно отсъствие. Новите оръжия са пряко зависими от използването на спътници за насочване и локализиране. Ето защо спътниковият и космическият сектор са критични инфраструктури за нацията.

Както всяка критична инфраструктура, спътниковият и космическият сектор също представляват интерес за злонамерени хакери. Използването на подходящи тактически кибератаки може да обезсили защитните му реакции по време на военен конфликт. Пример за това е войната в Украйна. В координация с началото на войната в ранните часове на 24 февруари руска APT група извърши атака срещу интернет доставчика KA-SAT, част от Viasat. Нападението срещу сателита KA-SAT е наземно. Атаката е била осъществена със зловреден софтуер с кодово име AcidRain. Този зловреден софтуер се възползва от

неправилно конфигурирани мрежови устройства на доставчиците на интернет услуги. Това позволява да се презапише флаш паметта на модеми и маршрутизатори, така че те да станат неизползваеми. Засегнати са десетки хиляди устройства, а интернет свързаността в голяма част от страната е силно ограничена. Прекъсването на такъв важен метод за комуникация се отразява тежко както на населението, така и на военните части. В резултат на затрудненията на украинските военни да осъществяват надеждни комуникации, настъплението на руските военни сили набира скорост. Това доказва колко важна част от националната сигурност всъщност са сателитите. Става ясно, че в бъдещите военни операции държавите с развито информационно командване и разузнаване ще насочат настъпателната си тактика и към космическия и сателитния сектор.

Развитието на спонсорирани от държавата хакерски групи, лесният достъп до кибернетични оръжия и непроследимите криптовалути като средство за разплащане са само някои от причините за увеличаването на хакерските атаки на държавно ниво, инфраструктурата и високочувствителните агенции. Свързаността между злонамерените хакери предопределя високата им подготовка в областта на шпионажа, саботажа и офанзивните дейности.

Погледнато в глобален план, насочеността към сателитния и космическия сектор не е толкова висока, колкото към останалите, но е въпрос на време това да се промени. Експанзията на човека в космоса и неговата зависимост предразполагат към атаки, като например групи за изнудване. RaaS (Ransomware as a service) е генератор на стотици милиони долари годишно от жертвите на рансъмуер атаките. Тези атаки и методи имат за цел да криптират данните на жертвата, като за тях може да бъде поискан откуп, а за чувствителни организации той може да достигне няколко милиона. Тези цели се вписват добре в профила на бъдещите и някои от настоящите (Starlink, SpaceX) космически и сателитни сектори.

Квантовата комуникация – ползи и атаки

Квантовите комуникационни протоколи се считат за надежден начин за комуникация и пренос на данни. Това е така при условие, че всички входове в системата са напълно характеризирани и портовете (каналите за комуникация) са затворени. Въпреки това, компонентите на квантовата комуникация могат да бъдат променени. При третиране чрез лазерно лъчение могат да бъдат променени характеристиките на компонентите. Това води до уязвимости в квантовата комуникационна система. При такъв тип атака върху тези компоненти системата за разпределение на квантовите ключове (Quantum Key Distribution) биват компрометирани.

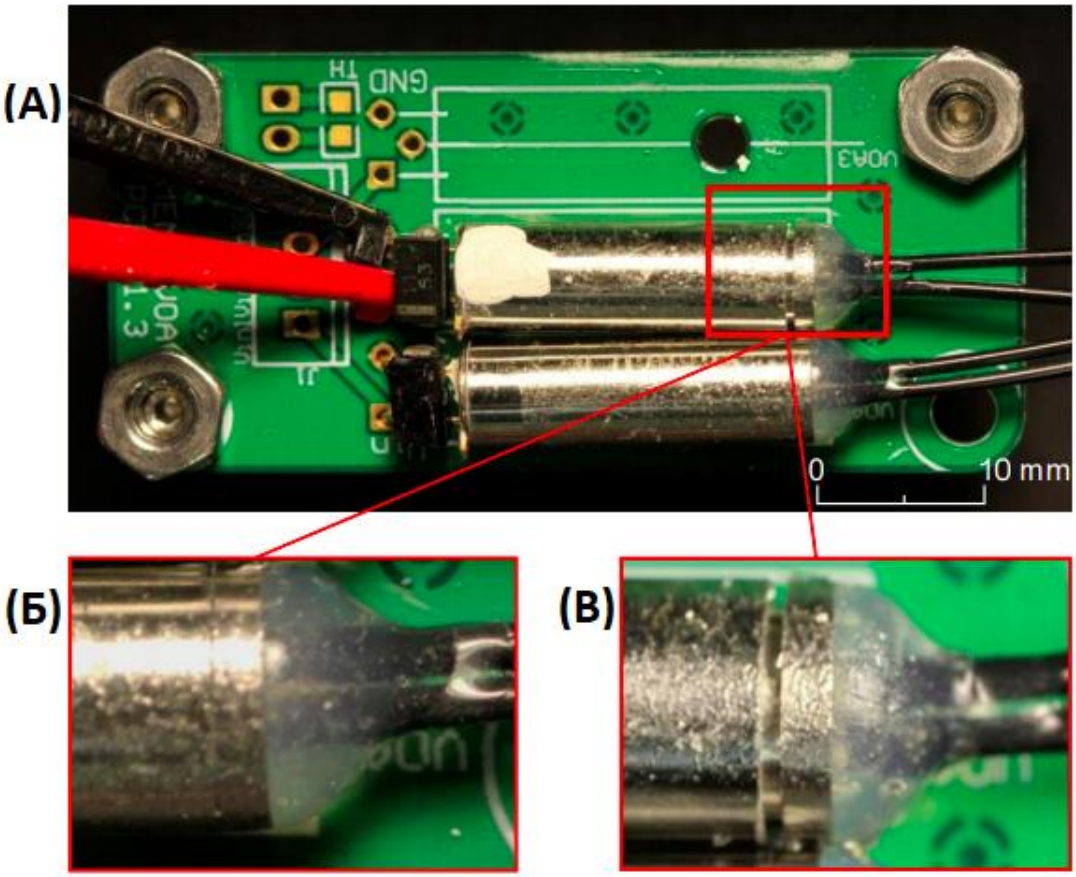
Целта на използването на QKD [1, 2] е да бъде премахната математическата част от уравненията за предаване и криптация на ключовете. Това се постига чрез използване на принципите на квантовата физика. Премахвайки „нормалните“ математически изчисления, премахваме и математическата бариера за разбиване. В следствие на това колкото и мощни компютри да бъдат използване за атака на грубата сила, резултатът няма да е положителен. Адаптирането към шум е друго положително качество на квантовата комуникация. Използвайки свойствата на квантовата механика, когато се пренася поток данни, и той попадне на някакъв шум, предизвикан от хакер или друг нарушител, ключовете се адаптират и променят. В резултат на това нападателите не могат да хакнат предаването, а неоторизирана страна няма да може да подслушва мрежата. Другият много важен плюс на квантовата криптография е, че ключа се изпраща под формата на фотони. Фотоните и светлината не могат да бъдат разбити или копирани.

