ISSN 2411-7943

идеи и новации

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

ПО МАТЕРИАЛАМ

X МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОНГРЕССА,

ПОСВЯЩЕННОГО 60-ЛЕТИЮ ПЕРВОГО В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА Ю.А. ГАГАРИНА

Т. 10 № 1-2
2022

ИДЕИ И НОВАЦИИ

Научно-практический журнал

Научно-практический журнал «ИДЕИ И НОВАЦИИ» готов предоставить свои страницы для публикации статей, содержащих интересные идеи и предлагающих пути их реализации.

Журнал ориентирован на представителей естественных, технических и гуманитарных наук, так как на их стыке рождаются новые направления научного поиска.

Ключевыми направлениями журнала являются: естественные и технические науки; экономика и управление отраслями; искусствоведение и культурология; массовая информация и коммуникация; история науки.

Материалы журнала размещаются на платформе РИНЦ Российской научной электронной библиотеки (договор № 354-06/2016 от 15 июня 2016 г.).

Редакционный совет журнала

Председатель: Садовничий Виктор Антонович, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, ректор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1133-1940; e-mail: info@rector.msu.ru;
https://www.msu.ru/info/struct/rector.html

Заместители председателя:

Коханова Людмила Александровна – **главный редактор**, доктор филологических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8290-4078; e-mail: l_kokhanova@mail.ru;
https://istina.msu.ru/profile/kochanova/

Либерзон Марк Романович – **председатель экспертного совета**, доктор физико-математических наук, профессор, вице-президент Российской инженерной академии, г. Москва, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0001-8306-2474;
e-mail: mark@fund.ru; http://www.fund.ru/liberzon/rus/index.asp

Члены совета:

Александров Александр, доктор технических наук, профессор, академик Российской инженерной академии, летчик-космонавт, г. София, Республика Болгария; ORCID https://orcid.org/0000-0003-1265-6122;
e-mail: alexblag@spnet.net;
https://google-info.org/1064835/1/aleksandrov-aleksandr-kosmonavt.html

Алифанов Олег Михайлович, доктор технических наук, профессор, академик РАН, МАИ (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0003-2258-7511;
e-mail: o.alifanov@yandex.ru; https://mai.ru/content/people/index.php?ID=6514

Вагстафф Пол, профессор, Кингстонский университет, Великобритания;
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8534-8468;
e-mail: p.wagstaff@kingston.ac.uk;
https://www.researchgate.net/profile/Paul-Wagstaff.uk

Губарев Владимир Степанович, писатель, драматург, научный журналист, г. Москва, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0001-6430-4300;
e-mail: vladimirgoubarev@yandex.ru; https://www.litmir.me/a/?id=10660

Гусев Борис Владимирович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, президент Российской и Международной инженерных академий, г. Москва, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0003-2718-9539;
e-mail: info@rae.ru; http://www.info-rae.ru/prezidium/prezident-ria/

Комиссаров Валерий Петрович, кандидат филологических наук, доцент, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0002-7052-0648;
e-mail: valerijkomissarov134@gmail.com;
http://chuvjour.ru/index.php/2012-01-19-13-17-56/45

Кравцов Владимир Владимирович, доктор филологических наук, профессор, Институт государственной службы и управления, г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1617-5238; e-mail: kravtsov-vv@ranepa.ru;
https://igsu.ranepa.ru/person/p162071/

Паллашке Дитхард, профессор, Технологический университет Карлсруэ, Германия; ORCID https://orcid.org/0000-0002-1812-2597; e-mail:
diethard.pallaschke@kit.edu;
https://www.researchgate.net/profile/Diethard-Pallaschke

Речицкий Леонид Антонович – кандидат исторических наук, доцент ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии», г. Москва, Россия; ORCID
https://orcid.org/0000-0002-5878-5846; e-mail: lenor-lar@rambler.ru;
https://istina.msu.ru/profile/Retchitsky/

Самойлов Вячеслав Александрович, доктор экономических наук, Московский финансово-промышленный университет «Синергия», г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0003-3996-6411; e-mail: akkork@yandex.ru;
https://synergyonline.ru/programm/finansovyij_menedzhment_mba

Семёнова Виктория Владимировна, доктор социологических наук, профессор Государственного академического университета гуманитарных наук, Институт социологии ФНИСЦ РАН, г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0001-7708-8707; e-mail: victoria-sem@yandex.ru;
https://www.isras.ru/pers_about.html?id=91

Тикунов Владимир Сергеевич, доктор географических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0002-1597-6909;
e-mail: tikunov@geogr.msu.su https://istina.msu.ru/profile/TikunovVS/

Фаркаш Берталан, доктор технических наук, профессор Будапештского университета имени Лоранда Этвёша, почетный профессор МГУ имени М.В. Ломоносова, летчик-космонавт, г. Будапешт, Венгерская Республика;
ORCID https://orcid.org/0000-0002-9104-6201; e-mail: farkas.bertalan@gmail.com;
https://ru.wikipedia.org/wiki/Фаркаш, Берталан

Черняк Александр Викентьевич, доктор исторических наук, профессор, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии», г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0003-0521-3278; e-mail: alcherniak@mail.ru;
https://www.rulit.me/authors/chernyak-aleksandr-vikentevich

Коханова Людмила Александровна – главный редактор

Мельников Владимир Анатольевич – **заместитель главного редактора**, Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, Россия; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0409-5863; e-mail:
matros1949@yandex.ua; https://istina.msu.ru/profile/MelnikovVA/

Зайченкова Елена Борисовна – редактор, кандидат технических наук, Международный фонд попечителей Московского государственного авиационного технологического университета имени К.Э. Циолковского

Новиков Валерий Владимирович – редактор, Московский центр образования школьников имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1712-0263;
e-mail: novikov.valery1966@yandex.ru

Савари Камилла Камильевна – ответственный секретарь, г. Москва, Россия

Экспертный совет журнала

Председатель: Либерзон Марк Романович, доктор физико-математических наук, профессор, вице-президент Российской инженерной академии, г. Москва, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0001-8306-2474; e-mail: mark@fund.ru;
http://www.fund.ru/liberzon/rus/index.asp

Члены совета:

Барковский Андрей Львович, доктор микробиологических наук и окружающей среды, профессор, Университет свободных искусств, штат Джорджия, г. Милледжвилл, США; ORCID https://orcid.org/0000-0002-8483-2079; e-mail:
andrei.barkovskii@gcsu.edu; https://www.researchgate.net/profile/Andrei-Barkovskii

Ванев Георгий Станев, доктор политических наук, профессор, главный редактор газеты «Работнический вестник», Республика Болгария. г. София;
ORCID https://orcid.org/0000-0002-6448-0213; e-mail: alcherniak@mail.ru;
http://ideasnov.ru/wp-content/uploads/2020/02/Idei_i_novacii_T7_1.pdf

Джанджгава Гиви Ивлианович, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии технологических наук РФ и Международной академии информатизации, г. Москва, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0003-2083-4507; e-mail: ababichenko@rpkb.ru;
https://www.kret.com/about/directors/DzhandzhgavaGI/

Ерешко Феликс Иванович, доктор технических наук, профессор, Вычислительный центр имени А.А. Дородницына, ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия; ORCID https://orcid.org/0000-0002-1732-2204; e-mail: fereshko@yandex.ru; http://www.ccas.ru/depart/ereshko/ereshko.htm

Кэмпбелл Ян, доктор философии, профессор, Высшая школа экономики, г. Прага, Чешская Республика; ORCID https://orcid.org/0000-0002-8230-2824;
e-mail: jancam@jancam.eu; https://forum-100.ru/spikery/kempbell/

Соколов Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, Институт проблем энергетической эффективности НИУ «МЭИ», вице-президент Федерации космонавтики России, г. Москва, Россия;
ORCID https://orcid.org/0000-0002-2947-5742; e-mail: vl.sokolov2013@mail.ru;
https://famous-scientists.ru/5793.

Учредители: Общероссийская общественная организация «Российская инженерная академия» (РИА); Автономная некоммерческая организация «Институт региональной журналистики»; Общество с ограниченной ответственностью «Творческое объединение “Союз”».

Адрес редакции: 109004, Москва, ул. Александра Солженицына, д. 19, стр. 2
Телефоны: +7(977) 807-3397, +7(499) 343-8947; e-mail: ideasnov@yandex.ru; www.ideasnov.ru.

© ООО «Российская инженерная академия» (РИА),
АНО «Институт региональной журналистики», 2022

ISSN 2411-7943

IDEAS AND INNOVATIONS

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

MATERIALS OF

X INTERNATIONAL AEROSPACE CONGRESS

DEDICATED TO 60th ANNIVERSARY OF THE FIRST IN THE HISTORY OF MANKIND SPACE FLIGHT BY YURI GAGARIN

Vol. 10 No. 1-2
2022

IDEAS AND INNOVATIONS

Scientific and practical journal

The «Ideas and Innovations» academic and practical journal is ready to dedicate its pages to the publication of articles with interesting ideas and suggestions for their implementation. The journal targets representatives of natural and technical sciences and humanities because at the junction of these sciences, promising directions of research endeavor are often born.

The key focus areas of the journal are: natural and technical sciences; economics and management of industries; arts and cultural studies; mass information and communication; history of science.

Materials of the journal are placed on the platform of the Russian Science Citation Index of the Russian Science Electronic Library (Agreement no. 354-06/2016 of June 15, 2016).

Editorial Board

Chairman: Victor A. Sadovnichiy, Academic of Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sc. (Phys.- Math. Sciences), Rector, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-1133-1940; e-mail: info@rector.msu.ru; https://www.msu.ru/info/struct/rector.html

Deputy Chairmen:

Ludmila A. Kokhanova – Editor-in-chief, Dr. Sc. (Philology), Full Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0001-8290-4078; e-mail: l_kokhanova@mail.ru; https://istina.msu.ru/profile/kochanova/

Mark R. Liberzon – Chairman of the Expert Council, Dr. Sc. (Phys.- Math.), Professor, Vice President of Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0001-8306-2474; mark@fund.ru, http://www.fund.ru/liberzon/rus/index.asp

Members:

Alexandr Alexandrov, Dr. Sc. (Technics), Professor, Academician of the Russian Engineering Academy, pilot-cosmonaut, Sofia, Republic of Bulgaria; ORCID https://orcid.org/0000-0003-1265-6122; e-mail: alexblag@spnet.net; https://google-info.org/1064835/1/aleksandrov-aleksandr-kosmonavt.html

Oleg V. Alifanov, Dr. Sc. (Technics), Professor, corresponding member of the Russian Academy of Science, MAI (National Research University), Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-2258-7511; e-mail: o.alifanov@yandex.ru; https://mai.ru/content/people/index.php?ID=6514

Paul Wagstaff, Professor, Kingston University, UK; ORCID https://orcid.org/0000-0001-8534-8468; e-mail: p.wagstaff@kingston.ac.uk, https://www.researchgate.net/profile/Paul-Wagstaff.uk

Vladimir S. Gubarev, writer, playwright, science journalist, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0001-6430-4300; e-mail: vladimirgoubarev@yandex.ru; https://www.litmir.me/a/?id=10660

Boris V. Gusev, Dr. Sc. (Technics), Professor, corresponding member of the Russian Academy of Science, President of Russian and International Academies of Engineering, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-2718-9539; e-mail: info@rae.ru; http://www.info-rae.ru/prezidium/prezident-ria/

Valery P. Komissarov, Cand. of Sc. (Philology), Associate Professor, I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0002-7052-0648; e-mail: valerijkomissarov134@gmail.com; http://chuvjour.ru/index.php/2012-01-19-13-17-56/45

Vladimir V.Kravtsov, Dr. Sc. (Philology), Professsor, Institute of Public Administration and Civil Service, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-1617-5238; e-mail: kravtsov-vv@ranepa.ru; https://igsu.ranepa.ru/person/p162071/

Diethard Pallashke, Professor, Karlsruhe University, Germany; ORCID https://orcid.org/0000-0002-1812-2597, diethard.pallaschke@kit.edu; https://www.researchgate.net/profile/Diethard-Pallaschke

Leonid A. Rechitsky – Cand. Sc. (History), Associate Professor, FGBOU DPO (FSBEI APE – Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education) «Media Industry Academy», Moscow, Russia: ORCID https://orcid.org/0000-0002-5878-5846; e-mail: lenor-lar@rambler.ru; https://istina.msu.ru/profile/Retchitsky/

Vyacheslav A. Samoilov, Dr. Sc. (Economics), Moscow State University of Finance and Industry «Synergy», Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-3996-6411; e-mail: akkork@yandex.ru; https://synergyonline.ru/programm/finansovyij_menedzhment_mba

Victoria V. Semyonova, Dr. Sc. (Sociology), Professor, State Academic University of Humanities, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0001-7708-8707; e-mail: victoria-sem@yandex.ru; https://www.isras.ru/pers_about.html?id=91

Vladimir S. Tikunov, Dr. Sc. (Geography), Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0002-1597-6909, e-mail: tikunov@geogr.msu.su; https://istina.msu.ru/profile/TikunovVS/

Bertalan Farkas, pilot-cosmonaut, Hero of the Soviet Union, Hero of the Hungarian Republic; Dr. Sc. (Technics), Professor of the University of Budapest, Honorary Professor of the Lomonosov Moscow State University, Budapest, Republic of Hungary; ORCID https://orcid.org/0000-0002-9104-6201; e-mail: farkas.bertalan@gmail.com; http://www.warheroes.ru/hero/hero.asp?Hero_id=1994

Alexandr V. Chernyak, Dr. Sc. (History), Professor, FGBOU DPO (Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education) «Media Industry Academy», Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-0521-3278; e-mail: alcherniak@mail.ru; https://www.rulit.me/authors/chernyak-aleksandr-vikentevich

Ludmila A. Kokhanova – Editor-in-chief, Dr. Sc. (Philology), Full Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0001-8290-4078; e-mail: l_kokhanova@mail.ru; https://istina.msu.ru/profile/kochanova/

Vladimir A. Melnikov – **Editor-in-chief's Deputy**, Subsidiary of Lomonosov Moscow State University in Sebastopol, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-0409-5863; e-mail: matros1949@yandex.ua; https://istina.msu.ru/profile/MelnikovVA/

Elena B. Zaychenkova – Editor, Can. Sci. (Technical), Tsyolkovsky International Trustee Fund, Moscow, Russia

Valerii V. Novikov – Editor, Lomonosov Moscow Center for the Education of Schoolchildren, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-1712-0263; e-mail: novikov.valery1966@yandex.ru

Kamilla K. Savary – Executive Secretary, Moscow, Russia

Expert Council

Chairman: Mark R. Liberzon, Dr. Sc. (Phys.- Math.), Professor, Vice President of Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0001-8306-2474; mark@fund.ru; http://www.fund.ru/liberzon/rus/index.asp

Members:

Andrey L. Barkovsky, Dr. Sc. (Microbiology and Environment), Professor, Liberal Arts College of the State of Georgia, Milledgeville, USA; ORCID https://orcid.org/0000-0002-8483-2079; e-mail: andrei.barkovskii@gcsu.edu; https://www.researchgate.net/profile/Andrei-Barkovskii

Georgy Vanev Stanev, Dr. Sc. (Political Sciences), Professor, editor-in-chief of «Rabotnichesky Vestnik» newspaper, Sofia, Bulgaria; ORCID https://orcid.org/0000-0002-6448-0213, e-mail: alcherniak@mail.ru; http://ideasnov.ru/wp-content/uploads/2020/02/Idei_i_novacii_T7_1.pdf

Givi I. Dzandzgava, Dr. Sc. (Technics,) Professor, full member of the Academy of Technical Sciences of the Russian Federation and the International Academy of Informatization, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0003-2083-4507; e-mail: ababichenko@rpkb.ru; https://www.kret.com/about/directors/DzhandzhgavaGI/

Felix I. Ereshko, Dr. Sc. (Technics), Professor, Dorodnitsyn Calculation Centre, FIIs (Federal Research Centre) «Informatics and Administration» of the Russian Academy of Science (RAS), Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0002-1732-2204; e-mail: fereshko@yandex.ru; http://www.ccas.ru/depart/ereshko/ereshko.htm

Jan Campbell, PhD, Professor, the Higher School of Economics, Prague, Czech Republic; ORCID https://orcid.org/0000-0002-8230-2824; e-mail: jancam@jancam.eu; https://forum-100.ru/spikery/kempbell/

Vladimir P. Sokolov, Dr. Sc. (Technics), Professor, Institute of Energy Efficiency NIU «MEI» (Science Research University «Moscow Institute of Energy»), Vice President of the Russian Federation of Astronautics, Moscow, Russia; ORCID https://orcid.org/0000-0002-2947-5742; e-mail: vl.sokolov2013@mail.ru; https://famous-scientists.ru/5793.

Founders: All-Russian Public Organization «Russian Academy of Engineering» (RAE), Unaffiliated Non-governmental Organization (NGO) «The Institute of Regional Journalism», Limited Liability Corporation «Creative Company «Soiuz», LLC.

Postal address: 19, bldg. 2, Alexander Solzhenitsyn str., Moscow 109004 Russia
Tel.: +7(977) 807-3397, +7(499) 343-8947
e-mail: ideasnov@yandex.ru
Web-site: www.ideasnov.ru.

© Russian Academy of Engineering,
The Institute of Regional Journalism, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

От редактора

Либерзон М.Р.
Перспективы развития авиакосмического комплекса ... 7

Об истории, развитии и реализации космических программ

Малышкин И.А., Скрыль О.А.
Деятельность лётчика-космонавта СССР Г.С. Титова в создании Главного испытательного космического центра ... 11

Лавейкин А.И.
Преемственность поколений через авиацию и космос ... 23

Плохих В.П., Милованов А.Г.
Развитие многоразовых аэрокосмических систем ... 28

Абросимов Н.А., Бут А.Б., Абдурашидов Т.О.
Газодинамика старта перспективных стартовых комплексов на космодроме «Восточный» .. 34

Коровин В.В.
Освоение технологии космических тросовых систем на базе «Трос-МГТУ» ... 40

Мельников В.М., Разумный Ю.Н., Милованов А.Г., Мельников В.П., Комков В.А.
Центробежные лазерные космические солнечные электростанции ... 45

Белякова Т.И., Мессинева Н.А., Трофимова Е.М., Спасский А.И.
Тушение пожаров на космических станциях и в центрах управления с помощью хладонов ... 55

Афанасьев А.А., Демков В.П., Рудакова Л.И., Ципенко А.В.
Моделирование противопожарной защиты высоковольтных источников энергии наземной космической инфраструктуры и аэропортов ... 63

Контроль и моделирование параметров летательных аппаратов

Алифанов О.М., Кукушкин М.А.
Контроль параметров теплообмена на поверхности летательного аппарата ... 69

Сагалаков А.Э., Филатьев А.С.
Моделирование синтеза экстремалей при полете летательного аппарата на быстродействие с учетом ограничения на расход массы топлива ... 74

Джанджгава Г.И., Берг А.Г., Орехов М.И., Бабиченко А.В., Евсеев А.В.
Создание комплексов бортового оборудования летательных аппаратов с использованием цифровых двойников, базы знаний и моделирования ... 79

Подготовка специалистов

Курицын А.А., Попова Е.В., Кутник И.В., Сабуров П.А.
Перспективы развития тренажерных средств подготовки космонавтов по выполнению целевых работ на борту РС МКС ... 86

Вагнер И.В., Васильев В.И., Дедкова Е.В., Фокин В.Е., Юрченко Е.С.
Подготовка космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности ... 93

Дикарев В.А., Чеботарев Ю.С.
Разработка элементов коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов ... 99

Кузичкин Д.С., Ничипорук И.А., Маркин А.А., Журавлева О.А., Журавлева Т.В., Вострикова Л.В., Кочергин А.Ю., Заболотская И.В.
Анализ концентрации фактора Виллебранда в крови космонавтов до и после длительных космических полетов ... 104

Залевский Д.А., Соколов К.А., Соколова Ю.В.
Особенности смешанной формы обучения в инженерном вузе ... 113

Ципенко А.В., Рудакова Л.И., Лобов А.Г., Шаньков А.В.
Место физических дисциплин в учебных планах инженерных специальностей Московского авиационного института (на примере специальности 24.05.07) ... 119

Управление производством

Васильев В.А., Александрова С.В., Летучев Г.М.
Цифровые технологии в управлении качеством ... 125

Голов Р.С.
Основные аспекты киберфизической трансформации производства на предприятиях аэрокосмической отрасли ... 130

Костыгова Л.А.
Межкластерное сотрудничество Самарского и Титанового инновационных кластеров ... 135

Кошелев А.С.
Система управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли ... 143

Углеводороды и твердотельные материалы

Варламова Н.И., Казаков А.И., Молоканов А.А., Плишкин Н.А., Тарасов Г.А., Яновский Л.С.
Исследования свойств углеводородных соединений с помощью комплекса манометрических методов ... 147

Фозилов Т.Т.
Анализ механических свойств, микроструктуры и кристаллизации литейных алюминиевых сплавов после обработки индием ... 152

Либерзон М.Р., Павлов Ю.В., Погородний П.Г.
Использование сейсмических технологий для геофизической разведки, эксплуатации и обеспечения безопасности месторождений и технологических объектов ... 158

CONTENTS

From the Editor

Liberzon M.R.
Prospects for the Development of the Aerospace Complex ... 7

On the History, Development and Implementation of Space Programs

Malyshkin I.A., Skryl O.A.
The Activities of Pilot-Cosmonaut of the USSR German S. Titov in the Creation of the Main Testing Space Center ... 11

Laveykin A.I.
Continuity Generations Through Aviation and Space ... 23

Plokhikh V.P., Milovanov A.G.
Development of Reusable Space Systems ... 28

Abrosimov N.A., Boot A.B., Abdurashidov T.O.
The Gas Dynamics of the Launch Complexes at the «Vostochny» Cosmodrome ... 34

Korovin V.V.
Mastering the Technology of Space Tether Systems Based on "Tether-BMSTU" ... 40

Melnikov V.M., Razoumny Yu.N., Milovanov A.G., Melnikov V.P., Komkov V.A.
Centrifugal Lasers Space Solar Power Plants ... 45

Belyakova T.I., Messineva N.A., Trofimova E.M., Spassky A.I.
Using Freons to Extinguish Fires at Space Stations and Control Centers ... 55

Afanasief A.A., Demkov V.P., Rudakova L.I., Tsipenko A.V.
Modeling of Fire Protection of High-Voltage Energy Sources of Ground-Based Space Infrastructures and Airports ... 63

Control and Simulation of Aircraft Parameters

Alifanov O.M., Kukushkin M.A.
Control of Heat Exchange Parameters on Aircraft Surface ... 69

Sagalakov A.E., Filatyev A.S.
Modeling the Synthesis of Extremals During the Flight of an Aircraft for Speed, Taking Into Account the Restrictions on the Fuel Mass Consumption ... 74

Dzhandzhgava G.I., Berg A.G., Orekhov M.I., Babichenko A.V., Evseev A.V.
Creation of Complexes of on-Board Equipment of Aircraft Using Digital Twins, Knowledge Base and Modeling ... 79

Training of specialists

Kuritsyn A.A., Saburov P.A., Popova E.V., Kutnik I.V.
Prospects for the Development of Simulators for Training Cosmonauts to Perform Task-Oriented Activity on Board the ISS RS ... 86

Wagner I.V., Vasiliev V.I., Dedkova E.V., Fokin V.E., Yurchenko E.S.
Training of Cosmonauts for Execution Visual and Instrumental Observations Earth Surface ... 93

Dikarev V.A., Chebotarev Yu.S.
Development of Interaction Elements of Collaborative Interaction of Astronauts with Robotic Systems for Manned Space Flights ... 99

Kuzichkin D.S., Nichiporuk I.A., Markin A.A., Zhuravleva O.A., Zhuravleva T.V., Vostrikova L.V., Kochergin A.Yu., Zabolotskaya I.V.
Analysis von Willebrand Factor Concentration in Cosmonauts' Blood Before and After Long-Term Space Flights ... 104

Zalevsky D.A., Sokolov K.A., Sokolova Yu.V.
Peculiarities of the Mixed form of Engineering Education ... 113

Tsipenko A.V., Rudakova L.I., Lobov A.G., Shankov A.V.
The Place of Physical Disciplines in the Curricula of Engineering Specialties of the Moscow Aviation Institute (on the Example of the Specialty 24.05.07) ... 119

Production management

Vasiliev V.A., Aleksandrova S.V., Letuchev G.M.
Digital Technologies in Quality Management ... 125

Golov R.S.
Key Aspects of Cyber-Physical Transformation of Production in Aerospace Enterprises ... 130

Kostygova L.A.
Prospects of Inter-Cluster Cooperation on the Example of the Samara Innovative Aerospace Cluster ... 135

Koshelev A.S.
Energy Efficiency Management System at the Enterprises of the Rocket and Space Industry ... 143

Hydrocarbons and solid-state materials

Varlamova N.I., Kazakov A.I., Molokanov A.A., Plishkin N.A., Tarasov G.A., Yanovsky L.S.
Studies of the Properties of Hydrocarbon Compounds Using a Complex of Manometric Methods ... 147

Fozilov T.T.
Analysis of Mechanical Properties, Microstructure and Crystallization of Cast Aluminum Alloys after Indium Treatment ... 152

Liberzon M.R., Pavlov Yu.V., Pogorodny P.G.
Use of Seismic Technologies for Geophysical Exploration, Operation and Safety of Deposits and Technological Objects ... 158

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

От редактора / From the Editor

УДК.629.7(09) DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_7

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВИАКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

М.Р. Либерзон

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8306-2474

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Российская инженерная академия, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Аэрокосмические конгрессы. Международные аэрокосмические конгрессы проводятся в Москве регулярно раз в три года, начиная с 1994 года, и собирают в качестве участников около 1000 ученых, конструкторов, космонавтов из разных стран. Настоящее издание журнала основано на материалах X Международного Аэрокосмического Конгресса, который работал в период с 26 по 31 августа 2021 года в помещениях МГУ имени М.В. Ломоносова и был посвящен 60-летию первого в истории человечества космического полета Ю.А. Гагарина.*

Выдающиеся участники конгрессов. *Международные аэрокосмические конгрессы работают уже 27 лет. За эти годы ушли из жизни многие выдающиеся люди, которые своим участием в конгрессах определили их высочайший научный уровень и популярность в мире. Память этих людей почтили минутой молчания на Торжественной церемонии открытия X Конгресса. Их имена с благодарностью названы в этой статье.*

Тематические направления, отраженные в этом издании журнала, охватывают широкий спектр исследований в аэрокосмической области. Здесь вопросы истории, новых авиационных и космических технологий, моделирования, учебно-методических разработок, управления производством, исследования свойств материалов и их использования.

Заключение. *Проведение следующего XI Международного Аэрокосмического Конгресса запланировано на август 2024 года. В его программу будут включены как доклады участников из разных стран, так и презентации госструктурами государственных программ развития аэрокосмической отрасли России, Индии, Китая, США и других стран. Как и на предыдущих конгрессах, это даст существенный толчок и стимул к общему прогрессу в этой области.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Авиация, космос, конгресс, технологии, прогресс, аэрокосмическая отрасль.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Либерзон М.Р. Перспективы развития авиакосмического комплекса // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 7–10. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_7.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE AEROSPACE COMPLEX

Mark R. Liberzon

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8306-2474

Moscow Aviation Institute (National Research University), Russian Engineering Academy, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. *Aerospace congresses. International aerospace congresses have been held in Moscow regularly every three years since 1994 and gather as participants about 1000 scientists, designers, and cosmonauts from different countries. This edition of the journal is based on the materials of the X International Aerospace Congress which was held from August 26 to 31, 2021 in the premises of the Lomonosov Moscow State University and was dedicated to the 60th anniversary of the first in the history of mankind space flight of Yuri Gagarin.*

Outstanding participants of the congresses. International aerospace congresses have been operating for 27 years. Over the years, many outstanding people have passed away, who by their participation in congresses determined their highest scientific level and popularity in the world. The memory of these people was honored with a minute of silence at the Opening ceremony of the X Congress. Their names are gratefully mentioned in this article.

Thematic areas reflected in this edition of the journal cover a wide range of research in the aerospace field. There are issues of history, new aviation and space technologies, modeling, educational and methodological developments, production management, research of the properties of materials and their use.

Conclusion. *The next XI International Aerospace Congress is scheduled for August 2024. Its program will include reports of participants from different countries, as well as presentations by government agencies of state programs for the development of the aerospace industry in Russia, India, China, the USA and other countries. As at previous congresses, this will give an impetus to general progress in this area.*

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

KEYWORDS
Aviation, space, congress, technology, progress, aerospace industry.

FOR CITATIONS
Liberzon M.R. Prospects for the Development of the Aerospace Complex. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 7–10. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_7 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Каждый из регулярно проводимых в Москве международных аэрокосмических конгрессов традиционно посвящается юбилею одного из знаковых событий в области исследования и освоения космического пространства: запуска Первого искусственного спутника Земли, вывода в Космос орбитальной станции «Мир», совместного космического полета «Союз» – «Аполлон», Первого выхода человека в открытый космос и др. Журнал «Идеи и новации» периодически публикует в своих выпусках статьи крупных специалистов, основанные на докладах и дискуссиях на конгрессах. Так, 30-летию полета «Бурана» по материалам Конгресса 2018 года был посвящен выпуск журнала Т. 6, № 3, 2018, 50-летию успешной работы «Лунохода» – Т. 8, № 3-4, 2020, 60-летие первого в истории человечества космического полета Ю.А. Гагарина отмечено яркими публикациями в выпуске журнала Т. 9, № 1, 2021, а также в настоящем выпуске, подготовленном по материалам Десятого Международного Аэрокосмического Конгресса.

История конгрессов и их выдающиеся организаторы и участники

Идея провести в Москве Международный Аэрокосмический Конгресс возникла в 1993 году [1]. Председателем Оргкомитета Конгресса согласился стать великий ученый Герой Социалистического Труда академик А.Ю. Ишлинский. В состав Оргкомитета вошли Герой Социалистического Труда академик Б.В. Раушенбах, Президент Ассоциации инженерных вузов России Б.С. Митин, Первый заместитель начальника Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина Герой Советского Союза космонавт Ю.Н. Глазков. Почти сразу же активную работу по подготовке Конгресса стали вести выдающийся авиаконструктор Герой Социалистического Труда Г.Е. Лозино-Лозинский, Генеральный директор Космического центра имени М.В. Хруничева Герой Социалистического Труда А.И. Киселев, Генеральный директор ЦНИИМаш Дважды Герой Социалистического Труда академик В.Ф. Уткин, легендарный создатель ракетной техники Герой Социалистического Труда академик Б.Е. Черток, один из основателей РВСН Генерал армии Ю.А. Яшин, Герой Социалистического Труда академик К.В. Фролов, академик Ю.А. Рыжов. Известные имена и высочайший авторитет этих людей привлекли к Конгрессу внимание в нашей стране и за рубежом. Конгресс оказался исключительно востребованным, а его научно-технический уровень – беспрецедентно высоким. На этом и последующих конгрессах организаторами и руководителями секций, ведущими дискуссионных «круглых столов», пленарными докладчиками выступали Герой Социалистического Труда академик В.П. Мишин, академики Е.А. Микрин, А.М. Матвеенко, президент РАН академик В.Е. Фортов, известный летчик-испытатель Герой Советского Союза С.А. Микоян, выдающиеся космонавты Дважды Герои Советского Союза В.В. Горбатко, Г.М. Гречко, А.А. Леонов, ведущие зарубежные ученые – профессора Хироши Кимура (Япония), Дэвид Крайтон (Великобритания), Ювал Нееман (Израиль). Всем этим людям – глубокий поклон и светлая благодарная память.

Ниже мы остановимся на статьях, которые включены в настоящее издание журнала и основаны на некоторых докладах X Конгресса 2021 года [2].

Об истории, развитии и реализации космических программ

Научные и конструкторские работы в ракетно-космической области начали эффективно осуществляться в нашей стране в 40-е годы XX века группой крупнейших специалистов под руководством С.П. Королева [3]. Космический полет Ю.А. Гагарина, совершенный 12 апреля 1961 года, положил начало пилотируемой

космонавтике. В последующие годы развитие и реализация космических программ продолжается на земле и в космосе.

В статье о легендарном летчике-космонавте Г.С. Титове рассказано о его космическом полете и широкомасштабной деятельности в качестве одного из руководителей создания ракетно-космической техники в нашей стране.

Во второй статье автор прослеживает яркую и плодотворную связь поколений на примере своей семьи: от отца, Героя Советского Союза военного летчика И.П. Лавейкина к сыну, Герою Советского Союза космонавту А.И. Лавейкину.

В следующих статьях представлены исследования и результаты в развитии и создании ряда космических технологий: многоразовые аэрокосмические системы, космические тросовые системы, стартовые комплексы перспективных ракет-носителей (РН) на космодроме «Восточный», космические электростанции, методы тушения пожаров на наземных космических объектах и в космосе.

Контроль и моделирование параметров летательных аппаратов

При движении летательного аппарата (ЛА) в воздухе большое значение имеет возможность контролировать параметры полета и оказывать необходимое воздействие на них. Это относится и к авиационным ЛА, движущимся с большими скоростями, и к космическим ЛА при их вхождении в атмосферу и движении в ней. В представленных статьях рассмотрены вопросы защиты поверхности ЛА от чрезмерного нагрева при больших сверхзвуковых скоростях, задачи минимизации времени полета с учетом ограничений на расход топлива, а также разработка и применение методов цифрового математического и полунатурного моделирования при создании комплексов бортового оборудования ЛА.

Подготовка специалистов

Задача подготовки специалистов для аэрокосмической отрасли включает в себя отбор и подготовку космонавтов (здесь существует и продолжает создаваться и совершенствоваться целый комплекс методов и тренажеров), а также инженерное образование (здесь многие специалисты отмечают существенные пробелы и проблемы в отечественной системе образования).

В публикуемых статьях представлены перспективные методы подготовки космонавтов на основе развития тренажерных средств, специальная подготовка космонавтов для ведения визуально-инструментальных измерений и наблюдений с борта МКС, использование робототехнических систем, сравнительная оценка медико-биологических параметров анализа крови космонавтов до и после длительных космических полетов. Некоторые аспекты обучения в инженерных вузах обсуждаются в плане оценки смешанной (очной и дистанционной) формы обучения и специфики преподавания физики на примере Московского авиационного института.

Управление производством

Вопросы, связанные с управлением производством на предприятиях аэрокосмической отрасли, выходят на передний план в целях достижения высокой степени качества продукции, внедрения современных высоких технологий, обеспечения инновационности ракетно-космической промышленности, повышения её эффективности и конкурентности. Особое место здесь занимает использование новейших цифровых технологий.

Объединенные в этом разделе четыре статьи посвящены указанным вопросам.

Углеводороды и твердотельные материалы

В следующих статьях приводятся результаты работ по исследованию свойств углеводородов и их использованию в компонентах топлив и смазок, анализу и методам улучшения механических свойств алюминиевых сплавов для использования в авиационной промышленности, применению новых сейсмических методов для разведки месторождений углеводородов и обеспечения безопасности месторождений и технологических объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отличительной особенностью X Международного Аэрокосмического Конгресса, как и предыдущих конгрессов, является то, что в программу

Конгресса включены практически все научно-технические, конструкторские, технологические, образовательные направления аэрокосмической сферы. В результате материалы конгрессов содержат современные достижения во всех этих направлениях, что делает их особенно востребованными.

Очередной XI Международный Аэрокосмический Конгресс запланирован на август 2024 года. Организаторы Конгресса приглашают заинтересованных специалистов принять в нем участие.

С уважением,
Марк Романович Либерзон

Литература

1. Либерзон М.Р. Ученые, конструкторы, космонавты – Аэрокосмическому Форуму // АвиаСоюз. 2021. № 3. С. 60–62.

2. Либерзон М.Р. Международный Аэрокосмический Конгресс // АвиаСоюз. 2021. № 4/5. С. 86.

3. Либерзон М.Р. Пионеры космической эры // Идеи и новации. 2021. Т. 9, № 1. С. 119–126.

References

1. Liberzon M.R. Scientists, designers, cosmonauts – to the Aerospace Forum. *AviaSoyuz*, 2021, no. 3, pp. 60–62 (in Russian).