Въпреки това, този метод крие рискове. Ако предаването на квантовите ключове не се изпълни по точно определен начин, те стават слаби към атаки чрез светлинно инжектиране [3]. При тези атаки към влакното на QKD се добавя допълнителна ярка светлина, която прониква вътрешността на защитените станции, за да отнесе битове от тайния ключ. Подобни слабости в предаването на квантовите ключове са в основата на редица атака. Такива атаки са атаките на фалшивите състояния, атаки с пренасочване на фазите и атаки с изместване на времето.

Атака тип DoS (Denial of Service) също е възможна. При тази атака се атакува стандартния път на обмен на ключовете с мощно лазерно излъчване, което може да варира между 316mW (25dBm) и 9W за период до 10 секунди. При успешно изпълнена атака се наблюдава промяна в затихване на усилвателя, което води до увреждане на устройството. На Фиг. 1. е демонстрирана такава атака.

На Фиг. 1 [4] се наблюдава физическото отделяне на капачката на усилвателя в резултат на атаката. Снимка (А) е общ изглед на елемента, фокус на атаката. Снимка (Б) е елемента преди атака. Снимка (В) е елемента след атака. Може да се забележи как капачката се е отделила и това предизвиква проблем във функционирането на усилвателния елемент. Атаката е предизвикала приблизително 26% увеличение на средния брой фотони в рамките на

квантовия канал при долната граница и спад с около 50% при горната. На този тип атаки, е базирано с голяма вероятност действието на руската лазерна система „Пересвет“, с чиято помощ наскоро бяха неутрализирани множество сателити Starlink.



Фиг. 1. DoS атака над усилвател на QKD[4]

Атаката се осъществява в следните стъпки:

1. OSINT и разузнаване за намиране на информация за производителя на компоненти на QKD за таргетирания сателит.
2. OSINT и разузнаване за намиране на образци от конкретния елемент и партида. Калибриране на лазерните установки за максимален ефект.
3. Установяване на орбитните елементи и траекторията на сателита. Изчисляване на времевите параметри за контакт.
4. Прихващане и атака над сателита в периода на достъп.
5. Внасяне на корекции за подобряване на ефективността.

Ролята на етичните хакери и правителствени проекти в подобряването на киберустойчивостта на сателитите

За щастие хакерите не са само злонамерени. Хакерите с добри намерения, известни още като "бели шапки", имат за цел да повишат киберустойчивостта на компаниите, институциите или, в този случай, на сателитния сектор. Те действат само с разрешение, което им позволява да тестват системите за слабости и ако открият такива, да разработят план за отстраняването им. Първите стъпки към осигуряване на киберсигурността в околоземна орбита се предприемат от военните структури на държавите. За Съединените щати това са Изследователската лаборатория на военновъздушните сили (AFRL), DARPA и Министерството на отбраната, а за Русия - MISiS. След навлизането на киберсигурността във все повече области и сектори обаче тенденцията за съсредоточаване само върху държавните структури за разработване на киберсигурност за спътниковия сектор се промени. AFRL, DARPA и

Министерството на отбраната, в комбинация с известните форуми Black Hat и DEFCON, създадоха първото състезание от типа " Завладяване на знамето". Това състезание е отворено за всички. Целите на състезанието са да се хакне специален симулатор от типа Flat-Sat или някакъв специално поставен в орбита сателит, собственост на Министерството на отбраната на САЩ, и да се анализират неговите слабости, точки на компрометиране и атаки. На този етап съществуват основно 4 големи западни състезания и проекти от този тип: Hack-A-Sat, CYSAT, Space-BACN и Blackjack.

Hack-A-Sat [5] е създаден основно от Изследователската лаборатория на Военновъздушните сили на САЩ, но в разработването на състезанието участват и други правителствени институции като DARPA, Космическите сили и МО на САЩ. За първи път то е представено през 2020 г. и оттогава е ежегодно събитие. Hack-A-Sat 1 се базира на Flat-Sat, като има непряко предизвикателство в орбита. Hack-A-Sat 2 надгражда събитието, като включва атака/защита на Flat-Sat с цифрови близнаци, които да имитират команди за всички състезатели. Hack-A-Sat 3 ще има за цел предварително тестване на Flat-Sat софтуер, базиран на USSF Moonlighter. Hack-A-Sat 4 през 2023 г. ще бъде състезание от типа " Завладяване на знамето", но с истински сателит. Moonlighter[6] е специално проектиран сателит, който се очаква да бъде изведен в орбита през 2023 г.

CYSAT [7] е европейският вариант на Hack-a-Sat, организиран от Европейската космическа агенция(ЕКА) и EUSPA и проведен за първи път през 2021 г. Това е конференция с три основни задачи. Първите два дни са свързани с теоретична част за киберсигурността на космическия сектор и нейното значение. Третата част има за цел да предизвика етични хакери да хакнат OPS-SAT. OPS-SAT е CubeSat, изстрелян през 2019 г., и е собственост на ЕКА.

Space-Based Adaptive Communications Node (Space-BACN) [8] е предназначен основно за създаване на евтин, преконфигурируем оптичен комуникационен терминал, който се адаптира към повечето стандарти за оптични междуспътникови връзки, превеждайки между различни спътникови съзвездия. Освен това проектът LEO на DARPA има за цел да изследва спътниковите комуникации и да създаде най-сигурния начин за комуникация на военните агенции.

Проектът BlackJack [9] на DARPA има за цел да разработи и демонстрира критичните елементи за глобална високоскоростна мрежа в ниска околоземна орбита (LEO), която да осигури на Министерството на отбраната високоскоростна връзка, постоянно и устойчиво покритие. Подобно на Space-BACN, BlackJack ще има за цел да проучи киберсигурността в космическия сектор и нейната устойчивост.