2. Liberzon M.R. International Aerospace Congress. *AviaSoyuz*, 2021, no. 4/5, p. 86 (in Russian).

3. Liberzon M.R. Pioneers of the Space Era. *Ideas and Innovations*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 119–126 (in Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Либерзон Марк Романович
доктор физико-математических наук, профессор,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
Заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Президента РФ, вице-президент Российской инженерной академии
mark@fund.ru

Mark R. Liberzon
Dr. Sc. (Phys&Math), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993 Russia*)
Honored Scientist of the Russian Federation, Laureate, Prize of the President of the Russian Federation, Vice President, Russian Academy of Engineering.
mark@fund.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Об истории, развитии и реализации космических программ /
On the History, Development and Implementation of Space Programs

УДК 001.89 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_11

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЁТЧИКА-КОСМОНАВТА СССР Г.С. ТИТОВА В СОЗДАНИИ ГЛАВНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

И.А. Малышкин
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-9968-6481

О.А. Скрыль
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-5729-6960

Научно-испытательное управление Главного испытательного космического центра МО РФ имени Г.С. Титова, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Исследование деятельности летчика-космонавта СССР Героя Советского Союза Германа Степановича Титова, крупного военачальника, ценного руководителя в области создания ракетно-космической техники Советского Союза – России, основанное на базе архивных материалов Главного испытательного космического центра.*

Методы. *2021 год – знаменательный год для пилотируемой космонавтики в России. 60 лет назад, в 1961 году, в Советском Союзе впервые в мире осуществлены полеты человека в космическое пространство. Наземные системы, объединенные в Командно-измерительный комплекс, осуществили управление пилотируемыми космическими кораблями, точно рассчитали параметры орбиты и обеспечили получение основных жизненно важных показателей космонавтов и контроль работы бортовых приборов в процессе полета. 12 апреля 1961 года с так называемого Гагаринского старта (площадка № 1) с космодрома Байконур стартовала ракета космического назначения «Восток» с одноименным космическим кораблем «Восток-1». Юрий Алексеевич Гагарин в течение 108 минут облетел на этом корабле земной шар и благополучно возвратился на родную Землю. «Правнуки наши, наши далекие потомки будут перечитывать и изучать документы о рождении новой эры, открывшей детям Земли путь в бескрайнюю Вселенную», – говорил Герман Титов о первом полете Юрия Гагарина. 6 августа того же года стартовал и его космический корабль «Восток-2». Герман Титов совершил уже суточный, семнадцативитковый орбитальный полёт с обширной программой экспериментов. В управлении космическими кораблями «Восток-1» и «Восток-2» непосредственно участвовали коллективы Центра командно-измерительного комплекса и всех стационарных научно-измерительных пунктов, а также корабли Морского телеметрического комплекса. Командно-измерительный комплекс, а ныне современный Главный испытательный космический центр, принимает участие во всех космических программах СССР – Россия. С 1972 года судьба летчика-космонавта СССР Германа Степановича Титова была связана с Космическим центром. Он был назначен на должность заместителя начальника Командно-измерительного комплекса по управлению космическими аппаратами (КА) военного назначения. У Германа Титова начался новый путь, теперь уже как будущего крупного и ответственного военачальника, ценного руководителя по созданию ракетно-космической техники Советского Союза – России, для него было открыто новое направление деятельности – организация управление космическими аппаратами, создание и испытание космических средств. 1 июня 1973 года Г.С. Титов был назначен на вышестоящую должность – заместителя начальника Главного управления космических средств Министерства обороны СССР по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работам. 19 лет он посвятил этому направлению деятельности, вплоть до увольнения с военной службы. Чем бы ни занимался Герман Степанович Титов, он всегда тщательно продумывал суть проблемы и затем находил наиболее рациональные и эффективные пути ее решения.*

Результаты. *По имеющимся фотоматериалам Г.С. Титов в период с 1973 по 1989 год проработал практически во всех воинских частях Главного центра. Оценил по достоинству роль Командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами как одного из основных, незаменимых средств космической деятельности. "Без него, собственно, и полёты космических аппаратов были бы невозможны, как они невозможны без мощных ракет-носителей и космодромов", – отмечал Титов.*

Выводы. *Герман Степанович Титов внес огромный вклад в развитие космических программ России. 14 августа 2001 года Указом Президента Российской Федерации в ознаменование заслуг второго космонавта Земли Героя Советского Союза генерал-полковника Г.С. Титова, который был одним из руководителей Главного испытательного центра, и в целях увековечения его памяти Главному испытательному космическому центру присвоено почётное наименование «имени Германа Степановича Титова».*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Пилотируемая космонавтика, наземные системы контроля и управления.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Малышкин И.А., Скрыль О.А. Деятельность лётчика-космонавта СССР Г.С. Титова в создании Главного испытательного космического центра // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 11–22. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_11.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

THE ACTIVITIES OF PILOT-COSMONAUT OF THE USSR GERMAN S. TITOV IN THE CREATION OF THE MAIN TESTING SPACE CENTER

Igor A. Malyshkin
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-9968-6481

Oleg A. Skryl
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-5729-6960

Scientific Testing Directorate of G.S. Titov the Main Testing Space Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. Study of the process of formation of German Stepanovich Titov, pilot-cosmonaut of the USSR Hero of the Soviet Union, for whom a new path began, as a future large and responsible military leader, a valuable leader in the creation of rocket and space technology of the Soviet Union – Russia, based on archival materials of the Main Testing Space Center

Methods. *2021 is a significant year for manned cosmonautics in Russia. 60 years ago, in 1961, in the Soviet Union, for the first time in the world, human flights into outer space were carried out. The ground-based systems integrated into the Command and Measurement Complex (CIC) controlled the manned spacecraft, accurately calculated the orbit parameters and ensured the receipt of the main vital indicators of astronauts and monitoring the operation of on-board instruments during the flight. On April 12, 1961, from the so-called Gagarin Launch Site No. 1, the Vostok space rocket with the Vostok-1 spacecraft of the same name was launched from the Baikonur cosmodrome. Yuri Alekseevich Gagarin flew around the entire globe on this ship for 108 minutes and returned safely to his native Land. "Our great-grandchildren, our distant descendants will reread and study the documents about the birth of a new era, which opened the way to the boundless Universe for the children of the Earth," said German Titov about the first flight of Yuri Gagarin. On August 6 of the same year, his Vostok-2 spacecraft was launched. German Titov has already made a daily, seventeen-turn orbital flight with an extensive program of experiments. The management of the Vostok-1 and Vostok-2 spacecraft directly involved the collectives of the Command and Measurement Complex Center and all stationary scientific measuring points, as well as the ships of the marine telemetry complex. The command and Measurement Complex, and now the modern Main Test Space Center, takes part in all space programs of the USSR – Russia. In 1972, the fate of the pilot-cosmonaut of the USSR, German Stepanovich Titov, was connected with the rapidly developing Command and Measurement Complex. He was appointed to the Command and Measurement Complex as the deputy head of the Command and Measurement Complex for the management of military spacecraft. German Titov began a new path, now as a future major and responsible military commander, a valuable leader in the creation of rocket and space technology of the Soviet Union-Russia, a new direction of activity was opened for him – the organization of spacecraft control, the creation and testing of space assets. Having served in the Command and Measurement Complex for less than a year, on June 01, 1973, G.S. Titov was appointed to a higher position – Deputy head of the Main Department of Space Facilities of the USSR Ministry of Defense for research and development work. He devoted 19 years to this field of activity, until his dismissal from military service. Whatever he was doing, German Stepanovich Titov always carefully thought through the essence of the problem, and then found the most rational and effective solutions.*

Findings. *According to the available photographic materials, G.S. Titov worked in almost all military units of the Main Center in the period from 1973 to 1989, and in many more than once. He appreciated the role of the Command and Measurement complex for spacecraft control as one of the main, irreplaceable means of space activities. "Without it, in fact, the flights of spacecraft would be impossible, as they are impossible without powerful launch vehicles and spaceports," Titov noted.*

Conclusions. *German Stepanovich Titov made a huge contribution to the development of Russia's space programs. On August 14, 2001, by a decree of the President of the Russian Federation, in commemoration of the merits of the 2nd cosmonaut of the Earth, Hero of the Soviet Union, Colonel-General G.S. Titov, who was one of the heads of the Main Test Center, and in order to perpetuate his memory, the Main Test Center (testing and control) of Space Facilities was awarded the honorary name "named after German Stepanovich Titov".*

KEYWORDS

Manned astronautics, ground-based monitoring and control systems.

FOR CITATIONS

Malyshkin I.A., Skryl O.A. The Activities of Pilot-Cosmonaut of the USSR German S. Titov in the Creation of the Main Testing Space Center. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 11–22. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_11 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

2021 год – знаменательный год для пилотируемой космонавтики в России. 60 лет назад, в 1961 году, в Советском Союзе впервые в мире осуществлены полеты человека в космическое пространство. Наземные системы, объединенные в Командно-измерительный комплекс (КИК), осуществили управление пилотируемыми космическими кораблями, точно рассчитали параметры орбиты и обеспечили получение основных жизненно важных показателей космонавтов и контроль работы бортовых приборов в процессе полета.

Еще одна особенность, на которую хотелось бы обратить внимание, 11 августа 1961 года в этих стенах, Московского государственного

университете через четверо суток после полета Герману Степановичу Титову руководителем РАН Келдышем Мстиславом Всеволодовичем была вручена Золотая медаль имени К.Э. Циолковского.

Теперь, по порядку, 12 апреля 1961 года с так называемого Гагаринского старта (площадка № 1) с космодрома Байконур стартовала трехступенчатая ракета космического назначения «Восток» с одноименным космическим кораблем «Восток-1». Был совершён первый полёт человека в космос. Юрий Алексеевич Гагарин в течение 108 минут облетел на этом корабле земной шар и благополучно возвратился на родную Землю. Именно в этот день состоялись первые в истории пилотируемой космонавтики переговоры между С.П. Королёвым и Ю.А. Гагариным по линии «Земля–Космос–Земля» с использованием станции космической связи «Заря».

«Правнуки наши, наши далекие потомки будут перечитывать и изучать документы о рождении новой эры, открывшей детям Земли путь в бескрайнюю Вселенную», – говорил Герман Титов о первом полете Юрия Гагарина.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

6 августа, менее чем через четыре месяца, стартовал и его космический корабль «Восток-2». Герман Титов совершил уникальный, суточный, семнадцативитковый орбитальный полёт с обширной программой экспериментов. В управлении космическими кораблями «Восток-1» и «Восток-2» непосредственно участвовали коллективы Центра КИКа и всех стационарных научно-измерительных пунктов (НИП), а также корабли морского телеметрического комплекса. При работе с «Востоком-2», по сравнению с первым «Востоком», в 20 раз вырос объём принимаемой, передаваемой и обрабатываемой КИКом информации.

А с чего все начиналось! Первую свою оперативную работу КИК провел 4 октября 1957 года в 22 часа 28 минут 24 секунды по московскому времени, когда участвовал в величайшем событии в истории развития человеческой цивилизации – сопровождал запуск ракеты-носителя Р-7 с первым в мире искусственным спутником Земли «ПС-1».

15 мая 1958 года – историческая дата для Командно-измерительного комплекса. Со второго раза (первый запуск объекта «Д» 27 апреля 1958 года был неудачным из-за аварии ракеты-носителя) был запущен объект «Д», представляющий собой научную лабораторию в космосе, которая впервые управлялась по командам с Земли. Это были первые двадцать команд, передававшиеся по командной радиолинии наземной станцией МРВ-2М, проверена согласованная работа бортовых и наземных систем при получении траекторной, телеметрической и научной информации. Более двух недель наземные средства КИК поддерживали связь с космическим аппаратом, получали от него новые данные об окружающем космическом пространстве.

Задачи, выдвинутые развитием отечественной космонавтики в Советском Союзе перед Командно-измерительным комплексом, количественно и качественно изменились. Теперь требовалось использовать КИК для управления и контроля значительным количеством одновременно действующих в полете космических аппаратов, составляющих орбитальную группировку страны. В их число входили пилотируемые космические аппараты (космические корабли), автоматические КА военного, научного и социально-экономического назначения, аппараты для изучения космических объектов Солнечной системы: Венеры, Марса, Луны.

После ухода из отряда космонавтов у Германа Титова начался новый путь, теперь уже как будущего военачальника – руководителя созданием ракетно-космической техники в Советском Союзе.

В августе 1972 года Герман Титов с отличием окончил академию Генерального штаба. Ему была присвоена квалификация «офицер с высшим военным образованием».

И судьба Титова связала со стремительно развивающимся Командно-измерительным комплексом. В августе того же года, после окончания

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

академии, он был направлен в Командно-измерительный комплекс на должность заместителя начальника КИК по управлению КА военного назначения. Должность была введена также в 1972 году, за четыре дня до назначения на эту должность Германа Титова.

В начале 70-х годов количество космических аппаратов, одновременно функционирующих на орбите, превысило 90, а количество сеансов управления достигло 108 000 в год. Это была очень ответственная и сверхсекретная работа. Потому записи о работе Г.С. Титова в КИК не велись, а фотографирование было запрещено. Тем не менее сохранилась одна редкая фотография. Это командование Центра КИК в 1973 году (фото 1).

Кабинет Германа Титова располагался на втором этаже технического здания № 4 на территории закрытого города Краснознаменска, где в то время располагался командный пункт Центра КИК. Герман Титов быстро вник в специфику своей новой работы. Окружающие сослуживцы не раз удивлялись его всесторонним знаниям в новой для него области. Начальник Центра испытаний и применения специальных космических аппаратов генерал-майор Михаил Тутович Дохов вспоминал: *«Герман Степанович лично ознакомился и вник не только в техническое содержание всех комплексов управления, но и прекрасно изучил деловые качества многих офицеров-руководителей. Будучи председателем госкомиссий по ряду новых космических аппаратов, Герман Степанович проявил настоящий талант в организации взаимодействия с промышленностью, внимательно прислушивался к главным конструкторам, помогая им, он одновременно принципиально оценивал результаты летных испытаний космических аппаратов и только после этого рекомендовал к принятию их на вооружение».*

Важность и своевременность введения руководителя, отвечающего за орбитальную группировку, за техническое состояние каждого аппарата и выполнение им целевых задач, подтвердились временем. А у Германа Титова начался новый путь, теперь уже как будущего крупного и ответственного военачальника, ценного руководителя по созданию и испытанию ракетно-космической техники Советского Союза – России.

Высокую квалификацию и активность Германа Титова оценило руководство Вооруженных Сил. Прослужив в КИК менее года, 1 июня 1973 года полковник Титов был назначен на вышестоящую должность – заместителя начальника Главного управления космических средств (ГУКОС) МО СССР по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работам. И в дальнейшем, в аппарате начальника ГУКОС, он работал в качестве заместителя, первого заместителя начальника ГУКОС (позже – Управления наземно-космическими средствами, Военно-космическими силами). Служебная деятельность Германа Титова была неразрывно связана с целями и задачами создания космических аппаратов и наземных комплексов управления.

Фото 1. Руководство Центра КИК, ~ 1973 год
Photo 1. Leadership of the CFC Center, ~ 1973

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Председатель Совета ветеранов КИК генерал-майор М.Т. Дохов вспоминал: *«Это был умный, целеустремленный генерал, который четко знал, чего он хочет в жизни и службе. Это был офицер-интеллигент, в хорошем смысле слова, которому были присущи образованность, культура, нравственность, патриотизм и доблесть. Его уважали за отсутствие зазнайства, скромность, компетентность и ровное отношение к солдатам, офицерам и гражданским лицам. По характеру это был веселый, добродушный человек, любивший людей. И они ему отвечали тем же».*

Многие сослуживцы отмечают «уникальную человечность» Германа Степановича. Совершая инспекторские проверки в подразделениях и в частях, подчинённых ГУКОСу, во главе комиссий он не только способствовал оптимальной организации управления наземными средствами обеспечения космических полётов, но и заботился о личном составе (фото 2–9).

Фото 2 / Foto 2

Фото 3 / Foto 3

Фото 4 / Foto 4

Фото 5 / Foto 5

Фото 6 / Foto 6

Фото 7 / Foto 7

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Фото 8 / Foto 8

Фото 9 / Foto 9

М.Т. Дохов вспоминал: «*В сентябре 1973 года в период проверки НИП-15 (Уссурийск, Приморский край), командиром которого я был, Титов возглавлял комиссию, назначенную Главкомом РВСН. Меня тогда поразило, насколько полковник Титов вырос как военачальник. Офицеры комиссии удивлялись, как космонавт смог так быстро разобраться в сложнейшей организации КИК, а главное, смог завоевать репутацию организатора и руководителя такого масштаба. Он проверял не только качество управления КА, но и обращал особое внимание командиров на заботу о личном составе. Проверял, как организовано питание и его качество, жилищно-бытовые условия, организацию военной торговли, медицинского обеспечения».*

А вот еще одно воспоминание, подтверждающее «невероятную человечность» Германа Степановича Титова.

По плану ГУКОС в 1975 году НИП-12 подлежала инспекторской проверке. Председателем комиссии был Г.С. Титов. Накануне проверки командир собрал личный состав части, определил, какие задачи надо решить, и пообещал вручение фотографии Г.С. Титова с его личным автографом. По результатам инспекторской проверки часть получила хорошую оценку, а Г.С. Титов подписал 1500 фотографий, которые вручали в торжественной обстановке отличившимся воинам. *«Эффект превзошел все ожидания. Оказывается, медали, автографы и другие знаки отличия нужны не только первопроходцам, но и их сыновьям и внукам»,* – вспоминал бывший начальник НИП-12 (Колпашево, Красноярский край) полковник А.С. Костюков.

25 апреля 1975 года Г.С. Титову было присвоено очередное воинское звание генерал-майора авиации.

В середине семидесятых задачи по созданию космических систем и комплексов становились все более разнообразными, комплексными, и ответственность за решения этих задач только возрастала. На самые сложные участки работы назначали настоящих профессионалов, и в их числе был генерал-майор Титов.

Фото 10 / Foto 10

Фото 11 / Foto 11

За годы службы в УНКС (ГУКОС) Герман Титов побывал практически во всех воинских частях Главного испытательного космического центра, а во многих – неоднократно. Оценил по достоинству роль Командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами как одного из основных, незаменимых средств космической деятельности. «Без него, собственно, и полёты космических аппаратов были бы невозможны, как они невозможны без мощных ракетоносителей и космодромов», – отмечал Титов.

Несмотря на занятость по службе, генерал Герман Титов находил время для общения с людьми, с трудовыми коллективами и общественными организациями, особенно с молодежью, не только в Москве, но и в отдаленных районах страны.

Все текущие разработки, испытания техники, перспективные работы в военно-космической сфере во многом зависели от организаторских способностей генерал-майора Г.С. Титова, его умения эффективно использовать накопленные в двух академиях знания. Творчески участвуя в деятельности госкомиссий по испытаниям, он активно влиял на отношения между Минобороны и предприятиями-разработчиками, поставщиками космической техники.

Герман Титов был активным идеологом создания кораблей морского измерительного комплекса.

К 1973 году в состав службы космических исследований Академии наук СССР входили 7 научно-измерительных судов («Космонавт Владимир Комаров», «Боровичи», «Невель», «Кегостров», «Моржовец» и другие. – *Ред*.). Применение с 1959 года таких судов, оборудованных техническими средствами передачи и приёма информации через спутники связи, доказало эффективность их использования для управления полётами спутников и космических кораблей на витках, невидимых с территории СССР. Понимая важность применения научно-измерительных судов, Герман Титов принял активное участие в их проектировании и строительстве. В начале 1975 года он возглавил Госкомиссию по приёмке эскизного, а затем технического проекта «Зодиак», предусматривающего строительство серии научно-измерительных судов для испытаний МБР с разделяющимися головными частями и обеспечения работ с космическими объектами. В конце 1976 года Титов – в качестве председателя Госкомиссии – уже принимал четыре новых судна: «Космонавт Владислав Волков», «Космонавт Павел Беляев», «Космонавт Георгий Добровольский» и «Космонавт Виктор Пацаев», изготовленных по проекту «Селена-М».

Фото 12 / Foto 12

Фото 13 / Foto 13

Фото 14 / Foto 14

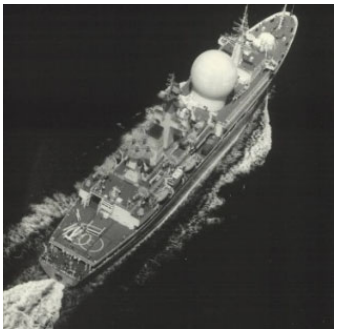


Фото 15 / Foto 15

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

В 1977 года в Ленинграде в рамках проекта «Зодиак» было заложено еще одно экспедиционное океанографическое судно «Маршал Неделин».

В 1983 году Г.С. Титова назначили первым заместителем председателя Госкомиссии по приёмке этого корабля. Он регулярно присутствовал на заводских испытаниях судна, способствовал заключению договоров о поставках необходимого оборудования. Его авторитет и умение убедить в важности порученного поставщикам дела способствовали выходу судна «Маршал Неделин» на государственные испытания в установленный приказом срок. Титов выходил на нем в море и непосредственно участвовал в испытаниях самого корабля и его радиотехнических комплексов.

Герман Степанович часто бывал в цехах завода, где создавались корабли. Выступая перед аудиторией или беседуя с рабочими, он всегда находил слова, способные убедить собеседника, что все успехи, которых достигла наша страна в космосе, стали возможны благодаря рукам, уму и сердцам людей труда.

В 1989 году по проекту «Зодиак» было построено очередное экспедиционное океанографическое судно «Маршал Крылов». В ноябре – декабре 1989 года Герман Титов участвовал в проведении испытаний этого корабля в акватории Балтийского моря.

В 1992 году, уже будучи в запасе, Герман Степанович руководил интересным проектом «Европа-Америка-500». Спутник «Ресурс-500» был запущен с космодрома Плесецк, а через семь дней его спускаемый аппарат, загруженный подарками для американцев в честь 500-летия открытия Америки Колумбом, приводнился неподалеку от Сиэтла в 190 км от штата Вашингтон. Траектория спуска «капсулы мира» проходила примерно по той самой траектории, по которой в годы напряженности предполагалось нанести по США ядерный удар. Посадка некогда секретного спускаемого аппарата российского спутника у берегов США явилась знаменательным актом, символизирующим потепление отношения между давними противниками – СССР (РФ) и США.

Во время всей своей службы Герман Степанович Титов принимал активное участие в различных комиссиях по развитию не только наземных и морских средств управления космическими аппаратами. Из архивных документов удалось узнать, что Герман Степанович возглавлял или входил в государственные комиссии по проведению летных испытаний ракет-носителей «Зенит» и космических аппаратов военного назначения, запускаемых этим носителем.

В 1979 году Г.С. Титову было присвоено воинское звание генерал-лейтенант авиации.

Новая ракета-носитель «Зенит» воплотила в себя передовые достижения того времени и богатейший опыт работы по созданию ракетно-космической техники в стране. Для ее запуска на Байконуре были построены две стартовые площадки и командный пункт. Контроль создания космического комплекса осуществляла государственная комиссия под руководством генерал-лейтенанта Г.С. Титова. Первый запуск ракеты-носителя «Зенит» с эквивалентом полезного груза состоялся 13 апреля 1985 года и был неудачным. Из-за неправильной настройки расхода топлива второй ступени полет ракеты-носителя завершился аварийно. Были и другие неудачи. После восьми полностью успешных стартов, в которых на орбиты выводились космические аппараты «Целина», «Целина-2» и «Тайфун-1Б», ракета «Зенит» была «принята на вооружение», а Герману Степановичу Титову была присуждена Ленинская премия.

Отдельным и не менее важным направлением службы Г.С. Титова было участие в летно-конструкторских испытаниях транспортных пилотируемых кораблей 7К-Т, 7К-СТ (ранние модификации нынешнего корабля «Союз МС». – *Ред*.), а также орбитальной пилотируемой станции «Алмаз». Г.С. Титов с июня 1971 года по май 1979 года был заместителем председателя государственной комиссии. (Именно Г.С. Титов в 1976 году принимал решение о досрочном прекращении полета на «Салюте-5» («Алмаз-3») экипажа корабля «Союз-21» – Б.В. Волынова и В.М. Жолобова. – *Ред*.). Герман Титов всецело понимал ту колоссальную ответственность боевых расчетов наземных средств управления за четкое функционирование бортовых систем космических кораблей, обеспечивающих безопасность полета экипажа.

Фото 16. Специалисты Центра управления полетами и главной оперативной группы управления у антенны комплекса «Плутона». ОКИК-16, Евпатория

Photo 16. Specialists of the Mission Control Center and the main operational control group at the antenna of the Plutona complex. Evpatoria

С 1973 по 1983 год Герман Титов возглавлял госкомиссии по созданию возвращаемого аппарата (ВА) в составе транспортного корабля снабжения комплекса ОПС «Алмаз». Особенность возвращаемого аппарата нового корабля была в том, он был не двухместным, как «Союз», а трехместным, причем во время выведения на орбиту и спуска экипаж находится в спасательных скафандрах.

Заседания государственной комиссии под руководством Г.С. Титова по теме «Алмаз» проходили профессионально и конструктивно, тщательно обсуждалось каждое замечание, которое выявлялось при подготовке аппаратов к запуску. Генерал Титов был требовательным руководителем, не допускал в полет возвращаемые аппараты, имеющие замечания к работе систем. Всего было выполнено 7 запусков ВА, 4 из них в составе летно-весового изделия и 3 в составе транспортного корабля снабжения. Два запуска ВА были аварийными, и в этих случаях также проявились сильные организаторские качества Германа Титова по принятию оперативных мер при парировании сложных ситуаций.

Еще одним направлением в деятельности Титова в период 1974–1979 годов стало создание самолетных измерительных пунктов (СИП) на базе самолетов ИЛ-18, которые были созданы в интересах различных видов и родов войск. На ГУКОС была возложена ответственность за обеспечение самолетных измерительных пунктов аппаратурой приема телеметрической информации по трассам запусков ракетоносителей с полигонов Плесецк и Байконур, а также при посадке космических аппаратов и спускаемых капсул фоторазведки и макетов многоразового космического комплекса «БОР-4», «БОР-5» по программе РКК «Энергия – Буран».

В 1986 году Герман Степанович Титов был назначен первым заместителем начальника ГУКОС МО СССР, а в 1988 году ему было присвоено воинское звание генерал-полковник авиации. В это время Герман Титов возглавил Государственную комиссию по космическим аппаратам «Ураган», а в мае 1990 года стал еще и членом Военного Совета Управления начальника космических средство Минобороны СССР.

Герман Степанович во многих госкомиссиях прошёл через должность заместителя председателей. Нередко он оценивал эти свои должности словами Сергея Павловича Королёва, однажды произнесёнными на полигоне*: «Заместитель – это посох, палка, на которую хозяин опирается в дороге. Когда поздно возвращается домой, он палкой ощупывает дорогу, когда на него нападает собака, он палкой отбивается от неё. А когда он приходит в гости, палку оставляет в передней…».*

27 октября 1991 года генерал-полковник авиации Г.С. Титов приказом Министра обороны был уволен с военной службы «по состоянию здоровья» с объявлением благодарности и вручением Благодарственной грамоты. Для него начался сложный, трудный период после армейской жизни, который совпал с геополитическим крахом и развалом Советского Союза.

Фото 17 / Foto 17

Фото 18 / Foto 18

Фото 19 / Foto 19

Фото 20 / Foto 20

Фото 21. Генерал-полковник авиации Г.С. Титов
Photo 21. Colonel General of Aviation German Titov

Фото 22 / Foto 22

Фото 23 / Foto 23

Фото 24 / Foto 24

В неблагоприятный для отечественной космонавтики период 90-х годов Титов Герман Степанович изыскивал законодательные пути уберечь её от развала (с 1995 года – депутат Государственной Думы Российской Федерации). С огромным трудом добивался допустимого максимально продолжительного сохранения в космосе орбитальной пилотируемой станции «Мир», возрождения систем спутниковой связи и других перспективных космических систем отечественной орбитальной группировки. Избирался Президентом Федерации космонавтики России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

20 сентября 2000 года Германа Титова не стало. 14 августа 2001 года Указом Президента Российской Федерации в ознаменование заслуг второго космонавта Земли Героя Советского Союза генерал-полковника Г.С. Титова в целях увековечения его памяти Главному испытательному центру (испытаний и управления космическими средствами) присвоено почётное наименование *«имени Германа Степановича Титова»*.

9–10 сентября 2020 года в парке Патриот и в городе Краснознаменске Главный испытательный космический центр совместно с Федерацией космонавтики России торжественно проведены Первые Титовские чтения. Эти чтения стали традиционными. 11 сентября в день 85-летия со дня рождения Германа Титова во всех частях Главного центра прошли торжественные мероприятия, а в ряде воинских частях открыли бюсты Титова.

Герман Степанович Титов внес огромный вклад в развитие космических программ Советского Союза – России, и мы, сотрудники Главного испытательного космического центра, об этом помним, чтим и с гордостью носим его имя.

Литература

1. История Командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами от истоков до Главного испытательного центра имени Г.С. Титова. Кн. 1 Общий очерк. М.: Изд-во ЗАО СП «Контакт-РЛ», 2006. 480 с.

2. Кузнецкий М.И. Титов – второй космонавт планеты. Краснознаменск: Влади, 2005. 248 с.

3. Так это было... Книга о Юрии Александровиче Мозжорине: в 2 т. 2-е изд., уточнённое и доп. Королев: ЦНИИмаш, 2014. Т. 1. 527 с.

4. Творческое наследие академика Сергея Павловича Королева. Избранные труды и документы / под общ. ред. М.В. Келдыша. М.: Наука, 1980. 591 с.

5. Титов Г.С. Голубая моя планета. М.: ИД Академии Жуковского, 2016. 286 с.

6. Титов Г.С. Семнадцать космических зорь: автобиогр. повесть. М.: Детгиз, 1963. 128 с.

7. Черток Б.Е. Ракеты и люди. Т. 3. Горячие дни «холодной войны». М.: РТСофт, 2012. 701 с.

References

1. *Istoriya Komandno-izmeritel'nogo kompleksa upravleniya kosmicheskimi apparatami ot istokov do Glavnogo ispytatel'nogo tsentra imeni G.S. Titova. Kn. 1 Obshchii ocherk* [History of the Command and Measurement Complex for Spacecraft Control from the Origins to the Main Test Center named after G.S. Titov. Book 1: General overview]. Moscow, 2006, 480 p. (in Russian).

2. Kuznetskii M.I. *Titov – vtoroi kosmonavt planety* [Titov is the second cosmonaut of the planet]. Krasnoznamensk, Vladi Publ., 2005, 248 p. (in Russian).

3. *Tak eto bylo... Kniga o Yurii Aleksandroviche Mozzhorine: v 2 t. 2-e izd., utochnennoe i dop.* [So it was... The book about Yuri Alexandrovich Mozzhorin. 2 vols. 2nd ed.]. Korolev, 2014, vol. 1, 527 p. (in Russian).

4. Keldysh M.V., ed. *Tvorcheskoe nasledie akademika Sergeya Pavlovicha Koroleva. Izbrannye trudy i dokumenty* [Creative heritage of academician Sergey Pavlovich Korolev. Selected writings and documents]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 591 p. (in Russian).

5. Titov G.S. *Golubaya moya planeta* [My Blue Planet]. Moscow, Zhukovsky Academy Publ., 2016, 286 p. (in Russian).

6. Titov G.S. *Semnadtsat' kosmicheskikh zor': avtobiograficheskaya povest'* [Seventeen Cosmic Dawns: An Autobiographical Novel]. Moscow, Detgiz Publ., 1963, 128 p. (in Russian).

7. Chertok B.E. *Rakety i lyudi. T. 3. Goryachie dni «kholodnoi voiny»* [Rockets and people. Vol. 3: The Hot Days of the Cold War]. Moscow, 2012, 701 p. (in Russian).

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Информация об авторах / Information about the authors

Малышкин Игорь Анатольевич
заслуженный испытатель космической техники, полковник ВКС, начальник научно-испытательного управления, Главный испытательный космический центр имени Г.С. Титова Министерства обороны РФ
malish_ig@mail.ru

Скрыль Олег Алексеевич
заслуженный испытатель космической техники, подполковник, научно-испытательное управление, Главный испытательный космический центр имени Г.С. Титова Министерства обороны РФ
OAS197@mail.ru

Igor A. Malyshkin
Honored Tester of Space Technology, Colonel of the Aerospace Forces;
Head, G.S. Titov Research Directorate of the Main Testing Space Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation
malish_ig@mail.ru

Oleg A. Skryl
Honored Tester of Space Technology, Lieutenant colonel of the Aerospace Forces; G.S. Titov Research Directorate of the Main Testing Space Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation
OAS197@mail.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 929 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_23

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ПОКОЛЕНИЙ ЧЕРЕЗ АВИАЦИЮ И КОСМОС

А.И. Лавейкин

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5134-6402

Мемориальный музей космонавтики, Москва, Россия

Ивану Павловичу и всем ветеранам 5-го гвардейского Берлинского Краснознаменного ордена Богдана Хмельницкого истребительного авиационного полка посвящаю

АННОТАЦИЯ

Цель. *Исследование духовной связи поколений на примере одной семьи, когда рассказы отца, Героя Советского Союза генерал-майора авиации Лавейкина Ивана Павловича и его соратников, ветеранов 5-го гвардейского Берлинского Краснознаменного ордена Богдана Хмельницкого истребительного авиационного полка, о Великой Отечественной войне воспитали в сыне, Александре Ивановиче, любовь к небу и привели его в космонавтику.*

Методы. *Статья основана на материалах книги «В небе и над Землёй», посвященной жизненному пути Героя Советского Союза генерал-майора авиации Лавейкина Ивана Павловича, который в годы Великой Отечественной войны командовал 2-й эскадрильей и был заместителем командира 5-го гвардейского Берлинского Краснознамённого ордена Богдана Хмельницкого истребительного авиационного полка, а также подготовке и полугодовому космическому полёту А.И. Лавейкина на борту орбитальной станции «Мир».*

За годы Великой Отечественной войны И.П. Лавейкин совершил 498 боевых вылетов, провёл 106 воздушных боёв, лично сбил 24 самолёта противника и 15 в паре со своими ведомыми. И.П. Лавейкин участвовал в Смоленском сражении, обороне Москвы, Ржевско-Вяземской и Ржевско-Сычёвской операциях, Сталинградской битве, Ворошиловградской операции, Курской битве, Изюм-Барвенковской, Белгородско-Харьковской, Донбасской, Запорожской, Днепропетровской и Львовско-Сандомирской стратегических операциях, в Берлинской битве и освобождении Праги.

В 1961 году состоялся полёт в космос первого человека, Ю.А. Гагарина. Это событие несомненно повлияло на выбор профессии автора статьи. Но главным всегда был и остаётся пример отца. Автор в деталях рассказывает о своей подготовке в отряде космонавтов. Мечта – полёт в космос – была осуществлена 6 февраля 1987 года в качестве бортинженера корабля «Союз ТМ-2» и орбитальной станции «Мир». Задача полёта – испытание в пилотируемом режиме нового, усовершенствованного пилотируемого корабля серии ТМ «Союз ТМ-2». В статье описывается полугодовой космический полёт на борту орбитальной станции «Мир».

Результаты. *Опубликованы материалы из архива военного летчика И.П. Лавейкина, раскрыт его военный путь, а также существенные моменты подготовки и полугодового космического полёта космонавта А.И. Ловейкина на борту орбитальной станции «Мир».*

Выводы. *Автор взял на себя ответственность перед памятью ушедших из жизни ветеранов полка и обратился в Министерство обороны РФ с просьбой присвоить это почётное наименование одному из полков Воздушно-космических сил РФ.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Военный летчик И.П. Лавейкин, Великая Отечественная Война, путь в космос А.И. Лавейкина.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Лавейкин А.И. Преемственность поколений через авиацию и космос // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 23–27. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_23.

CONTINUITY GENERATIONS THROUGH AVIATION AND SPACE

Alexander I. Laveykin

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5134-6402

Memorial museum of cosmonautics, Moscow, Russia

Dedicated to Ivan Pavlovich and all veterans of the 5th Guards Berlin Red Banner Order of Bogdan Khmelnitsky Fighter Aviation Regiment

ABSTRACT

Object. *A study of the spiritual connection of generations on the example of one family, when the stories of his father, Ivan Laveikin, Hero of the Soviet Union, Major General of Aviation, and his comrades-in-arms, veterans of the 5th Guards Berlin Red Banner Order of Bogdan Khmelnitsky Fighter Aviation Regiment about the Great Patriotic War, brought up love in his son (Alexander Laveikin) to the sky and brought him to astronautics.*

Methods*. The report will present materials from the archive of Ivan Laveykin. During the years of the Great Patriotic War Ivan Laveykin flew 498 sorties, conducted 106 air battles, personally shot down 24 enemy aircraft and 15 enemy aircraft were shot down paired with his wingmen. He took*

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

part in the Battle of Smolensk, the defense of Moscow, the Rzhev-Vyazemskand Rzhev-Sychev operations, the Battle of Stalingrad, the Voroshilovgrad operation, the Battle of Kursk, Izyum-Barvenkovskaya, Belgorod-Kharkov, Donbass, Zaporizhzhya, Dnipropetrovsk and Lvov-Sandomir strategic operations in Berlin and liberation of Prague. In 1961, the first man of the Earth Yury Gagarin flew into space. It undoubtedly influenced the choice of the author's profession. But the main thing has always been and remains father figure.

The author tells in detail about his training in the cosmonaut corps. The dream – a flight into space – was realized on February 6, 1987 as a flight engineer of the Soyuz TM-2 spacecraft and the Mir orbital station. The mission of the flight was to test a new, improved manned spacecraft of the Soyuz TM-2 series in a manned mode. The paper describes a six-month space flight aboard the Mir orbital station.

Findings. *Materials from the archive of the military pilot I.P. Laveykin, his military path is revealed, as well as the preparation and six-month space flight of cosmonaut A.I. Loveikin aboard the Mir orbital station.*

Conclusions. *The author took responsibility for the memory of the regiment's veterans who passed away and turned to the Ministry of Defense of the Russian Federation with a request to assign this honorary name to one of the regiments of the Russian Aerospace Forces.*

KEYWORDS

Military pilot I.P. Laveykin, the Great Patriotic War, the way into space A.I. Laveykin.

FOR CITATION

Laveykin A.I. Continuity Generations Through Aviation and Space. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 23–27. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_23 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Война

22 июня 1941 года во втором часу ночи над аэродромом появился немецкий самолёт-разведчик, обстрелял стоянку советских самолётов И-16 и улетел. Полк был поднят по тревоге. Вскоре над аэродромом появился ещё один фашистский разведчик – легкомоторный немецкий самолёт «Физелер-156 “Шторх” (“Аист”)» – и на высоте 60–90 метров проследовал в сторону Бреста. Звено старшего лейтенанта Фёдора Илларионовича Мочалова поднялось в воздух. После того как стрелок немецкого самолёта открыл огонь, наши лётчики уничтожили фашиста. Возможно, это был первый сбитый в войну немецкий самолёт.

После возвращения Фёдор Мочалов сказал:

– Брест горит. Похоже, война…

Вдруг в небе показалась армада самолётов, состоящая из бомбардировщиков и истребителей, идущих почему-то с востока. Закралась мысль: может, всё-таки не война, а учения, почему они идут с востока? После взрыва первой бомбы все сомнения рассеялись. Команда «По самолётам!» призвала действовать чётко и быстро.

Начался массированный налёт на аэродром. Немецкие бомбардировщики Ю-88 и Хе-111 сбрасывали бомбы, а «Мессершмитты» носились над лётным полем и сжигали наши «ишачки».

И всё же наши лётчики под непрерывным огнём сумели взлететь и сбить пять фашистских самолётов.

Первую победу Иван Павлович Лавейкин одержал 18 августа 1941 года над Дорогобужем, недалеко от своего родного Смоленска. Отец часто рассказывал об этом эпизоде. В тот день он с командиром звена старшим лейтенантом Фёдором Мочаловым и ещё двумя лётчиками прикрывал три наших скоростных бомбардировщика СБ, летевших бомбить скопления войск противника в районе Ярцева. При подходе к цели правый ведомый бомбардировщик был подожжён фашистской зенитной. Один из двигателей уже горел, но командир экипажа продолжал находиться на боевом курсе и отбомбился по скоплению вражеских войск. После разворота на восток горевший бомбардировщик начал отставать. Видимо, командир был тяжело ранен и не мог продолжать полёт. Из охваченного пламенем самолёта выбросились на парашютах два лётчика. Наши истребители окружили их, чтобы защитить, – и вовремя: неожиданно появившаяся пара «Мессершмиттов» попыталась расстрелять парашютистов.

Командир звена Фёдор Мочалов атаковал ведущего фашиста, а Иван Лавейкин – ведомого. Увидев это, немецкий пилот попытался со снижением уйти на запад, но находившаяся выше наша машина имела преимущество. Удалось быстро подойти и с задней полусферы обстрелять фашистский самолёт. Казалось, что прошло уже много времени, но «мессер» не загорался

и не падал. Преследовавший его отец продолжал вести огонь. Пулемётно-пушечные трассы окутали немецкий самолёт, от корпуса отлетали куски обшивки, он снижался, а вместе и ним снижался и наш истребитель. Когда до земли оставались буквально считаные метры, машина противника, срезая верхушки деревьев, врезалась в лес. Иван едва успел вывести свой ЛаГГ-3 из пикирования и начал искать командира, который преследовал второго фашиста, но не увидел его.

Знамена над Рейхстагом

1 мая 1945 года в 12 часов с аэродрома Альтено, рядом с немецким городом Луккау, по приказу командующего 2-й воздушной армией 1-го Украинского фронта генерал-полковника Степана Акимовича Красовского взлетели истребители и взяли курс на Берлин. Знамёна находились на самолётах Як-3 лётчиков 7-й гвардейской истребительной авиационной дивизии полковника Г.А. Лобова. Первое знамя размещалось на двухместном самолёте-спарке гвардии майора И.А. Малиновского, в задней кабине которого со знаменем сидел корреспондент армейской газеты капитан А.М. Хорунжий. Второе знамя размещалось под посадочными щитками самолёта старшего лейтенанта К.В. Новосёлова. Шестёрку Як-3 почётного эскорта пилотировали лётчики Главного управления боевой подготовки фронтовой авиации ВВС – дважды Герой Советского Союза А.В. Ворожейкин, Герои Советского Союза И.П. Лавейкин, П.И. Песков, П.В. Полоз, А.Г. Ткаченко и К.М. Трещёв.

«Яки» прошли над набережной Шпрее над колоннами танков 1-й гвардейской танковой армии. Танкисты сидели на броне и, размахивая своими шлемами, криками «Ура!» приветствовали парадный строй истребителей.

Недалеко от здания рейхстага горело бензохранилище. Сориентировавшись по направлению чёрного дыма, самолёты проследовали точно над зданием. В небе вспыхнули алым цветом два шестиметровых полотнища с надписями «Победа» и «Да здравствует 1 Мая!».

За годы Великой Отечественной войны И.П. Лавейкин совершил 498 боевых вылетов, провёл 106 воздушных боёв, лично сбил 24 самолёта противника и 15 в паре со своими ведомыми. Участвовал в Смоленском сражении, обороне Москвы, Ржевско-Вяземской и Ржевско-Сычёвской операциях, Сталинградской битве, Ворошиловградской операции, Курской битве, Изюм-Барвенковской, Белгородско-Харьковской, Донбасской, Запорожской, Днепропетровской и Львовско-Сандомирской стратегических операциях, в Берлинской битве и освобождении Праги.

Кроме «Золотой Звезды» Героя Советского Союза (№ 1113) его грудь украсили четыре ордена Красного Знамени, два ордена Отечественной войны I степени, два ордена Красной Звезды, орден «За службу Родине в Вооружённых Силах СССР», польский орден «За заслуги»; медали: «За боевые заслуги», «За оборону Москвы», «За оборону Сталинграда», «За взятие Берлина», «За освобождение Праги», «За победу над Германией» и другие.

В эскадрилье, которой командовал И.П. Лавейкин, двенадцати лётчикам было присвоено звание Героя Советского Союза.

Полет Ю.А. Гагарина

Известие о полёте первого человека в космос застало меня в одном из военных городков. В 8 часов утра по местному времени я направлялся в школу, в свой 4-й класс. Проходил мимо собиравшейся на полёты группы лётчиков. В этот момент и прозвучал по гарнизонному репродуктору голос Левитана. Лётчики закричали «Ура!» и вместе с ними кричал и радовался я.

Повлиял ли полёт Юрия Гагарина на выбор профессии? В какой-то степени «Да!».

Но главным для меня всегда был и остаётся пример моего отца.

Космонавтика стремительно развивалась. В космос слетали Герман Титов, Андриян Николаев, Павел Попович, Валерий Быковский, Валентина Терешкова. В составе экипажей космических кораблей появились гражданские космонавты: Константин Феоктистов, Алексей Елисеев и Олег Макаров. Все они – выпускники Московского высшего технического училища имени Н.Э. Баумана.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Я поступил в это знаменитое высшее учебное заведение и сразу же записался в 3-й Московский городской аэроклуб ДОСААФ, стал заниматься парашютным спортом. Прыгал вместе со своей однокашницей Ириной Тивельковой, ставшей впоследствии заслуженным мастером по парашютному спорту. Общественным же инструктором у нас с Ириной был выпускник МВТУ имени Н.Э. Баумана, впоследствии известный парашютист-испытатель Лисичкин Александр Степанович.

В отряде космонавтов

В 1981 году Мусу Манарова, Александра Баландина и меня направили в Курский учебный авиационный центр для прохождения лётной подготовки по программе «Буран». После учебной вывозной программы с лётчиком-инструктором Егором Федотовичем Родионовым получил допуск к самостоятельным полётам, который предоставил начальник Центра полковник Виктор Фёдорович Афиногенов. Таким образом, сбылась давняя мечта: я стал самостоятельно летать на самолёте Л-29, а в военном билете появилась запись: «Лётчик истребительной авиации».

Создание «Бурана» по разным причинам затягивалось. Нашу «Бурановскую» группу бортинженеров решили временно перепрофилировать на подготовку к полётам на станцию «Салют-7».

Начались бесконечные экзамены и перестановки в составах экипажей.

Космический полет

Свою мечту – полёт в космос – я осуществил 6 февраля 1987 года в качестве бортинженера корабля «Союз ТМ-2» и орбитальной станции «Мир». Экипаж имел позывной «Таймыры». Задача нашего полёта – испытание в пилотируемом режиме нового, усовершенствованного пилотируемого корабля серии ТМ «Союз ТМ-2» (ранее «Союз ТМ-1» выполнил полёт в автоматическом режиме, без экипажа). Он имел большое количество новых систем: систему сближения и стыковки «Курс», объединённую двигательную установку, визир специальный космонавта, систему связи, систему парашютирования и другие.

После стыковки и перехода на станцию «Мир» программой предусматривалось расконсервирование станции и начало целого комплекса работ по дооснащению штатными системами и научным оборудованием, поскольку после запуска в феврале 1986 года не всё необходимое оборудование успели разместить на борту.

Наступило время штатных выходов в открытый космос для установки дополнительных солнечных панелей (они находились в сложенном виде в модуле «Квант»).

Следующий выход для установки второй половины солнечной панели не отличался от предыдущего. Станция обеспечила нас ярким светом и теплом, проблем с электроэнергией уже не существовало.

Продолжали многочисленные научные эксперименты на уровне кандидатов и докторов наук и стали готовиться к приёму экспедиции посещения.

Экспедиция в составе космонавтов Александра Викторенко, Александра Александрова и представителя Сирийской Арабской Республики Мухаммеда Фариса прибыла на космическом корабле «Союз ТМ-3» уже к концу нашего полугодового пребывания на станции. За столь длительный срок я настолько отвык от вида других людей, что сначала казалось, что они все похожи на Юрия Романенко, с которым мы вдвоём провели полгода в замкнутом пространстве. Это ощущение постепенно исчезло по мере общения и после дружеского ужина. Неделю работали по программе Сирийской академии наук, помогая Мухаммеду выполнять научные эксперименты и фотографировать территорию Сирии.

Пришла пора расставаться.

Вернулся я на Землю с советско-сирийским экипажем – Александром Викторенко и Мухаммедом Фарисом на корабле «Союз ТМ-2».

Как бы порадовался так ждавший моего полёта отец, всего два месяца не доживший до старта… Иван Павлович умер 2 декабря 1986 года. Похоронен с воинскими почестями на Кунцевском кладбище Москвы.

После полета

Прошло время послеполётной реабилитации, пришла пора готовиться к следующему полёту.

Я очень хотел снова оказаться на «Бурановской» программе, тем более что беспилотный полёт этой многоразовой космической системы прошёл успешно, после чего началась подготовка экипажей. Многие часы проводил на пилотажно-динамическом стенде, тренируясь в посадке, продолжал изучение орбитальных и атмосферных систем корабля.

К величайшему сожалению всех принимавших участие в создании «Бурана», эта почти 20-летняя программа в 1993 году была закрыта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Музее Вооружённых Сил Российской Федерации хранится овеянное славой боевое знамя 5-го гвардейского Берлинского орденов Красного Знамени и Богдана Хмельницкого истребительного авиационного полка.

Я взял на себя ответственность перед памятью ушедших из жизни ветеранов полка и обратился в Министерство обороны РФ с просьбой присвоить это почётное наименование одному из полков Воздушно-космических сил РФ.

В полученном ответе от командующего Военно-воздушными силами РФ было сказано, что все существующие истребительные авиационные полки Воздушно-космических сил РФ уже имеют свои исторически обусловленные почётные наименования.

Боевые знамена и государственные награды расформированных воинских частей, переданные в музейные фонды для экспонирования, не возвращаются.

Но всё в нашей жизни течёт, всё изменяется.

Быть может, пройдёт время, и в наушниках лётчиков-истребителей прозвучат так громко и гордо звучавшие слова: «Пятый гвардейский! На взлёт!» А в нагрудном кармане готовящегося к старту космонавта вновь будет фотография Героя Советского Союза Ивана Павловича Лавейкина.

Литература

1. Лавейкин А.И. В небе и над землей. М.: Музей космонавтики, 2019. 155 с.

References

1. Laveykin A. *V nebe i nad zemlei* [In the sky and above the ground]. Moscow, Museum of Cosmonautics, 2019, 155 p. (in Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Лавейкин Александр Иванович
летчик-космонавт, Герой Советского Союза,
Мемориальный музей космонавтики
(129515, Москва, просп. Мира, д. 111)
ai88@yandex.ru

Alexander I. Loveykin
Pilot-Cosmonaut, Hero of the Soviet Union,
Memorial Museum of Cosmonautics
(*111 Prospect Mira, Moscow, 129515 Russia*)
ai88@yandex.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 001.051 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_28

РАЗВИТИЕ МНОГОРАЗОВЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.П. Плохих[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1638-2771

А.Г. Милованов[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6312-1147

[1] *Центральный аэрогидродинамический институт имени Н.Е. Жуковского, г. Жуковский, Россия*
[2] *Научно-исследовательский институт космических систем имени А.А. Максимова, г. Юбилейный, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Одним из перспективных направлений развития ракетно-космической техники является создание многоразовых систем. Однако проблема многоразовости в космической программе РФ длительное время отодвигается за пределы ряда временных квантов госпрограммы. Аргументы в этом случае следующие: недостаточное финансирование госпрограмм; приоритетность других задач; малые темпы пусков космических аппаратов; сложность отработки тепловых режимов воздушно-космического самолета (ВКС); чувствительность к изменению массовых составляющих одноступенчатого ВКС; длительность отработки ВКС; конкуренция с традиционными фирмами по производству одноразовых средств выведения.*

Цель. *Рассмотрение этапов развития систем выведения от ступенчатых одноразовых к частично многоразовым ступенчатым аэрокосмическим системам и к перспективным полностью многоразовым ступенчатым и одноступенчатым ракетным и аэрокосмическим летательным аппаратам.*

Методы. *Приведены возможные типы многоразовых систем, отличающиеся способами старта и посадки ступеней, скоростью самолета-носителя или ракеты-носителя, количеством ступеней, типом верхней ступени и многоразовостью элементов системы. Поэтапный переход возможен лишь на основе прогресса в ряде ключевых технологий, решающими из которых являются новые водородные технологии, композитные материалы и конструкции, перспективные двигатели, системы управления, теплозащита и оборудование высокого уровня. Основное внимание уделяется многоразовым системам с жидкостным ракетным двигателем (ЖРД) с вертикальным стартом и аэродинамическому способу возвращения и посадки. Показаны прогнозируемые варианты перспективных одноступенчатых полностью многоразовых ВКС с различными уровнями технологии, в том числе с необычным топливом (водород+кислород+триплетный гелий). Необходимо экспериментальное подтверждение возможности обеспечения стабильного состояния этого топлива. Усиление направления разработки многоразовых аэрокосмических систем с водородным топливом отражено в перспективных космических программах США и Китая. Гиперзвуковое аэродинамическое качество ВКС (0,5 < К < 2,0) позволит уменьшить перегрузки и аэродинамическое нагревание ВКС, расширить коридор входа в атмосферу, увеличив безопасность при возвращении с Луны, и обеспечить оптимальный выбор мест посадки ВКС на аэродром при любых погодных условиях. Важно кардинальное улучшение параметров ВКС с новыми технологиями по сравнению с уровнем системы «Энергия» – «Буран». Необходимо существенно изменить идеологию разработки новых ракетных топлив и методологию использования средств выведения, учитывая комплексность решаемых задач и гарантированное возвращение ВКС для повторного использования.*

Результаты. *Рассмотрены возможности создания: демонстратора для отработки ключевых технологий многоразовых систем; системы выведения для малых спутников – ВКС с полезной нагрузкой 3 т; ВКС в размерности системы «Энергия» – «Буран» с полезной нагрузкой 60т; перспективного ВКС с триплетным гелием с полезной нагрузкой 120 т и стартовой массой, равной половине стартовой массы системы «Энергия» – «Буран».*

Выводы. *Проведен сравнительный анализ различных перспективных концепций многоразовых аэрокосмических систем с различными типами старта и посадки, количеством ступеней и типами двигателей (МКТС, АКС и ВКС).*

Показаны возможности улучшения ключевых технологий за счет применения композитных материалов и конструкций, увеличения удельного импульса ЖРД, улучшения характеристик оборудования, совершенствования типовых операций и наземной инфраструктуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Ракетно-космическая техника, создание многоразовых систем.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Плохих В.П., Милованов А.Г. Развитие многоразовых аэрокосмических систем // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 28–33. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_28.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

DEVELOPMENT OF REUSABLE SPACE SYSTEMS

Vladimir P. Plokhikh[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1638-2771

Alexander G. Milovanov[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6312-1147

[1] *Zhukovsky Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky, Russia*
[2] *Research Institute of Space Systems, Yubileiny, Russia*

ABSTRACT

Introduction. *One of the perspective direction of rocket-space technic development is creating of reusable systems. But, unfortunately, the problem of reusable systems is always delayed for future periods in RF state space program. This happens for the following reasons: insufficient funding of state programs; priority of another goals; low rates of space vehicle launch; the complexity of aerospace plane thermal modes testing; sensitivity to mass changing of single-stage-to-orbit system parts; duration of aerospace plane testing; competition with traditional firms manufacturing expandable launch systems.*

Object. *The main 5 types reusable systems from expendable two or multistage launch systems to perspective, partly reusable and fully reusable aerospace systems including single-stage-to-orbit are shown in this report.*

Methods. *The transition from expendable to reusable systems may be possible only on the base of new perspective key technologies. Among them the main important directions are: new hydrogen technologies; new composite materials and structure; new effective low weight thermal protection; new rocket engines with high specific impulse; control system and vehicle equipment with high level.*

The principle attention is addressed to reusable systems with liquid rocket engines of aerospace plane, vertical start, return from orbit to the Earth with help of aerodynamic forces and horizontal landing.

The current technology level (RS«Energy – Buran») must be restored (TL-1), near term technology level (TL-2) and perspective technology level (TL-3) are considered, including the vehicle with high energy fuel (hydrogen+ metastable helium, us example).It is necessary to realize an experimental validation of stability for metastable fuel.

Increasing the investigation of reusable aerospace plane systems with hydrogen fuel was included in USA and China space perspective programs. The lift/drag ratio of aerospace plane increases with increasing of vehicle length (Khyp=1-3 for L=1-3m and Khyp = 8-9 for L=100m). It allows to decrease overloads and aerodynamic heating of the vehicle, increase entry corridor in Earth atmosphere, increase safety for return vehicle from Lunar expedition and allows to choose the optimal land aerodrome in any weather.

It is important to improve cardinally parameters of vehicles with new technologies in compare with technology level of «Energy»-«Buran» system.

Findings. *Four types of reusable single-stage-to-orbit vehicles are considered in this investigation: demonstrator for key technologies of reusable systems testing (TL-1); launch systems for small satellites with orbital payload 3t (TL-1); aerospace plane with start mass equal «Energy»-«Buran» system with orbital payload 60t (TL-2); prospective aerospace plane with metastable helium with orbital payload 120 – 180t and start mass equal 0,5 – 0,7 of «Energy»-«Buran» system start mass (TL-3).*

Two last aerospace planes may be use in Lunar missions with two or one vehicle respectively, but with lover cost, duration and with more safety in comparison with current multistage single using rocket sistems, which must be created in USA, Chine and Russian Federation.

Conclusions*. A comparative analysis of various promising concepts of reusable aerospace systems with different types of launch and landing, the number of stages and types of engines (MKTS, AKS and VKS).*

The possibilities of improving key technologies through the use of composite materials and structures, increasing the specific impulse of liquid-propellant rocket engines, improving the characteristics of equipment, improving standard operations and ground infrastructure are shown.

KEY WORDS

Rocket and space technology, creation of reusable systems.

FOR CITATIONS

Plokhikh V.P., Milovanov A.G. Development of Reusable Space Systems. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 28–33. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_28 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в нашей стране и в других странах исследуются перспективы развития многоразовых космических транспортных систем (МКТС) и аэрокосмических систем (АКС) с различным количеством ступеней, типами старта и посадки, с различными двигателями и аэродинамическими схемами. Показано, что для одноступенчатого воздушно-космического самолета (ВКС) с вертикальным стартом и горизонтальной посадкой перспективные уровни ключевых технологий (композитные конструкции и двигатели с высоким удельным импульсом) должны обеспечить относительную сухую массу примерно 0,08–0,15 и удельный импульс 470–500 с. Для трех уровней технологии

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

сформированы концепции ВКС с полезной нагрузкой 3 т (ВКС – демонстратор) и на его базе – система группового выведения малых спутников (ВКС СВМС); ВКС среднего класса с полезной нагрузкой 60 т (оба ВКС с УТ-2) и ВКС сверхтяжелого класса с полезной нагрузкой 120–180 т на высокоэнергетическом топливе (УТ-3) в сравнении с МКТС «Энергия – Буран» (УТ-1).

МЕТОДЫ

Необходимо экспериментальное подтверждение характеристик высокоэнергетического топлива и ВКС на его основе, в том числе триплетного гелия с водородом с удельным импульсом 800–1000 секунд. ВКС с УТ-3 позволит реализовать лунную экспедицию в однопусковой схеме, а ВКС с УТ-2 – в двухпусковой схеме. При этом такие ВКС обеспечат выполнение задачи оперативнее, дешевле и надежнее, чем одноразовые ступенчатые сверхтяжелые ракетоносители, которые создаются в настоящее время.

В настоящее время в мире разворачивается борьба за «зеленую» экологию, за сокращение выбросов углекислого газа и потребления угля, нефти и газа, за развитие водородной технологии для земных и космических транспортных систем. При этом в свете экономического кризиса особенно важны технологии, экономящие ресурсы, и в данном случае – это многоразовость систем выведения (МСВ) на различные околоземные орбиты. Одним из таких важных направлений развития МСВ является запуск десятков тысяч малых спутников, обеспечивающих видео-, метео- и навигационные услуги и решающих задачи, связанные с чрезвычайными ситуациями в любом районе земного шара.

К сожалению, проблема многоразовости в государственной космической программе РФ длительное время отодвигается за пределы ряда временных ее квантов. Аргументы в этом случае следующие:

- недостаточное финансирование госпрограмм;
- приоритетность других задач;
- малые темпы пусков космических аппаратов;
- сложность отработки тепловых режимов ВКС;
- чувствительность к изменению массовых составляющих одноступенчатых ВКС;
- длительность отработки ВКС;
- конкуренция с традиционными фирмами одноразовых средств выведения.

Предварительный анализ этапов развития различных концепций МКТС показал, что этапы являются скорее технологическими, нежели последовательными, и в разных странах они могут не совпадать с временными этапами и даже идти параллельно. Реализовано по 1-2 системы в каждом классе, кроме ВКС с вертикальным стартом и с горизонтальной посадкой (ВСГП).

Существует еще и ракетодинамический способ возвращения систем выведения (СВ) с помощью разворотов баллистических ступеней СВ для гашения их скорости тягой двигателей (F-9 Э. Маска, США). Этот способ связан с дополнительным расходом топлива и с уменьшением массы полезной нагрузки по сравнению с аналогами орбитальной ракеты-носителя (ОРН).

Во всех рассмотренных концепциях МСВ и одноступенчатые ВКС садятся горизонтально на аэродром. При этом полностью многоразовых аэрокосмических систем ступенчатых или одноступенчатых до сих пор ни в одной стране не создано. Одноступенчатые ВКС долгое время представлялись нереализуемыми. Однако в последние годы прогресс в ключевых технологиях всех составляющих массы ВКС существенно приблизил их создание [1–4]. Свидетельством этого стало внесение темы разработки одноступенчатого ВКС в перспективные официальные программы США и Китая.

ВКС ВСГП может стать прорывным проектом, на котором следует сосредоточиться.

Новые идеи и технологии:

- существенное улучшение характеристик жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) (H_2+O_2) с I = 440–450 секунд до I = 472–500 секунд;
- доведение ядерного ракетного двигателя (ЯРД) с I = 800 секунд до 1000 секунд и более;
- разработка новых водородных технологий;

- разработка нового ЖРД с H_2+$He^т$ с *I* = 800 секунд до 1000 секунд;
- интеграция двигательных систем летательного аппарата (основные, маневрирующие и управляющие двигатели) под одни и те же компоненты (H_2+O_2);
- новые теплозащитные материалы (высокая температура до Tw = 2300°C с длительным циклом), композитные материалы на основе оксида циркония, пористая керамика из Al_2O_3;
- новые конструкционные материалы и сплавы (углепластики, стеклопластики, интерметаллиды и др.);
- прогресс в электронике, робототехнике, в системах управления и оборудования ракеты-носителя (РН) и космического аппарата (КА);
- новые типовые операции высокоскоростных летательных аппаратов;
- оптимизация «сухой» массы летательного аппарата.

С увеличением размеров ВКС увеличивается гиперзвуковое аэродинамическое качество ВКС. Так, если при *L* = 1–3 м $К_{гип}$ = 1–3, то при *L* = 100 м $К_{гип}$ увеличивается до 8-9 из-за преобладания волновых эффектов по сравнению с вязкостными при малой длине ВКС. Кроме того, с увеличением размеров ВКС увеличивается его полезный объем, что важно для водородного топлива. Одновременно растет пассажировместимость, что повышает эффективность ВКС.

Планка по максимальной температуре поверхности ВКС может существенно подняться, более чем на 400–500°C, по сравнению с ОС «Space Shuttle» и с ОС «Буран (1400–1650°C) [1, 2, 4].

Отметим, что еще в 1972 году был испытан ЖРД «Aerospike» с *I* = 470 секунд, а его удельная масса составляет γ = 0,0119 $\frac{\text{КГ массы}}{\text{КГ тяж}}$.

Проведенный подробный анализ отечественных и зарубежных проектов одноступенчатых ВКС показал, что для реализации одноступенчатого ВКС необходимо обеспечить относительную сухую массу ВКС примерно 0,08–0,15 [1, 2, 4], в зависимости от уровней технологии (УТ).

Для лунной экспедиции (полезная нагрузка $М_{пн}$ = 120–180 т) одноступенчатый ВКС с перспективным топливом, в том числе, например, ВКС с топливом триплетный гелий + водород и удельным импульсом ЖРД порядка 800 секунд [3], может обеспечить увеличение полезной нагрузки в 3–6 раз и существенное снижение стартовой массы в 0,5–0,7 раза по сравнению с аналогами при использовании отечественной частично многоразовой аэрокосмической системы «Энергия» – «Буран».

В таблице показана возможная линейка многоразовых ВКС для различных задач с перспективными технологиями.

Видно кардинальное улучшение параметров ВКС с новыми технологиями по сравнению с уровнем системы «Энергия» – «Буран».

При возвращении с различных околоземных орбит, с Луны или Марса, ВКС должен иметь достаточно высокое аэродинамическое качество (0,3 < $К_{гип}$ < 2,0). Об этом говорят получаемые преимущества, по сравнению с традиционным баллистическим входом в атмосферу Земли [1, 3, 5]:

- расширение коридоров входа в атмосферу Земли в несколько раз;
- существенное снижение перегрузок, что важно для возвращаемого экипажа;
- увеличение возможностей маневрирования при спуске в атмосфере Земли;
- увеличение количества вариантов мест посадки на различных аэродромах с различными погодными условиями;
- возможность выбора менее теплонапряженной для ВКС траектории и в связи с этим экономии масс теплозащиты и конструкции ВКС;
- выигрыши в стоимости и оперативности эксплуатации ВКС (упрощение логистики орбитальных операций, сокращение продолжительности подготовки и послеполетного обслуживания ВКС при аэродромном базировании).

Эти преимущества особенно важны для многоразовых систем, выполняющих разнообразные рейсы в космос.

Перспективы развития линейки ВКС

Prospects for the development of the VKS line

№ п/п	Параметры	Концепции			
		МКС «Энергия»–«Буран»-1	Одноступенчатый ВКС в габаритах и массе «Буран»-2	Одноступенчатый ВКС в размерности МКС «Энергия»–«Буран»-3	Одноступенчатые ВКС «Земля-Луна-Земля»-4
1	Полезная нагрузка, т	30	3,0	60	120-150
2	Стартовая масса, т	2450	120	2400	1150
3	Тип двигателей Тип топлива	ЖРД Кер+O_2 H_2+O_2	ЖРД H_2+O_2	ЖРД H_2+O_2	Перспективное топливо ЖРД
4	Относительная «сухая» масса	0,27	0,084	0,084	0,213
5	Количество ступеней	3	1	1	1
6	Удельный импульс, с	332 454	472	480	800-1000
7	Относительная полезная нагрузка	0,0125	0,025	0,025	0,105
8	Срок готовности (разработка), г	1988 (12 лет)	2030	2035	2030 – 2035
9	Уровни технологии, г	1988 (УТ-1)	2017 – 2030 (УТ-2) ГРЦ им. В.П.Макеева	2030 – 2035 (УТ-2)	2030 – 2035 (УТ-3)

Примечания. Вариант 1 – реализован; вариант 2 – демонстратор, системы выведения малых спутников; варианты 3, 4 (орбитальный и лунный) – инновационные одноступенчатые ВКС. Разработки ВКС вариантов 2, 3 и 4 могут идти параллельно и частично одновременно при условии всемерного обещанного развития водородных технологий в РФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен сравнительный анализ различных перспективных концепций многоразовых аэрокосмических систем с различными типами старта и посадки, количеством ступеней и типами двигателей (МКТС, АКС и ВКС).

2. Показаны возможности улучшения ключевых технологий за счет применения композитных материалов и конструкций, увеличения удельного импульса ЖРД, улучшения характеристик оборудования, совершенствования типовых операций и наземной инфраструктуры.

3. Для одноступенчатого ВКС необходимо обеспечить относительную сухую массу ВКС порядка 0,08–0,2 в зависимости от уровня технологии и задач, решаемых аэрокосмическими системами, при удельном импульсе 470–800 секунд.

4. Сформированы предварительные облики ВКС:

- ВКС-демонстратор (УТ-2) и ВКС для запуска систем малых спутников с полезной нагрузкой 3 т (УТ-2);
- ВКС среднего класса с полезной нагрузкой 60 т (УТ-2);
- ВКС сверхтяжелого класса с полезной нагрузкой 120–180 т, с высокоэнергетическим топливом, например, с триплетным гелием и водородом, удельный импульс 800 секунд, (УТ-3) по сравнению с аналогами МКС «Энергия» – «Буран» (УТ-1).

Необходимо отметить, что в США и Китае одноступенчатые ВКС включены в перспективные госпрограммы. В РФ следует провести экспериментальные исследования для подтверждения перспективных характеристик высокоэнергетических топлив и их безопасности.

5. Выбор оптимального аэродинамического качества ВКС является комплексной задачей проектирования с учетом аэротермодинамики и прочности на всех режимах полета, эксплуатации, стоимости и эффективности ВКС.

6. ВКС среднего и тяжелого классов смогут обеспечить соответственно двух- и однопусковые операции полетов на Луну с возвращением более оперативно, дешевле и надежнее, чем современные одноразовые тяжелые ракетоносители, разрабатываемые в США и РФ.

Литература

1. Вавилин А.В., Дегтярев В.Г., Маханьков С.А., Молчанов С.Ф. Назначение, возможности и особенности создания многоразовой одноступенчатой ракеты-носителя «Корона» // XLI Академические (Королевские) чтения по космонавтике: сб. тез. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 21.

2. Кобелев В.Н., Милованов А.Г. Средства выведения космических аппаратов. М.: Рестарт, 2008. 528 с.

3. Тиррехман М., Лабман И., Ло Р. Оценка возможностей транспортных космических систем с необычными топливами. 41th Congress IAF-91-208 (October 5-11, 1991). М., 1991.

4. Шкадов Л.М., Плохих В.П., Бузулук В.И., Лозино-Лозинский Г.Е., Андреев Ю.В., Казаков М.Н. Многоразовые космические транспортные системы горизонтального старта // Авиакосмическая техника и технология. 1999. № 1. С. 3–7.

5. Styer E.F. A parametric examination of re-entry vehicle size and shape for return at escape velocity. In: 3rd Annual Meeting, Am. Astronaut. Soc., Seattle, Washington, 1960.

References

1. Vavilin A.V., Degtyarev V.G., Makhan'kov S.A., Molchanov S.F. *Naznachenie, vozmozhnosti i osobennosti sozdaniya mnogorazovoi odnostupenchatoi rakety-nositelya «Korona»* [Purpose, capabilities and features of the creation of a reusable single-stage launch vehicle "Korona"]. In: *XLI Akademicheskie (Korolevskie) chteniya po kosmonavtike: sb. tez.* [XLI Academic (Royal) Readings on Cosmonautics: collection of abstracts]. Moscow, 2017, p. 21 (in Russian).

2. Kobelev V.N., Milovanov A.G. *Sredstva vyvedeniya kosmicheskikh apparatov* [Means of launching spacecraft]. Moscow, Restart Publ., 2008, 528 p. (in Russian).

3. Tirrekhman M., Labman I., Lo R. Assessment of the capabilities of space transport systems with unusual fuels. 41th Congress IAF-91-208 (October 5-11, 1991). Moscow, 1991 (in Russian).

4. Shkadov L.M., Plokhikh V.P., Buzuluk V.I., Lozino-Lozinskii G.E., Andreev Yu.V., Kazakov M.N. Reusable horizontal launch space transport systems. *Aviakosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 1999, no. 1, pp. 3–7 (in Russian).

5. Styer E.F. A parametric examination of re-entry vehicle size and shape for return at escape velocity. In 3rd Annual Meeting, Am. Astronaut. Soc., Seattle, Washington, 1960.

Информация об авторах / Information about the authors

Плохих Владимир Павлович
доктор технических наук, профессор,
руководитель проекта,
Центральный аэрогидродинамический
институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ)
(*140180, г. Жуковский, Московская область,
ул. Жуковского, д. 1*)
v-plokhikh@yandex.ru

Милованов Александр Георгиевич
доктор технических наук, старший научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт космических
систем имени А.А. Максимова
(*141091, Московская область, г. Юбилейный,
ул. М.К.Тихонравова, д.27*)
v-plokhikh@yandex.ru

Vladimir P. Plokhikh
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Project Manager,
Zhukovsky Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI)
(*1 Zhukovsky str., Zhukovsky, 140180 Russia*)
v-plokhikh@yandex.ru

Alexandr G. Milovanov
Dr. Sc. (Techn.), Senior Researcher,
Space Systems Research and Development Institute
(*27 M.K. Tikhonravov str., 141091 Russia*)
v-plokhikh@yandex.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 001.891 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_34

ГАЗОДИНАМИКА СТАРТА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА КОСМОДРОМЕ «ВОСТОЧНЫЙ»

Н.А. Абросимов
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2042-4754

А.Б. Бут
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7141-687X

Т.О. Абдурашидов
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3330-7506

Филиал АО «ЦЭНКИ» – НИИ стартовых комплексов имени В.П. Бармина, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *В рамках разработки облика пусковой установки стартового комплекса тяжелого класса были проведены газодинамические исследования процесса старта ракет космического назначения (РКН), так как одним из основных этапов при проектировании облика пусковой установки (ПУ) являются вопросы расчетно-экспериментальной отработки газодинамики старта.*

Методы. *Исследования были проведены на масштабных модельных установках для различных положений модели РКН. В процессе испытаний были исследованы различные варианты конфигураций пусковой установки, которые оказывают влияние на нагрузки, воздействующие на РКН: силовые нагрузки в результате эжектирования воздуха, акустические нагрузки и тепловые нагрузки. Кроме того, проанализированы результаты определения величин эжекционного нагружения донной поверхности РКН, а также влияние параметров ПУ на данный вид нагрузок. С точки зрения акустических нагрузок были определены максимальные суммарные уровни воздействия на поверхность РКН (в том числе на космическую головную часть (КГЧ)), определены спектральные характеристики шума и влияние элементов ПУ на данные параметры.*

Результаты. *В статье рассматривался обзор проведенных расчетно-проектных и экспериментальных работ при создании стартовых комплексов перспективных ракет-носителей (РН) на космодроме «Восточный».*

Выводы. *Результаты испытаний показали, что эжекционные окна в перекрытии уменьшают максимальные значения уровня разрежения. Для выбранной экспериментальной модели влияние окон на уровни разрежения не превышает 19%. При этом расположение окон относительно центра стола практически не влияет на уровни давлений. Данные значения справедливы для выбранной конфигурации перекрытия, которую можно выразить через фактор отношения площадей эжекционных окон и площади свободного зазора между РКН и проемом стола.*

Обработка акустических данных показала, что конфигурация и положение эжекционных окон могут оказывать негативное влияние с точки зрения шума, снижая эффективность перекрытия канала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Пусковые установки, стартовые комплексы тяжелого класса, газодинамические исследования.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Абросимов Н.А., Бут А.Б., Абдурашидов Т.О. Газодинамика старта перспективных стартовых комплексов на космодроме «Восточный» // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 34–39. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_34.

THE GAS DYNAMICS OF THE LAUNCH COMPLEXES AT THE «VOSTOCHNY» COSMODROME

Nikolay A. Abrosimov
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2042-4754

Anatoly B. Boot
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7141-687X

Temirlan O. Abdurashidov
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3330-7506

Branch of JSC "TSENKI" – Barmin Research institute of Launch Complexes, Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *One of the main stages in the design of the appearance of a launch pad (LP) is the issues of computational and experimental testing of the launch gas dynamics because as part of the development of the appearance of the launch complex of the heavy class, gas-dynamic studies of the launch process of the ILV were carried out.*

Methods. *One of the main stages in the design of the appearance of a launch pad (LP) is the issues of computational and experimental testing of the launch gas dynamics. As part of the development of the appearance of the launch complex of the heavy class, gas-dynamic studies of the launch process of the ILV were carried out.*

The studies were carried out on scale models for various positions of the ILV model. During the tests, various variants of the LP configurations were investigated, which affect the loads acting on the ILV: power loads as a result of air ejection, acoustic loads and thermal loads.

This paper describes the results of determining the values of the air ejection loads of the ILV bottom surface, as well as the influence of the LP parameters on this type of loads. From the point of view of acoustic loads, the maximum total levels of impact on the ILV surface (including the Payload section) were determined, the spectral characteristics of the noise and the influence of the LP elements on these parameters were determined.

Findings. *The paper considers an overview of the computational, design and experimental work during the creation of launch complexes for promising launch vehicles at the Vostochny cosmodrome.*

Conclusions. *The test results showed that the ejection windows in the ceiling reduce the maximum values of the vacuum level. For the chosen experimental model, the effect of windows on rarefaction levels does not exceed 19%. At the same time, the position of the windows relative to the center of the table has practically no effect on the pressure levels. These values are valid for the selected overlap configuration, which can be expressed through the factor of the ratio of the areas of the ejection windows and the area of the free gap between the ILV and the table opening.*

Acoustic data processing has shown that the configuration and position of the ejection ports can have a negative impact in terms of noise, reducing the efficiency of channel closure.

KEYWORDS

Launchers, heavy-class launch complexes, gas-dynamic research.

FOR CITATION

Abrosimov N.A., Boot A.B., Abdurashidov T.O. The Gas Dynamics of the Launch Complexes at the «Vostochny» Cosmodrome. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 34–39. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_34 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение безопасности ракет-носителей (РН) в период старта от воздействия струй двигательных установок (ДУ) требует выбора оптимальной газодинамической схемы пускового устройства (ПУ) и его размеров путем отработки газодинамики старта. Нагрузки на РН, включая полезный груз, не должны превышать допустимые уровни с обеспечением многоразового безремонтного использования конструкций ПУ, отводящих мощные газовые струи от РН и подвергающиеся интенсивному воздействию.

МЕТОДЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблема снижения шума как на зарубежных стартовых комплексах («Atlas-V», «Falcon-9», «Antares», «Ariane-5»), так и в отечественной практике штатной эксплуатации (РН «Энергия» с орбитальным кораблем «Буран») решается использованием активных методов шумоподавления, таких как подача воды в газовые струи с целью воздействия на источник акустических возмущений за счет изменения спектрального состава и снижения мощности излучения. При этом на некоторых стартовых комплексах также используются пассивные методы снижения шума – закрытые газоотводящие каналы («Ariane-5») с целью снижения акустических нагрузок на ракеты космического назначения (РКН). Эффективность данного метода в снижении суммарных уровней может достигать величины 2–4 дБ при небольших высотах подъема (подача воды может обеспечить снижение до 4–6 дБ, по данным разных исследований) [3].

В статье рассматриваются результаты отработки газодинамических схем пусковых установок для ракеты-носителя тяжелого класса с точки зрения минимизации акустических и эжекционных нагрузок. Рассматриваются различные схемы ПУ первого этапа [1, 2] и финальная схема второго этапа.

На первом этапе была выбрана газодинамическая схема, представляющая собой полузаглубленное сооружение, с основными габаритными размерами, приведенными на рис. 1. При этом в конструкции пускового сооружения используется перекрытие (параметр L) над газовым каналом, которое позволяет экранировать шум из лотка газохода и снижать суммарные акустические уровни.

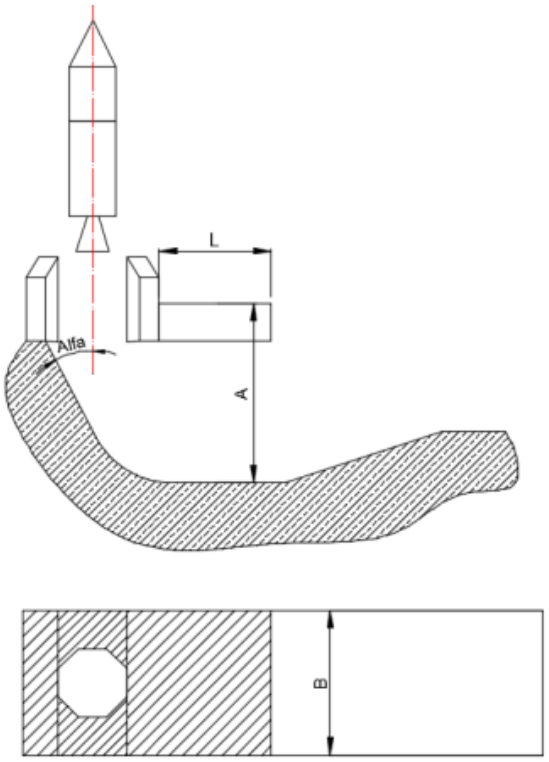


Рис. 1. Условная схема пусковой установки и ее основные размеры

Fig. 1. Conditional scheme of the launcher and its main dimensions

Рис. 2. Вариант № 1

Fig. 2. Option no. 1

Рис. 3. Вариант № 2

Fig. 3. Option no. 2

На рис. 2 и 3 представлены варианты исполнения пусковых установок для проведения экспериментальных работ. Основные параметры в соответствии с рис. 1 для данных вариантов идентичны, отличия заключаются в длине перекрытия L. Параметры и относительные размеры вариантов исполнения ПУ приведены в таблице. За базовый вариант принят вариант исполнения пускового устройства, который уже реализован для РКН «А5» и обозначен в таблице как параметр с индексом «0».