Заключение

Благодарение на сателитната комуникация човечеството постигна невиждана досега свързаност. Авиацията, транспортът, навигацията, отбраната и много други примери показват приложимостта на спътниковите комуникации и как те променят света завинаги. Тяхното разработване обаче е ограничено от начина, по който те се транспортират до LEO, MEO или GEO орбита. Тези ограничения принуждават производителите да наблягат повече на производителността, отколкото на сигурността. Ограничението на хардуерните части и трудността да се поддържа актуален софтуерът им, когато са в околоземна орбита, ги предразполага към кибератаки. Мащабна кибератака срещу спътници с критично значение за навигацията би парализирала цялата световна икономика и би имала необратими последици. При новите конфигурации на спътниците се обръща по-голямо внимание на криптирането на данните и сигурността, но ще са необходими десетилетия, за да се заменят несигурните спътникови съзвездия с по-сигурни.

Войната в Украйна също така показа колко важна роля изпълняват спътниците за защита на националната сигурност. Това ги прави критична инфраструктура. А критичната инфраструктура е една от първите цели на войната. Атаката срещу KA-SAT на Viasat доказа точно това. По време на военни действия сателитният сектор и неговите комуникационни услуги ще бъдат една от първите цели, които ще бъдат свалени. Новото поколение кибератаки, като например квантовите атаки, се превръщат в основно предизвикателство за киберзащитата на сателитния сектор.

Благодарение на етичните хакери и събитията, организирани от Министерството на отбраната на САЩ, ЕС и традиционната BlackHat конференция , се полагат основите на нови и иновативни начини за защита на сателитния сектор. Развитието на образованието и научните изследвания в този сектор е основна стъпка към по-сигурно бъдеще. Събирането на специалисти и съсредоточаването им върху актуалния проблем ще доведе до повишаване на киберустойчивостта на сектора и до разработването на препоръки и методики за защита на обикновените спътници.

Като част от националната сигурност и критичната инфраструктура, държавите и техните агенции трябва да се заемат с актуалните проблеми, свързани с киберустойчивостта, пред които са изправени космическият и сателитният сектор, за да се избегнат катастрофални последици.

Литература:

1. Ren, S., Y. Wang, X. Su. Hybrid quantum key distribution network. Sci. China Inf. Sci. 65, 200502 (2022). https://doi.org/10.1007/s11432-022-3509-6
2. NSA, Quantum Key Distribution (QKD) and Quantum Cryptography (QC), https://www.nsa.gov/Cybersecurity/Quantum-Key-Distribution-QKD-and-Quantum-Cryptography-
3. Garcia-Escartin, J., S. Sajeed , V. Makarov. Attacking quantum key distribution by light injection via ventilation openings. doi: 10.1371/journal.pone.0236630.
4. Huang, A., R. Li, V. Egorov, S. Tchouragoulov, K. Kumar, V. Makarov. Laser-Damage Attack Against Optical Attenuators in Quantum Key Distribution., https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.13.034017
5. Air Force Research Laboratory Public Affairs, Hack-A-Sat, https://afresearchlab.com/technology/hack-a-sat/
6. Wolfe, F., US Space Force to Launch Project Moonlighter Cybersecurity Satellite, https://www.satellitetoday.com/cybersecurity/2021/12/16/us-space-force-to-launch-project-moonlighter-cybersecurity-satellite/
7. Quiquet, F., CYSAT ’22, a space cybersecurity conference in Paris, https://www.spacesecurity.info/en/cysat-22-a-space-cybersecurity-conference-in-paris-april-6-7th-2022/
8. Kuperman, G., Space-Based Adaptive Communications Node (Space-BACN), https://www.darpa.mil/program/space-based-adaptive-communications-node
9. Forbes, S., Blackjack. https://www.darpa.mil/program/blackjack

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

КОМПЮТЪРНИ СИМУЛАЦИИ ПО ПРОГРАМАТА SIMULATION EXPLORATION EXPERIENCE

Димитър Димитров, Евгени Андреев

ВВМУ 'Н. Й. Вапцаров'
e-mail: dimitar@gmx.us;e.andreev@naval-acad.bg

Ключови думи: *студентски проекти, симулации, Simulation Exploration Experience (SEE)*

Резюме: *В статията са представени проектите на студенти и преподаватели от ВВМУ "Никола Вапцаров", реализирани в рамките на международната програма за университетско сътрудничество Simulation Exploration Experience (SEE). Акцентирано е върху технологиите, използвани за осъществяване на компютърните симулации, и техните характерни черти. Направен е преглед на четири компютърни симулации, създадени от екипи на ВВМУ, през периода 2018–2022 г.*

COMPUTER SIMULATIONS IN SIMULATION EXPLORATION EXPERIENCE PROGRAM

Dimitar Dimitrov, Evgeni Andreev

Nikola Vaptsarov Naval Academy
e-mail:dimitar@gmx.us; e.andreev@naval-acad.bg

Keywords: *student projects, simulations, Simulation Exploration Experience (SEE)*

Abstract: *The article presents the projects of students and faculty members of the Nikola Vaptsarov Naval Academy, implemented within the international university cooperation program Simulation Exploration Experience (SEE). The focus is on the technologies used to implement the computer simulations and their characteristic features. An overview of four computer simulations created by teams of the Nikola Vaptsarov Naval Academy during the period 2018 - 2022 is presented.*

Въведение в Simulation Exploration Experience

Напредъкът в технологиите позволява да се повиши прецизността и детайлността на симулациите. Това обуславя и масовото им използване в научните сектори. Усъвършенстваните и комплексни изчисления и анализи позволяват на учените да създават точни модели, с които да работят. Благодарение на интегрирането на симулациите в космическия сектор голям процент от мисиите са успешни. Това е пряко свързано с откриването на грешки, бъгове или други проблеми в мисиите, които не биха могли да бъдат открити, преди да бъдат открити в процеса на работа на системите. Нито една космическа мисия не е била одобрена, преди да бъдат тествани и обработени симулационните данни.

Разпределената дискретна симулация на събития е технология, която позволява симулационна програма да се изпълнява на разпределена платформа. Това спомага за повишаване на производителността, тъй като всеки от процесите може да бъде поет от отделен логически процесор. Simulation Exploration Experience (SEE) е пример за разпределена симулация. SEE[1] включва обекти и техните характеристики. Терминът Simulated Object (симулиран обект), основен за разпределената дискретна симулация на събития, е заменен в SEE с термина "федерат на обекта". Това е симулация на конкретен модел, който по-късно ще бъде симулиран и представен графично. Всеки федерат има модел, който улавя интерфейса между симулацията и останалите обекти. Той е част от федеративния модел на обекта (FOM), който описва интерфейсите между всички федерати. Федератите взаимодействат помежду си чрез инфраструктура за изпълнение по време на работа (RTI), съответстваща на

IEEE 1516-2010, т.е. чрез собствените си "посланици" на RTI (RA) и "посланици" на федерати (FA). Федератът DON е специална федерат, който проследява всички симулации и показва информацията за тях чрез инструмента за визуализация DON. Някои от първоначално заредените обекти са Слънцето, Марс, Земята и Луната, както и координатите +X, +Y, +Z, представляващи изток, север и надморска височина. Това осигурява референтната рамка за създаване на разпределените симулации.

Програмата SEE е резултат от сътрудничеството между университети от цял свят. Основната цел е да се създадат симулации в реално време, като се използват стандартите SISO (Simulation Interoperability Standards Organization) и HLA (High-level architecture) [2,3] IEEE 1730-2010 Distributed Simulation Engineering and Execution Process. За тази цел учениците прилагат умения в областта на 3D моделирането, програмирането, математическия анализ и физиката. SEE осъществява партньорства между правителствени организации, частни предприятия и университети. Програмата е представена за първи път през 2011 г. под името SISO Smackdown на Есенната конференция по симулации в Бостън. В сътрудничеството участват Масачузетският технологичен институт, Университетът на Пенсилвания, техническите университети в Генуа, Бордо и два стажантски екипа от Космическия център "Джонсън".

Първото българско участие е на Софийския университет през 2015 г. със симулация на биосфера в басейна Аткин, разположен в южното полукълбо на обратната страна на Луната. Две години по-късно към програмата се присъедини и Студентското космическо общество на ВВМУ "Никола Вапцаров", което до момента има 4 успешни симулационни програми.

Стъпки на създаване на симулация в Pitch

Първата стъпка за да се създаде симулация в среда Pitch в рамките на програмата SEE, е селектиране на сървър от НАСА. За сървър е избрана облачна среда под операционната система Linux, работеща в Azure. Създаден е уебсайт с регистрационен формуляр, предназначен да регистрира всички заинтересовани екипи за участие в събитието. Отборите в повечето случаи са от конкретен университет или училище, които в качеството си на участници в SEE представляват цялата държава. Всеки отбор попълва документи за използване на специализирания софтуер, необходим за създаване на симулацията. Те са от групата на софтуера "Pitch". При успешно попълване и одобрение се изпраща хардуерен ключ (Dongle), който се свързва с лицензионните ключове, предоставени от Pitch. Създава се локална мрежа за споделена комуникация между всички участници, като се използва VPN. Използваните софтуери са:

Pitch Visual OMT - Създаване, поддържане, визуализиране и анализиране на модели на обекти за обмен на информация;
Pitch pRTI Evolved - Дава възможност системите ви да работят заедно, като използвате отворения международен стандарт HLA[4];
Pitch Recorder – Инструмент за записване и преглеждане на информацията, която се симулира;
Pitch Developer Studio – инструмент за разработване на симулацията на програмните езици C++ и Java.
SpacePack – SpaceReferenceFramePublisher се използва за локален сървър, на който да може да се свържат разработените модели.
Софтуера SpaceReferenceFramePublisher не е нужен, когато се свързват федератите към сървърите на NASA. Нужен е само, когато се правят локални проби за реализиране на симулация.

За осъществяване на симулацията се използва от отбора на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ IDE Eclipse. Използва се федерат с име “Lunar Rover”, който поставя началото на взаимодействието между федерата и сървъра създаден с помощта на “Pitch RTI” [5]. Всеки един федерат използва “Reference frames”, за да определи позицията където би трябвало да бъде например “Earth”, “Mars”, “Moon” и др. Те създават структура от тип дърво и могат да конкретизират къде се намира земята спрямо слънцето и луната спрямо земята. Има три основни роли на федератите “Master” “Pacer” “Root Reference Frame Publisher”. Master федерата контролира, кога се инициализира симулацията и промяната в състоянието на симулацията – Работещо, паузирано или спряно. Pacer регулира връзката между създадения сценарии и реалното време на компютъра. Root Reference Frame Publisher – регистрират се и се обновяват координатите на всеки федерат.

При създаването на федерат има два начина да се включат в симулацията:
1. “Early joiner”;
2. “Late Joiner”.

При първия вариант федерата се включва от началото на симулацията от първата секунда. При вторият вариант федерата се включва от момента на включването спрямо часовника на компютъра. Ако се цели симулацията да бъде последователна е подходящо да се използва “Late Joiner”, за да може да се включват федератите последователно при дадено условие.

Създаването на връзката включва:
1. Свързване, чрез VPN;
2.Свързване на Space Master към Pitch RTI, като федерат;
3. Проверяват се всички федерати, дали са включени в симулацията;
4. Проверява се дали всички федерати са заредили и открили всички данни, които са им нужни, за да могат да продължат напред със симулацията.
5. Следи се времето за синхрон дали се движи по еднакъв начин за всеки федерат.

Space Master изисква Root Reference Frame Publisher, за да завърши инициализирането. В случая използван в проекта SEE, този Publisher е Earth Envirionment отговарящ на SISO Space Reference FOM standard. За да се постигне сигурност в изпълнението на симулацията се слага като изискване “Earth Envirionment” да бъде изискващ се федерат с център земята в симулацията върху, който да се надграждат кординатите и времето на всички федерати. На Фиг. 1 е показан конфигурационния файл на Space Master.

```
master.federation.ipaddress = "localhost"
master.federation.port = 8989
master.federation.federationname = "SEE 2022"
master.federation.federatename = "Space Master"
master.federation.federatetype = "Master"
master.federation.lookahead = 1000000
master.federation.epoch = 17131.83333333334
master.federation.mpisyncpoints = ["MPI1", "MPI2"]
master.federation.requiredfederates = ["Recorder", "EarthEnvironment"]
master.federation.timescalefactor = 1.0
```

Фиг. 1. Конфигурационен файл на Space Master

При стартиране на Space Master се показва меню, от което трябва да се избере режим на пускане. Първия вариант е автоматичен, втория е избирателен режим. При избирателния се попълва IP адрес и порт, като по подразбиране е 8989. Изписват се федератите, които се изискват и след включването им се синхронизират данните и сървъра е готов за работа със създадени от студенти и ученици федерати. На Фиг. 2 е показан алгоритъм за промяна на траекторията.

```
public class Shuttle {
    //change xml object name to excavator master
    private static final File conf = new File("config/conf.json");

    public static void main(String[] args) throws Exception {

        SpaceTimeCoordinateState state = new SpaceTimeCoordinateState();
        state.getTranslationalState().setPosition(new Vector3D(840, -1300, -4099.4)); //, -1300, -5605
        state.getRotationState().setAttitudeQuaternion(new Quaternion(0, 0, 0, 0));

        ExcavatorMaster excavatorMaster = new ExcavatorMaster("NVNA Shuttle", FrameType.AitkenBasinLocalFixed.toString(),
                state);

        ExcavatorMasterFederateAmbassador ambassador = new ExcavatorMasterFederateAmbassador();
        ExcavatorMasterFederate federate = new ExcavatorMasterFederate(ambassador, excavatorMaster);

        // start execution
        federate.configureAndStart(new ConfigurationFactory().importConfiguration(conf));
    }

}
```