Относительные величины основных геометрических параметров рассматриваемых вариантов стартовых сооружений для космического ракетного комплекса тяжелого класса космодрома «Восточный»

Relative values of the main geometric parameters of the considered variants of launch facilities for the heavy-class space rocket complex of the Vostochny Cosmodrome

Параметр	Варианты стартового сооружения космодрома «Восточный»		
	№ 1	№ 2	№ 3
Глубина газохода (A / A_0)	0,91		1
Ширина газохода (B / B_0)	1,45		
Длина газоотводного лотка (L_S / L_{S0})	1,56		
Длина верхнего перекрытия газохода (L / L_0)	3,87	1	3,87
Эжекционные окна в верхнем перекрытии проема газохода	-		3 окна
Угол при вершине отражателя (α / α_0)	1		
Минимальное расстояние от среза сопел до газоотражателя (H / H_0)	0,74		0,92
Расстояние от дна газохода до низа перекрытия (A_1 / A_{10})	0,96		1,08

Результаты испытаний на модельных вариантах № 1 и № 2 показали значимую разницу в уровнях акустических давлений на элементах РКН. Так на хвостовой зоне влияние длинного перекрытия можно оценить в 2,1–2,7 дБ при положении РКН относительно стартового стола H = –(1,2…11,4) Da. В зоне головного обтекателя влияние перекрытия также можно оценить величиной 2,5–2,7 дБ при начальном положении. По мере подъема РКН эффективность влияния перекрытия снижается до 1–1,5 дБ.

На рис. 4 приведены результаты сравнительного анализа акустических измерений при испытаниях на моделях № 1 и № 2. По вертикальной оси приведено относительное влияние перекрытия на снижение суммарных уровней в децибелах.

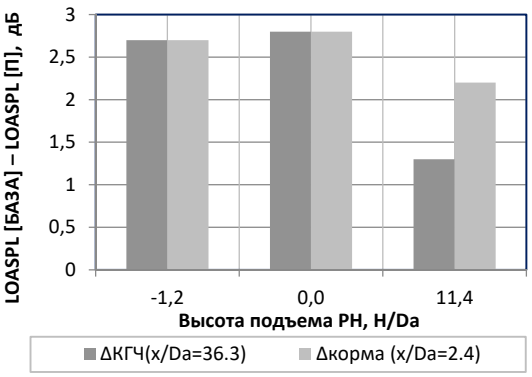


Рис. 4. Влияние длинного перекрытия на снижение суммарных уровней, дБ

Fig. 4. The effect of the long overlap on the reduction of total levels, dB

Одновременно с положительным эффектом влияния параметра L/L_0 на уровень акустических нагрузок было определено, что данный параметр также существенно влияет на уровни давления в зоне хвостового отсека РКН. Серия испытаний и обработка данных показали, что давления в зоне ХО уменьшаются в 1,7–2,1 раза при наличии длинного перекрытия (рис. 5). С учетом полученных данных первого этапа была выполнена доработка модели пусковой установки для отработки методов снижения эжекционных нагрузок при сохранении акустических характеристик старта.

Рис. 5. Влияние длинного перекрытия на уровень относительного давления
(*P* – давление; – опорный уровень давления)

Fig. 5. Effect of the long overlap on the level of relative pressure
(*P* – pressure; *P*оп – reference pressure level)

Для этого была разработана конфигурация перекрытия ПУ с отверстиями (окнами) для свободного прохождения воздуха через перекрытие. Цель введения окон – снижение эжекционного разрежения в проеме пускового стола. Конфигурация проходных каналов приведена на рис. 6. Конструкция разработана таким образом, чтобы возможно было конфигурировать как площади проходных сечений, так и их относительное местоположение.

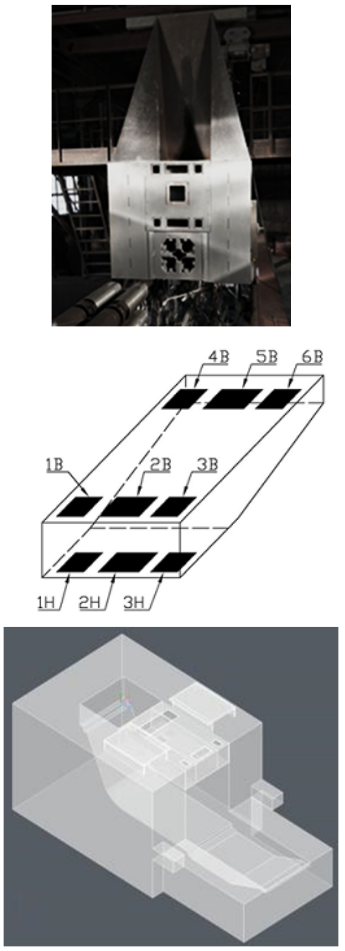


Рис. 6. Конфигурация модели ПУ (№ 3) и перекрытия для проведения испытаний

Rice. 6. Configuration of the starter model (No. 3) and the floors for testing

Результаты испытаний показали, что эжекционные окна в перекрытии уменьшают максимальные значения уровня разрежения (рис. 7). Для выбранной экспериментальной модели влияние окон на уровни разрежения не превышает 19%. При этом расположение окон относительно центра стола практически не влияет на уровни давлений. Данные значения справедливы для выбранной конфигурации перекрытия, которую можно выразить через фактор отношения площадей эжекционных окон и площади свободного зазора между РКН и проемом стола – $S_{окн}^{мод} / S_{зазор}^{мод}$.

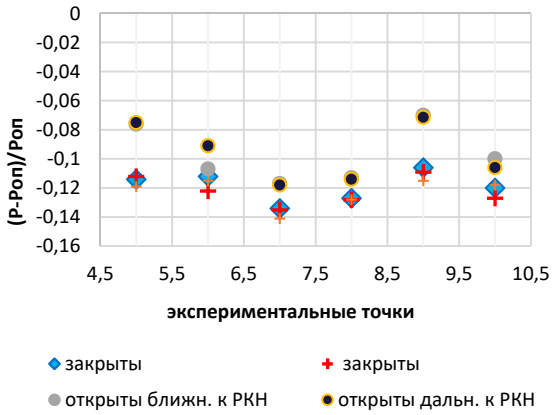


Рис. 7. Результаты измерений относительной величины разрежения в проеме стола

Fig. 7. Results of measurements of the relative value of the vacuum in the opening of the table

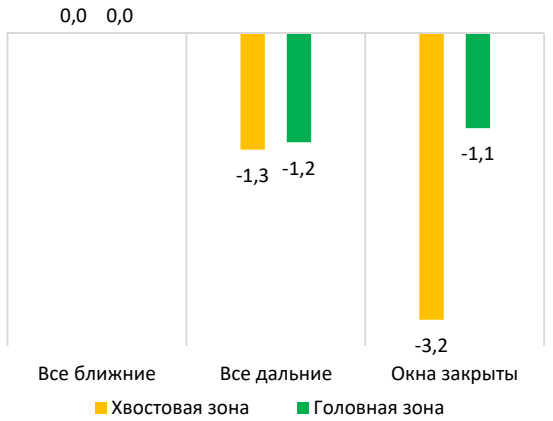


Рис. 8. Акустическое влияние эжекционных окон в перекрытии, относительные значения, дБ

Fig. 8. Acoustic effect of ejection windows in the ceiling, relative values, dB

Обработка акустических данных показала, что конфигурация и положение эжекционных окон может оказывать негативное влияние с точки зрения шума, снижая эффективность перекрытия канала. Так, ближние к РКН окна в зоне хвостового отсека могут снижать эффективность перекрытия до 3 дБ, в зоне головной части – до 1 дБ. При этом, как показал анализ, окна, расположенные в дальней части перекрытия, не увеличивают уровень шума в зоне КГЧ (рис. 8, 2-й и 4-й столбики).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведения проектных работ в обеспечение новых требований (в том числе по пилотируемым пускам) были проработаны несколько конфигураций стартового сооружения перспективной РКН.

В дополнение к другим методам на экспериментальных моделях была показана эффективность пассивного способа снижения акустического воздействия на элементы РКН.

Были выявлены недостатки данного метода – увеличение силовых нагрузок на донном экране РКН в начальном положении. Проработаны варианты уменьшения данных нагрузок и оценена эффективность данных мер.

Подбор эффективных способов снижения эжекционных нагрузок требует дальнейших экспериментальных и расчетных исследований с целью определения критериев, оказывающих значимое влияние на нагрузки.

Выбранная конфигурация стартового сооружения обеспечивает выполнение предъявляемых требований по всем видам нагрузок на РКН.

Результаты работ могут быть использованы при разработке проектов перспективных космических комплексов различного класса.

Литература

1. Абдурашидов Т.О., Бут А.Б., Сафронов А.В. Исследование влияния конструкций пусковых устройств на акустические и газодинамические процессы при старте ракеты-носителя "Ангара-А5" // Космонавтика и ракетостроение. 2016. № 5 (90). С. 75–80.

2. Абдурашидов Т.О., А.Б. Бут, Сафронов А.В. Результаты экспериментальных исследований влияния конструкции ПУ на акустические и эжекционные процессы при старте РКН «Ангара А5» с космодрома «Восточный» // Актуальные проблемы космонавтики: Труды XXXIX академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства (Москва, 27–30 января 2015 г.). М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. С. 260–261.

3. Herrero-Dura I. et al. Acoustic noise reduction methods for the launch pad. Universitat Politecnica De Valencia, 2020, 162 p.

References

1. Abdurashidov T.O., But A.B., Safronov A.V. Investigation of the influence of launcher designs on acoustic and gas-dynamic processes during the launch of the Angara-A5 launch vehicle. *Kosmonavtika i raketostroenie*, 2016, no. 5(90), pp. 75–80 (in Russian).

2. Abdurashidov T.O., A.B. But, Safronov A.V. Safronov A.V. Results of experimental studies of the influence of PU design on acoustic and ejection processes at the launch of the Angara A5 RCN from the Vostochny Cosmodrome. In: *Aktual'nye problemy kosmonavtiki: Trudy XXXIX akademicheskikh chtenii po kosmonavtike, posvyashchennykh pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh-pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva (Moskva, 27–30 yanvarya 2015 g.)* [Actual problems of cosmonautics: Proceedings of XXXIX academic readings on cosmonautics]. Moscow, 2015, pp. 260–261 (in Russian).

3. Herrero-Dura I. et al. Acoustic noise reduction methods for the launch pad. Universitat Politecnica De Valencia, 2020, 162 p.

Информация об авторах / Information about authors

Абросимов Николай Анатольевич
Филиал АО «ЦЭНКИ» – НИИ стартовых комплексов имени В.П. Бармина
(119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 2)
n.abrosimov@russian.space

Бут Анатолий Борисович
Филиал АО «ЦЭНКИ» – НИИ стартовых комплексов имени В.П. Бармина
(119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 2)
anatoly_boot@mail.ru

Абдурашидов Темирлан Олегович
Филиал АО «ЦЭНКИ» – НИИ стартовых комплексов имени В.П. Бармина
(119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 2)
t.abdurashidov@russian.space

Nikolay A. Abrosimov
Branch of JSC "TSENKI" – Barmin Research institute of Launch Complexes
(*bld. 2, 101 Prospect Vernadsky, Moscow, 119526 Russia*)
n.abrosimov@russian.space

Anatoly B. Boot
Branch of JSC "TSENKI" – Barmin Research institute of Launch Complexes
(*bld. 2, 101 Prospect Vernadsky, Moscow, 119526 Russia*)
anatoly_boot@mail.ru

Temirlan O. Abdurashidov
Branch of JSC "TSENKI" – Barmin Research institute of Launch Complexes
(*bld. 2, 101 Prospect Vernadsky, Moscow, 119526 Russia*)
t.abdurashidov@russian.space

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 629.7 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_40

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОСМИЧЕСКИХ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ «ТРОС-МГТУ»

В.В. Коровин

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8461-5034

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *В ходе разрабатываемого в МГТУ имени Н.Э. Баумана эксперимента «Трос-МГТУ» планируется развертывание тросовой связки с борта транспортного грузового корабля типа «Прогресс» после выполнения его основной космической миссии. Эксперимент относится к числу образовательных. При подготовке эксперимента решаются задачи создания необходимого оборудования, средств наземной отработки, разработки математических моделей и программного обеспечения. Целями эксперимента следует считать освоение технологии безопасного развертывания тросовых связок в космосе, исследование динамики орбитального полета и разделения космической связки.*

Методы. *При развертывании тросовой связки на орбите необходимо обеспечить ограниченные углы отклонения базового космического аппарата (ТГК «Прогресс») от местной вертикали, углы отклонения троса от продольной оси базового космического аппарата, минимальный отскок второй концевой массы при выходе на связь и отсутствие ее закручивания относительно собственного центра масс. Это обеспечивается рациональным выбором начальных условий развертывания и конструктивными мерами. Отскок концевых тел при выходе на связь гасится выпуском участков троса с концевых тел при повышенной силе трения (концевыми демпферами). Как показало численное моделирование, требования минимальных амплитуд колебаний связки и концевых тел являются частично противоречивыми. Приемлемые результаты достигаются при рациональных значениях силы сопротивления выпуску троса с неподвижной шпули и установке демпферов на концевых телах. Фактически речь идет о формировании при помощи конструктивных мер необходимого закона натяжения нити.*

Результаты. *Проведенные исследования показывают возможность использования тросовых связок, разворачиваемых в неуправляемом режиме, для выполнения многих практических задач в космосе. Недостатком предлагаемого подхода является невозможность гашения маятниковых колебаний связки по окончании развертывания. В ряде случаев это не является препятствием для практического использования космической тросовой системы. В статье представлены результаты численного моделирования и конструктивные решения, демонстрирующие возможность достижения поставленных целей. Предлагаемая конструкция тросового модуля может быть дополнена устройством управления выпуском троса фрикционного типа, что позволяет в перспективе перейти к управляемому развертыванию. Переход к управляемому развертыванию расширяет круг решаемых тросовой связкой задач.*

Выводы. *К настоящему времени теория движения связанных космических объектов формируется как отдельная область механики космического полета. Практическая разработка космического эксперимента приводит к необходимости конструктивной проработки, экспериментального исследования и математического моделирования отдельных устройств, входящих в оборудование для развертывания связки. Сюда можно отнести толкатели, шпулю с тросом при конкретном способе намотки, концевые демпферы и т.д., а также концевые тела, обладающие своими геометрическими и массово-инерционными характеристиками, возможно, оснащенные системами стабилизации. Исследование широкого круга возникающих здесь задач является актуальным для современного этапа освоения технологии космических тросовых систем. Другое важное направление – анализ и моделирование возможных нештатных ситуаций.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Космическая тросовая система, неуправляемое развертывание,

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Коровин В.В. Освоение технологии космических тросовых систем на базе «Трос-МГТУ» // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 40–44. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_40.

MASTERING THE TECHNOLOGY OF SPACE TETHER SYSTEMS BASED ON "TETHER-BMSTU"

Victor V. Korovin

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8461-5034

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *During the development at the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman's experiment "Tether-BMSTU", it is planned to deploy a cable bundle from the board of a transport cargo vehicle of the "Progress" type after completing its main space mission. The experiment is educational. When preparing an experiment, the tasks of creating the necessary equipment, means of ground development, the development of*

mathematical models and software are being solved. The objectives of the work should be considered the development of the technology for the safe deployment of cable ties in space, the study of the dynamics of orbital flight and separation of the space bundle.

Methods. *When deploying a cable bundle in orbit, it is necessary to provide limited deflection angles of the base spacecraft (TGK Progress) from the local vertical, the angles of deflection of the cable from the longitudinal axis of the base spacecraft, the minimum rebound of the second end mass when communicating and the absence of its twisting relative to its own center masses. This is ensured by a rational choice of the initial deployment conditions and constructive measures. The rebound of the end bodies upon reaching the connection is damped by the release of the cable sections from the end bodies with an increased friction force (end dampers). As shown by numerical modeling, the requirements for the minimum vibration amplitudes of the ligament and end bodies are partially contradictory. Acceptable results are achieved with rational values of the resistance force for the release of the cable from the stationary spool and the installation of dampers on the end bodies. In fact, we are talking about the formation, with the help of constructive measures, the necessary law of thread tension.*

Findings. *The studies carried out show the possibility of using cable bundles deployed in an uncontrolled mode for performing many practical tasks in space. The disadvantage of the proposed approach is the impossibility of damping the pendulum vibrations of the bundle at the end of deployment. In some cases, this is not an obstacle to the practical use of the space tether system. The report presents the results of numerical modeling and design solutions that demonstrate the possibility of achieving the goals. The proposed design of the cable module can be supplemented with a friction-type cable release control device, which allows, in the future, to switch to controlled deployment. The transition to controlled deployment expands the range of tasks solved by the tether bundle.*

Conclusions. *At this moment the theory of motion of connected space objects is being formed as a separate area of space flight mechanics. The practical development of a space experiment leads to the need for constructive study, experimental research and mathematical modeling of individual devices included in the equipment for deploying the bundle. These include pushers, a spool with a cable with a specific winding method, end dampers, etc. In addition, end bodies with their own geometric and mass-inertial characteristics, and possibly equipped with stabilization systems. The study of a wide range of problems arising here is relevant for the current stage of mastering the technology of space tether systems. Another important area is analysis and modeling of possible emergency situations.*

KEYWORDS

Space tether system, unmanaged deployment.

FOR CITATION

Korovin V.V. Mastering the Technology of Space Tether Systems Based on "Tether-BMSTU". Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 40–44. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_40 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

В ходе разрабатываемого в МГТУ имени Н.Э. Баумана эксперимента «Трос-МГТУ» планируется развертывание тросовой связки с борта транспортного грузового корабля типа «Прогресс» после выполнения его основной космической миссии. Эксперимент относится к числу образовательных. При подготовке эксперимента решаются задачи создания необходимого оборудования, средств наземной отработки, разработки математических моделей и программного обеспечения. Целями работы следует считать освоение технологии безопасного развертывания тросовых связок в космосе, исследование динамики орбитального полета и разделения космической связки. Развертывание предполагается в неуправляемом режиме.

Практическая разработка космического эксперимента приводит к необходимости конструктивной проработки, экспериментального исследования и математического моделирования отдельных устройств, входящих в оборудование для развертывания связки. Сюда можно отнести толкатели, шпулю с тросом при конкретном способе намотки, концевые демпферы и т.д. Кроме того, концевые тела, обладающие своими геометрическими и массово-инерционными характеристиками, а также, возможно, оснащенные системами стабилизации. Исследование широкого круга возникающих здесь задач является актуальным для современного этапа освоения технологии космических тросовых систем (КТС).

Модель КТС

К настоящему времени теория движения связанных космических объектов формируется как отдельная область механики космического полета. Рассматривается задача развертывания и движения космической тросовой связки с концевыми твёрдыми телами, обладающими инерционными характеристиками. Трос моделируется цепочкой из дискретных точечных масс, соединённых вязкоупругими связями, работающими только при положительной (растягивающей) деформации. В ходе разработки космического эксперимента «Трос-МГТУ» принята длина развертываемой связки в 5–6 км. Массы концевых тел составляют около 6000 кг для базового космического аппарата и 20 кг для привязного спутника.

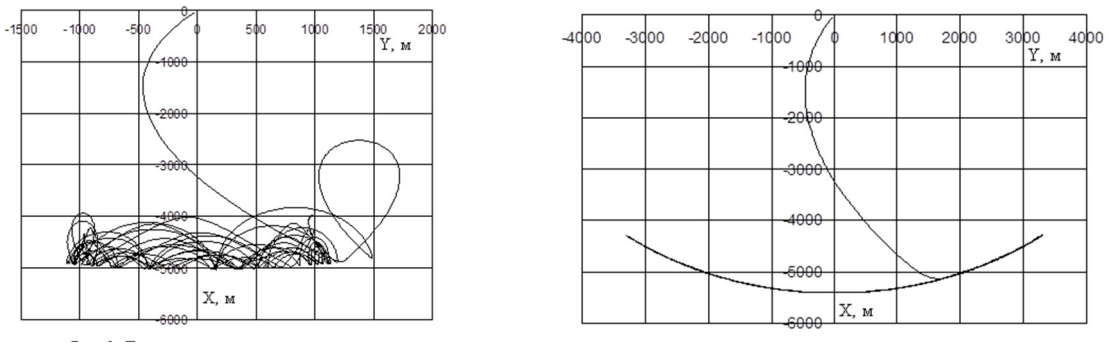
Для описания углового движения твёрдых тел используются уравнения вращения в форме Эйлера.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Результаты моделирования развертывания

При развертывании тросовой связки на орбите необходимо обеспечить ограниченные углы отклонения базового космического аппарата (типа «Прогресс») от местной вертикали, углы отклонения троса от продольной оси базового космического аппарата, минимальный отскок второй концевой массы при выходе на связь и отсутствие ее закручивания относительно собственного центра масс. Это обеспечивается рациональным выбором начальных условий развертывания и конструктивными мерами. Отскок концевых тел при выходе на связь гасится выпуском участков троса с концевых тел при повышенной силе трения (концевыми демпферами). Как показало численное моделирование, требования минимальных амплитуд колебаний связки и концевых тел являются частично противоречивыми. Приемлемые результаты достигаются при рациональных значениях силы сопротивления выпуску троса с неподвижной шпули и правильным выбором характеристик демпферов на концевых телах. Фактически речь идет о формировании при помощи конструктивных мер необходимого закона натяжения нити (рис. 1).

Установившаяся амплитуда маятниковых колебаний связки зависит от большого количества факторов: величины и направления начального импульса при разделении концевых тел, трения при выпуске нити со шпули, силы трения в концевых демпферах (рис. 2).



а *б*

Рис. 1. Траектории привязного спутника без концевых демпферов (*а*) и при развертывании с демпферами (*б*)

Fig. 1. Trajectories of a tethered satellite without end dampers (*а*) and when deployed with dampers (*б*)

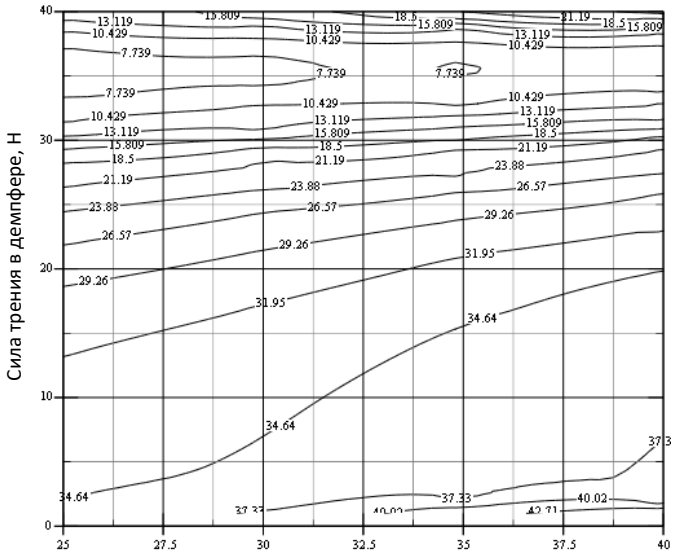


Рис. 2. Значения установившейся амплитуды колебаний после развертывания тросовой связки

Fig. 2. Values of the established amplitude of oscillations after the deployment of the cable bundle

Угол начального импульса отсчитывается от местной вертикали против направления орбитального движения. Оптимальные величины силы трения при сходе нити со шпули лежат в диапазоне 0,1–0,2 ньютона. В этом случае достигается наилучшее сочетание характера колебаний всей тросовой связки и ее концевых тел в процессе развертывания и последующего орбитального полета. Критическая сила трения, при которой развертывание не происходит на полную длину, – 0,5 ньютона.

Анализ разделения связки и нештатных ситуаций

Важное направление при разработке космического эксперимента с тросовой системой – анализ и моделирование процесса разделения связки по окончании функционирования и возможных нештатных ситуаций.

При штатном разделении связки опасного сближения концевых тел не происходит (рис. 3).

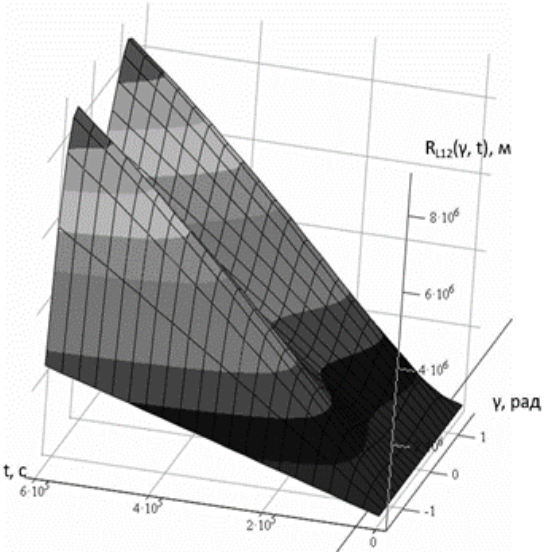


Рис. 3. Изменение расстояния между концевыми телами после разделения тросовой системы

Fig. 3. Change in the distance between the terminal bodies after the separation of the cable system

Среди нештатных ситуаций можно выделить:

- одновременное заклинивание троса в тракте выпуска и концевых демпферах;
- обрыв троса до выхода системы на полную длину;
- обрыв троса в режиме либраций;
- невозможность разделения тросовой связки по окончании эксперимента.

Наиболее опасное событие здесь – заклинивание выпуска троса при его небольшой длине и одновременное несрабатывание демпфера на отводимом привязном спутнике. В этом случае в результате упругого отскока спутник может сближаться с базовым космическим аппаратом с большой скоростью. Предотвратить такой сценарий можно при наличии на привязном спутнике участка нити с заданным (небольшим) усилием разрыва. Тогда привязное тело обрывает свою связь и упругий отскок исключается.

Регистрация и передача результатов эксперимента

Базовый космический аппарат используется для обеспечения электропитания и передачи на Землю полученной телеметрической информации. Регистрация положения отводимого концевого тела относительно базового космического аппарата производится с помощью лазерного дальномера (лидара).

ВЫВОДЫ

Выполнено моделирование развертывания, орбитального полета, разделения и нештатных ситуаций при проведении космического эксперимента с тросовой системой. Разработана конструкция тросового модуля (рис. 4).

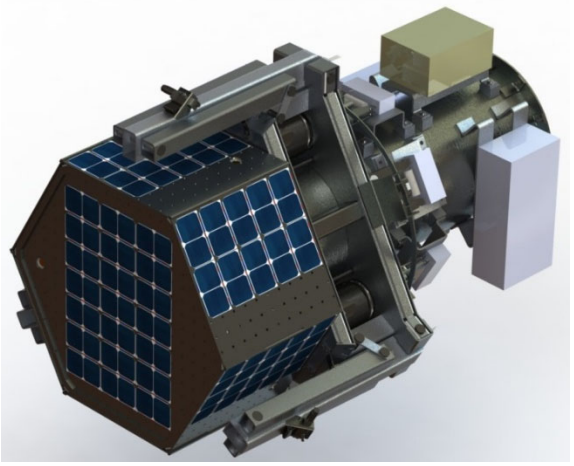


Рис. 4. 3D-модель одного из вариантов тросового модуля

Fig. 4. 3D model of one of the cable module variants

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Проведенные исследования показывают возможность использования тросовых связок, разворачиваемых в неуправляемом режиме, для выполнения многих практических задач в космосе. Недостатком предлагаемого подхода является невозможность гашения маятниковых колебаний связки по окончании развертывания. В ряде случаев это не является препятствием для практического использования космической тросовой системы. Конструкция тросового модуля может быть дополнена устройством управления выпуском троса фрикционного типа, что позволяет перейти к управляемому развертыванию. При этом расширяется круг решаемых задач.

Освоение технологии космических тросовых систем невозможно без проведения космических экспериментов с использованием микроспутников. Они должны оснащаться системами ориентации и стабилизации.

Наземная экспериментальная отработка и математическое моделирование элементов оборудования для развертывания связки попрежнему является актуальной проблемой. Ее решение позволит судить о технической реализуемости конкретных проектов.

Разработка космического эксперимента требует участия многопрофильного коллектива специалистов.

Литература / References

1. Arnold D.A. The behavior of long tethers in space. *The Journal of the Astronautical Sciences*, 1987, vol. 35(1), pp. 3–18.

2. Beletskii V.V., Levin E.M. Dynamics of space tether systems. San Diego, Calif., Publ. for the American Astronautical Society by Univelt, Inc., 1993, 499 p.

3. Carroll J.A. Tether applications in space transportation. *Acta Astronautica*, 1986, vol. 13(4), pp. 165–174. DOI: https://doi.org/10.1016/ 0094-5765(86)90061-5.

4. Cosmo M.L., Lorenzini E.C. Tethers in Space Handbook. 3rd ed. Cambridge, MA, 1997.

5. Korovin V.V. Space tether system in a circular orbit: static analysis. In: AIP Conference Proceedings 2171, 2019. DOI: https://doi.org/ 10.1063/1.5133208.

Информация об авторе / Information about the author

Коровин Виктор Валерьевич
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(*105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1*)
korovinvv@bmstu.ru

Victor V. Korovin
Bauman Moscow State Technical University
(*bldg. 1, 5 Vtoraya Baumanskaya str., Moscow, 105005 Russia*)
korovinvv@bmstu.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 629.78:620 (035.3) DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_45

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В.М. Мельников[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-2345-6789

Ю.Н. Разумный[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-4970-0003

А.Г. Милованов[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6312-1147

В.П. Мельников[3]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-8478-0061

В.А. Комков[3]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-2642-0663

[1] Инженерная академия Российского университета дружбы народов, г. Москва, Россия
[2] Научно-исследовательский институт космических систем имени А.А. Максимова, г. Юбилейный, Россия
[3] Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Главными проблемами современности являются стабилизация климата и замещение нефти природоохранными технологиями. Развитие систем беспроводной передачи энергии способно кардинальным образом повлиять на определяющие стороны жизни всего человечества.*

Цель. *Космическая техника способна решить одновременно обе эти проблемы путём создания космических солнечных электростанций (КСЭС), транслирующих энергию на Землю.*

Методы*. Обосновываются преимущества использования космических солнечных электростанций (КСЭС) по сравнению с тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями, заключающиеся в трансляции экологически чистой без токсичной химии и радиации и дешёвой энергии (в 6 раз дешевле её выработки на Земле по японским оценкам) непосредственно в район её потребления. Рассматриваются вопросы экологического воздействия на окружающую среду и эффективные проектно-конструкторские решения по передаче и приёму энергии на базе центробежных бескаркасных конструкций и волоконных лазеров, в том числе с солнечной накачкой, обеспечивающие низкую стоимость системы, её простоту и высокую надёжность, управление в пространстве без затрат рабочего тела путём использования самой вращающейся конструкции в качестве тяжёлого гироскопа и модульного построения системы из большого числа идентичных аппаратов.*

Результаты. *Разработан вариант компоновки для демонстрационного эксперимента на ТГК «Прогресс» с волоконными лазерами с солнечной накачкой.*

Выводы. *Преимущества использования КСЭС по сравнению с тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями, заключаются в трансляции экологически чистой без токсичной химии и радиации и дешёвой энергии непосредственно в район её потребления без затрат на линии электропередач.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Космические солнечные электростанции, лазерное излучение, центробежные крупногабаритные космические конструкции, экологическое воздействие на окружающую среду, привязные аэростаты.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Мельников В.М., Разумный Ю.Н., Милованов А.Г., Мельников В.П., Комков В.А. Центробежные лазерные космические солнечные электростанции // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 45–54. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_45.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

CENTRIFUGAL LASERS SPACE SOLAR POWER PLANTS

Vitaly M. Melnikov[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-2345-6789

Yury N. Razoumny[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-4970-0003

Alexander G. Milovanov[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6312-1147

Vladimir P. Melnikov[3]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-8478-0061

Vladimir A. Komkov[3]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-2642-0663

[1]*Academy of Engineering of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow, Russia*
[2]*A.A. Maksimov Space Systems Research and Development Institute, Yubileinyi, Russia*
[3]*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

ABSTRACT

Introduction. *The main problems of our time are climate stabilization and the replacement of oil with environmental technologies. The development of wireless energy transmission systems can radically affect the defining aspects of the life of all mankind.*

Object. *Space technology is able to simultaneously solve both of these problems by creating space solar power plants (CSPS), transmitting energy to the Earth.*

Method. *The advantages of using space solar power plants (SSPP) in comparison with thermal, nuclear and hydroelectric power plants are substantiated, consisting in the transfer of environmentally friendly without toxic chemistry and radiation and cheap energy (6 times cheaper than its generation on Earth according to Japanese estimates) directly to the area of its consumption. Effective design solutions based on centrifugal frameless structures and solar-pumped fiber lasers are considered, which ensure the low cost of the system, its simplicity and high reliability, control in space without the expense of the working fluid by using the rotating structure itself as a heavy gyroscope and modular construction of a system of a large number of identical devices.*

Findings. *A variant of the layout for a demonstration experiment at the Progress TGC with solar-pumped fiber lasers has been developed.*

Conclusions. *The advantages of using space solar power stations (SSPS) in comparison to thermal, atomic, and hydroelectric power stations consist in transmitting environmentally-friendly, pure, toxic-chemical and radiation-free cheap energy right into the area of its consumption, thus avoiding electric power line expenses.*

KEYWORDS

Space solar power plants, laser radiation, centrifugal large-sized space structures, environmental impact, tethered balloons.

FOR CITATIONS

Melnikov V.M., Razoumny Yu.N., Milovanov A.G., Melnikov V.P., Komkov V.A. Centrifugal Lasers Space Solar Power Plants. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 45–54. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_45 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Главными проблемами современности являются стабилизация климата и замещение нефти природоохранными технологиями. Об этом говорили на юбилейной 70-й Ассамблее ООН. Космическая техника способна решить одновременно обе эти проблемы путём создания космических солнечных электростанций (КСЭС), транслирующих энергию на Землю. Развитие систем беспроводной передачи энергии способно кардинальным образом повлиять на определяющие стороны жизни всего человечества. Это энергообеспечение, энергетическая и экологическая безопасность, обороноспособность, информатизация. Возможно создание уникальной технологии в области космического электричества, значительным образом подняв престиж самой космической техники в решении важнейших социально-экономических задач [2, 9]. Помимо альтернативы тепловым, атомным и гидроэлектростанциям, появляются новые возможности использования КСЭС: обеспечение энергоснабжения удалённых и труднодоступных районов Земли при отсутствии необходимой кабельной сети (районы Крайнего Севера России, Центральной Сибири,

Канады, Гренландии, Арктики и Антарктиды, горные районы, пустыни, места стихийных бедствий и катастроф и др.); решение проблемы пиковых нагрузок; зарубежные коммерческие поставки; новые стратегия и тактика в решении оборонных задач, энергоснабжение Луны, Марса и других космических объектов и аппаратов; решение проблемы астероидной и террористической (в электросетях) опасностей.

Потребление электроэнергии является основой развития цивилизации (машиностроения, транспорта, добывающих отраслей, бытовых нужд и проч.). По причине исчерпания углеводородных топлив в ближайшей перспективе встаёт проблема поиска новых природоохранных технологий, где наибольший интерес представляет использование энергии Солнца. Потребление электроэнергии от КСЭС является оптимальным по сравнению с тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями, поскольку транслирует экологически чистую без токсичной химии и радиации и дешёвую энергию (в 6 раз дешевле её выработки на Земле по японским оценкам) сразу в район её потребления и не требует затрат, связанных с созданием трех атомных реакторов. В Японии (Фукусима, 2011 год) принята «Императорская» программа создания КСЭС к 2040 году, способная обесценить природные ресурсы (нефть, газ, уран) всех стран. Имеется перспектива завоевания Японией мирового энергетического лидерства. США активно проводятся работы по созданию КСЭС [9, 10, 13]. Интерес к проблеме проявляют Китай, Индия, Канада, Евросоюз, Израиль и ряд других стран. Китай 2 декабря 2019 года объявил о планах создания КСЭС к 2035 году [3], проводит работы по их созданию с 2008 года. Дан старт гонке за «космическое электричество».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Краткая история разработки проектов КСЭС

Работы в области создания КСЭС проводятся с начала космической эры. Первый инженерный проект КСЭС был разработан П. Глейзером в 1968 году в США [9]. В проекте была показана целесообразность создания энергетического объекта в космосе на мощность порядка 10 ГВт (потребность среднего региона) и передачи электроэнергии на Землю в СВЧ диапазоне (рис. 1).

Рис. 1. Космическая солнечная электростанция П. Глейзера (США, 1968 год)

Fig. 1. P. Glazer Space Solar Power Plant (USA, 1968)

Космическая электростанция Глейзера представляла собой платформу размером 5×13 км массой 12,3 тысячи тонн с фотопреобразователями из кристаллического кремния с КПД 13,7%, передающую энергию 5 ГВт с геостационарной орбиты на Землю СВЧ-лучом. К началу 70-х годов прошлого века техника не была готова к созданию столь проблемной конструкции, к тому же в то время еще не сформировалось острой социальной потребности общества в её создании. Тем не менее проект Глейзера инициировал во многих ведущих странах исследования и разработки, направленные на повышение эффективности и снижение стоимости КСЭС.

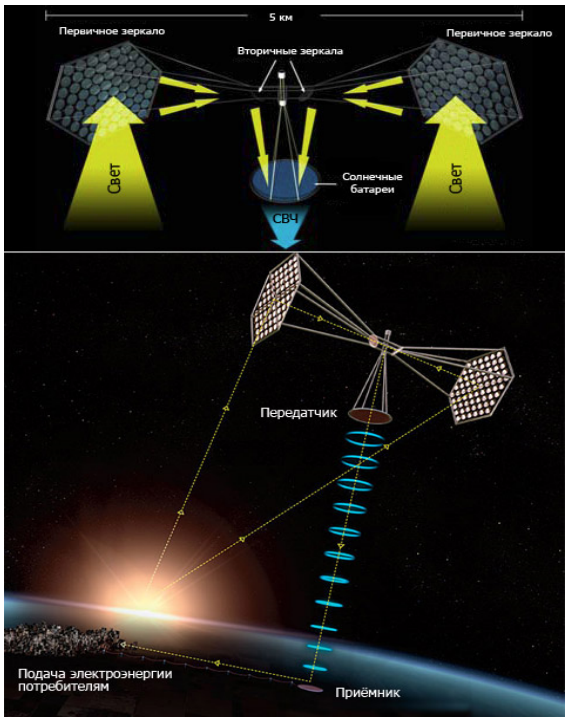
Совершенствование схемы КСЭС шло по пути увеличения концентрации излучения и значительного уменьшения каркасной рамы солнечной батареи, а также изменения компоновки с целью исключения из конструкции громоздких тоководов.

10 октября 2007 года США вышли с новой концепцией КСЭС (см. рис. 2, *а*), представляющей собой 5-километровую конструкцию, в которой две группы параболических зеркал через поворотные зеркала концентрируют солнечное излучение на высокотемпературные фотопреобразователи диаметром 500 м из арсенида галлия с КПД 35%, конструктивно объединенные с СВЧ-преобразователем и антенной, транслирующей СВЧ энергию на Землю [13].

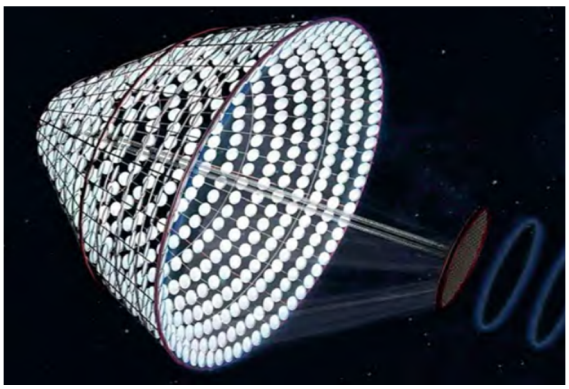
Новая концепция КСЭС позволяла уменьшить площадь дорогих фотопреобразователей и исключить использование тяжелых многокилометровых кабельных тоководов. Вместе с тем эта концепция не предлагала решений проблемы монтажа многокилометровых конструкций в космосе, вывода тысяч тонн грузов

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

на геостационарную орбиту и создавала новые проблемы по обеспечению управления гигантскими концентраторами солнечного излучения с точностью их наведения на фотоэлектрическую «мишень» не хуже ±1,5°, а также точностью наведения СВЧ-луча на наземную антенну порядка 10^{-6} радиана, и охлаждения мощных электронных СВЧ-преобразователей в безвоздушном пространстве.