Фиг. 2. Част от алгоритъма за промяна на траекторията на совалка

За създаването на федератите освен “Lunar Rover” студентите се научават да работят и с библиотеките SEE-SKF. Те са Java software framework. Избира се начална точка на

създадения федерат и се създава конкретен сценарии, които се използва в зависимост от позицията и височината, която се изисква по условие. Всички данни по X, Y и Z, могат да се променят в реално време. Самият Java език дава възможност за използване и на алгоритми за търсене и обхождане. При нужда тези алгоритми биха могли да подпомогнат федерата, след като е открил даден елемент да му покаже най-близкият и бърз път до базата. Създават се и 3D визии на федератите, които се експортват, чрез Blender. Тези 3D модели трябва да бъдат центрирани спрямо X, Y и Z, за да може самата симулация и показването на федератите да бъдат на точните места. Разработчиците на системата са направили при неправилно вмъкване на 3D модел, да се показва на екрата гумено жълто пате.

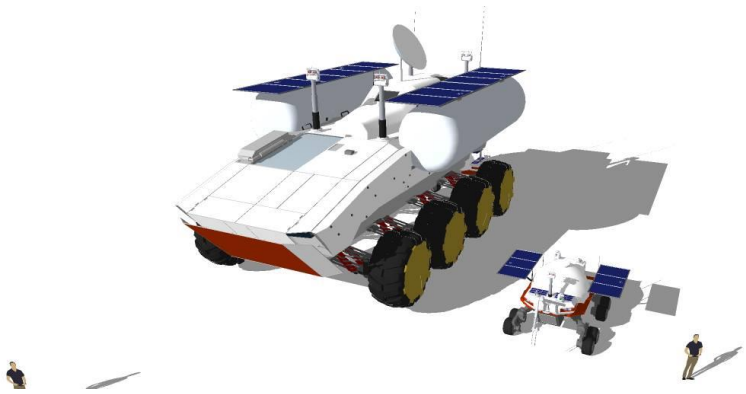
При взаимодействие с други отбори, федератите могат да обменят информация, ресурси и други данни. По този начин се показва възможността за колаборация между екипите и студенти от различни университети и държави.

Проекти на Студентското космическо общество на ВВМУ в програмата SEE

Студентското космическо общество на ВВМУ "Н. Вапцаров" участва за първи път през 2017–2018 г. Успешно разработи компютърна симулация на космодрум, база и космически кораб. Космическият летателен апарат се придвижва от летището и отива до определена точка. Иновативното в този проект е синхронизирането на симулацията с класическа музика. През 2018 г. в София се провежда заключителната конференция на програмата, след което се създава обща компютърна симулация, в която се включват всички участници.

Фиг. 3. Космическият летателен апарат на отбора на ВВМУ през 2017 г. – 2018 г.

През 2018–2019 г. е разработен модел на главен ескалатор и два мини комбайна на Луната. Главният ескаватор е предназначен за транспортиране на двата мини комбайна до определена точка, която е предварително избрана поради наличието на находище на хелий-3. Когато ескалаторът пристигне на мястото, той изстрелва двата мини комбайна и те започват да събират богатия на хелий-3 лунен реголит. Връщането на двете минимашини към ескалатора се извършва от програма, на базата на машинно обучение, която определя най-краткия и безопасен маршрут. През 2018 - 2019 г. екипът на ВВМУ участва в заключителната конференция в космическия център "Кенеди" във Флорида и модерира симулациите на всички екипи.

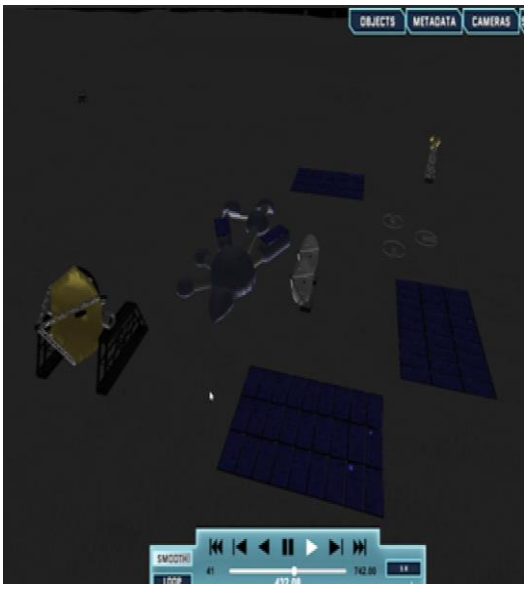


Фиг. 4. Част от симулираните федерати на екипа на ВВМУ през 2018–2019 г.

През 2020–2021 г. екипът на ВВМУ представя симулация на лунна база и около лунна космическа станция. През 2021 г. заключителната конференция е виртуална и отборите представят своите симулации.

Фиг. 5. Федерат на около лунна станция, създаден от отбора на ВВМУ през 2020–2021 г.

През 2021–2022 г. бяха представени четири федора. Два изследователски модула, роувър и база, включваща радиотелескоп, команден център, биосфера и слънчеви панели. Представянето на симулациите беше направено онлайн.



Фиг. 6. Симулираната база на ВВМУ през 2021–2022 г.

Заключение

Участието на студентите в програми като "Simulation Exploration Experience" помага на студентите да развият своите умения и да разширят своите познания. Благодарение на такива предизвикателства студентите могат да работят в международни и междууниверситетски екипи. Това им позволява да надградят социалните си умения и да разширят полето си на познание. Преминаването през обучения за различни софтуери също така им дава възможността да придобият нови умения и да усвоят от първа ръка методите, които изисква индустрията. Симулациите и моделирането са изключително полезни за развиване на уменията им в областта на математиката, 3D моделирането и аналитичното мислене. Освен това, поради естеството си, SEE осигурява и ежеседмични обучения от различни експерти, част от партньорската мрежа на програмата. Сред тях са представители на НАСА, SISO, Космическия център във Флорида и Pitch. Способността на студентите да работят с професионален софтуер и да пишат професионални кодове ги прави още по-конкурентоспособни на пазара. Уменията, които те придобиват, включвайки се в тази програма, отварят възможност за по-доброто им развитие в областта на техните интереси и изследвания.