а



б

Рис. 2. Космические солнечные электростанции США:
а – проект 2007 года; *б* – проект SPS-Alpha 2012 года

Fig. 2. Space solar power plants in the USA:
а – project of 2007; *б* – SPS-Alpha project of 2012

После нескольких лет проектной проработки специалисты НАСА посчитали этот проект технически нереализуемым и ищут новые идеи. Более поздний проект КСЭС США SPS-Alpha (2012 год), приведённый на рис. 2, *б*, мало отличается от предыдущего в проектно-конструкторском плане. Диаметр жёсткой каркасной конструкции варьируется до 3 км.

S. Sasaki и исследовательская группа из Японского космического агентства представили поэтапную программу создания коммерческой КСЭС [12]. Предложены три принципиальные схемы КСЭС для будущего коммерческого использования: базовая СВЧ-схема, улучшенная СВЧ-схема и лазерная схема. Базовая модель представляет собой генерирующую и излучающую панель, подвешенную на четырех тросах и находящуюся в гравитационной стабилизации (рис. 3).

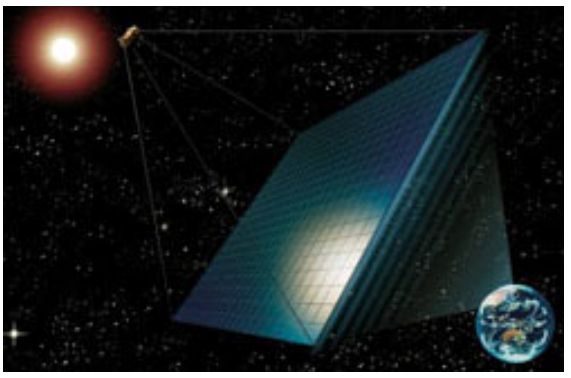


Рис. 3. Базовый сегмент японской КСЭС
размером 100×95 м и мощностью 2,2 МВт
в гравитационной стабилизации

Fig. 3. The basic segment of the Japanese Space solar
power plants with a size of 100×95 m
and a capacity of 2,2 MW in gravitational stabilization

Эта схема исследовалась в USEF (Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer). Практическая конфигурация КСЭС состоит из большого числа единичных тросовых панелей (рис. 3), представляющих собой жесткую квадратную панель размером 100×95 м и толщиной 0,1 м, подвешенную за углы на четырех тросах длиной 5–10 км, исходящих из одного контейнера Ø10×15 м. Масса единичной системы порядка 5 т, излучаемая мощность 2,2 МВт. Отработка технологии вывода такой системы на орбиту была уже проведена. Японская схема значительно

эффективнее американской, поскольку использует гравитационную стабилизацию и многомодульное построение.

2. Экологический ущерб от тепловых, атомных, гидроэлектростанций и КСЭС

Перевод наземной энергетики с углеродосодержащих и ядерных топлив на космические солнечные батареи исключает первопричину техногенных воздействий на среду обитания:

- последствия использования органического топлива, сжигание которого оказывает вредное воздействие на биосферу (выбрасываются в атмосферу CO, CO_2, окислы азота, серы, свинец, мышьяк, радиоактивные элементы, тяжёлые металлы, забирается из атмосферы огромное количество кислорода воздуха в процессе сжигания, нагревается окружающая среда, сопутствующие горению экологически вредные вещества в виде сажи и пепла разносятся ветром на сотни километров, снижая плодородие почв и оседая на лёд и снег, изменяют их отражающую способность (изменяется альбедо Земли, способствуя потеплению);
- последствия использования ядерного топлива, способствующего парниковому эффекту, ставящего проблему утилизации ядерных отходов и самих отработавших реакторов, а также проблему аварий, при которых катастрофические последствия наносят ущерб, многократно превышающий выгоды от эксплуатации атомных электростанций (АЭС), проблему неконтролируемой выработки плутония как стратегического материала для ядерного оружия;
- последствия использования гидроэлектростанций, связанных с затоплением больших сельскохозяйственных площадей, селений, уроном рыбного хозяйства.

Если проблема управляемого термоядерного синтеза найдёт решение, следует помнить, что в конечном счёте термоядерный реактор, как и атомный реактор, работает по обычному тепловому циклу, как широко распространенные тепловые станции, сжигающие продукты переработки нефти и из-за низкого теплового КПД (20%) интенсивно нагревающие окружающую среду. Общее энергопотребление всего человечества ориентировочно составляет 2 ТВт, следовательно, 8 ТВт уходит на нагрев атмосферы.

В КСЭС по традиционной схеме электроэнергия вырабатывается в космосе от солнечных батарей (СБ) с КПД до 40–60%. В непосредственной близости от СБ электроэнергия на твёрдотельных лазерах преобразуется в лазерный луч с КПД до 80%. Сопровождающие эти процессы потери остаются в космосе и на наземную среду не влияют. Возможна схема преобразования на волоконных лазерах с солнечной накачкой, где даже нет СБ. Критичными являются потери на приёмных СБ с КПД 40–60% и потери в нижних слоях атмосферы в канале с диаметром 40–50 м, что требует создания лазеров, работающих в окнах прозрачности атмосферы, например на длинах волн 1,3; 3,8 или 9 мкм. В целом из приведённого сравнения традиционных средств энергетики и лазерных КСЭС следует превосходство КСЭС из-за локальности воздействия (площадка диаметром 40–50 м), низкой стоимости вырабатываемой энергии (в 6 раз дешевле её выработки на Земле по японским оценкам) и отсутствия химической токсичности и радиации, а также интенсивного нагрева окружающей среды, что приведёт при повсеместном использовании КСЭС к стабилизации климата и замещению нефти.

3. Новые концепции и подходы к созданию космических энергосистем

За последние годы появились новые концепции и подходы к созданию космических энергосистем, отсутствовавшие еще 8–10 лет назад, базирующиеся на новейших научно-технических достижениях в физике и технологии лазеров и создании бескаркасных центробежных космических конструкций, к которым всё в возрастающей мере привлекается внимание мировой научно-технической общественности и которые могут гарантировать при создании космических солнечных энергосистем значительное снижение финансовых затрат и времени на их реализацию по сравнению с альтернативными проектами прошлых лет. За последние 10 лет произошло кардинальное изменение следующих базовых концепций создания КСЭС:

- СВЧ-диапазон генерирования и передачи энергии начинает уступать место лазерному

(ИК), соответственно меняются системы наведения и управления энергетического луча и космического аппарата в целом;

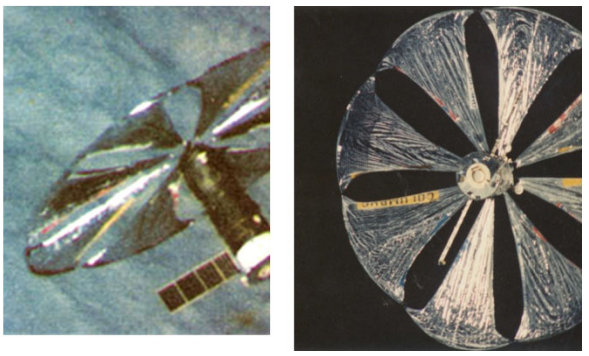
- концепция одной крупномасштабной (1–10 ГВт) станции меняется на большое количество малых информационно-связанных и сверхточно управляемых космических аппаратов;
- место каркасных крупногабаритных конструкций стремятся занять бескаркасные центробежные.

Лазеры имеют на 5 порядков меньшую расходимость луча по сравнению с СВЧ излучением. Это значит, что с геостационарной орбиты на Землю диаметр пятна от лазера на длине волны 1 мкм составит 36 м, а в СВЧ диапазоне на оптимальной длине волны 2,5 см диаметр пятна составит 15–20 км. Массовые характеристики на КСЭС с бескаркасными центробежными плёночными солнечными батареями и полупроводниковыми и волоконными лазерами могут быть уменьшены более чем в 10 раз по сравнению с КСЭС с каркасными солнечными батареями и СВЧ системами.

Следует отметить, что эффективность (массогабаритные характеристики, радиационная стойкость и проч.) и КПД элементов КСЭС непрерывно повышаются, как элементная база в электронике, и могут гарантировать значительное совершенствование КСЭС в перспективе [5, 7].

4. Российские предложения

Исследования возможности создания и использования крупногабаритных космических конструкций проводились в СССР с начала 1980-х годов в рамках тем Министерства общего машиностроения. Исследовались каркасные, электростатические, надувные, отверждаемые и центробежные конструкции. Наиболее перспективными были признаны центробежные конструкции, отличающиеся от аналогов рядом существенных преимуществ, таких, как простота конструкции и её низкая стоимость, возможность укладки в малый объём при транспортировке на орбиту и автоматизированное раскрытие при малых энергозатратах, возможность переориентации в пространстве на гироскопическом принципе и проч. В рамках темы «Знамя» был запланирован и осуществлён 4 февраля 1993 года уникальный космический эксперимент на транспортно-грузовом корабле (ТГК) «Прогресс» вблизи с орбитальной станцией (ОС) «Мир» (рис. 4). Центробежная конструкция из плёнки майлар была диаметром 20 м и весила 4 кг. Подготовка эксперимента длилась 6 лет и сопровождалась комплексом исследований по математическому моделированию процессов раскрытия конструкции из уложенного состояния и переориентации в пространстве.



а *б*

Рис. 4. Космический эксперимент «Знамя 2»
(съёмка с борта ОС «Мир»):
а – центробежная конструкция на ТГК «Прогресс»
в полёте над океаном;
б – отражатель на фоне космического пространства

Fig 4. Space experiment "Znamya 2"
(shooting from the board of the OS "Mir"):
а – centrifugal design on the TGC "Progress"
in flight over the ocean;
б – reflector against the background of outer space

Также в наземных экспериментах в масштабных вакуумных камерах РКК “Энергия” и ЦНИИМАШ на плёночных вращающихся полотнищах отрабатывались различные этапы раскрытия и переориентации для подтверждения закладываемых в космический проект решений.

В космическом эксперименте (КЭ), носившем название «Знамя 2», были осуществлены раскрытие конструкции из уложенного состояния и переориентация раскрытой конструкции в пространстве с демпфированием возникающих при этом колебаний. Эксперимент был осуществлён по запланированной программе без нештатных ситуаций и полностью подтвердил заложенные в него концепции и перспективность направления в целом. Созданный в процессе подготовки и проведения эксперимента научно-технический

задел может служить базой для создания КСЭС. Результаты работ изложены в книгах [6, 11]. В период 2003–2006 годов был выполнен проект 2620 МНТЦ, профинансированный правительством США и направленный на разработку центробежных плёночных солнечных батарей. Результаты работ изложены в книгах [4, 6].

В последние годы в коллективе соавторов вышла книга о перспективах создания КСЭС на базе предыдущего проектно-конструкторского опыта разработок центробежных и каркасных конструкций с привлечением специалистов по волоконной оптике и волоконным лазерам, в том числе с солнечной накачкой [7].

5. Сравнение экологической безопасности КСЭС с лазерной (ИК) и СВЧ концепциями передачи энергии

Помимо приводимых выше факторов отрицательного влияния на окружающую среду средств традиционной энергетики необходимо выявить особенности использования для КСЭС различных концепций передачи энергии на Землю – лазерной (ИК) и СВЧ.

Экологическая опасность КСЭС с лазерной (ИК) концепцией передачи энергии значительно меньше по сравнению с СВЧ-способом и связана со следующими обстоятельствами:

- меньшим биологическим воздействием, поскольку СВЧ-луч проходит, аналогично радиосигналу, через биологическую структуру и оказывает на неё объёмное воздействие, в то время как ИК-луч, аналогично световому диапазону длин волн, оказывает только поверхностное воздействие, которое можно эффективно экранировать;
- локальность приёма и воздействия энергии, на несколько порядков меньшая площадь приёма;
- принципиальная возможность расфокусировки лазерного луча до любого требуемого уровня при невозможности точного наведения на приёмную антенну и других нештатных режимах.

Генерируемый на геостационарной орбите лазерный луч на пути к Земле может потенциально оказывать влияние на научную, коммерческую или военную аппаратуру находящихся на более низких орбитах космических аппаратов, самолётов и иные воздушные летательные аппараты (например, неуправляемые метеорологические зонды), а также на птиц. Высокая относительная скорость пролёта космического аппарата через лазерный луч не может привести к ощутимому перегреву конструкции в целом, однако не исключены эффекты вывода из строя (засветки) чувствительных элементов датчиковой или иной аппаратуры при прямом попадании лазерного света ИК-диапазона, что должно учитываться при проектировании таких аппаратов. Для самолётов необходимы карты запретных районов и строгие правила их соблюдения. Для птиц (гусиных стай, уток, чаек и прочих пернатых) в перспективе возможны мероприятия, аналогичные рыбоотводам в водозаборных сооружениях, основанные на различных физико-биологических принципах (отпугивающее инфразвуковое воздействие, бликующее световое воздействие и проч.), что потребует специальных исследований и разработок.

6. Конструктивный облик КСЭС

Выбор рационального проектно-конструкторского облика энергоустановок большого масштаба является важнейшим этапом обеспечения их эксплуатационной надёжности. На рис. 5 приведена принципиальная схема компоновки центробежной КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой.

Принципиальным преимуществом этой схемы является отсутствие солнечных батарей и, следовательно, цикла преобразования солнечной энергии в электрическую на солнечных батареях и цикла преобразования этой электрической энергии в лазерную на твёрдотельных лазерах. Солнечная накачка сразу запитывает лазер. При этом не только исключаются два цикла преобразования с сопутствующими потерями, но сильно упрощается конструкция и более чем в 10 раз снижаются её массовые характеристики. В [7] указаны пути создания эффективных волоконных лазеров с солнечной накачкой. Вырисовываются направления совершенствования КСЭС в перспективе. Это повышение эффективности солнечной накачки лазеров (создание микролинз на поверхности волоконного лазера, снижение порога генерации и смещение длины

волны в окно прозрачности атмосферы 1,315 мкм) и подавление колебаний платформы с вращающимися конструкциями.

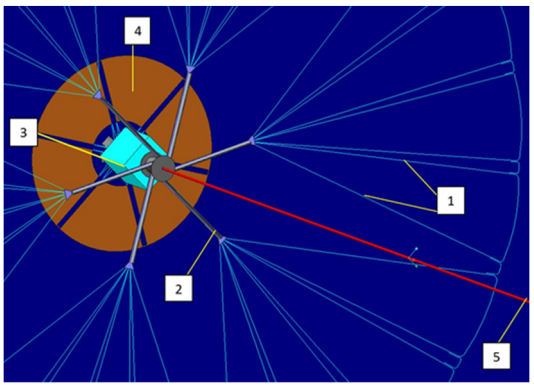


Рис. 5. Схема солнечной энергетической установки с волоконными лазерами с солнечной накачкой: 1 – волоконный лазер; 2 – штанга, раскрываемая из чечевицеобразного профиля; 3 – приборный контейнер; 4 – центробежная солнечная батарея для собственных нужд, играющая роль маховика противовращения; 5 – лазерный луч

Fig. 5. Scheme of Solar Power Plant with solar-pumped fiber lasers: 1 – fiber laser; 2 – a rod opened from a lentil-shaped profile; 3 – instrument container; 4 – centrifugal solar battery for own needs, which plays the role of a counter-rotation flywheel; 5 – laser beam

Разработка таких лазеров ведётся последние десятилетия в Турине (Италия) [8].

7. Наведение лазерного луча на наземный сегмент КСЭС

Наиболее интересным вариантом наведения лазерного луча является такое, когда высокоточное наведение будет решаться путём использования систем обратной связи, базирующихся на использовании одномодовых волоконных лазеров и систем нелинейной оптики, которые позволяют высокоточно удерживать лазерный пучок на приемной площадке. Инструментально эта система содержит помимо традиционных систем следующие компоненты – сигнальный лазер на борту космического сегмента КСЭС и уголковый отражатель на наземном фотомодуле. Отраженное сигнальное излучение поступает в комплекс волоконно-оптических усилителей и после усиления и обращения волнового фронта через адаптивную зеркальную систему попадает на наземные фотомодули, т.е. имеет место система самонаведения на «бликующий» отклик.

8. Космические эксперименты

На рис. 6 приведён вариант компоновки для демонстрационного эксперимента на ТГК «Прогресс» с волоконными лазерами с солнечной накачкой. Целями космического эксперимента на ТГК «Прогресс» являются: создание научно-технического и технологического заделов в области систем беспроводной передачи энергии для космической солнечной энергетики.

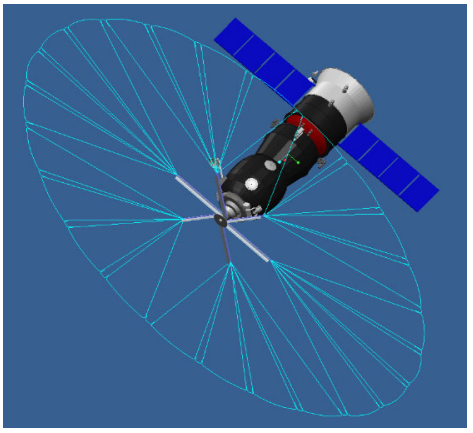


Рис. 6. Компоновка прототипа КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой для демонстрационного эксперимента на ТГК «Прогресс»

Fig. 6. Layout of the CSEC prototype on solar-pumped fiber lasers for a demonstration experiment at Progress TGC

Решаемые задачи: разработка, изготовление, наземная отработка и вывод в космос прототипа КСЭС на базе бескаркасных центробежных волоконных лазеров с солнечной накачкой, если такие лазеры к моменту подготовки эксперимента будут созданы. Если нет, то по схеме с солнечной батареей и современной элементной базы радиоэлектроники и лазерной техники; трансляция лазерного сигнала из космоса на наземную приёмную антенну. Ожидаемые результаты: развитие опыта в создании бескаркасных центробежных крупногабаритных конструкций для снижения стоимости КСЭС, удобства наземной и орбитальной отработки, возможности управления в пространстве на гироскопическом принципе без затрат топлива; качественное повышение функциональных возможностей космических средств нового поколения; создание ряда инновационных продуктов для наземной энергетики (наземного сегмента КСЭС); новые технологии,

в том числе автоматизированного раскрытия крупногабаритной центробежной системы СБ с волоконными лазерами или волоконных лазеров с солнечной накачкой на орбите и управления лазерным лучом с помощью пилот-сигнала с наземной приёмной антенны.

Научно-техническим заделом для космического эксперимента на ТГК «Прогресс» является КЭ «Знамя 2» (рис. 4).

Следует отметить, что космический эксперимент предполагает наземную отработку всей участвующей в эксперименте аппаратуры и тем самым решает задачи первых наземных этапов создания КСЭС. Эффективность и КПД элементной базы КСЭС непрерывно совершенствуются и к моменту создания промышленной КСЭС и в дальнейшем могут иметь весьма высокие значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущества использования КСЭС по сравнению с тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями, заключаются в трансляции экологически чистой без токсичной химии и радиации и дешёвой энергии непосредственно в район её потребления без затрат на линии электропередач. Эффективные проектно-конструкторские решения на базе центробежных бескаркасных конструкций и полупроводниковых или волоконных лазеров с солнечной накачкой обеспечат низкую стоимость системы, её простоту и высокую надёжность, высокий КПД и слабое влияние на экологию окружающей среды, управление в пространстве без затрат рабочего тела путём использования самой вращающейся конструкции в качестве тяжёлого гироскопа и модульное построение системы из большого числа идентичных аппаратов. Повсеместный переход на использование КСЭС приведёт к стабилизации климата и замещению нефти.

Литература

1. Андреев В.М. Высокоэффективные фотоэлектрические преобразователи лазерного и концентрированного солнечного излучения // Альтернативный киловатт. 2012. № 6. С. 14–20.

2. Грачёв И.Д., Сигов А.С., Редько И.Я., Матюхин В.Ф., Мельников В.М. Распределённая энергетика и солнечные космические лазерные электростанции // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2016. № 3(171). С. 76–78.

3. Китай обещает построить космическую солнечную электростанцию к 2035 году // Атомная энергетика: сайт. URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2019/12/03/99664.

4. Комков В.А., Мельников В.М., Харлов Б.Н. Формируемые центробежными силами солнечные батареи. М.: Черос, 2007. 188 с.

5. Мельников В.М., Бруевич В.В., Паращук Д.Ю., Харлов Б.Н. Волоконные лазеры с солнечной накачкой, формируемые центробежными силами, как новое направление в создании космических информационно-энергетических систем // Космонавтика и ракетостроение. 2014. № 6(79). С. 104–112.

6. Райкунов Г.Г., Комков В.А., Мельников В.М., Харлов Б.Н. Центробежные бескаркасные крупногабаритные космические конструкции. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 447 с.

7. Райкунов Г.Г., Комков В.А., Сысоев В.К., Мельников В.М. Космические солнечные электростанции – проблемы и перспективы. М.: Изд-во РУДН, 2017. 283 с.

8. Boetti N., Lousteau J., Negro D. et al. Solar pumping of solid state laser for space mission: a novel approach. In: Proc. Int. Conference on Space Optics – ICSO 2012. Ajaccio, Corsica, France, 2012. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2309203.

9. Glaser P.F. Power from the Sun: its future. *Science*, 1968, vol. 168, pp. 857–861.

10. Mankins J., Kaya N. A report on the status of the IAA study group on solar energy from space. In: 60th Int. Astronautical Congress, 2009, paper ID 3740.

11. Melnikov V.M., Koshelev V.A. Large Space Structures Formed by Centrifugal Forces. Amsterdam, 1998, 157 p.

12. Sasaki S. and JAXA Advanced Mission Research Group. SSPS development road map. IAC- 09.C3.1.4. Available at: http://www13.plala.or.jp/spacedream/PDFSPSENG12.pdf

13. Space-Based Solar Power as an Opportunity for Strategic Security. Phase of Architecture Feasibility Study: Report to the Director. National Security Space Office, 2007.

References

1. Andreev V.M. High-efficiency photoelectric transducers of laser and concentrated solar radiation. *Al'ternativnyi kilovatt*, 2012, no. 6, pp. 14–20 (in Russian).

2. Grachev I.D., Sigov A.S., Red'ko I.Ya., Matyukhin V.F., Mel'nikov V.M. Space-based Laser Solar Power Stations Designed to Supply Energy to Northern Regions of Russia. *Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovani*e, 2016, no. 3(171), pp. 76–78 (in Russian).

3. China promises to build a space solar power plant by 2035. Available at: https://www.atomic-energy.ru/news/2019/12/03/99664 (in Russian).

4. Komkov V.A., Mel'nikov V.M., Kharlov B.N. *Formiruemye tsentrobezhnymi silami solnechnye batarei* [Centrifugal solar panels]. Moscow, Cheros Publ., 2007, 188 p. (in Russian).

5. Mel'nikov V.M., Bruevich V.V., Parashchuk D.Yu., Kharlov B.N. Fiber Lasers with a Solar Excitation, Generated by

Centrifugal Forces as a New Trend in the Creation of Space Information and Energy Systems. *Kosmonavtika i raketostroenie*, 2014, no. 6(79), pp. 104–112 (in Russian).

6. Raikunov G.G., Komkov V.A., Mel'nikov V.M., Kharlov B.N. *Tsentrobezhnye beskarkasnye krupnogabaritnye kosmicheskie konstruktsii* [Centrifugal frameless large-sized space structures]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2009, 447 p. (in Russian).

7. Raikunov G.G., Komkov V.A., Sysoev V.K., Mel'nikov V.M. *Kosmicheskie solnechnye elektrostantsii – problemy i perspektivy* [Space solar power plants – problems and prospects]. Moscow, RUDN Publ., 2017, 283 p. (in Russian).

8. Boetti N., Lousteau J., Negro D. et al. Solar pumping of solid state laser for space mission: a novel approach. In: Proc. Int. Conference on Space Optics – ICSO 2012. Ajaccio, Corsica, France, 2012. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2309203.

9. Glaser P.F. Power from the Sun: its future. *Science*, 1968, vol. 168, pp. 857–861.

10. Mankins J., Kaya N. A report on the status of the IAA study group on solar energy from space. In: 60th Int. Astronautical Congress, 2009, paper ID 3740.

11. Melnikov V.M., Koshelev V.A. Large Space Structures Formed by Centrifugal Forces. Amsterdam, 1998, 157 p.

12. Sasaki S. and JAXA Advanced Mission Research Group. SSPS development road map. IAC- 09.C3.1.4. Available at: http://www13.plala.or.jp/spacedream/PDFSPSENG12.pdf

13. Space-Based Solar Power as an Opportunity for Strategic Security. Phase of Architecture Feasibility Study: Report to the Director. National Security Space Office, 2007.

Информация об авторах / Information about the authors

Мельников Виталий Михайлович
доктор технических наук, профессор,
Инженерная академия Российского университета дружбы народов (РУДН)
(*115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3*);
академик Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского
и Международной академии информатизации,
Заслуженный деятель науки и образования
vitalymelnikov45@yandex.ru

Vitaly M. Melnikov
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Academy of Engineering of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN),
(*3 Ordzhonikidze str., Moscow, Russia 115419*);
Academician of the Russian Academy of Cosmonautics named after V.I. K.E. Tsiolkovsky
and the International Academy of Informatization,
Honored Worker of Science and Education
vitalymelnikov45@yandex.ru

Разумный Юрий Николаевич
доктор технических наук, профессор, директор,
Инженерная академия Российского университета дружбы народов (РУДН) (*115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3*); действительный член Международной академии аэронавтики
razoumny_yun@rudn.ru

Yury N. Razoumny
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Director,
Academy of Engineering of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN) (*3 Ordzhonikidze str., Moscow, Russia 115419*);
Full Member of the International Academy of Aeronautics
razoumny_yun@rudn.ru

Милованов Александр Георгиевич
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт космических систем имени А.А. Максимова
(*141091, Московская область, г. Юбилейный, ул. М.К. Тихонравова, д.27*);
заслуженный деятель науки и техники РФ, академик Международной академии Аэронавтики

Alexander G. Milovanov
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Chief Researcher,
A.A. Maksimov Space Systems Research and Development Institute (*M.K. Tikhonravov str., 27, Yubileiny, Moscow region, Russia 141091*);
Academician of the International Academy of Aeronautics;
Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation

Мельников Владимир Павлович
доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт (МАИ) (технический университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*);
академик Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского
anommvp2015@bk.ru

Vladimir P. Melnikov
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*);
Academician of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky
anommvp2015@bk.ru

Комков Владимир Александрович
доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт (МАИ) (технический университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*);
действительный член Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского,
vakomkov@gmail.com

Vladimir A. Komkov
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(National Research University)
Full Member of Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky
vakomkov@gmail.com

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 541.12 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_55

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ НА КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И В ЦЕНТРАХ УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ХЛАДОНОВ

Т.И. Белякова
ORCID: https:/orcid.org/0000-0002-2003-0771

Н.А. Мессинева
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4965-7797

Е.М. Трофимова
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3028-1248

А.И. Спасский
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5019-921X

Институт энергетических проблем химической физики имени В.Л. Тальрозе
Федерального исследовательского центра химической физики имени Н.Н. Семенова РАН, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *В последние годы не только продолжаются важные научные эксперименты на МКС, но и строятся новые космические станции. Возникновение пожара на космических станциях представляет критическую угрозу для оборудования станций и для её персонала.*

Цель. *Обоснование использование хладонов для тушения пожаров на космических станциях.*

Методы. *Нахождение космических станций на высотах выше озонового слоя позволяет применять для тушения пожаров хладоны, содержащие атомы брома, которые широко использовались до принятия Монреальского протокола в 1987 году. Процесс горения – это цепная, разветвленная химическая реакция окисления. Активными частицами её являются радикалы $H^{\bullet}$, $OH^{\bullet}$ или $O^{\bullet}$.*

Хладоны эффективно обрывают цепи, взаимодействуя с активными частицами по реакции: $H^{\bullet}+RBr \rightarrow HBr+R^{\bullet}$. Это не позволяет цепной реакции горения приобрести неуправляемый, взрывной характер. Для обрыва цепей реакций горения требуется малое количество хладонов. Хорошие диэлектрические свойства делают их пригодными для тушения пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением. Хладоны в жидком и газообразном состоянии хорошо формируют струю, и капли хладона легко проникают в пламя. Самым активным для тушения пожаров является CF_3Br, но и он был запрещён к использованию. Озон разрушающий потенциал (ОРП) для этого хладона составляет величину 12. Время жизни CF_3Br в атмосфере достигает 65 лет. Мы исследовали фотолиз этого хладона на длине волны 257.3 нм. Полученные данные были сопоставлены с расчётами, проведёнными при использовании боксовой фотохимической модели, разработанной в ИНЭПХФ им. В.Л. Тальрозе ФИЦ ХФ РАН. Стабильным продуктом реакции является Br_2 в малом количество, но и такое количество представляет опасность для здоровья человека. Поэтому применять CF_3Br для ликвидации возгораний на космических станциях будет возможно, когда будет внедрён в эксплуатацию метод тушения пожаров, предложенный в Японии. Он заключается в том, что пламя «всасывается» в вакуумную камеру вместе с источником возгорания. Существует проблема ликвидации воспламенения в центрах управления полётами, в которых находятся персонал и ценное оборудование. Можно применять только хладоны, имеющие малые времена жизни в тропосфере. Такими хладонами являются те, которые содержат в своём составе атомы водорода, которые реагируют с радикалом OH, образуя молекулы воды, и радикалы, содержащие атом брома. CH_3Br, CHF_2Br, C_2HF_4Br и $C_2H_2F_2Br_2$. Мы изучили кинетику фотолиза CH_3Br, CHF_2Br, C_2HF_4Br и $C_2H_2F_2Br_2$ с кислородом при облучении бактерицидной лампой на длине волны 257,3 нм.

Результаты. *1. На основании экспериментальных данных и теоретических расчётов был предложен механизм фотолиза исследованных хладонов, что позволило определить отношение констант процесса регенерации исходного хладона в реакции радикала $RH^{\bullet}$ с молекулой брома к константам реакции $RH^{\bullet}$ с молекулярным кислородом, которая переводит данный радикал в неактивную форму, что приводит к обрыву цепи.*

2. Наибольшее отношение этих констант скоростей оказалось у бромметана CH_3Br. Существуют различные источники поступления этого вещества в атмосферу (процессы разложения морских водорослей, сжигание биомассы в тропиках, дезинфекция сельскохозяйственных почв), поэтому дополнительный вклад от его применения при тушении пожаров будет незначительным.

Выводы. *Показана возможность применения хладона CF_3Br для ликвидации возгораний на космических станциях в качестве очень эффективного ингибитора цепного процесса горения, который может быстро подавлять горение самых разных материалов.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Использования хладонов для тушения пожаров на МКС, механизм фотолиза.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Белякова Т.И., Мессинева Н.А., Трофимова Е.М., Спасский А.И. Тушение пожаров на космических станциях и в центрах управления с помощью хладонов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 55–62. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_55.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

USING FREONS TO EXTINGUISH FIRES AT SPACE STATIONS AND CONTROL CENTERS

Tatyana I. Belyakova
ORCID: https:/orcid.org/0000-0002-2003-0771

Natalya A. Messineva
ORCID: https://orcid.org /0000-0002-4965-7797

Elena M. Trofimova
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3028-1248

Alexander I. Spassky
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5019-921X

V.L. Talrose Institute for Energy Problems of Chemical Physics at N.N. Semenov,
Federal Research Center for Chemical Physical of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. *In recent years, not only have important scientific experiments continued on the ISS, but new space stations have also been built. The outbreak of a fire at space stations poses a critical threat to the station equipment and to its personnel.*

Object. *Rationale for the use of freons for extinguishing fires at space stations.*

Methods. The location of space stations at altitudes above the ozone layer makes it possible to use freons containing bromine atoms to extinguish fires, which were widely used before the adoption of the Montreal Protocol in 1987. The combustion process is a chain, branched chemical oxidation reaction. Its active particles are radicals $H^{\bullet}$, $OH^{\bullet}$ or $O^{\bullet}$. Freons effectively terminated chain interacting with the active particles according to the reaction: $H^{\bullet} + RBr \rightarrow HBr + R^{\bullet}$. This does not allow the chain reaction of combustion to acquire an uncontrollable, explosive character. To break the chains of combustion reactions, a small amount of freons is required. Their good dielectric properties make them suitable for extinguishing live electrical equipment fires. Freons in a liquid and gaseous state form a stream well, and freon drops easily penetrate the flame. The most active agent for extinguishing fires is CH_3Br, but it was also banned for use. The Ozone Destructive Potential (ODP) for this freon is 12. The lifetime of CH_3Br in the atmosphere reaches 65 years. We investigated the photolysis of this freon at a wavelength of 257.3 nm. The data obtained were compared with calculations carried out using a boxed photochemical model developed at V.L. Talrose Institute for Energy Problems of Chemical Physics at N.N. Semenov Federal Reseach Center for Chemical Physycal of Russian Academy of Science. Small amount of $Br_2$is a stable reaction product, but even this amount poses a danger to human health. Therefore, it will be possible to use CF_3Br to extinguish fires at space stations when the method of extinguishing fires proposed in Japan is put into operation. It consists in the fact that the flame is "sucked" into the vacuum chamber together with the ignition source. There is the problem of eliminating the ignition in flight control centers, which house personnel and valuable equipment. Only freons with short lifetimes in the troposphere can be used. Such freons are those that contain hydrogen atoms in their composition, which react with the OH radical, forming water molecules, and radicals containing a bromine atom. CH_3Br, CHF_2Br, C_2HF_4Br u $C_2H_2F_2Br_2$. We studied the kinetics of photolysis of, CHF_2Br, C_2HF_4Br u $C_2H_2F_2Br_2$with oxygen under irradiation with a bactericidal lamp at a wavelength of 257,3 nm.

Findings. *1. On the basis of experimental data and theoretical calculations, we have proposed a mechanism for the photolysis of these freons. This allowed us to determine the ratio of the constants of regeneration process of the initial freon in the reaction of $RH^{\bullet}$ radical with a bromine molecule to the constants of the $RH^{\bullet}$ reaction with molecular oxygen, which converts this radical into an inactive form, which leads to chain termination.*

2. The largest ratio of these rate constants was found for bromomethane CH_3Br. There are various sources of this substance entering the atmosphere (decomposition of seaweed, combustion of biomass in the tropics, disinfection of agricultural soils), so the additional contribution from its use in extinguishing fires will be insignificant.

Conclusions. *The possibility of using CF3Br freon to eliminate fires at space stations as a very effective inhibitor of the chain combustion process, which can quickly suppress the combustion of various materials, has been shown.*

KEY WORDS

Use of freons for extinguishing fires on the ISS, photolysis mechanism.

FOR CITATIONS

Belyakova T.I., Messineva N.A., Trofimova E.M., Spassky A.I. Using Freons to Extinguish Fires at Space Stations and Control Centers. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 55–62. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_55 (in Russian).

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы не только продолжаются важные научные эксперименты на Международной космической станции (МКС), но и целый ряд стран, включая Россию, планируют построить или уже строят новые космические станции. Ведутся разработки надёжных систем обеспечения безопасности космических полётов и, прежде всего, способов предотвращения и тушения возможных возгораний в условиях космоса. Сегодня отечественная

космонавтика имеет приоритет в области исследования процесса горения твердых материалов в условиях космоса [1].

Нахождение космических станций на высотах, значительно превышающих те, на которых находится основная плотность озонового слоя, а также полёты космических кораблей далеко за эти пределы, позволяют вернуться к вопросу о применении для тушения пожаров на этих объектах углеводородов, содержащих в своём составе атомы галогенов.

Наиболее эффективными из этих веществ являются те, которые содержат атомы брома (хладоны). До принятия Монреальского протокола в 1987 году [5] они широко использовались для тушения пожаров [7].

Процессы горения являются одними из наиболее сложных процессов для научного изучения. Горение – это цепная химическая реакция окисления, которая ускоряется за счёт образования положительной обратной связи. В результате процессов переноса тепла (теплопроводность, диффузия, конвекция, излучение) она способна к быстрому распространению в пространстве. Активными частицами являются радикалы $H^{\bullet}$, $OH^{\bullet}$ или $O^{\bullet}$.

Хладоны эффективно обрывают цепи, взаимодействуя с активными частицами. Особенно важной является их реакция с атомом $H^{\bullet}$. Реакция последнего с молекулой кислорода приводит к разветвлению цепи. Хладоны выводят атомы водорода из цепного процесса:

$$H^{\bullet} + RBr \rightarrow HBr + R^{\bullet}.$$

Это не позволяет реакции горения приобрести неуправляемый, взрывной характер.

Огромным преимуществом хладонов является то, что для обрыва цепей реакций горения требуется малое количество этих веществ, что уменьшает вредное воздействие на организм человека и на материальные ценности как самих хладонов, так и продуктов их пиролиза в пламени. Кроме того, хорошие диэлектрические свойства делают их пригодными для тушения пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением. В результате высокой плотности хладоны в жидком и газообразном состоянии хорошо формируют струю, и капли хладона легко проникают в пламя. Низкая температура замерзания позволяет использовать их при минусовых температурах.

Многочисленными исследованиями установлено, что наиболее эффективными и удобными для тушения пожаров являются производные метана и этана, содержащие атомы фтора и брома. Их эффективность повышается при замещении в них атома водорода на атом галогена в такой последовательности:

$$F \leq Cl \geq Br < I.$$

Учитывая дефицитность и высокую стоимость хладонов, содержащих атомы йода, в основном применялись ингибиторы горения, содержащие атомы брома. При введении фтора в молекулу ингибитора повышается его стабильность, а также снижается его горючесть, токсичность и коррозионная активность.

Однако из-за опасности разрушения озонового слоя даже самый эффективный при тушении пожаров реагент – CF_3Br (хладон 1301) – был запрещён к использованию. Запрет был вызван тем, что время его жизни в атмосфере достигает 65 лет [4]. Такое большое время жизни обусловлено тем, что это вещество имеет малое сечение поглощения солнечного излучения, достигающего тропосферы, и не разрушается в химических реакциях с теми соединениями, которые в них присутствуют.

Интенсивное разрушение CF_3Br начинается на высотах, превышающих 10 км, т.е. там, где плотность озона максимальна. В результате образуются атомы брома, которые инициируют цепные процессы, приводящие к гибели молекул озона. Озоноразрушающий потенциал (ОРП) хладона составляет величину 12 [4], что превышает ОРП других галлонов.

В течение десятилетий велись поиски заменителей этого опасного для озонового слоя вещества, но так и не нашлось другого реагента, столь же эффективно и быстро подавляющего пламя. Поэтому исследования по эффективности CF_3Br при тушении пожаров продолжаются [6], и от применения хладона 1301 для быстрого подавления воспламенения на военных

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

кораблях и самолётах до сих пор не отказались [3], тем более, что он является наименее токсичным из всех алканов, содержащих атомы брома. Нахождение космических станций далеко за пределами озонного слоя позволяет изучить вопрос о применении CF_3Br для ликвидации воспламенения на этих объектах.

Исследование фотолиза CF_3Br как возможного средства для ликвидации возгорания на космических станциях

Нами было проведено исследование фотолиза этого хладона на длине волны 257,3 нм. Для изучения механизма фотолиза CF_3Br были проведены несколько серий опытов: при давлении CF_3Brот 23 до 650 Торр и при давлении кислорода от 10 до 600 Торр. На рис. 1 показана схема экспериментальной установки, на которой мы изучали фотолиз хладонов.

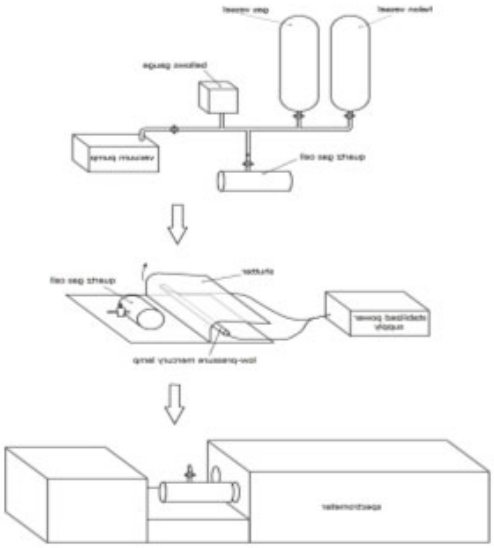


Рис. 1. Установка для исследования фотолиза хладонов

Fig. 1. Installation for the study of Freon photolysis

Для записи спектров и измерения адсорбции исследуемых веществ в диапазоне длин волн 200–900 нм использовался спектрофотометр М-40. Кинетические данные получали по изменению спектров поглощения на длине волны 416 нм, что соответствует максимуму поглощения молекулярного брома. Для определения интенсивности лампы (I) при данных условиях облучения были проведены опыты с двумя актинометрами – HBr и фосгеном. Усреднённое значение интенсивности лампы составило: $(1{,}86\pm0{,}2)10^{15}$ квантов/см^2·с.

График зависимости скорости накопления молекулярного брома от времени облучения при температуре 293K, давлении CF_3Br 96 Торр и давлении кислорода 600 Торр приведён на рис. 2.

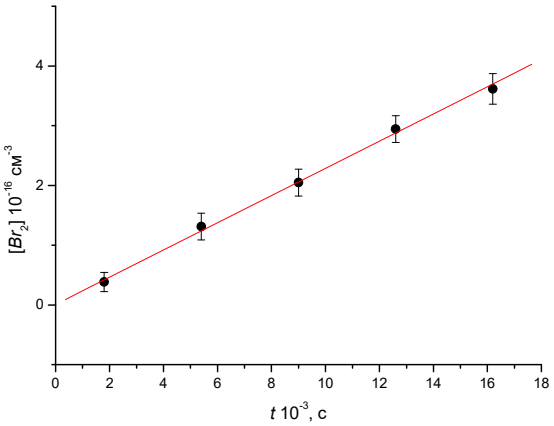


Рис. 2. График зависимости скорости накопления молекулярного брома от времени облучения при давлении CF3Br 96 Торр и давлении кислорода 600 Торр

Fig. 2. Graph of the dependence of molecular bromine accumulation rate on irradiation time at CF3Br 96 Torr pressure and oxygen pressure 600 Torr

На основании полученных экспериментальных данных мы предложили следующий механизм фотолиза:

$$CF_3\text{-}Br + h\nu \rightarrow CF_3\text{-}Br^{\bullet} \quad (I)$$

$$CF_3\text{-}Br^{\bullet} \rightarrow CF_3^{\bullet} + Br^{\bullet} \quad (II)$$

$$CF_3\text{-}Br^{\bullet} + M \rightarrow CF_3\text{-}Br + M \quad (III)$$

$$CF_3^{\bullet} + O_2 + M \rightarrow CF_3O_2{}^{\bullet} + M \quad (IV)$$

$$CF_3^{\bullet} + Br_2 \rightarrow CF_3\text{-}Br + Br^{\bullet} \quad (V)$$

$$Br^{\bullet} + Br^{\bullet} + M \rightarrow Br_2 + M \quad (VI)$$

Полученные нами экспериментальные данные были сопоставлены с расчётами, проведёнными при использовании боксовой фотохимической модели, разработанной в лаборатории Химической физики атмосферы ИНЭПХФ РАН имени В.Л. Тальрозе [2]. Численное решение системы жестких обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих эволюцию системы во времени, производилось

с помощью обратного дифференцирования. Для этой системы решалась задача Коши. Начальные концентрации газовых компонент и коэффициенты фотолиза чувствительных к свету компонент выбирались в соответствии с условиями проводимых экспериментов.

В расчётах использовалась приведённая выше схема фотолиза CF_3Br, со значениями констант реакций, приведёнными в [8]. На рис. 3 показаны рассчитанные (модельные) изменения со временем концентрации продуктов фотолиза.

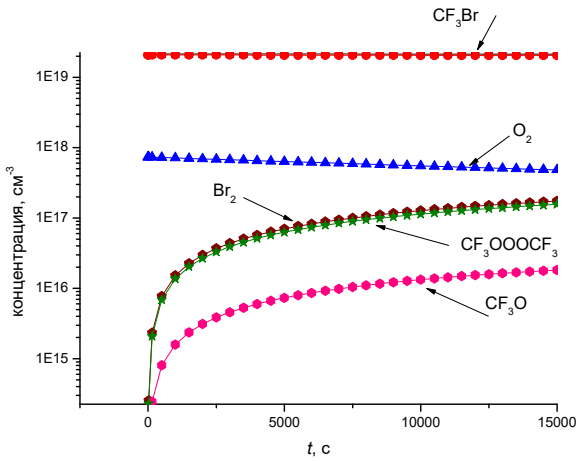


Рис. 3. Теоретический расчёт изменения со временем концентрации CF_3Br, Br_2, CF_3O, O_2, и CF_3OOOCF_3

Fig. 3. Theoretical calculation of the change over time in the concentrations of CF_3Br, Br_2, CF_3O, O_2, and CF_3OOOCF_3

Экспериментальные данные и теоретические расчёты показывают, что единственным стабильным продуктом реакции является молекулярный бром. Его образуется незначительное количество по сравнению с концентрацией исходного хладона, однако и в таких концентрациях он представляет собой серьёзную угрозу для здоровья человека.

Поэтому применять CF_3Br для ликвидации возгораний на космических станциях будет возможно, когда будет внедрён в эксплуатацию метод тушения пожаров, предложенный в работе [10].

Он заключается в том, что пламя «всасывается» в вакуумную камеру вместе с источником возгорания. Это предотвращает образование или препятствует распространению по всему закрытому пространству вредных продуктов сгорания, таких как пары, твёрдые частицы или токсичные газовые компоненты. Использование этого метода также уменьшает повреждение воздушных фильтров твердыми частицами, которые образуются при пожаре.

Хладоны, содержащие атомы водорода, и возможность их применения для тушения пожаров в центрах управления полетами

Кроме задачи эффективного и быстрого тушения пожаров в космосе существует проблема ликвидации воспламенения в центрах управления полётами, в которых находится большое количество персонала и ценного оборудования. В этих условиях можно применять только хладоны, имеющие малые времена жизни в тропосфере и не достигающие тех высот, на которых они подвергаются действию коротковолнового УФ излучения, в результате чего образуются атомы брома, губительные для озонового слоя. Такими хладонами являются те, которые содержат в своём составе атомы водорода. Малые времена их жизни объясняются тем, что эти вещества реагируют в тропосфере с радикалом OH, образуя молекулы воды и радикалы, содержащие атома. Эти радикалы обладают большой реакционной способностью, поэтому не достигают стратосферы и не участвуют в цепных процессах разрушения озона.

Мы изучили кинетику фотолиза CH_3Br, CHF_2Br, C_2HF_4Br и $C_2H_2F_2Br_2$ на длине волны 257,3 нм.

При фотолизе протекали следующие реакции:

$$RH\text{-}Br + h\nu \rightarrow RH\text{-}Br^{\bullet} \quad (I)$$

$$RH\text{-}Br^{\bullet} \rightarrow RH^{\bullet} + Br^{\bullet} \quad (II)$$

$$RH\text{-}Br^{\bullet} + M \rightarrow RH\text{-}Br + M \quad (III)$$

$$RH^{\bullet} + O_2 + M \rightarrow RHO_2 + M \quad (IV)$$

$$RH^{\bullet} + Br_2 \rightarrow RH\text{-}Br + Br^{\bullet} \quad (V)$$

$$Br^{\bullet} + Br^{\bullet} + M \rightarrow Br_2 + M \quad (VI)$$

Следующее дифференциальное уравнение описывает форму кривой накопления молекулярного брома во времени:

$$d[Br_2]/dt = 1/2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot I \cdot [RH\text{-}Br] \cdot \alpha \cdot k_4 \cdot [O_2]/(k_4 \cdot [O_2] + k_5 \cdot [Br_2]), \quad (1)$$

где $\alpha = k_2/(k_2 + k_3[M])$ – доля молекул, избежавших дезактивации и образовавших атомы брома.

Опыты, проведённые при изменении давления кислорода от 50 Торр до 520 Торр показали, что в условиях наших экспериментов коэффициент α равен единице, и скорость образования молекулярного брома связана с сечением фотодиссоциации $\sigma_Д$ следующим соотношением:

$$W_{Br2} = \cdot\sigma_Д \cdot I \cdot [RH\text{-}Br] k_4 \cdot [O_2] / (k_4 \cdot [O_2] + k_5 \cdot [Br_2]). \quad (2)$$

В условиях, когда $k_5[Br_2] < k_4[O_2]$, должна наблюдаться линейная зависимость скорости накопления молекулярного брома от концентрации RH-Br.

$$W^1_{Br2} = 1/2 \cdot \sigma_Д \cdot I \cdot [RH\text{-}Br]. \quad (3)$$

Опыты, проведённые при концентрациях кислорода, превышающих 150 Торр, и концентрациях образовавшегося брома, не достигающих значения 5 Торр, показали, что линейная зависимость хорошо соблюдается. Однако в экспериментах, проведённых при давлениях кислорода меньше 10 Торр и больших временах облучения (большие концентрациях образовавшегося молекулярного брома), линейная зависимость скорости накопления молекулярного брома от времени облучения нарушалась. Это происходило в соответствии с выражением (2), которое можно преобразовать к виду:

$$1/W_{Br2} = 1/W^1_{Br2} (1 + k_5[Br_2]/k_4[O_2]). \quad (4)$$

Из тангенсов углов наклона прямой на графиках зависимости $1/W_{Br2}$ от $[Br_2]/[O_2]$, полученных в этих условиях, можно определить отношение констант k_5/k_4.

На рис. 4 приведён такой график, полученный при фотолизе CH_3Br. Давление кислорода составляло величину 6 Торр, а давлении бромметана равнялось 105 Торрам. Было получено отношение констант k_5/k_4, равное ~25,7.

Значения k_5/k_4 для других, исследованных нами хладонов, приведены в таблице.

Отметим, что реакция (V) является процессом регенерации исходного хладона, а конкурирующая с этим процессом реакция (IV) превращает радикалы $RH^{\bullet}$ в неактивную форму. Поэтому для ингибирования процесса горения следует выбрать хладон с наибольшим значением k_5/k_4, так как в этом случае расход хладона будет ниже, и в результате образуется меньше токсичных продуктов пиролиза.

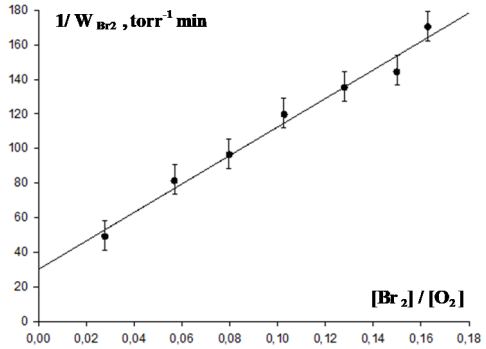


Рис. 4. График зависимости $1/W_{Br2}$ от $[Br_2]/[O_2]$ при давлении CH_3Br, равном 105 Торрам, и давлении кислорода, равном 6 Торрам
(W_{Br2} – скорость накопления молекулярного брома)

Fig. 4. Graph of the dependence of $1/WBr_2$ on $[Br_2]/[O_2]$ at a CH3Br pressure of 105 Torrhams and an oxygen pressure of 6 Torres
(W_{Br2} is the rate of molecular bromine accumulation)

Значения k5/k4 для разных хладонов

RHBr	CH_3Br	CHF_2Br	C_2HF_4Br	$C_2H_2F_2Br_2$
(k_V/k_{IV})	25±2,0	4,8±0,4	0,92±0,1	0,38±0,06

Этому критерию наилучшим образом соответствует бромметан.

Отметим, что существуют различные источники поступления этого вещества в атмосферу (процессы разложения морских водорослей, сжигание биомассы в тропиках, дезинфекция сельскохозяйственных почв), поэтому дополнительный вклад от его применения при тушении пожаров будет незначительным.

Применение его в смеси с углекислым газом для ликвидации возгораний обсуждено в работе [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе обсуждена возможность применения хладона CF_3Br для ликвидации возгораний на космических станциях в качестве очень эффективного ингибитора цепного процесса горения, который может быстро подавлять горение самых разных материалов, а также гасить электрооборудование, находящееся под напряжением. Хотя данный хладон представляет огромную опасность для озонового слоя, но озоновый слой расположен на высоте 10–15 км от Земли, в то время как космические станции расположены на высоте, превышающей 400 км.

Был также проведён фотолиз безопасных для озонового слоя хладонов CH_3Br, $CHF_2BrC_2HF_4Br$ и $C_2H_2F_2Br_2$, которые могли бы применяться для тушения пожаров на станциях наблюдения за космическими полётами.

Изучение механизма фотолиза позволило определить отношение констант процесса регенерации исходного хладона к константам реакции $RH^{\bullet}$ с молекулярным кислородом, которая переводит данный радикал в неактивную форму, что приводит к обрыву цепи ингибирования. Наибольшее отношение этих констант скоростей оказалось у бромметана. Это позволило бы применять при тушении пожаров небольшие концентрации этого вещества и избегать образования больших концентраций ядовитых продуктов пиролиза.

Отметим, что бромметан обладает наилучшими значениями озон разрушающего потенциала (ОРП) среди всех хладонов, которые рассматриваются для применения при тушении пожаров.

Литература

1. Алексеев В.А., Андреева Т.В., Ивянский М.А., Романов С.Ю., Семенов А.В. Средства противопожарной защиты на пилотируемых орбитальных станциях // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2003. № 4. С. 19–25.

2. Угаров А.А. Роль атмосферных химических процессов в проблеме антропогенного воздействия на атмосферу: канд. дис. … канд. физ.-мат. наук. М., 2003. 136 с.

3. Gann R., ed. Advanced Technology for Fire Suppression in Aircraft, Special Publication (NIST SP). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2007. Available at: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1069.

4. Halocarbons: Ozone Depletion and Global Warming Overview. National Aeronautics and Space Administration. Principal Center for Clean Air Act Regulations, 2002, p. 3.

5. Halocarbons: Ozone Depletion and Global Warming Overview. NASA, 2006. Available at: https://www.nasa.gov/pdf/355567main_Halocarbon%20Overview_October%20-2006.pdf.

6. Linteris G., Takahashi F., Katta V.R. Cup Burner Flame Extinguishment by CF_3Br and Br_2. *Combustion and Flame*, 2007, vol. 149, pp. 91–103.

7. Noto T., Babushok V., Hamins A., Tsang W. Inhibition effectiveness of halogenated compounds. *Combustion and Flame*, 1998, vol. 112(1–2), pp. 147-160. DOI: https://doi.org/10.1016/S0010-2180(97)81763-4.

8. Sander S.P., Abbatt J., Barker J., Burkholder J.B. et al. Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Atmospheric Studies, Evaluation No. 17, JPL Publication 10-6. NASA, 2011.

9. Tapscott R. E., Sheinson R. S., Babushok V., Nyden M. R., Gann R. G. Alternative Fire Suppressant Chemicals: A Research Review with Recommendations. NIST Technical Note 1443.

10. Yuji Nakamura, Taichi Usuki, Kaoru Wakatsuki. Novel Fire Extinguisher Method Using Vacuuming Force Applicable to Space Habitats. *Fire Technology*, 2020, vol. 56, no. 1, p. 361.

References

1. Alekseev V.A., Andreeva T.V., Ivyanskii M.A., Romanov S.Yu., Semenov A.V. Fire protection equipment on manned orbital stations. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Energetika*, 2003, no. 4, pp. 19–25 (in Russia).

2. Ugarov A.A. *Rol' atmosfernykh khimicheskikh protsessov v probleme antropogennogo vozdeistviya na atmosferu: kand. dis. … kand. fiz.-mat. nauk* [The role of atmos-pheric chemical processes in the problem of anthropogenic impact on the atmosphere. Cand. Diss.]. Moscow, 2003, 136 p. (in Russia).

3. Gann R., ed. Advanced Technology for Fire Suppression in Aircraft, Special Publication (NIST SP). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2007. Available at: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1069.

4. Halocarbons: Ozone Depletion and Global Warming Overview. National Aeronautics and Space Administration. Principal Center for Clean Air Act Regulations, 2002, p. 3.

5. Halocarbons: Ozone Depletion and Global Warming Overview. NASA, 2006. Available at: https://www.nasa.gov/pdf/355567main_Halocarbon%20Overview_October%20-2006.pdf.

6. Linteris G., Takahashi F., Katta V.R. Cup Burner Flame Extinguishment by CF_3Br and Br_2. *Combustion and Flame*, 2007, vol. 149, pp. 91–103.

7. Noto T., Babushok V., Hamins A., Tsang W. Inhibition effectiveness of halogenated compounds. *Combustion and Flame*, 1998, vol. 112(1–2), pp. 147-160. DOI: https://doi.org/10.1016/S0010-2180(97)81763-4.

8. Sander S.P., Abbatt J., Barker J., Burkholder J.B. et al. Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Atmospheric Studies, Evaluation No. 17, JPL Publication 10-6. NASA, 2011.

9. Tapscott R. E., Sheinson R. S., Babushok V., Nyden M. R., Gann R. G. Alternative Fire Suppressant Chemicals: A Research Review with Recommendations. NIST Technical Note 1443.

10. Yuji Nakamura, Taichi Usuki, Kaoru Wakatsuki. Novel Fire Extinguisher Method Using Vacuuming Force Applicable to Space Habitats. *Fire Technology*, 2020, vol. 56, no. 1, p. 361.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Информация об авторах / Information about authors

Белякова Татьяна Ивановна
младший научный сотрудник, Институт энергетических проблем химической физики имени В.Л. Тальрозе РАН (*119334, г. Москва, Ленинский просп., д. 38, корп. 2*)

Мессинева Наталия Анатольевна
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт энергетических проблем химической физики имени В.Л. Тальрозе РАН (*119334, г. Москва, Ленинский просп., д. 38, корп. 2*)
messineva@chph.ras.ru

Трофимова Елена Матвеевна
кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт энергетических проблем химической физики имени В.Л. Тальрозе РАН (*119334, г. Москва, Ленинский просп., д. 38, корп. 2*)
eltrofimova@yandex.ru

Спасский Александр Ильич
научный сотрудник, Институт энергетических проблем химической физики имени В.Л. Тальрозе РАН (*119334, г. Москва, Ленинский просп., д. 38, корп. 2*)
inep@chph.ras.ru

Tanyana I. Belyakova
Junior Researcher, V.L. Talrose Institute for Energy Problems of Chemical Physics at N.N. Semenov, Federal Research Center for Chemical Physical of Russian Academy of Science (*bld. 2, 38 Leninsky prospect, 119334 Moscow, Russia*)

Nataliya A. Messineva
Cand. of Sc. (Physics and Mathematics), Senior Researcher, V.L. Talrose Institute for Energy Problems of Chemical Physics at N.N. Semenov, Federal Research Center for Chemical Physical of Russian Academy of Science (*bld. 2, 38 Leninsky prospect, 119334 Moscow, Russia*)
messineva@chph.ras.ru

Elena M. Trofimova
Cand. of Sc. (Physics and Mathematics), Leading Researcher, V.L. Talrose Institute for Energy Problems of Chemical Physics at N.N. Semenov, Federal Research Center for Chemical Physical of Russian Academy of Science (*bld. 2, 38 Leninsky prospect, 119334 Moscow, Russia*)
eltrofimova@yandex.ru

Aleksandr I. Spasskiy
Researcher, V.L. Talrose Institute for Energy Problems of Chemical Physics at N.N. Semenov, Federal Research Center for Chemical Physical of Russian Academy of Science (*bld. 2, 38 Leninsky prospect, 119334 Moscow, Russia*)
inep@chph.ras.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 629.7.082; 614.841.48 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_63

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И АЭРОПОРТОВ

А.А. Афанасьев
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5868-8376

В.П. Демков
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2867-3544

Л.И. Рудакова
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6837-4311

А.В. Ципенко
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3639-4219

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Опасный тип пожара объектов наземной космической и авиационной энергоинфраструктуры – это пожар высоковольтных трансформаторов. Особенностью противопожарной защиты в этом случае, по сравнению с аналогичными объектами гражданской инфраструктуры, является максимально быстрое тушение пожара. Это предотвращает значительные убытки от потери связи, срыва запуска ракеты и т.п., закрытия аэродрома на длительный срок. Существующие в настоящее время автоматические системы пожаротушения трансформаторов, использующие стандартные распылители с дроблением тушащей жидкости на крупные, диаметром несколько миллиметров, капли, имеют повышенный расход воды. Пожаротушение с помощью мелкодисперсной воды имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с существующими системами. Для проектирования систем пожаротушения с мелкодисперсной водой необходимо проводить предварительное моделирование взаимодействия потока капель с нагретыми воздухом и элементами конструкции трансформатора. Проверка этого способа проводится путем численного моделирования.*

Методы. *В качестве сценария развития и тушения пожара выбран наиболее частый вариант аварийной ситуации. В этом случае горящее трансформаторное масло заполняет отверстие поврежденного высоковольтного ввода. Объектом моделирования выбран автотрансформатор АТДЦТН-250000/220/110 (объем масла составляет 73 м^3) с параметрами трансформаторного масла Nytro 11GBX. Моделирование тепловых потоков, поля скорости восходящего потока и атмосферного воздуха проводится в нестационарной постановке с использованием методов вычислительной гидродинамики. Используется программный комплекс FlowVision 3.*

Результаты. *Проведено моделирование формирования восходящего потока газа над очагом пожара до момента в 20 с от начала возгорания (время начала тушения автоматической противопожарной системой). Результаты расчетов соответствуют наблюдаемой картине реального очага пожара. В очаг пожара подаются капли с диаметром 300 мкм, расход жидкости 1 л/с.*

Выводы. *Численный эксперимент подтверждает высокую эффективность тушения мелкодисперсной водой.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Моделирование, противопожарная защита, высоковольтные источники энергии, наземная космическая инфраструктура и аэропорты.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Афанасьев А.А., Демков В.П., Рудакова Л.И., Ципенко А.В. Моделирование противопожарной защиты высоковольтных источников энергии наземной космической инфраструктуры и аэропортов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 63–68. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_63.

MODELING OF FIRE PROTECTION OF HIGH-VOLTAGE ENERGY SOURCES OF GROUND-BASED SPACE INFRASTRUCTURES AND AIRPORTS

Alexander A. Afanasief
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5868-8376

Vladimir P. Demkov
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2867-3544

Ljudmila I. Rudakova
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6837-4311

Anton V. Tsipenko
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3639-4219

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ABSTRACT

Object. *A dangerous type of fire for objects of ground and aviation energy infrastructure is a fire of high-voltage transformers. A feature of fire protection in this case, in comparison with similar civilian infrastructure facilities, is the fastest possible fire extinguishing. This prevents significant damages from loss of communication, launch vehicle failure, etc., closing the airport for a long time. The currently existing automatic fire extinguishing systems of transformers, using standard sprayers with crushing the extinguishing liquid into large droplets with a diameter of several millimeters, have an increased water rate. Fire extinguishing with finely dispersed water has a number of significant advantages over existing systems. For the design of fire extinguishing systems with finely dispersed water, it is necessary to carry out preliminary modeling of drops interaction with heated air and transformer structural elements. This is tested by numerical simulations.*

Methods. *As a scenario for the development and extinguishing of a fire, the most frequent variant of an emergency was chosen. In this case, burning transformer oil fills the hole of the damaged high-voltage bushing. The autotransformer ATDTsTN-250000/220/110 was chosen as the object of simulation (the oil volume is 73 m3). We use the parameters of Nytro 11GBX transformer oil. Modeling of heat flows, the velocity field of the upwardflow and atmospheric air is carried out in a non-stationary setting using the methods of CFD. The software package FlowVision 3 is used.*

Findings. *The simulation of the formation of an upward flow over the fire source up to the moment of 20 s from the beginning of the ignition (the time of the beginning of extinguishing by the automatic fire-extinguishing system) has been carried out.*

Conclusions. *The simulation results correspond to the observed picture of a real fire. Drops with a diameter of 300 microns are fed into the fire, the liquid flow rate is 1 l/s. A numerical simulation confirms the high efficiency of extinguishing with finely dispersed water.*

KEYWORDS

Modeling, fire protection, high-voltage energy sources, ground-based space infrastructures and airports.

FOR CITATIONS

Afanasief A.A., Demkov V.P., Rudakova L.I., Tsipenko A.V. Modeling of Fire Protection of High-Voltage Energy Sources of Ground-Based Space Infrastructures and Airports. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 63–68. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_63 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Опасный тип пожара объектов наземной космической и авиационной энергоинфраструктуры – это пожар высоковольтных трансформаторов. Особенностью противопожарной защиты в этом случае, по сравнению с аналогичными объектами гражданской инфраструктуры, является максимально быстрое тушение пожара. Это предотвращает значительные убытки от потери связи, срыва запуска ракеты и т.п., закрытия аэродрома на длительный срок.

Основные факторы тушения пожара:

- увеличение теплоотвода из зоны горения;
- снижение доли окислителя в зоне пламени.

Важным сопутствующим фактором является защита от теплового излучения. Это облегчает функционирование противопожарных установок и работу людей у очага пожара.

Существующие в настоящее время автоматические системы пожаротушения трансформаторов, использующие стандартные распылители с дроблением тушащей жидкости на крупные, диаметром несколько миллиметров, капли, имеют повышенный расход воды. Пожаротушение с помощью мелкодисперсной воды имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с существующими системами:

- на порядок большая скорость теплоотвода за счет быстрого испарения капель;
- высокая эффективность охлаждения конструкций;
- значительно уменьшаются ущерб от пожара и от последствий его тушения;
- полная экологическая безопасность средств пожаротушения;
- снижение эксплуатационных расходов по сравнению с порошковыми, аэрозольными, газовыми системами.

Для проектирования систем пожаротушения с мелкодисперсной водой необходимо уметь моделировать взаимодействие потока капель с нагретыми воздухом и элементами конструкции трансформатора.

В качестве критериев выбора сценариев для численного моделирования подходят:

- максимальное суммарное тепловыделение при горении трансформаторного масла;
- наиболее частый вариант аварийной ситуации.

Ограничимся наиболее частым вариантом аварийной ситуации. В этом случае (рис. 1):

- горящее трансформаторное масло заполняет отверстие поврежденного высоковольтного ввода (красная поверхность на рис. 1);
- трансформатор расположен на открытой площадке, обеспечен максимально свободный доступ воздуха в зону горения (нет

никаких конструкций за площадкой трансформатора, кроме противопожарных перегородок с двух сторон трансформатора);

– корпус трансформатора не поврежден.

Объектом моделирования работы системы пожаротушения выбран автотрансформатор АТДЦТН-250000/220/110 (Объем масла составляет 73 м^3).

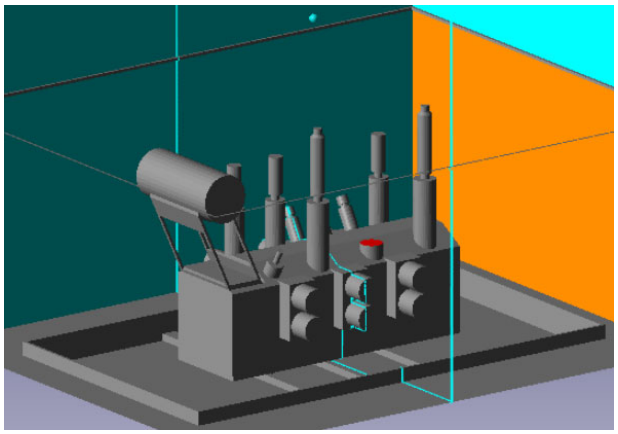


Рис. 1. Расчетная область:
красная поверхность – горящее масло
(зона задания вдува газа высокой температуры);
оранжевая область – противопожарная перегородка

Fig. 1. Settlement area:
red surface – burning oil (high temperature gas
injection zone); orange area – fireproof partition

Модель развития теплофизических процессов в зоне пожара

Горение масла происходит в относительно тонкой зоне, отделяющей горючею жидкость от воздуха, а скорость горения ограничивается интенсивностью диффузии пара жидкости и воздуха в эту зону [3].

Процесс горения моделируется вдуванием горячего газа. Пренебрегаем детальным описанием химических реакций, но сохраняем температуру пламени, интенсивность тепло- и газовыделения от очага пожара.

В качестве критерия тушения возгорания выбрано условие снижения температуры у поверхности горения до температуры воспламенения трансформаторного масла (135°С). Используем параметры трансформаторного масла Nytro 11GBX.

Так как горение сопровождается значительным притоком воздуха в зону пламени (стехиометрическое соотношение для трансформаторного масла около 14 [5]), а скорость выгорания известна из экспериментов (0,039 кг/(м^{2}с) или, с учетом плотности масла 895 кг/м^3, 0,05 мм/с), то очаг пожара моделируется в виде источника горячего воздуха с известным расходом и температурой пламени (в зоне горения около 1300 С). Соответствующий отток воздуха моделируется в виде кольцевого стока на верхней кромке границы зоны горения. Полагаем, что температура стенки трансформатора за время развития пожара не меняется и составляет 50 С.

Моделирование тепловых потоков, поля скорости восходящего потока и атмосферного воздуха проводится в нестационарной постановке с использованием методов вычислительной гидродинамики. Используется программный комплекс Flow Vision 3 [4].

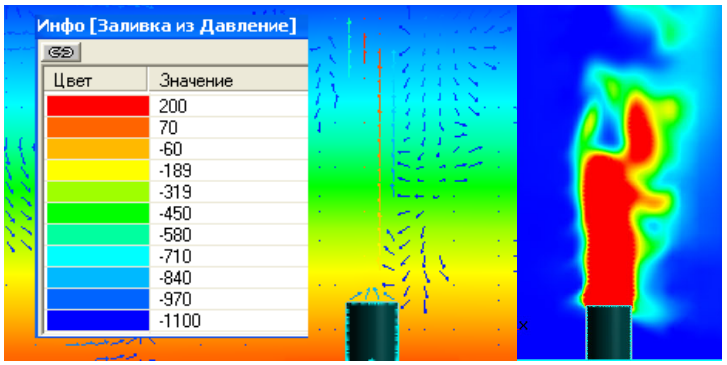
Моделирование пожара

Для пробных расчетов была выбрана емкость для хранения нефтепродуктов диаметром 12 м. В отсутствие движения воздуха восходящий поток должен представлять низкоскоростную осесимметричную струю. Такой результат был получен (рис. 3, *а*). Скорость восходящего потока максимальна не вблизи очага пожара, а при некотором повышении высоты и не превосходит 25 м/с, что согласуется с результатами работы [1].

При сносящем потоке малой интенсивности (скорость 0,5 м/с) восходящий поток деформируется (рис. 3, *б*), в нем возникают периодические колебания, что соответствует наблюдаемой картине восходящего потока от очага пламени.

Сначала проведено моделирование формирования восходящего потока газа над очагом пожара до момента в 20 с от начала возгорания (время начала тушения автоматической противопожарной системой). Граничные условия на противопожарных стенках и площадке (земля) и стенках поддона под трансформатором – адиабатические (полагаем, что бетон практически не прогревается).

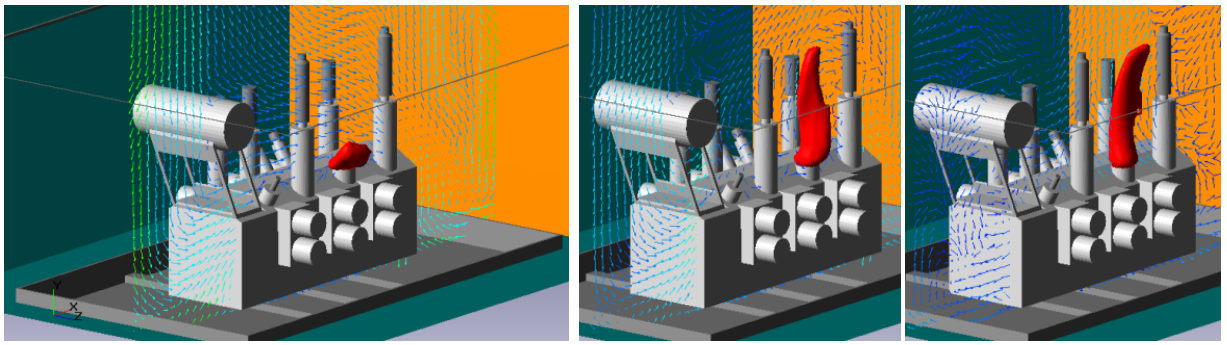
Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2



а *б*

Рис. 3: *а* – давление и скорость воздуха у очага пожара (темный прямоугольник на поверхности земли). Заливка цветом показывает изменение по высоте избыточного давления воздуха в Па. Стрелки показывают направление скорости; *б* – восходящий поток от очага пожара. Заливка цветом показывает изменение поля температуры воздуха

Fig. 3: *а* is the pressure and velocity of the air at the source of the fire (a dark rectangle on the surface of the earth). Fill with color shows the change in height of excess air pressure in Pa. Arrows show the direction of speed; *б* – upward flow from the source of the fire. Fill with color shows the change in the air temperature field



а *б* *в*

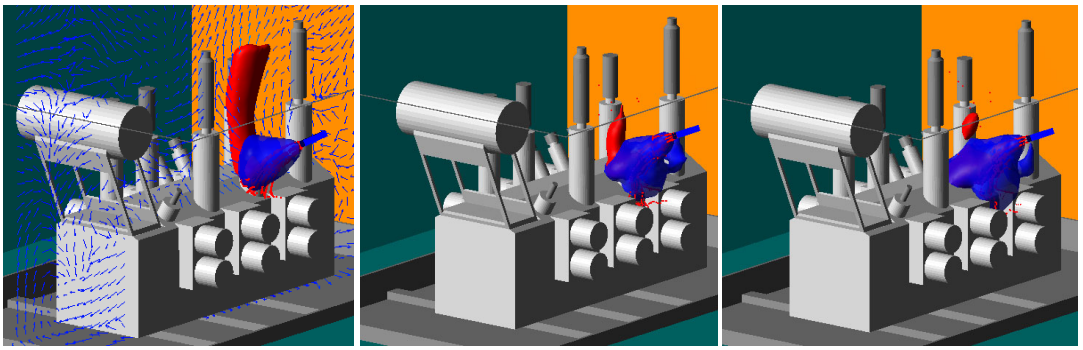
Рис. 4. Результаты расчета температуры газа через: 1 с (*а*); 5 с (*б*) и 20 с (*в*) от начала пожара. Красная поверхность ограничивает область, где температура выше 135 градусов по Цельсию. Стрелки показывают направление скорости воздуха

Fig. 4. Gas temperature calculation results through: 1 s (*а*); 5 s (*б*) and 20 s (*в*) from the start of the fire. The red surface limits the area where the temperature is above 135 degrees Celsius. Arrows show the direction of air velocit

На рис. 4 показаны последовательные стадии развития пожара (формирование восходящего потока-термика) до 20 с от начала возгорания. Видно, что результаты расчетов соответствуют наблюдаемой картине реального очага пожара (рис. 5). Расположение тушащей форсунки и последовательные стадии тушения показаны на рис. 6. В очаг пожара подаются капли с диаметром 300 мкм, расход жидкости 1 л/с. Траектории водяных капель показаны красными точками. Рис. 6 подтверждает высокую эффективность тушения мелкодисперсной водой.

Рис. 5. Фотография модельного очага возгорания диаметром 3 м

Fig. 5. Photo of the model fire with a diameter of 3 m



а *б* *в*

Рис. 6. Последовательные стадии тушения:
1 с от начала тушения (*а*); 2 с от начала тушения (*б*); 2,5 с от начала тушения (*в*)

Fig. 6. Sequential extinguishing stages:
1 s from the beginning of extinguishing (*а*); 2 s from the beginning of extinguishing (*б*);
2,5 s from the beginning of extinguishing (*в*)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- математическая модель качественно верно описывает процессы развития и тушения пожара трансформатора;
- представленная физическая модель с естественными начальными и граничными условиями, заложенная в расчеты, качественно соответствует реальным параметрам развития и тушения пожара трансформатора;
- расположение распылителей в случае высокоскоростных мелкодисперсных потоков в большой степени влияет на эффективность тушения;
- крупные капли огнегасящей жидкости недостаточно эффективны при тушении пожара трансформатора. Оптимальны капли размером менее 0,5 мм.

Расположение форсунок выбиралось на основании результатов расчетов, показавших необходимость использования конвективных потоков в зоне очага пожара для облегчения доставки капель в зону горения (на высоте около 1 м от поверхности масла).

Литература

1. Валендик В.А. Ветер и лесной пожар. М.: Наука, 1968. 119 с.

2. Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. М.: Химия, 1990. 384 с.

3. Основы горения углеводородных топлив / под ред. Л.Н. Хитрина и В.А. Попова. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 664 с.

4. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision [Электронный ресурс]. URL: http://www.tesis.com.ru/software/flowvision.

5. Справочник химика-энергетика. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958–1960. Т. 1–2.

References

1. Valendik V.A. *Veter i lesnoi pozhar* [Wind and wildfire]. Moscow, Nauka Publ., 1968, 119 p. (in Russian).

2. Ivanov E.N. *Raschet i proektirovanie sistem protivopozharnoi zashchity* [Calculation and design of fire pro-tection systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1990, 384 p. (in Russian).

3. Khitrin L.N., Popov V.A., eds. *Osnovy goreniya uglevodorodnykh topliv* [Basics of combustion of hydrocarbon fuels]. Moscow, 1960, 664 p. (in Russian).