Литература:

1. Conroy, M. Design and Development with Very Distributed Teams, http://it.naval-acad.bg/wp-content/uploads/2018/07/DON-MPC-GitHub-Presentation.pptx, 2018.
2. Falcone, A., Garro, A., S.J.E Taylor, Anagnostou, A., Chaudhry, N.R., Salah, O., Experiences in simplifying distributed simulation: The HLA development kit framework, Journal of Simulation, Volume 11, 2017, 208-227.http://doi.org/10.1057/s41273-016-0039-4.
3. Garro, A., A. Falcone. An introduction to the SEE HLA Starter Kit, https://drive.google.com/drive/folders/0B6TxsuI1iIJma3pITXE1M2hSOVk, 2018.
4. Gorecki, S., Zacharewicz, G., Perry, N., Using High Level Architecture in the SEE Project for industrial context. Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing, 2018, <10.1007/978-3-319-73751-5_21>. <hal-01809557>.
5. Pitch pRTI™, http://www2.pitch.se/pRTI1516e/Releases/v5.3.2.1/MxdozAZrF/install.asp, 2020.

S E S 2 0 2 2
Eighteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
19 – 21 October 2022, Sofia, Bulgaria

ОЦЕНКА НА ЕКОЛОГИЧНАТА БЕЗОПАСНОСТ И ЕКОЛОГИЧНИЯ РИСК

Надя Маринова

Нов български университет
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Ключови думи: *Антропогенни, екологични фактори, превенция, риск, безопасност, екокатастрофи*

Резюме: *Съществени факти сочат, че от всички възможни подходи за обективно определяне на приемливия риск от техногенното въздействие върху човешката общност, като цяло, или върху населението на определен регион, следва да се избира този подход, който дава най-малки значения на вероятността за поражения. Няма съмнение, че това е именно екологичният подход, който в качеството на обект на опасност разглежда не само човека, а целия комплекс от обкръжаващата го среда, отчитайки в исторически план всички нейни отклонения от естественото състояние.*

ENVIRONMENTAL SAFETY AND ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT

Nadia Marinova

New Bulgarian University
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Keywords: *Anthropogenic, environmental factors, prevention, risk, safety, eco-catastrophes*

Abstract: *Essential facts indicate that of all possible approaches to objectively determine the acceptable risk of technogenic impact on the human community, as a whole, or on the population of a certain region, the approach that gives the smallest values of the probability of damage should be chosen. There is no doubt that this is precisely the ecological approach, which, as an object of danger, considers not only man, but the entire complex of his environment, taking into account historically all its deviations from the natural state.*

Антропогенното въздействие и екологичните поражения свидетелстват за това, че съвременното състояние на системата на екосферата представлява значителна опасност за човечеството и биосферата на Земята. За кратък исторически срок стопанската дейност на човека дестабилизира цялата природна система, предизвиквайки глобална екологична криза. По силата на съществуващите в системата вътрешни връзки тази дестабилизация нанася удари и по самия човек – „ефектът на бумеранга". Достига се до момента, когато върху човека започва да въздейства изменената от него природа. И тази опасност става толкова по-реална, колкото по-голяма е числеността на населението и технико-икономическият потенциал на човечеството. Тези показатели стават определящи за екологичната опасност.

Човечеството, за да противостои на екологичната опасност, е необходимо да развива нови форми на взаимодействие с природата. Проблемът за осигуряване на екологичната безопасност става комплексен – еколого-икономически, научно-технически и правен.

Екологичната безопасност, по своята същност, е състояние на защитеност на природната среда и на жизнено важните интереси на човека от възможно негативно въздействие на стопанската и друга дейност, от извънредни ситуации от природен и техногенен характер и техните последствия. Това определение може да се сведе до кратката формулировка – състояние на защитеност от опасности. Но така, както защитата не се изчерпва със защитеността, така и състоянието на защитеност не се изчерпва с безопасност.

При определянето на безопасността се въвежда и понятието „риск", т.е. безопасността се разглежда като състояние, при което отсъства недопустим риск, свързан с причиняването на вреда за живота и здравето на хората, имуществото, околната среда. По аналогичен начин екологичната безопасност може да се съпостави с нивото на приемлив екологичен риск. Затова

екологичният риск се свързва с вероятността от събития, имащи неблагоприятни последствия върху природната среда и предизвикано негативно въздействие на стопанската и друга дейност, извънредни събития от природен и техногенен характер.

Безопасността като сложна система се определя не толкова от субектите по защитата или факторите за външна защитеност, колкото от вътрешните свойства – устойчивостта, надеждността, способността и авторегулацията. В най-голяма степен това се отнася, именно, за екологичната безопасност.

Научната литература и различните препоръчителни и нормативни документи съдържат множество от частни критерии за безопасност, в това число и екологична безопасност. При това често е невъзможно да се съди по някой от тези критерии за безопасността на един или друг обект. Затова възниква необходимост от разработването и използването на неголям брой основни или интегрирани критерии за безопасност и получаване, на тази основа, на обобщена оценка за състоянието на обекта. Диапазонът и йерархията на обектите на екологична безопасност съответстват на основните нива на биологична организация и се простират от биосферата, като цяло, до индивида, отделния човек или отделния рядък звяр.

За екосферата и нейните части, т.е. повече или по-малко крупни териториални природни комплекси, включително и административни образувания, за основни критерии за екологична безопасност могат да служат нивата на биосферно-техносферен, еколого-икономически или природно-производствен паритет, т.е. степента на съответствие на общото антропогенно натоварване на екологичната техноемкост на територията – пределната поносимост по отношение на увреждане от техногенни въздействия. За отделните екологични системи главен критерий за безопасност се явява целостта, съхранността на техния видов състав, биоразнообразие и структурата на вътрешните взаимни връзки. Сходни са критериите и за технико-икономическите системи. За човека главен критерий за безопасност се явява запазването на здравето и нормалната жизнена дейност.

Оценката за безопасността и екологичния баланс на териториалния природно-социален комплекс се основава на съизмеримостта на природните и производствените потенциали на териториите. Основният критерий за безопасност е свързан, от една страна, с природоемкостта на техносферата (производството) на територията, т.е. на съвкупността от обемите на стопанската експлоатация и поражения на местните възобновими ресурси, включително и замърсяването на средата и другите форми на техногенния натиск върху реципиентите, в това число и влошаването на здравето на човека и от друга страна, с екологичната техноемкост на територията, отразяваща самовъзстановителния потенциал на природната система и количеството на максималното техногенно натоварване, което може да издържи и да понесе в течение на продължителен период от време съвкупността от всички реципиенти и екологични системи без нарушаване на техните структурни и функционални свойства. Двете величини (природоемкостта и техноемкостта) могат да бъдат изразени чрез масата вещество, стандартизирано по опасностите /токсичността, а също така да има енергийно или парично изражение.