4. FlowVision Fluid and Gas Simulation System. Available at: http://www.tesis.com.ru/software/flowvision.

5. *Spravochnik khimika-energetika* [Handbook of the Chemist-Power Engineer]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1958–1960, vol. 1–2.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Информация об авторах / Information about the authors

Афанасьев Александр Александрович
заместитель директора, Научно-исследовательский центр новых технологий, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
tempero@inbox.ru

Демков Владимир Павлович
кандидат технических наук, доцент кафедры 801 «Физика», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
v.p.demkov@mail.ru

Рудакова Людмила Ивановна
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры 801 «Физика», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4)
andrejev-goetting@yandex.ru

Ципенко Антон Владимирович
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой 801 «Физика», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4)
tsipenko_av@mail.ru

Alexandr A. Afanasief
Deputy Director, Research Center for New Technologies, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
tempero@inbox.ru

Vladimir P. Demkov
Cand. of Sc. (Techn.), Assistant Professor, Physics Department, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
v.p.demkov@mail.ru

Ljudmila I. Rudakova
Cand. of Sc. (Physics and Mathematics), Assistant Professor, Physics Department, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
andrejev-goetting@yandex.ru

Anton V. Tsipenko
Dr. Sc. (Techn.), Head of Physics Department, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
tsipenko_av@mail.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Контроль и моделирование параметров летательных аппаратов / Control and Simulation of Aircraft Parameters

УДК 536.241 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_69

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

О.М. Алифанов
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2258-7511

М.А. Кукушкин
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6874-3474

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Обеспечение надежной защиты летательных аппаратов (ЛА) от теплового воздействия во время полёта в атмосфере с большими сверхзвуковыми скоростями является важной задачей при проектировании аэрокосмической техники.*

Методы. *Важное место в тепловом проектировании ЛА занимают экспериментальные исследования, для обработки результатов которых используются достаточно точные математические модели. Соответственно, необходимо подготавливать корректные входные данные, в том числе по параметрам тепло-массообменных процессов на поверхности ЛА. В частности, к таким параметрам относятся коэффициент теплоотдачи, интегральный коэффициент излучения, температура и тепловой поток на внешней поверхности аппарата. Недостаточная точность определения таких параметров приводит к необходимости увеличения проектного запаса теплозащитного покрытия, что, в свою очередь, ведёт к ухудшению массовых характеристик аэрокосмического аппарата. В данной статье предлагается использовать уравнение теплового баланса на поверхности тепло-нагружаемых материалов для одновременного определения параметров теплового взаимодействия потока с поверхностью ЛА. Значения параметров, входящих в уравнение теплового баланса, определяются одновременно в результате решения обратной задачи теплопроводности. При этом в качестве исходной информацию о тепловом состоянии исследуемых образцов используются данные внутренних термопарных измерений.*

Результаты. *В данном исследовании был проведен сравнительный анализ результатов при решении обратной задачи прямыми численными методами с использованием принципа естественной шаговой регуляризации, а также методом итерационной регуляризации градиентных алгоритмов оптимизации.*

Выводы. *В результате цифровой реализации данной задачи была проанализирована возможность достаточно точного определения параметров теплового баланса на поверхности аэрокосмического аппарата, движущегося в атмосфере Земли с гиперзвуковой скоростью.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Параметры теплового баланса, поверхности аэрокосмического аппарата

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Алифанов О.М., Кукушкин М.А. Контроль параметров теплообмена на поверхности летательного аппарата // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 69–73. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_69.

CONTROL OF HEAT EXCHANGE PARAMETERS ON AIRCRAFT SURFACE

Oleg M. Alifanov
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2258-7511

Maxim A. Kukushkin
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6874-3474

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *Ensuring reliable protection of flight vehicles (FV) from thermal effects during flight in the atmosphere at hypersonic speeds is an important problem in the design of rocket and space technology.*

Methods. *An important place in thermal design is occupied by experimental studies, for processing the results of which are used sufficiently accurate mathematical models and, accordingly, it is necessary to prepare correct input data, including the parameters of heat and mass transfer processes on*

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

the surface of the FV. In particular, these parameters include the heat transfer coefficient, the integral radiation coefficient, temperature and thermal flux on the surface of the flight vehicle. Insufficient accuracy in determining such parameters leads to the need to increase the design margin of the thermal protection, which in turn leads to a deterioration in the mass characteristics of the aerospace vehicle. In this paper, it is proposed to use the heat balance equation on the surface of heat-loaded materials to simultaneously determine the parameters of the thermal interaction of the flow with the FV surface. The values of the parameters included in the thermal balance equation are determined simultaneously as a result of solving the inverse heat conduction problem (IHCP), in which the initial information on the thermal state of the studied samples is the data of internal thermocouple measurements.

Findings. *In this study, a comparative analysis of the results was carried out in solving the IHCP by directly numerical methods using the principle of natural step regulation, as well as by the method of iterative regularization of gradient optimization algorithms.*

Conclusions. *As a result of the digital implementation of this problem, the possibility of a sufficiently accurate determination of the parameters of the heat balance on the surface of the aerospace vehicle, moving in the Earth's atmosphere with hypersonic velocity, was analyzed.*

KEYWORDS

Heat balance parameters, aerospace surfaces

FOR CITATION

Alifanov O.M., Kukushkin M.A. Control of Heat Exchange Parameters on Aircraft Surface. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 69–73. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_69 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе исследуется способ одновременного определения параметров теплового взаимодействия потока с поверхностью летательного аппарата (ЛА), движущегося в атмосфере с большой сверхзвуковой скоростью. К таким параметрам относятся коэффициент теплоотдачи, интегральный коэффициент излучения, температура и тепловой поток на поверхности аппарата.

Числовые значения этих параметров, входящих в уравнение теплового баланса, определяются в результате решения обратной задачи теплопроводности. При этом в качестве исходной информацию о тепловом состоянии исследуемых образцов используются данные температурных измерений во внутренних точках соответствующих чувствительных элементов (ЧЭ), заделанных в теплозащитном покрытии ЛА.

В зависимости от размерности этой задачи используется разное количество чувствительных элементов. Система уравнений теплового баланса на поверхности ЛА может выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} \alpha(T^* - T_{w1}) = \varepsilon\sigma T_{w1}^4 + q_1, \\ \alpha(T^* - T_{w2}) = \varepsilon\sigma T_{w2}^4 + q_2, \\ \alpha(T^* - T_{w3}) = \varepsilon\sigma T_{w3}^4 + q_3, \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_w = q_{\lambda 1} + \varepsilon\sigma T_{w1}^4, \\ q_w = q_{\lambda 2} + \varepsilon\sigma T_{w2}^4, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha(T^* - T_{w1}) = \varepsilon\sigma T_{w1}^4 + q_1, \\ \alpha(T^* - T_{w2}) = \varepsilon\sigma T_{w2}^4 + q_2. \end{cases}$$

Тогда общий алгоритм определения искомых параметров может быть построен на основе решения следующих задач:

1. С помощью, например, термопарных измерений определяется температура в конкретных точках этих ЧЭ.

2. Решается обратная задача теплообмена для восстановления граничных условия на внешнем теплообменном торце ЧЭ.

3. Решается система уравнений теплового баланса на поверхности ЛА.

В рамках цифровой реализации данного метода термопарные измерения моделировались с помощью решения прямой одномерной задачи теплопроводности при заданных граничных условиях второго рода (рис. 1).

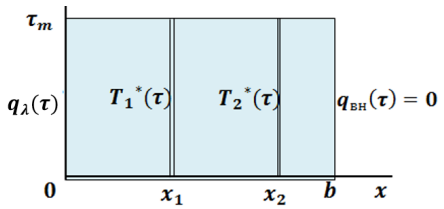


Рис. 1. Модель решения прямой задачи теплообмена

Fig. 1. Model for solving the direct problem of heat transfer

Решение такой задачи сводится к определению поля температурпо длине ЧЭ с помощью уравнения теплопроводности

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right).$$

Для получения результатов требуемой точности используется разложение функции температуры в ряд Тейлора

$$T_2^{n+1} = T_1^{n+1} + h \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\Big\{_{x=0}^{n+1} + \frac{h^2}{2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\Big\{_{x=0}^{n+1}$$

После определения температуры в конкретной точке чувствительного элемента происходит восстановление граничных условий из решения обратной задачи теплопроводности (ОЗТ).

Решение этой задачи в рамках данного исследование производилось двумя способами.

1. На основе прямых численных методов продолжения температурного поля с использованием естественной шаговой регуляризации (саморегуляризации).

2. На основе градиентных численных методов с использованием в качестве параметра регуляризация номера итераций (итерационная регуляризация).

Для численного решения ОЗТ с применением шаговой регуляризации использовалась Т-образная схема (рис. 2).

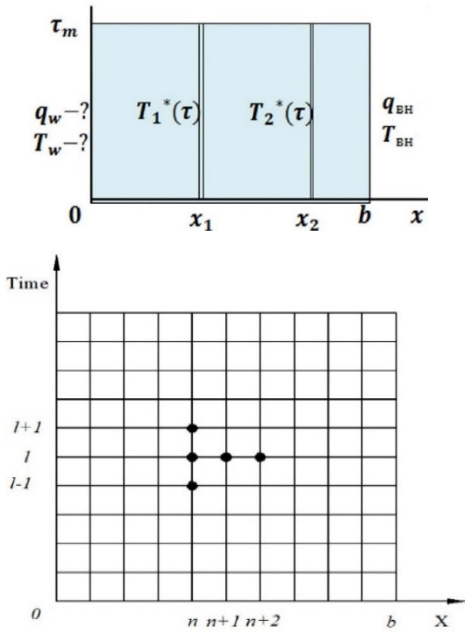


Рис. 2. Аппроксимация уравнения теплопроводности в рамках обратной задачи теплообмена

Fig. 2. Approximation of the thermal conductivity equation within the inverse heat transfer problem

Из данной аппроксимации уравнения теплопроводности получаем систему нелинейных алгебраических уравнений с трёхдиагональной матрицей.

$$\begin{cases} T_n^0 = T_{\text{начальное}} \\ A_n^l T_n^{l+1} + B_n^l T_n^l + C_n^l T_n^{l-1} = F_n^l \\ A_n^L T_n^L + B_n^L T_n^{L-1} = F_n^L \end{cases}$$

При решении данной системы методом прогонки находятся условия на левой, теплообменной границе чувствительного элемента. Далее по восстановленным граничным условиям для комбинации ЧЭ решается уравнение теплового баланса на поверхности тела относительно параметров теплообмена.

Некоторые примеры таких результатов представлены на рис. 3.

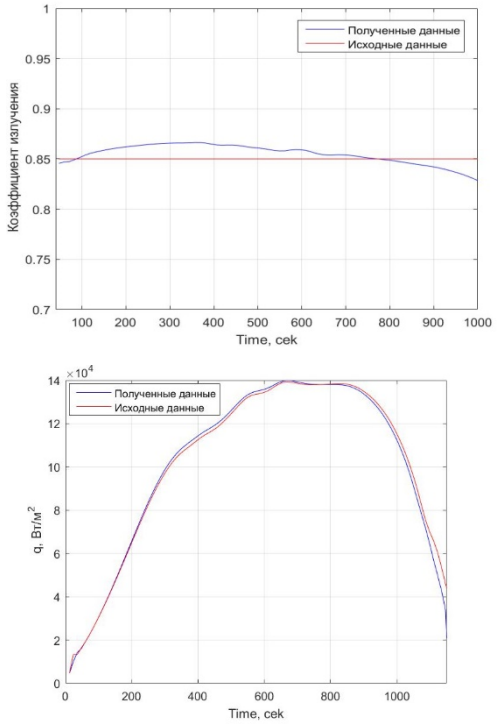


Рис. 3. Параметры, восстановленные с использованием принципа шаговой саморегуляризации

Fig. 3. Parameters restored using the principle of step self-regulation

В качестве критерия устойчивость здесь выступает число Фурье ΔFo.

Таблица 1 / Table 1

Погрешность вычисления по рекуррентной схеме

Recurrence calculation error

Погрешность	Тепловой поток	Коэффициент излучения
Абсолютная	1543,083 $^{Вт}/_{м^2}$	0,021
Относительная	1,5%	2,9 %

Более точные результаты получаются при использовании градиентных численных методов для решения обратной задачи теплопроводности.

В этом случае алгоритм строится по следующей схеме:

1. Задаётся начальное приближение искомого теплового потока.

2. Численно решается прямая задача теплопроводности для нахождения температуры в точке ЧЭ, где расположена термопара.

Решается оптимизационная задача нахождения теплового потока.

Постановка задачи:

$$\rho C\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, x \in (0,b), t \in (0,t_{max}],$$

$$T(x,0) = \varphi(x), x \in [0,b],$$

$$\frac{\partial T(b,t)}{\partial x} = -\frac{g(t)}{\lambda}, t \in [0,t_{max}],$$

$$T(x1,t) = T^*(t), t \in [0,t_{max}].$$

Действующий тепловой поток представляем в виде конечно мерного вектора

$$q = [q_0, q_1, \dots, q_m].$$

Критерий оптимальности решения

$$J(q) = \int_0^{t_{max}} [T(q,x1,t) - T^*(t)]^2\, dt,$$

где $T(q,d,t)$ – температура из решения прямой задачи; $T^*(t)$ – температура в точке термопарного измерения.

Метод наискорейшего градиентного спуска

Оптимизация осуществляется в соответствии со следующим соотношением:

$$q^{k+1} = q^k - t_k \cdot J'(q^k)$$

где $J'(q^k) = \left[\frac{\partial J}{\partial q^k{}_1}, \frac{\partial J}{\partial q^k{}_2}, \dots, \frac{\partial J}{\partial q^k{}_m}\right]$.

Величина шага t_k определяется с учетом того, что

$$f(t_k) = J(q^k - t_k \cdot J'(q^k)) \to min_{t_k}.$$

Итерационную последовательность ограничим условием

$$J(q) = \delta_T^2,$$

где δ_T^2 – ошибка температурной информации.

В результате получаем искомые параметры (рис. 4).

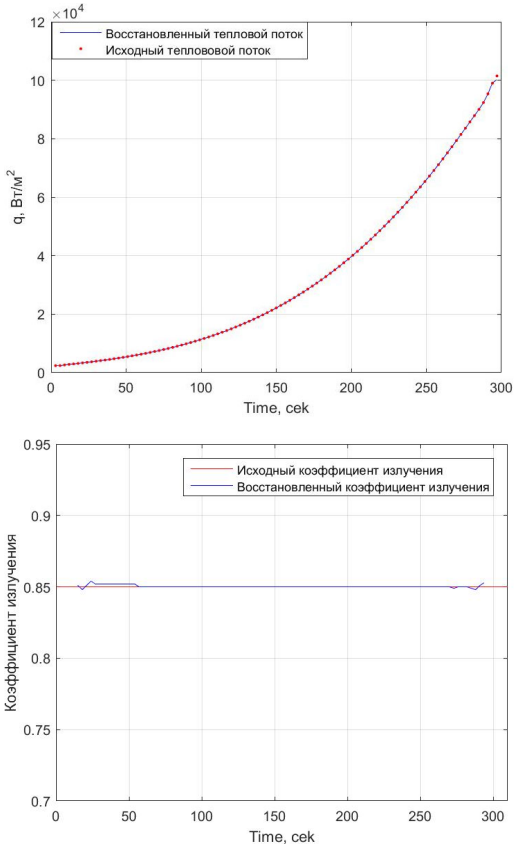


Рис. 4. Параметры, восстановленные с применением регуляризацию по номеру итерации

Fig. 4. Parameters restored using regularization by iteration number

Без учёта неточностей на начальном и конечном временных этапах ошибки вычисления представлены в табл. 2.

В качестве материалов ЧЭ использовались ТЗМК-10 и конструкционная кварцевая керамика (ККК) (табл. 3).

Таблица 2 / Table 2

Погрешность вычисления по рекуррентной схеме

Recurrence calculation error

Погрешность	Тепловой поток	Коэффициент излучения
Абсолютная	267 $^{\text{Вт}}/_{\text{м}^2}$	0,00404
Относительная	0,004%	0.021%

Таблица 3 / Table 3

Материалы, используемые для вычислительных экспериментов

Materials used for computational experiments

Материал	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$	$c_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
ТЗМК-10	0,05	1,2	144
ККК	1,6	1,17	1990

В рамках данной работы был исследован метод сравнительных испытаний для определения параметров теплообмена на поверхности гиперзвукового ЛА. В результате вычислительных экспериментов показано, что при определенных ограничениях на теплофизические характеристики чувствительных материалов данный метод позволяет получать приемлемые по точности результаты.

Литература

1. Алдошкин Г.Т., Голосов А.С., Жук В.И. Решение обратной задачи нестационарной теплопроводности для пластины / Тепло- и массоперенос. Минск: Наука и техника, 1968. Т. 8. 603 с.

2. Алифанов О.М. Обратный задачи теплообмена. М.: Машиностроение, 1988. 280 с.

3. Крайнов А.Ю., Моисеева К.М. Численные методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений: учеб. пособие. Томск: STT, 2016. 44 с.

4. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 172 с.

References

1. Aldoshkin G.T., Golosov A.S., Zhuk V.I. *Reshenie obratnoi zadachi nestatsionarnoi teploprovodnosti dlya plastiny* [Solution of the inverse problem of non-stationary thermal conductivity for the plate]. In*: Teplo- i massoperenos* [Heat and mass transfer]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1968, vol. 8, 603 p. (in Russian).

2. Alifanov O.M. *Obratnyi zadachi teploobmena* [Inverse heat transfer problems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 280 p. (in Russian).

3. Krainov A.Yu., Moiseeva K.M. *Chislennye metody resheniya kraevykh zadach dlya obyknovennykh differentsial'nykh uravnenii: uchebnoe posobi*e [Numerical methods for solving boundary value problems for ordinary differential equations: A Textbook]. Tomsk, STT Publ., 2016, 44 p. (in Russian).

4. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. *Raznostnye metody resheniya zadach teploprovodnosti: uchebnoe posobie* [Difference Methods for Solving Thermal Conductivity Problems: A Textbook]. Tomsk, 2007, 172 p. (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Алифанов Олег Михайлович
академик РАН, главный научный сотрудник,
заведующий кафедрой космических систем и ракетостроения, Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4)
o.alifanov@yandex.ru

Кукушкин Максим Александрович
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4)
cnegbyj99@mail.ru

Oleg M. Alifanov
Academician of the Russian Academy of Sciences,
Chief Scientist, Head of the Department
of Space Systems and Rocket Engineering,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
o.alifanov@yandex.ru

Maxim A. Kukushkin
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
cnegbyj99@mail.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 629.7 DOI

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА ЭКСТРЕМАЛЕЙ ПРИ ПОЛЕТЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА БЫСТРОДЕЙСТВИЕ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯ НА РАСХОД МАССЫ ТОПЛИВА

А.Э. Сагалаков[1,2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7641-9025

А.С. Филатьев[1,3]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4593-7692

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
[2] Центральный аэрогидродинамический институт имени Н.Е. Жуковского (ЦАГИ), г. Жуковский, Россия
[3] Филиал «Стрела» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *В представленной статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и анализом метода аналитического синтеза экстремалей в задаче полета летательного аппарата на быстродействие с учетом ограничения на расход массы топлива.*

Цель. *Рассмотрение задачи минимизации времени полета летательного аппарата (ЛА) при фиксированной дальности полета в вертикальной плоскости.*

Методы и результаты. *Задача решалась с помощью принципа максимума Понтрягина. Разработан метод аналитического синтеза оптимального управления на основе предложенной псевдоконсервативной модели движения, в которой сила лобового сопротивления компенсируется тягой. В рамках данной модели получены аналитические решения для полного семейства локальных экстремалей. Проведен качественный анализ полученных экстремалей. Показано, что число экстремалей зависит от обобщенного параметра – отношения времени полета к начальной скорости. Доказано, что в общем случае при одинаковых условиях на фазовые переменные на концах траектории среди локальных экстремалей отсутствует траектория горизонтального полета. Изменение фазовых переменных на полученных экстремалях выражается через периодические функции. Доказано, что нормальная скоростная перегрузка на всех экстремалях по модулю не превышает 2 единиц в независимости от типа ЛА. В рамках псевдоконсервативной модели движения рассмотрены ограничения на фазовые переменные. Получены аналитические решения при учете ограничений на скорость и высоту полета. При ограничении на расход массы топлива оптимальные по быстродействию решения исследовались численно. Краевая задача решалась с помощью метода непрерывного продолжения решения по параметру. В качестве начального приближения бралось аналитическое решение, полученное без учета ограничений. Таким образом, данный подход позволяет получить решение для классов взаимных оптимизационных задач в пространстве переменных: дальность, время полета и масса топлива. Проведено моделирование движения маневренного самолета на достаточно полной модели с системой управления углом атаки и тягой, обеспечивающей стабилизацию траектории в окрестности опорных траекторий, полученных в рамках предложенной псевдоконсервативной модели. Показана высокая точность полученных приближенных аналитических решений с результатами такого численного моделирования, а также существенное преимущество приближенных оптимальных колебательных траекторий над горизонтальным полетом. Разработан алгоритм решения задачи на быстродействие на достаточно полной модели движения с помощью метода непрерывного продолжения решения по параметру. В качестве начального приближения использовалось аналитическое решение, полученное в рамках псевдоконсервативной модели движения.*

Выводы. *Исследована задача минимизации времени полета ЛА при фиксированных дальности и расходе массы топлива на основе предложенной псевдоконсервативной модели движения.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Аналитический синтез, оптимальное управление, псевдоконсервативные модели.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Сагалаков А.Э., Филатьев А.С. Моделирование синтеза экстремалей при полете летательного аппарата на быстродействие с учетом ограничения на расход массы топлива // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 74–78. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_74.

MODELING THE SYNTHESIS OF EXTREMALS DURING THE FLIGHT OF AN AIRCRAFT FOR SPEED, TAKING INTO ACCOUNT THE RESTRICTIONS ON THE FUEL MASS CONSUMPTION

Alexander E. Sagalakov[1,2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7641-9025

Alexander S. Filatyev[1,3]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4593-7692

[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2] Zhukovsky Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky (TsAGI), Russia,
[3] Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ABSTRACT

Introduction. *The presented article discusses issues related to the development and analysis of the method of analytical synthesis of extremals in the problem of flight of an aircraft for speed, taking into account the constraints on fuel mass consumption*

Object. *The minimum aircraft flight time problem with fixed range in the vertical plane is considered.*

Methods and Findings. *The problem is solved with the Pontryagin maximum principle. The method of analytical synthesis of optimal control is developed on the base of proposed pseudo-conservative model of motion in which the drag is compensated by thrust. In this model analytical solutions are obtained for the whole set of local extremals. The qualitative analysis of the extremals is carried out. It is shown that the number of extremals depends on the generalized parameter – the ratio of the flight time to the initial velocity. It's proved that in general case, under the same conditions on the phase variables at the ends of the trajectory, there is no level flight among the local extremals. All extremals are periodic functions. It is proved that the load factor on all extremals does not exceed 2 units in absolute value, regardless of the type of aircraft.*

Constraints on phase variables are considered within the framework of a pseudo-conservative model of motion. Analytical solutions are obtained taking into account the limitations on the velocity and altitude. With a restriction on the fuel mass consumption, the optimal solutions is investigated numerically. The boundary value problem is solved using the continuation method. An analytical solution obtained without taking into account the constraints is taken as an initial approximation. Thus, this approach makes it possible to obtain a solution for the classes of mutual optimization problems in the space of variables: range, flight time, and fuel mass consumption.

The simulation of the motion of a maneuverable aircraft on a fairly complete model with a following control system that stabilizes the trajectory in the vicinity of the reference trajectory is performed. The reference trajectory is strictly optimal within the framework of the proposed pseudo-conservative model. The high accuracy of the obtained approximate analytical solutions, which have a significant advantage over level flight, with the result of such numerical simulation is shown.

The algorithm for solving minimum time problem on a sufficiently complete model of motion using the continuation method is developed. The analytical solution obtained within the framework of pseudo-conservative model of motion is used as an initial approximation.

Conclusions. *The problem of minimizing the flight time of an aircraft with a fixed range and fuel mass consumption is investigated on the basis of the proposed pseudo-conservative motion model.*

KEY WORDS

Analytical synthesis, optimal control, pseudo-conservative models, aircraft.

FOR CITATIONS

Sagalakov A.E., Filatyev A.S. Modeling the Synthesis of Extremals During the Flight of an Aircraft for Speed, Taking Into Account the Restrictions on the Fuel Mass Consumption. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 74–78. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_74 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрена задача минимизации времени полета летательного аппарата в вертикальной плоскости. Задача решалась с помощью принципа максимума Понтрягина. Получен аналитически закон оптимального управления на основе предложенной псевдоконсервативной модели движения. В рамках данной модели получены аналитические решения для полного семейства локальных экстремалей. На основе метода гомотопии предложены алгоритм решения задачи на полной модели движения и учет ограничения на расход массы топлива.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Движение ЛА, как материальной точки, будем рассматривать в вертикальной плоскости в однородном гравитационном поле. Уравнения движения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} &\dot{V} = (P - X_a - G\sin\theta)/M, \\ &\dot{\theta} = (Y_a - G\cos\theta)/MV, \\ &\dot{h} = V\sin\theta, \\ &\dot{L} = V\cos\theta, \\ &\dot{M} = -f, \end{aligned} \qquad (1)$$

где V – скорость ЛА; θ – угол наклона траектории; h – высота полета; L – дальность полета; M – масса ЛА; P – тяга; X_a – сила лобового сопротивления; G = Mg – масса ЛА; g = 9,80665 – ускорение свободного падения; Y_a – аэродинамическая подъемная сила; f – расход массы топлива в единицу времени.

В связи с тем, что M является медленно меняющейся переменной, при исследовании структуры оптимального закона управления будем считать её постоянной. Также примем, что P компенсирует X_a. Так как θ является быстро меняющейся переменной по сравнению с V и h, то примем θ в качестве управления. Первые два условия согласуются с условиями квазистационарности, а третье – существенно расширяет класс допустимых траекторий по сравнению с квазистационарными, так как не ограничивает углы наклона траектории.

Введем новые переменные: v – псевдоскорость; ϑ – псевдоугол наклона траектории (является управлением), которые связаны с исходными переменными следующими соотношениями:

$$|v| = V,\ v\cos\vartheta = V\cos\theta,\ v\sin\vartheta = V\sin\theta.$$

В результате уравнения движения (1) принимают вид

$$\begin{aligned} \dot{\nu} &= -g\sin\vartheta, \\ \dot{h} &= \nu\sin\vartheta, \\ \dot{L} &= \nu\cos\vartheta, \\ \dot{m} &= f, \end{aligned} \qquad (2)$$

где m – масса топлива.

Такую модель движения будем называть псевдоконсервативной.

Примем следующие граничные условия. В начальный момент времени $t_i = 0$

$$\nu(0)=\nu_i, h(0)=h_i, L(0)=0, m(0)=0. \qquad (3)$$

В конечный момент времени T

$$\nu(T)=\nu_i, h(T)=h_i, L(T)=L_f. \qquad (4)$$

Равенство скорости и высоты в начале и конце траектории не принципиально, но в рамках данной работы позволяют рассматривать традиционный горизонтальный полет как одно из допустимых решений и сравнивать с ним получаемые оптимальные решения.

Функционалом является время полета

$$T \Rightarrow \min. \qquad (5)$$

Аналитический синтез оптимального управления

Задача (2)–(5) решается с помощью принципа максимума Понтрягина. Получено ее аналитическое решение:

$$\nu_{\text{опт}} = C_1\sin\left(gt/H\right) + \nu_i\cos\left(gt/H\right), \qquad (6)$$

где H – гамильтониан; C_1 – константа интегрирования.

Оптимальное управление имеет вид

$$\vartheta_{\text{опт}} = \vartheta_i + \frac{g}{H}t,$$

ϑ_i – оптимальный псевдоугол наклона траектории в начальный момент.

Согласно (6) оптимальные траектории описываются периодическими функциями. Локальные экстремали (удовлетворяющие принципу максимума) не единственны, их количество определяется количеством решений системы уравнений для H, C_1:

$$\begin{cases} H = \sqrt{C_1^2 + \nu_i^2}, \\ \nu_i = C_1\sin\left(gT/H\right) + \nu_i\cos\left(gT/H\right). \end{cases} \qquad (7)$$

Часть решений (7) очевидна, они записываются в виде

$$H = gT/2\pi n,$$

где n – целое число. Количество решений: $N < \left[\frac{gT}{2\pi\nu_i}\right]$, где $[q]$ – ближайшее к q целое, не превосходящее q.

Остальные решения получаем из уравнения

$$H = \left|\frac{\nu_i}{\cos\left(gT/2H\right)}\right|.$$

Количество экстремалей в зависимости от обобщенного параметра $\frac{gL_f}{V_i^2}$ показано на рис. 1.

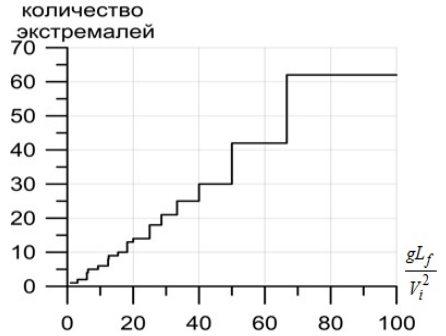


Рис. 1. Зависимость количества экстремалей в зависимости от обобщенного параметра gL_f/V_i^2

Fig. 1. Dependence of the number of extremes depending on the generalized parameter gL_f/V_i^2

Видно, что с ростом этого параметра количество экстремалей увеличивается. На рис. 2 показан относительный выигрыш (проигрыш) во времени по сравнению с аналогом при горизонтальном полете в зависимости от обобщенного параметра $\frac{gL_f}{V_i^2}$ для первых пяти экстремалей.

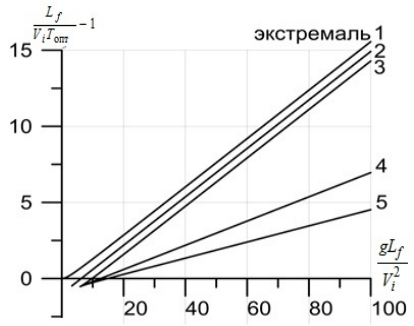


Рис. 2. Относительный выигрыш во времени полета в зависимости от обобщенного параметра gL_f/V_i^2

Fig. 2. Relative gain in flight time depending on the generalized parameter gL_f/V_i^2

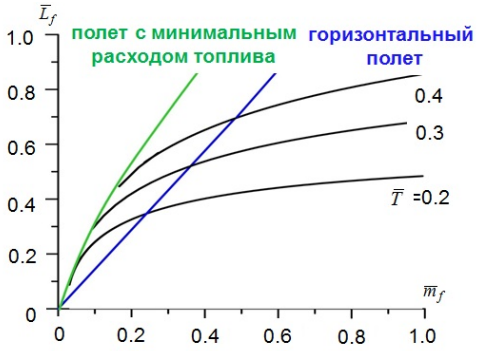


Рис. 3. Сравнение времени, дальности полета и расхода топлива

Fig. 3. Comparison of time, range and fuel consumption

Получено, что нормальная скоростная перегрузка на полученных экстремалях удовлетворяет условию

$$\left|n_{ya}\right| = \left|2\cos\vartheta_{опт}\right| < 2.$$

Данный результат является свойством полученного решения и не зависит от типа ЛА.

Учет ограничения на расход массы топлива

В рамках псевдоконсервативной модели рассмотрена задача максимизации дальности полета при заданных времени полета и расходе массы топлива.

Таким образом, к задаче (2)–(5) добавлено условие

$$m(T) = m_f.$$

Данная задача решалась численно на основе принципа максимум с применением метода непрерывного продолжения решения по параметру. В качестве такого параметра гомотопии принята m_f, а в качестве начального приближения использовалось аналитическое решение задачи (2)–(5), то есть при свободном расходе массы топлива.

На рис. 3 представлено сравнение дальности полета, расхода массы топлива и времени полета (в безразмерном виде). Огибающая (зеленая линия) соответствует минимальному расходу массы топлива при отсутствии ограничения на время полета.

Моделирование движения по полным уравнениям движения

Проведено моделирование на достаточно полных уравнениях движения, где управлением являются тяга и угол атаки с учетом практических ограничений. Построена следящая система управления (ССУ), которая стремится удерживать ЛА в окрестности соответствующей приближенной оптимальной траектории, полученной для псевдоконсервативной модели.

На примере современного маневренного самолета с ССУ подтверждены реализуемость колебательной экстремали с выигрышем во времени 19% по сравнению с аналогом при горизонтальном полете и высокая точность совпадения с приближенным аналитическим решением по функционалу.

Алгоритм решения задачи для более полной модели движения

Аналитическое решение, полученное в рамках псевдоконсервативной модели, используем как начальное приближение в методе продолжения решения по параметру для получения решения задачи на полной модели движения (1), (3)–(5). Для этого уравнения движения (1) запишем в виде

$$\begin{aligned} \dot{V} &= (\alpha(P - X_a) - G\sin\theta)/M, \\ \dot{\theta} &= (Y_a - G\cos\theta)/MV, \\ \dot{h} &= V\sin\theta, \\ \dot{L} &= V\cos\theta, \end{aligned} \qquad (8)$$

где α – параметр гомотопии. Управлением в (8) являются тяга и коэффициент подъемной силы.

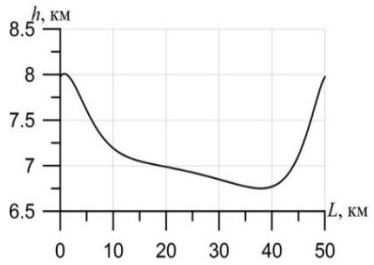


Рис. 4. Пример оптимальной траектории для полной модели движения

Fig. 4. Example of the optimal trajectory for a complete motion model

При $\alpha = 0$ уравнения совпадают с уравнениями псевдоконсервативной модели, для которой получено аналитическое решение. Изменяя α от 0 до 1 и решая задачу, получим последовательность близких друг к другу решений. При $\alpha = 1$ получим решение задачи на полной модели, для которой пример оптимальной траектории показан на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована задача минимизации времени полета ЛА при фиксированных дальности и расходе массы топлива на основе предложенной псевдоконсервативной модели движения. Получен аналитический синтез оптимального управления. На основе численного моделирования с достаточно строгой моделью движения показана возможность получить значительное преимущество перед традиционными для практики квазистационарными решениями за счет использования приближенных экстремалей. С помощью метода продолжения решения по параметру предложен алгоритм исследования задачи на достаточно полной модели траекторного движения.

Литература

1. Сагалаков А.Э. Новые периодические решения в задаче о полете ЛА на максимальную дальность // Авиация и космонавтика-2014: тез. Междунар. конф. М., 2014.

2. Сагалаков А.Э., Филатьев А.С. Аналитический синтез оптимального управления летательным аппаратом на основе псевдоконсервативной модели движения // XII Всерос. съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сб. тр.: в 4 т. Уфа: БГУ, 2019. С. 261–263.

3. Sagalakov A.E., Filatyev A.S. New Approach for Investigation of Maximum-Range Aircraft Trajecto-ries. In: 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2018). ICAS 2018. CD-ROM Proc. Bonn, Germany, 2018.

4. Sagalakov A.E., Filatyev A.S. New periodic solutions in the aircraft maximum range problem. In: 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014), 2014. Available at: https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2014/data/papers/2014_0562_paper.pdf.

References

1. Sagalakov A.E. New periodic solutions in the problem of flight of aircraft to the maximum range. In: *Aviatsiya i kosmonavtika-2014: tez. Mezhdunar. konf.* [Proc. of Int. Sci. Conf. «Aviation and Cosmonautics-2014»]. Moscow, 2014 (in Russian).

2. Sagalakov A.E., Filat'ev A.S. Analytical synthesis of optimal aircraft control based on pseudo-conservative motion model. In: *XII Vseros. s"ezd po fundamental'nym problemam teoreticheskoi i prikladnoi mekhaniki: sb. tr.: v 4 t.* [7th Rus. Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics: Collection of Works. 4 vols.]. Ufa, 2019, pp. 261–263 (in Russian).

3. Sagalakov A.E., Filatyev A.S. New Approach for Investigation of Maximum-Range Aircraft Trajecto-ries. In: 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2018). ICAS 2018. CD-ROM Proc. Bonn, Germany, 2018.

4. Sagalakov A.E., Filatyev A.S. New periodic solutions in the aircraft maximum range problem. In: 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014), 2014. Available at: https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2014/data/papers/2014_0562_paper.pdf.

Информация об авторах / Information about authors

Сагалаков Александр Эдуардович
Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ)
(*140180, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, д. 1*)
sag-al@mail.ru

Филатьев Александр Сергеевич
доктор технических наук,
Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ)
(*140180, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, д. 1*)
filatyev@yandex.ru

Alexander E Sagalakov
Zhukovsky Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI)
(*1 Zhukovsky str., Zhukovsky, 140180 Moscow Region, Russia*)
sag-al@mail.ru

Alexander S. Filatyev
Dr. Sc. (Techn.), Zhukovsky Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI)
(*1 Zhukovsky str., Zhukovsky, 140180 Moscow Region, Russia*)
filatyev@yandex.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 629.7.05 DOI

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ, БАЗЫ ЗНАНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г.И. Джанджгава[1,2]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-2083-4507

А.Г. Берг[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2809-8081

М.И. Орехов[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3109-433X

А.В. Бабиченко[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8649-9417

А.В. Евсеев[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7680-5310

[1]АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», г. Раменское, Россия
[2] АО «Концерн «Радиоэлектронные технологии», Московская область, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Технический облик перспективного комплекса Бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) представляет собой сетевую структуру, ядром которой является цифровая вычислительно-информационная среда, состоящая из объединяемых в сеть унифицированных аппаратных и программных модулей. К ядру посредством внутреннего высокоскоростного интерфейса опционально подключаются остальные компоненты. Комплекс посредством внешних интерфейсов взаимодействует с другими компонентами сетецентрических систем.*

Методы. *Цифровая основа комплекса дает возможность разработки математических моделей его компонентов и проведения цифрового математического и полунатурного моделирования работы комплексов в различных условиях и режимах. Моделирование является действенным методом контроля принимаемых технических решений, своевременного выявления ошибок. Моделирование расширяет ограниченные возможности натурных испытаний в условиях комплексного воздействия внешних возмущающих факторов и в особо опасных ситуациях. В процессе эксплуатации комплексов БРЭО ЛА накапливается огромный статистический материал, учет которого особенно важен для систем искусственного интеллекта, вводимых в состав перспективного БРЭО. Моделирование является инструментом такого учета.*

Реализация сквозной технологии моделирования на всех этапах жизненного цикла БРЭО предполагает создание системы целевых и технологических моделей и соответствующей технологической среды, что требует применения методов искусственного интеллекта с целью максимально достоверного описания моделей комплекса БРЭО и его компонентов по результатам эксплуатации.