При общите модели на оценки за предпочитане е енергийният подход. Този критерий означава, че съвкупността от техногенното натоварване не трябва да превишава самовъзстановителния потенциал на природните системи на територията. Той лежи в основата на екологичните препоръки.

За определена територия нейната екологична техноемкост обективно се равнява на пределно допустимото техногенно натоварване. Ако то се установява като някакъв норматив е възможно да се различава от екологичната техноемкост на територията, тъй като отчита допълнително и социалната ценност на обектите, подложени на натоварване. Затова при определянето на пределно допустимото техногенно натоварване е възможен и субективен подход, зависещ от представите на експертите или органите за нормативните изисквания към екологичната обстановка. Диапазонът на тези представи може да бъде много широк, ако се сравнят, например, позициите на активистите на „Гринпис” и на технократите от военно-промишления комплекс.

Екологичната техноемкост на територията е само част от пълната екологична поносимост на територията. Тя се определя, първо, от обемите на основните природни резервоари – въздушния басейн, съвкупността от водоеми и водостоци, поземлени площи и запаси от почви, биомаси на флората и фауната и, второ, от мощността на потоците на биогеохимичния кръговрат, обновяващи съдържанието на тези резервоари, скоростта на техния обмен и газообмен, попълненията на обемите с чиста вода, процесите на почвообразуването и продуктивността на биотата.

Безопасността на екосистемите се определя от близостта на тяхното състояние до границите на устойчивост. В този смисъл ключовите изисквания се отнасят до запазване мащабите и биомасата на екосистемата, постоянство на видовия (популационния) състав и

числовите съотношения между видовете и функционалните групи организми. От това зависят стабилността на трофичните (организмите, сходни по типа на хранене) връзки, вътрешните взаимодействия между структурните компоненти на екосистемата и нейната продуктивност.

Критерий за безопасност (устойчивост) на отделна популация в състава на екосистемата може да служи разликата между удвоения репродуктивен потенциал и неговото отклонение от средното ниво. При превишаване величината на отклонението над репродуктивния потенциал рязко нараства вероятността за деградация и измиране на популацията.

Екологичната безопасност за човека е функция от коефициента на заболеваемост и смъртност, средната продължителност на живота, коефициента на раждаемост и др. Техногенните въздействия върху качеството на средата променят всички тези величини и функции за състоянието на здравето на човека.

Данните за състоянието на околната среда показват, че цялата наша планета се е превърнала в зона на екологичен риск. Но той не винаги и не за всички е очевиден, тъй като се измества от другите многочислени и по-непосредствени източници на риск за здравето и живота на хората. Известни са много ситуации от различно ниво, когато стремежът за удовлетворяването на някаква обществена или индивидуална потребност оказва силно влияние върху възприемането на този риск.

Оценката на екологичния риск представлява научно изследване, при което фактите и научната прогноза се използват за оценяване потенциално вредното въздействие върху околната среда на различните замърсяващи вещества и други агенти. Екологичният риск не е единственият и в редица случаи не е главният риск за живота, здравето и благосъстоянието на хората, поради което се налага той да бъде съизмерван с другите видове риск – индивидуален, технически, социален, икономически.

Статистическата информация за нивата на риска, обусловени от хроничното замърсяване на околната среда, е извънредно разнородна и противоречива. В екологията и екопатологията се използват така наричаните стрес-индекси за различни неблагоприятни въздействия на факторите в околната среда, които по своя функционален смисъл са пропорционални на значенията на екологичния риск.

Стрес-индекси за различните групи замърсители:

Наименование на замърсителите	Стрес-индекси
Пестициди	140
Тежки метали	135
Транспортиране на отпадъци от АЕЦ	120
Твърди токсични отпадъци от промишлеността	120
Отпадъци от металургията	90
Непречистени смесени отпадъчни води	85
Диоксиди на сярата във въздуха	72
Замърсяване на почвата с нефт	72
Химически торове	63
Органични битови отпадъци	48
Оксиди на азота във въздуха	42
Смесен градски боклук	40
Фотохимични оксиданти	18
Летливи въглеводороди във въздуха	18
Градски шум	15
Оксиди на въглеводорода във въздуха	12

Обикновено, рискът /R/ при оценката се характеризира с две величини – с вероятност от нежелано събитие /P/ и с последствия, вреди /Y/ от дадено събитие, които в математическо изражение се проявяват като сърножители:

$R = P.Y$

По отношение на източниците оценката на риска предвижда разграничаване на нормален режим на работа “н” и аварийни ситуации “ав”:

$R = R_н + R_{ав} = P_н.Y_н + P_{ав}.Y_{ав}$

Обективните и субективните оценки на риска по отношение на много неблагоприятни взаимодействия забележимо се разминават. Така, ако при класирането по обективни причини за смъртността в САЩ първо място са заемали тютюнопушенето и алкохола, то в субективните оценки на представители на различни кръгове общественото мнение им отрежда от 3-то до

7-мо място. Затова атомната енергия, намирайки се сред обективните причини за смъртността едва на 20-то място, в представите на преобладаващата част от хората заема първо място.

Подобни разсъждения не следва да се обясняват само с невежеството на хората. На специалистите се налага често да се сблъскват с вкоренените обществени предубеждения, които са способни да оказват сериозно влияние на икономическата политика и системата за приемане на решения. Това явление включва и феномена екофобия, т.е. натрапчив страх от поражения предизвикани от опасни фактори в околната среда. След Хирошима и Чернобил в съзнанието на много хора вероятността от заболяване и смърт от радиация започва да „тежи" несравнимо повече, отколкото смърт от промишлени и транспортни аварии, от пиянство, от удар от електрически ток, от домашни пожари, макар всяка от тези причини да убива стотици и хиляди пъти повече хора, отколкото радиацията. Хората неволно преувеличават факторите, които не се поддават на индивидуален психологичен контрол.

Приоритетите за безопасността на хората съществено влияят върху приоритетите на държавната еколого-икономическа политика, особено в областта на енергетиката. Според експертни оценки се очаква за периода 2000–2060 г. приносът на „екологично чистите" отрасли на енергетиката (хидроенергията и възобновяемите източници на енергия), при абсолютно общо увеличение от 4 пъти, следва да се увеличат от 18 до 36% за цялата енергетика. В по-малка степен се очаква ръстът на ядрената енергетика – от 9 до 14%. По други прогнози той е повече, а може да бъде и още повече при определени условия. Главното от тях е да се преодолее предубеждението за екологичната опасност от експлоатацията и демонтажа на АЕЦ, регенерацията, утилизацията и погребването на отпадъците от ядреното гориво.

До преди някои ядрени аварии станали в САЩ (1979 г.) и СССР (1986 г.) безопасността и перспективността на АЕЦ са се смятали за безспорни. Авариите, особено в Чернобил, променят всичко. Ядрената енергетика минава в позицията да се защитава. Най-силен аргумент за нея става количествената съпоставка на екологичните заплахи от страна на атомните и въглищните електроцентрали.

Число на преждевременна смъртност, свързана с една година работа на блок с мощност 1 GW при въглищен и атомен горивен цикъл

Въздействия и ефекти	въглищен	атомен
Нещастни случаи	5,60	0,25
Нерадиационни заболявания:		
обслужващ персонал	6,90	0,15
население от околността	360,0	0
Облъчване на обслужващия персонал	0,11	0,30
Облъчване на населението от околността	0,06	0,07
Общо	373	0,8

Общият резултат от сравнението впечатлява. Но действителният ефект от чернобилската авария още дълго ще действа, дори подобна катастрофа никога да не се повтори.

Приемането на решения, процедури и практически мерки за предотвратяване или намаляване на екологичните опасности налагат екологичният риск да се управлява. Основа за това служи анализът на риска. Той от своя страна включва процеса на идентификация на опасностите и оценка на риска за отделните лица, групи от населението, обектите на околната природна среда.

Съществуват четири основни подхода при оценка на риска:

инженерен – основава се на статистиката на авариите и вероятностния анализ за безопасност;

моделен – построяване на модели за въздействие на опасните фактори за човека и околната среда;

експертен – анкетиране на опитни специалисти;

социологически – изследване на отношението на населението

За анализа на риска и установяването на неговите допустими предели, във връзка с безопасността и приемането на управленчески решения, са необходими:

наличие на информационна система, позволяваща оперативно да контролира съществуващите източници на опасност и състоянието на обектите от възможно поражение;

сведения за предполагаеми насоки на стопанската дейност, проекти и технически решения, които могат да влияят върху нивото на екологичната безопасност, а също така програми за вероятностна оценка на свързания с тях риск;

експертиза за безопасност и съпоставяне на алтернативни проекти и технологии, явяващи се източници на риск;

разработване на технико-икономическа стратегия за увеличаване на безопасността и определяне оптималната структура на разходите за управление размера на риска и неговото намаляване до приемливо ниво от социална, икономическа и екологична гледна точка;

съставяне на прогнози за риска и аналитично определяне нивото на риска, при което се прекратява ръста на броя на екологичните поражения;

формиране на организационни структури, експертни системи и нормативни документи, предназначени за изпълнение на посочените функции и процедури за приемане на решения;

въздействие върху общественото мнение и пропагандиране на научните данни за нивата на екологичния риск с цел ориентиране към обективни, а не емоционални или популистки оценки на риска.

В съответствие с принципа на намаляващите рискове важно средство за управление се явява процедурата по заместването на рисковете. Съгласно нея рискът, внасян с нова техника, е социално приемлив, ако нейното използване дава по-малък принос в сумарния риск, на който се подлагат хората, в сравнение с използваната друга, алтернативна техника, решаваща същата стопанска задача. Тази концепция е тясно свързана с проблема за екологичната адекватност на качеството на производството.

Много страни от теорията за екологичния риск и нейното практическо приложение са незавършени. Проблемът е достатъчно сложен, тъй като тя включва медико-биологични, екологични, социално-психологически, икономически, правни и технически аспекти. При използването на инструментариума на всяка от тези области на знанието оценките на един и същи риск по-скоро ще се окажат различни. По своята същност те се доближават до различията в субективните оценки за опасността.

Традиционният подход за обезпечаване безопасността при експлоатацията на техническите системи и технологии се базира на концепцията за „абсолютната безопасност" или „нулевия риск". Както показва практиката, такава концепция не е адекватна за законите на техносферата и да се осигури нулев риск в действащите системи е невъзможно. Поради тази причина съвременният свят се ориентира към концепцията за „приемливия" (допустимия) риск. Степента на реализация на тази концепция в различните страни е различна.

Концепцията за риска прехвърля социално-психологическите проблеми на обществото, често достатъчно деликатни, в плоскостта на количествените оценки. За сравняването на риска и изгодите се предлага да се въведе икономически еквивалент на човешкия живот. Макар човешкият живот да е безценен, съществуват напълно определими понятия за стойността на човешкия живот, определяни от разходите за раждане, възпитание, образование, получаваните от човек доходи и т.н. Тези стойности се налага да се отчитат при застраховането и при оценка на икономическите вреди, понасяни от гибелта на хората по време на катастрофи. Например, стойността на човешкия живот в САЩ при авиационни катастрофи се оценява за 600 – 800 хил. долара. Затова, когато се поставя въпросът за приемливия риск от замърсяването на околната среда или от реакторите на АЕЦ, се налага да се отчитат не само потенциалните заплахи, но и „стойността на живота", определяна от алтернативите за икономическото развитие на обществото и деградацията на околната среда.

В заключение има основания да се смята, че от всички възможни подходи за обективно определяне на приемливия риск от техногенното въздействие върху човешката общност, като цяло, или върху населението на определен регион, следва да се избира този подход, който дава най-малки значения на вероятността за поражения. Няма съмнение, че това е именно екологичният подход, който в качеството на обект на опасност разглежда не само човека, а целия комплекс от обкръжаващата го среда, отчитайки в исторически план всички нейни отклонения от естественото състояние. Останалите подходи, особено социалният, икономическият, техническият са до известна степен произволни, което е свързано с не екологични потребности и интереси на обществото. Те в една или друга степен са компромисни.

Литература:

1. Боева. Б., Корпоративно управление в международния бизнес, УНСС, София, 2013.
2. Дракър, П., Практика на мениджмънта. С., Изд. "Класика и стил", 2001.
3. Заложнев, А., Информационные технологии маркетинга. Управление взаимоотношения с клиентами, М. 2009.
4. Маринова, Н., Международен маркетинг, НБУ, 2017.
5. Д. Панайотов, Психология на бизнеса (Управленски тренинг), НБУ, София, 2006.
6. Хаджиева, В., Дизайн на глобализацията, НБУ, годишник на департамент „Администрация и управление", НБУ, България, 2019.
7. Хаджиева, В., Пазари, реализация и пазарни механизми, Наръчник на земеделския производител, община Кърджали и сдружение „Академия БГ", 2009 г., София.