Результаты. *Создание и эффективная эксплуатация такой среды требуют решения нескольких крупных организационно-технических задач: организация совместного с заказчиком планирования процедур создания и эксплуатации изделия с обратной связью по результатам эксплуатации; сертификация цифровых двойников и цифровых процедур по результатам натурных испытаний и эксплуатации; создание нормативных и организационных мероприятий по распространению методов цифрового проектирования и его результатов на этапе эксплуатации и последующих модернизаций; определение цифровых методов проектирования при сложностях воспроизведения полных и достоверных условий применения изделий; организация совместно с научными учреждениями изучения сложных, некорректных условий эксплуатации и функционирования и их достоверное цифровое описание; создание совместно с заказчиком единой цифровой среды, предполагающей задания, работы, испытания, их эксплуатацию и модернизацию.*

Выводы. *Многократное и целенаправленное применение методов цифрового математического и полунатурного моделирования работы комплексов БРЭО в различных условиях и режимах способствует созданию цифровой базы знаний, подтверждаемых натурными испытаниями и опытом эксплуатации, ее использование позволит сократить длительность процесса создания комплексов и уменьшить стоимость их создания и эксплуатации, аккумулирует отраслевые знания для эффективной модернизации изделий и новых разработок.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Бортовое радиоэлектронное оборудование, летательные аппараты цифровые двойники, базы знаний, моделирование.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Джанджгава Г.И., Берг А.Г., Орехов М.И., Бабиченко А.В., Евсеев А.В. Создание комплексов бортового оборудования летательных аппаратов с использованием цифровых двойников, базы знаний и моделирования // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 79–85. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_79.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

CREATION OF COMPLEXES OF ON-BOARD EQUIPMENT OF AIRCRAFT USING DIGITAL TWINS, KNOWLEDGE BASE AND MODELING

Givi I. Dzhandzhgava[1,2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2083-4507

Alexey G. Berg[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2809-8081

Mikhail I. Orekhov[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3109-433X

Andrey V. Babichenko[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8649-9417

Alexey V. Evseev[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7680-5310

[1] *JSC «Ramenskoe Design Company», Ramenskoe, Russia*
[2] *JSC «Concern "Radioelectronic Technologies"», Moscow Region, Russia*

ABSTRACT

Object. *The technical image of the promising avionics complex is a network structure, the core of which is a digital computing and information environment, consisting of unified hardware and software modules connected into a network. Other components are optionally connected to the core via an internal high-speed interface. The complex interacts with other components of network-centric systems through external interfaces.*

Methods. *The digital basis of the complex makes it possible to develop mathematical models of its components and conduct digital mathematical and semi-natural modelling of the operation of the complexes in various conditions and modes. Modelling is an effective method for controlling the technical decisions made and for detecting errors in advance. Simulation expands the limited possibilities of field testing in conditions of the complex influence of external disturbing factors and in especially dangerous situations. During the operation of aircraft avionics complexes big data is generated, knowledge managing of which is especially important for artificial intelligence systems introduced into the future avionics. Modelling is a core tool for such knowledge application.*

The implementation of the end-to-end modelling technology at all stages of the avionics life cycle involves the creation of a system of special-purpose and technological models and the corresponding technological environment, which requires the use of artificial intelligence methods in order to maximally describe the models of the avionics complex and its components based on the results of operation.

Findings. *The creation and effective operation of such an environment requires the solution of several major organizational and technical problems: organization of joint planning with the Customer of procedures for the creation and operation of a product with feedback on the results of operation; certification of digital twins and digital procedures based on the results of field tests and operation; creation of regulatory and organizational measures for the distribution of digital design methods and their results at the stage of operation and subsequent upgrades; determination of digital design methods with the difficulties of reproducing complete and reliable conditions for the use of products; organization, together with scientific institutions, of the study of complex, incorrect operating and operating conditions and their accurate digital twins; creation, together with the Customer, of a unified digital environment, involving tasks, work, testing, their operation and modernization.*

Conclusions. *Reusable and goal-directed application of methods of digital mathematical and hardware-in-loop simulation modelling of the avionics complexes in various conditions and operation modes contributes to the creation of a digital knowledge base, confirmed by field tests and operating experience, the use of which will reduce the duration of the process of creating complexes and reduce the cost of their creation and operation, cumulates industry knowledge for effective product upgrades and new developments.*

KEYWORDS

Avionics, aircraft digital twins, knowledge bases, modeling.

FOR CITATION

Dzhandzhgava G.I., Berg A.G., Orekhov M.I., Babichenko A.V., Evseev A.V. Creation of Complexes of on-Board Equipment of Aircraft Using Digital Twins, Knowledge Base and Modeling. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 79–85. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_79 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Разработка новых и модернизация существующих комплексов бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) для авиационных летательных аппаратов (ЛА) в условиях быстрого изменения предъявляемых к ним тактико-технических (снижение времени реагирования, повышение точности и дальности, всепогодность и всеширотность, многоцелевое и многофункциональное применение) и технико-экономических (снижение стоимости эксплуатации и разработки, сокращение сроков разработки,

увеличение модернизационного потенциала, опциональность и реконфигурирование) требований, появление принципиально новых технических и технологических возможностей диктуют необходимость осмысления происходящих изменений и определения главных направлений развития как создаваемых комплексов БРЭО, так и технологий обеспечения их жизненного цикла.

Комплексы БРЭО

Технический облик перспективного комплекса БРЭО представляет собой сетевую структуру, ядром которой является цифровая вычислительно-информационная среда, состоящая из объединяемых в сеть унифицированных аппаратных и программных модулей. Ядро обеспечивает интеграцию вычислительных ресурсов, сбор, хранение и переработку поступающей информации, взаимодействие с экипажем и решение основных задач управления. К ядру посредством внутреннего высокоскоростного интерфейса опционально подключаются остальные компоненты. Комплекс посредством внешних интерфейсов взаимодействует с другими компонентами сетецентрических систем, внешнего информационного пространства и фоноцелевой обстановки.

Важнейшим структурным компонентом БРЭО, раскрывающим потенциал аппаратуры, является программное обеспечение (ПО), роль которого в составе комплекса непрерывно возрастает вместе с соответствующим ростом сложности и трудоемкости его разработки.

Структура и аппаратные возможности перспективного БРЭО позволяют реализовывать посредством соответствующего ПО сложные, так называемые «интеллектуальные» функции, традиционно выполняемые экипажем – распознавание и синтез образов, комплексирование информации, идентификация и прогнозирование развития ситуации, оперативное целеполагание, формирование и реализация управляющего решения. Перераспределение функций между экипажем и БРЭО, при котором все большая часть интеллектуальных задач формализуется и становится доступной для решения аппаратно-программными средствами БРЭО, составляет сущность процесса интеллектуализации БРЭО. В результате в составе БРЭО наряду с традиционными ручным, полуавтоматическим (директорным) и автоматическим контурами управления появляется «интеллектуальный» контур, обеспечивающий полуавтоматическое и автоматическое выполнение «интеллектуальных» функций и поэтапный переход к опционально-беспилотной и беспилотной авиационной технике, оставляя воздушным и наземным экипажам преимущественно задачи целеполагания, контроля и координирования действий.

Определяющим качеством «искусственного интеллекта» является способность по мере функционирования накапливать знания и обучаться, поэтому разработка и сопровождение эксплуатации комплексов, оснащенных «искусственным интеллектом», предполагают наличие соответствующей среды, моделирующей (имитирующей) условия работы комплекса и обеспечивающей извлечение новых знаний и их интеграцию в комплекс. Таким образом, интеллектуализация БРЭО, как объективный процесс, является «катализатором» широкого применения методов моделирования при разработке и эксплуатации БРЭО.

Структура перспективного БРЭО обеспечивает гибкость проектирования, высокий модернизационный потенциал, возможность опционального реконфигурирования как на стадии проектирования *(для учета особенностей ТЗ)*, так и в процессе эксплуатации *(адаптация к изменяющимся условиям*).

Унификация программно-аппаратных модулей также содержит в себе возможность снижения времени и затрат на отработку.

Цифровая основа комплекса и особенно его ядра дает возможность разработки математических моделей его компонентов (модулей и систем), связей между ними, условий применения и т.п. и проведения цифрового математического и полунатурного моделирования работы комплексов в различных условиях и режимах.

Моделирование

Моделирование является наиболее действенным методом обеспечения контроля принимаемых технических решений и своевременного

(на стадии проектирования) выявления ошибок. При этом в специальной моделирующей среде воспроизводятся ожидаемые условия работы отдельных модулей или всего комплекса БРЭО и анализируется их состояние и поведение на предмет соответствия заданным требованиям. В зависимости от способа организации моделирующей среды и от состава задействованных компонентов БРЭО различают стенды математического (ММ) и полунатурного (ПНМ) моделирования. В стендах ММ задействуются в основном цифровые (программно-математические) модели компонентов БРЭО, ЛА, внешних возмущающих факторов (ВВФ) и объектов навигационного пространства и фоно-целевой обстановки, а в стендах ПНМ частично используются реальные изделия и сигналы (программно-аппаратные компоненты БРЭО, сопрягаемого оборудования и вооружения, физические имитаторы некоторых ВВФ и информативных сигналов).

Основные достоинства и возможности стендов моделирования хорошо известны. Стенды ММ обеспечивают: выявление и устранение на ранних этапах проектирования крупных инженерных ошибок; эффективное использование задела и готовых решений; сокращение времени разработки ПО; оценку БРЭО в условиях, не воспроизводимых в полете, и в особо опасных особых ситуациях; возможность сопровождающего моделирования и эффективного учета особенностей, выявляемых при эксплуатации. Стенды ПНМ сложнее и дороже стендов ММ, но их возможности шире: работа с реальным ИУП, интеграция ФПО в вычислительной среде ядра, отработка реальных интерфейсов, проведение наземных испытаний; сопровождение испытаний в части условий работы экипажа, безопасности и боевой эффективности; подготовка экипажа к выполнению специальных задач (тренаж), особенно с использованием систем искусственного интеллекта; проведение исследований по созданию задела без привлечения дорогостоящих натурных работ.

В части сопровождения испытаний и эксплуатации роль таких стендов аналогична роли стендов ММ с учетом указанных особенностей. Комплексы БРЭО эксплуатируются десятки лет, при этом возникают вопросы, требующие своевременного решения, в том числе и модернизация, и ремонт, и анализ выявляемых особенностей. Для сопровождения эксплуатации необходимы соответствующие стенды ПНМ, в целом подобные тем, которые используются при разработке. Эти стенды надо сохранять в работоспособном состоянии в течение срока эксплуатации изделий.

Однако, несмотря на высокую эффективность моделирования, существующая нормативная основа организации жизненного цикла (ЖЦ) БРЭО пока предусматривает использование стендов только на некоторых этапах ОКР и допускает использование стендов ММ на стадии исследований (проведение НИР, разработка авансового проекта и ТЗ на ОКР). Неполное использование возможностей моделирования на всех стадиях ЖЦ приводит к тому, что отсутствуют надежные механизмы раннего выявления ошибок проектирования и гарантии качества (следствием чего являются высокие стоимость и трудоемкость испытаний и исправления выявленных ошибок), унификации технических решений и планомерности модернизации (*к моменту модернизации из-за отсутствия аттестованных стендов и моделей знания практически утрачиваются и многое начинается сначала*), использования опыта эксплуатации для повышения качества БРЭО, накопления знаний при испытаниях и эксплуатации, что особенно критично для систем искусственного интеллекта. Кроме того, возможности натурных (стендовых и летных) испытаний в условиях комплексного воздействия ВВФ и в особых ситуациях ограниченны.

Проблема частично решается тем, что разработчики в инициативном порядке практически всегда используют математическое моделирование при разработке и, частично, при сопровождении эксплуатации, используя при этом собственные неаттестованные заказчиком стенды и технологии.

Накопленный разработчиками опыт применения моделирования нуждается в обобщении, нормализации и дальнейшем развитии на строгой согласованной основе. Поэтому первейшей задачей является актуализация нормативной базы и технологии проведения работ

по разработке, модернизации и сопровождению эксплуатации комплексов БРЭО в части использования методов и средств математического и полунатурного моделирования на всех этапах ЖЦ БРЭО.

Следующей задачей является отработка технологий моделирования с учетом обеспечения преемственности и адекватности моделей и переносимости результатов моделирования как между этапами ЖЦ БРЭО, так и между соисполнителями и заказчиками.

В процессе эксплуатации комплексов БРЭО ЛА накапливается огромный опыт, несоизмеримый с опытом испытаний, который сегодня остается под спудом и практически не используется. Использование этого опыта для уточнения и валидации моделей компонентов БРЭО и, далее, повышения качества БРЭО, требует решения сложных фундаментальных задач регуляризации накапливаемого статистического материала и извлечения знаний. Для этого необходимо на стадии эксплуатации иметь соответствующие стенды моделирования и математические модели – «цифровые двойники» компонентов БРЭО.

Цифровые двойники и базы знаний

Реализация сквозной технологии моделирования на всех этапах ЖЦ БРЭО предполагает создание как системы моделей, так и моделирующей среды, обеспечивающей взаимодействие моделей, подготовку экспериментов, регистрацию и обработку результатов. Технологии разработки моделей опираются на формализованные *(техническая документация)* и неформализованные знания экспертов *(разработчиков и эксплуатантов)*, а также на результаты моделирования и натурных работ. Фактически речь идет о создании иерархических категорированных баз данных и знаний, разбитых на несколько групп:

- целевые модели – это модели аппаратных и программных компонентов БРЭО;
- технологические модели, обеспечивающие имитацию соответствующих внешних объектов с подробностью, необходимой для отработки целевых моделей *(фоноцелевой и тактической обстановки, внешних возмущающих факторов, объектов управления, действий и состояния экипажа*);
- объективные и исходные данные (включая комплексные цифровые режимы и требования), являющиеся основой для разработки и контроля целевых и технологических моделей.

Можно выделить два вида целевых моделей:

- модели-«цифровые двойники», имитирующие физическое состояние компонентов БРЭО (в первую очередь – это модели аппаратной части);
- модели-прототипы, которые практически тождественны разрабатываемым компонентам БРЭО (это почти исключительно компоненты ПО).

К числу главных научно-технических вопросов создания такой системы моделей можно отнести:

- структуризацию системы моделей, т.е. разработку перечней целевых («цифровых двойников» и прототипов) и технологических моделей и системы категорированных требований к ним;
- проработку унифицированных интерфейсов моделей, в том числе протоколов взаимодействия технологических и целевых моделей;
- верификацию и валидацию моделей по статистическим объективным данным;
- актуализацию моделей по мере накопления знаний в процессе разработки и эксплуатации изделия, что требует применения методов искусственного интеллекта с целью максимально достоверного описания моделей комплекса БРЭО и его компонентов по результатам эксплуатации.

Создание и эффективная эксплуатация такой виртуальной среды комплексного цифрового моделирования, охватывающей все этапы ЖЦ, требует решения нескольких крупных организационно-технических задач:

- организация совместного с заказчиком планирования процедур создания и эксплуатации изделия с обратной связью по результатам эксплуатации;

- сертификация цифровых двойников и цифровых процедур по результатам натурных (физических) испытаний и эксплуатации;
- создание нормативных и организационных мероприятий по распространению методов цифрового проектирования и его результатов на этап эксплуатации и последующих модернизаций;
- определение цифровых методов проектирования при сложностях воспроизведения полных и достоверных условий применения изделий;
- организация совместно с научными учреждениями изучения сложных, некорректных условий эксплуатации и функционирования и их достоверное цифровое описание;
- создание совместно с МО РФ единой цифровой среды, предполагающей задания, работы, испытания, их эксплуатацию и модернизацию.

ВЫВОДЫ

Многократное и целенаправленное применение методов цифрового математического и полунатурного моделирования работы комплексов БРЭО в различных условиях и режимах способствует созданию цифровой базы знаний, подтверждаемых натурными испытаниями и опытом эксплуатации, ее использование позволит сократить длительность процесса создания комплексов и уменьшить стоимость их создания и эксплуатации, аккумулирует отраслевые знания для эффективной модернизации изделий и новых разработок.

Литература

1. Августов Л.И., Бабиченко А.В., Орехов М.И., Сухоруков С.Я., Шкред В.К. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве / под ред. Г.И. Джанджгавы. М.: Научтехлитиздат, 2015. 592 с.

2. Бабиченко А.В., Орехов М.И., Рогалев А.П. Основы построения системы комплексной обработки информации в интегрированных комплексах бортового оборудования перспективных многофункциональных летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. 2007. № 2. С. 43–49.

3. Джанджгава Г.И., Герасимов Г.И., Рогалев А.П., Семаш А.А., Никитин Е.И., Сухоруков С.Я., Демаков А.В. Развитие интегрированных комплексов бортового оборудования летательных аппаратов нового поколения // Авиакосмическое приборостроение. 2007. № 2. С. 4–11.

4. Джанджгава Г.И., Герасимов Г.И., Рогалев А.П., Шерман В.М., Сухоруков С.Я., Вершков В.В. Концепция создания интегрированных комплексов бортового оборудования летательных аппаратов нового поколения // Авиакосмическое приборостроение. 2002. № 6. С. 3–8.

5. Кавинский В.В., Лыткии П.Д., Никулин А.С., Орехов М.И., Рогалев А.П. Управление разработкой программного обеспечения авиационных комплексов // Авиакосмическое приборостроение. 2002. № 6.

References

1. Dzhandzhgava G.I., ed.; Avgustov L.I., Babichenko A.V., Orekhov M.I., Sukhorukov S.Ya., Shkred V.K. *Navigatsiya letatel'nykh apparatov v okolozemnom prostranstve* [Navigation of aircraft in near-Earth space]. Moscow, Nauchtekhlitizdat Publ., 2015, 592 p. (in Russian).

2. Babichenko A.V., Orekhov M.I., Rogalev A.P. Basics of building a system of integrated information processing in integrated complexes of on-board equipment of promising multifunctional aircraft. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2007, no. 2, pp. 43–49 (in Russian).

3. Dzhandzhgava G.I., Gerasimov G.I., Rogalev A.P., Semash A.A., Nikitin E.I., Sukhorukov S.Ya., Demakov A.V. Development of integrated complexes of on-board equipment of new generation aircraft. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2007, no. 2, pp. 4–11 (in Russian).

4. Dzhandzhgava G.I., Gerasimov G.I., Rogalev A.P., Sherman V.M., Sukhorukov S.Ya., Vershkov V.V. The concept of creating integrated complexes of on-board equipment of aircraft of a new generation. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2002, no. 6, pp. 3–8 (in Russian).

5. Kavinskii V.V., Lytkii P.D., Nikulin A.S., Orekhov M.I., Rogalev A.P. Management of software development of aviation complexes. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2002, no. 6 (in Russian).

Информация об авторах / Information about authors

Джанджгава Гиви Ивлианович
доктор технических наук, профессор,
академик НАН Грузии, генеральный конструктор,
президент, АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро» (*140103, Московская область, г. Раменское, ул. Гурьева, д. 2*)
ababichenko@rpkb.ru

Givi I. Dzhandzhgava
Dr. Sc. (Techn.), Professor, President and General Designer, JSC «Ramenskoe Design Company»
(*2 Guryeva Street, 140103 Ramenskoye, Moscow Region, Russia*)
ababichenko@rpkb.ru

Берг Алексей Геннадьевич
кандидат экономических наук, генеральный директор, АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро» (*140103, Московская область, г. Раменское, ул. Гурьева, д. 2*)
ABerg@rpkb.ru

Орехов Михаил Ильич
доктор технических наук, профессор, главный конструктор, АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро» (*140103, Московская область, г. Раменское, ул. Гурьева, д. 2*)
MOrehov@rpkb.ru

Бабиченко Андрей Викторович
доктор технических наук, директор учебно-научного центра, АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро» (*140103, Московская область, г. Раменское, ул. Гурьева, д. 2*)
ABabichenko@rpkb.ru

Евсеев Алексей Васильевич
кандидат технических наук, начальник отдела-заместитель начальника департамента НИОКР БРЭО, АО «Концерн «Радиоэлектронные технологии»
a.evseev@kret.com

Alexey G. Berg
Cand. of Sc. (Techn.), General Director, JSC «Ramenskoe Design Company» (*2 Guryeva Street, 140103 Ramenskoye, Moscow Region, Russia*)
ABerg@rpkb.ru

Mikhail I. Orekhov
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Chief Designer, JSC «Ramenskoe Design Company» (*2 Guryeva Street, 140103 Ramenskoye, Moscow Region, Russia*)
MOrehov@rpkb.ru

Andrey V. Babichenko
Dr. Sc. (Techn.), Director of the Educational and Scientific Center, JSC «Ramenskoe Design Company»
ABabichenko@rpkb.ru

Alexey V. Evseev
Cand. of Sc. (Techn.), Head of the Department-Deputy Head of the R&D Department, JSC «Concern “Radioelectronic Technologies”»
a.evseev@kret.com

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Подготовка специалистов / Training of specialists

УДК 629.78.072.8 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_86

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРЕНАЖЕРНЫХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЦЕЛЕВЫХ РАБОТ НА БОРТУ РС МКС

А.А. Курицын[1,2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1878-9463

Е.В. Попова[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-8180-5246

И.В. Кутник[1,2]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-7142-1134

П.А. Сабуров[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-1008-4634

[1] *Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Россия*
[2] *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Цель. *Статья посвящена вопросам подготовки космонавтов к выполнению целевых работ на Международной космической станции (МКС) с использованием современных компьютерных технологий в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».*

Методы. *За длительные годы освоения космоса с помощью пилотируемых космических аппаратов в отечественной космонавтике сложилась собственная уникальная система подготовки космонавтов. Дальнейшее развитие российского сегмента МКС (РС МКС), введение многофункционального лабораторного модуля в состав российского сегмента, усложнение научно-прикладных задач программы пилотируемых космических полетов, усовершенствование космической техники, внедрение новой научной аппаратуры (НА) приводят к увеличению числа целевых работ (ЦР), проводимых космонавтами на борту РС МКС. В свою очередь, это актуализирует необходимость развития профессиональной подготовки космонавтов к выполнению ЦР с использованием современных тренажерных средств подготовки в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина.*

Подготовка космонавтов к полету на МКС включает в себя различные направления, одним из которых является подготовка по ЦР (научно-прикладным исследованиям и экспериментам), выполняемым космонавтами на борту РС МКС. Современную систему подготовки космонавтов возможно адаптировать с помощью усовершенствования методических и технических элементов системы подготовки космонавтов, где идет постоянный непрерывный поиск новых форм и методов работы, которые помогут специалистам центра повысить эффективность процесса подготовки.

Вопрос повышения эффективности реализации программ ЦР (НПИ) на РС МКС является актуальным. Затруднения в совершенствовании методологии выполнения данных программ на РС МКС вызваны проведением как фундаментальных, так и научно-прикладных исследований в различных направлениях, таких как материаловедение, экология и мониторинг Земли, геофизика, биотехнология, робототехнические системы, медицина и др.

В связи с этим эффективность обучения космонавтов по ЦР определяется сопутствующими факторами, влияющими на формирование навыков выполнения ЦР: применение современных технических и тренажерных средств подготовки космонавтов (ТСПК) (комплексный тренажер РС МКС, специализированные и мультимедийные учебные классы, аналоги реальной научной аппаратуры и целевого оборудования, программное обеспечение, специализированные стенды, виртуальные тренажеры); применение современных методов обучения, используемых на занятиях и тренировках.

В статье рассмотрено состояние в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина на сегодняшний день тренажерных и программных средств при подготовке космонавтов по выполнению научной программы, а также современные тенденции их последующей модернизации на основе использованием современных цифровых (компьютерных) технологий.

Результаты. *Для повышения эффективности теоретической и практической подготовки космонавтов в центре разработан и активно используется уникальный комплекс ТСПК по ЦР (НПИ), включающий в себя: тренажерные варианты научной аппаратуры, целевого оборудования и комплексные тренажеры РС МКС; специализированный стенд «Тренажер ВИН» для наземной отработки и решения задач в области визуальных геофизических наблюдений и мониторинга Земли с борта РС МКС; мобильные автоматизированные рабочие места для проведения авиационных визуально-инструментальных измерений (ВИН) на самолетах-лабораториях; комплекс функционально-моделирующих стендов (ФМС Наука), включающих компьютерные виртуальные тренажеры по космическим экспериментам, научной аппаратуре и целевому оборудованию на основе интерактивных 3D-моделей с визуализацией трехмерных объектов и модулей РС МКС, программным модулем отработки последовательности операций, проводимых в рамках выполнения ЦР; тренажер по отработке технологий телеуправления напланетными роботами с орбитального пилотируемого космического комплекса по комбинированному каналу связи с ограниченной пропускной способностью; универсальный компьютерный стенд робототехнических систем (на базе единого комплекса программно-аппаратных средств моделирования и визуализации виртуальных интерактивных 3D-*

моделей роботов и их внешнего окружения) для отработки навыков управления космонавтом различными робототехническими системами космического исполнения – как реальными, так и виртуальными моделями.
Разработка такой базы ТСПК позволяет активно использовать ее для теоретического и практического обучения космонавтов по всем направлениям ЦР (НПИ) на любом этапе подготовки.
***Выводы.** Уникальность данных ТСПК заключается не только в предоставлении возможности космонавтам закреплять и углублять теоретические знания по выполнению ЦР, но и в формировании навыков и умений по эксплуатации этих средств как при штатном функционировании, так и при возникновении различных расчетных и нерасчетных нештатных ситуаций.*
Применение тренажеров с использованием современных компьютерных технологий позволяет в значительной степени в качестве дополнительных средств обучения повысить эффективность подготовки космонавтов, увеличить длительность службы дорогостоящих комплексных тренажеров (разгрузив и сэкономив, таким образом, его ресурс), повысить их «пропускную» способность, предоставив возможность проводить на тренажерах с космонавтами занятия по другим направлениям. Такие тренажеры также способны повысить качество подготовки к проведению ЦР (НПИ) в условиях космоса, сдвинув ее на более ранние этапы подготовки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА
Подготовка космонавтов, космический эксперимент, целевые работы, технические средства подготовки космонавтов, научная аппаратура, информационные программные средства.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ
Курицын А.А., Попова Е.В., Кутник И.В., Сабуров П.А. Перспективы развития тренажерных средств подготовки космонавтов по выполнению целевых работ на борту РС МКС // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 86–92. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_86.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SIMULATORS FOR TRAINING COSMONAUTS TO PERFORM TASK-ORIENTED ACTIVITY ON BOARD THE ISS RS

Andrey A. Kuritsyn[1,2]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-1878-9463

Petr A. Saburov[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-1008-4634

Elena V. Popova[1,2]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-8180-5246

Irina V. Kutnik[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-7142-1134

[1] *Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star City, Russia*
[2] *Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

ABSTRACT
***Object.** This actualizes the need to develop the training of cosmonauts using modern training simulators at the Yu.A. Gagarin Cosmonaut Training Center.*
***Methods.** Over the long years of manned space exploration, the national cosmonautics has developed its own unique cosmonaut training system. Further development of the ISS RS, integration of a multifunctional laboratory module with the Russian segment, complication of scientific and applied tasks of the manned space flight programs, improvement of space technology, commissioning of new scientific equipment – lead to the expansion of task-oriented activity carried out by cosmonauts on board the ISS RS. One of the directions of cosmonaut training is preparation for scientific and applied research and experiments. The modern cosmonaut training system can be adapted by improving the methodological and technical elements of the cosmonaut training system, taking into account the constant seeking of new approaches and methods that will help the center's specialists to increase the efficiency of the training process. The issue of increasing the efficiency of "task-oriented activity" programs aboard the ISS RS is urgent. Difficulties in improving the methodology for executing these programs on the ISS RS are caused by both fundamental and scientific applied research in various fields, such as materiology, ecology and Earth monitoring, geophysics, biotechnology, robotic systems, medicine, etc.In this regard, the effectiveness of the training is determined by concomitant factors influencing the skills development: the use of advanced technical facilities for cosmonaut training (integrated simulator of the ISS RS, specialized and multimedia classrooms, analogues of real scientific equipment and dedicated equipment, software, dedicated simulators, virtual simulators); application of modern teaching methods during the oretical classes and practical training.*
The article examines the current state of available training and software tools for training cosmonauts to carry out a scientific program, as well as current trends in their subsequent modernization based on the use of modern digital (computer) technologies.
***Findings.** To increase the efficiency of theoretical and practical training of cosmonauts, the Center has developed and actively uses a unique complex of dedicated training facilities which includes: various patterns of scientific equipment, special-purpose equipment and integrated simulators of the ISS RS; "Trenajor VIN" special-purpose simulator designed to practice visual geophysical observations and monitoring of the Earth from the ISS RS; mobile automated workstations for VIOs (visual and instrumental observations) on flying laboratories; complex of functional simulators (FMS Nauka), including computer virtual simulators for space experiments, scientific equipment and special-purpose equipment based on interactive 3D models*

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

with visualization of three-dimensional objects of the ISS RS modules, a software module for practicing the sequence of operations carried out as part of the task-oriented activity; simulator for remote control of planetary robots from an orbital manned space complex via a bandwidth-limited channel; multi-purpose computer-aided simulator of robotic systems (based on an integrated software – hardware complex for modeling and visualization of virtual interactive 3D models of robots and their external environment) for practicing the skills of controlling real and virtual models of space-rated robotic systems.

The development of such a simulator base makes it possible to use it for theoretical and practical training of cosmonauts in all areas of the task-oriented activity (scientific and applies research) at any stage of training.

Conclusions. *The uniqueness of the use of dedicated simulator facilities lies not only in providing the cosmonauts with the opportunity to consolidate and deepen theoretical knowledge on the issue of task-oriented activity, but also in the formation of skills and abilities to operate these tools, both in normal mode and in emergency situations.*

The use of advanced computer-based simulators as additional training aids makes it possible to significantly increase the efficiency of cosmonaut training, increase the lifecycle of expensive complex simulators (saving their resources) and their potential through the opportunity to train cosmonauts in various areas. Such simulators are also able to improve the quality of training for carrying out task-oriented activity in space, shifting this type of training to earlier stages of the cosmonaut training course.

KEYWORDS

Cosmonaut training, space experiment, targeted work, cosmonaut training technical means, scientific equipment, information software.

FOR CITATION

Kuritsyn A.A., Saburov P.A., Popova E.V., Kutnik I.V. Prospects for the Development of Simulators for Training Cosmonauts to Perform Task-Oriented Activity on Board the ISS RS. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 86–92. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_86 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Технологичность становится сегодня доминирующей характеристикой педагогической деятельности, в частности, много внимания уделяется применению инновационных образовательных технологий, в том числе в космической отрасли при подготовке космонавтов.

За длительные годы освоения космоса с помощью пилотируемых космических аппаратов в отечественной космонавтике сложилась собственная уникальная система подготовки космонавтов. Дальнейшее развитие РС МКС, введение многофункционального лабораторного модуля в состав российского сегмента, усложнение научно-прикладных задач программы пилотируемых космических полетов, усовершенствование космической техники, внедрение новой научной аппаратуры (НА) приводят к увеличению числа целевых работ (ЦР), проводимых космонавтами на борту РС МКС. В свою очередь, это актуализируют необходимость развития профессиональной подготовки космонавтов к выполнению ЦР с использованием современных тренажерных средств подготовки в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина.

Тренажерные средства подготовки космонавтов по выполнению целевых работ на борту РС МКС

Вопрос повышения эффективности реализации программ ЦР на РС МКС является актуальным. Затруднения в совершенствовании методологии выполнения данных программ на РС МКС вызваны проведением как фундаментальных, так и научно-прикладных исследований в различных направлениях, таких как материаловедение, экология и мониторинг Земли, геофизика, биотехнология, робототехнические системы, медицина и др.

Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК) оснащен эксклюзивными техническими средствами подготовки космонавтов по целевым работам:

- тренажные (технологические) образцы научной аппаратуры;
- тренажные (технологические) образцы целевого оборудования (перчаточный бокс, термостаты, электропечь, виброзащитные платформы и др.);
- универсальные рабочие места комплекса целевых нагрузок, входящие в состав комплексных тренажеров модулей РС МКС;
- комплексные тренажеры модулей РС МКС;
- специализированные тренажеры и стенды;
- самолеты-лаборатории [3, 4].

На РС МКС при помощи космонавтов проводятся обширные исследования Земли из космоса. «При помощи орбитальных космических аппаратов ученые имеют возможность собирать и передавать данные в различных диапазонах электромагнитного спектра, которые в сочетании с более масштабными воздушными

и наземными измерениями и анализом обеспечивают необходимый спектр данных для мониторинга актуальных явлений и тенденций как в кратко, так и в долгосрочной перспективе» [5].

Работа космонавтов на борту пилотируемого космического аппарата (ПКА) по визуально-инструментальным наблюдениям характеризуется их индивидуальной особенностью деятельности.

Созданный в ЦПК специализированный стенд «Тренажер ВИН» обеспечивает подготовку космонавтов для решения задач визуально-инструментальных наблюдений и мониторинга Земли с борта РС МКС.

Структурно «Тренажер ВИН» представляет собой три функциональные зоны, объединенные единым информационным пространством (рис. 1):

- зона тренировки;
- лекционная зона;
- методическая зона.

В настоящее время стенд «Тренажер ВИН» активно используется для подготовки космонавтов на всех этапах подготовки. За один год его эксплуатации проводится более 550 часов практических занятий и тренировок космонавтов [1, 3].

В ЦПК созданы и введены в эксплуатацию автоматизированные рабочие места авиационных визуально-инструментальных наблюдений поверхности Земли (АРМ АВИН) на основе лэптопов и PS-навигаторов.

АРМ АВИН предназначены для информационной поддержки космонавтов при их подготовке по задачам ВИН с использованием самолетов-лабораторий, проведения анализа результатов авиационных визуально-инструментальных наблюдений поверхности Земли на самолетах-лабораториях.

Специальное программное обеспечение АРМ АВИН разработано на основе растровых покрытий поверхности суши Земли (территория от 85 градусов южной широты до 85 градусов серверной широты), сформированное по космическим снимкам с пространственным разрешением 15-30 метров [5].

В ЦПК в 2013 году создан и начал использоваться в подготовке космонавтов новый комплекс функционально-моделирующих стендов, включающих компьютерные виртуальные тренажеры по космическим экспериментам и научной аппаратуре на основе интерактивных 3D-моделей научной аппаратуры (комплекс «ФМС Наука»).

Рис. 1. Зона тренировки стенда «Тренажер ВИН»

Fig. 1. Training area of the stand "VIN Simulator"

Комплекс «ФМС Наука» позволяет решать следующие задачи:

- использование 3D-моделей ЦР и НА для подготовки космонавтов;
- возможность контролировать и оценивать этапы и итоги подготовки космонавтов с использованием 3D-моделей;
- возможность планомерного формирования знаний, умений и навыков космонавтов с использованием в 3D-моделях необходимых количеств повторений;
- возможность проводить обучение с использованием 3D-моделей в соответствии с уровнем подготовленности космонавта по научной программе.

Одним из возможных сценариев освоения планет Солнечной системы является управление робототехническими объектами (РО) с борта орбитального пилотируемого космического аппарата на поверхности планеты путем формирования и последующего использования телекоммуникационной инфраструктуры на основе группировки мобильных и/или стационарных РО. В ЦПК с привлечением специалистов «РКК Энергия» (г. Королев) и ЦНИИ робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург) на тренажере научной аппаратуры «Контур-2» проводились тренировки по управлению удаленным напланетным роботом. Тренировки проводились в рамках испытаний комплекса аппаратуры для дистанционного управления с борта МКС роботами, находящимися на поверхности Земли или другой планеты. На орбите робот-манипулятор ранее участвовал в эксперименте «Контур», в рамках которого устройством на поверхности МКС управляли с Земли [6].

В 2018 г. на базе единого комплекса программно-аппаратных средств моделирования и визуализации виртуальных интерактивных 3D-моделей РО и их внешнего окружения в ЦПК был создан универсальный компьютерный стенд робототехнических систем (УКС РТС) [2].

Стенд предназначен для проведения эргономических исследований прототипов роботов и задающих устройств и для отработки навыков управления космонавтом различными робототехническими системами космического исполнения – как реальными, так и виртуальными моделями. УКС РТС представляет собой единый комплекс (рис. 2), основными элементами которого являются задающее устройство копирующего типа для управления робототехнической системой, очки виртуальной реальности, а также компьютерные рабочие места для бригады, обеспечивающей работу стенда.

Рис. 2. Универсальный компьютерный стенд робототехнических систем

Fig. 2. Universal computer stand of robotic systems

Стенд позволяет формировать и накапливать «базы данных» при выполнении технологических операций, детализировать их по элементам, а затем – исполнять, под контролем оператора или автономно. Этим может быть достигнута возможность впоследствии управлять роботами не только с борта космического аппарата, но и дистанционно, например с Земли. Такие роботы станут незаменимыми помощниками человека для исследования Луны и Марса и построения лунных (марсианских) баз.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительное возрастание объема и сложности российской программы ЦР на РС МКС, систематическое введение новых экспериментов в программы работ экипажей требуют развития, совершенствования и создания новых компьютерных технологий и ТСПК к выполнению ЦР.

Новые технические средства позволяют повысить эффективность подготовки космонавтов, увеличить длительность службы дорогостоящих комплексных тренажеров, а также сдвинуть

подготовку к проведению научно-прикладных исследований в космосе на более ранние этапы подготовки космонавтов.

Результаты тренировок космонавтов подтверждают обоснованность обучения на виртуальных 3D-моделях по ЦР. С созданием 3D-моделей решается проблема отсутствия тренажерных комплектов научной аппаратуры. Показана актуальность совершенствования способов подготовки космонавтов с использованием 3D-модели в отношении освоения им космических экспериментов. Данные 3D-модели могут использоваться не только в подготовке, но и на борту РС МКС для поддержки деятельности экипажа.

Созданные в Центре информационные технологии будут использоваться при создании новых ТСПК в рамках лунной программы, перспективных робототехнических систем.

Литература

1. Васильева Н.В., Дедкова Е.В., Кутник И.В., Фокин В.Е., Чуб Н.А., Юрченко Е.С. Проектирование стенда-тренажера для подготовки космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений // Вестник Московского авиационного института. 2021. Т. 28, № 1. С. 115–125.

2. Дудоров Е.А., Сохин И.Г., Курицын А.А. Имитационно-моделирующий стенд эргономического сопровождения робототехнических систем космического назначения // Вестник МГТУ Станкин. 2021. № 1(56). С. 64–75.

3. Курицын А.А., Харламов М.М., Хрипунов В.П. Система подготовки космонавтов в Российской Федерации. Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2020. 318 с.

4. Харламов М.М., Курицын А.А., Ковригин С.Н. Использование информационных технологий в процессе подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. 2013. № 1(6). С. 35–43.

5. Lonchakov Y.V., Kuritsyn A.A., Yaropolov V.I. Information Technologies of Training Cosmonauts for a Space Flight. In: *2017 International Workshop on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*, 2017, pp. 37–40. DOI: 10.1109/EnT.2017.24.

6. Kuritsyn A., Popova E., Shcherbinin D. The Use of Computer-Based Simulators to Train Cosmonauts for the Fulfillment of the Program of Scientific-Applied Research. In: *2018 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*, 2018, pp. 53–56. DOI: 10.1109/EnT.2018.00017.

References

1. Vasil'eva N.V., Dedkova E.V., Kutnik I.V., Fokin V.E., Chub N.A., Yurchenko E.S. Simulator Stand Designing for Cosmonauts Training to Perform Visual-Instrumental Observations. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2021, vol. 28, no. 1, pp. 115–125 (in Russian).

2. Dudorov E.A., Sokhin I.G., Kuritsyn A.A. Simulation and Modeling Stand for Ergonomic Support of Robotic Systems for Space Purposes. *Vestnik MGTU Stankin*, 2021, no. 1(56), pp. 64–75 (in Russian).

3. Kuritsyn A.A., Kharlamov M.M., Khripunov V.P. Sistema podgotovki kosmonavtov v Rossiiskoi Federatsii [Cosmonaut training system in the Russian Federation]. Star City, 2020, 318 p. (in Russian).

4. Kharlamov M.M., Kuritsyn A.A., Kovrigin S.N. Application of Information Technologies in the Course of Cosmonaut Training. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2013, no. 1(6), pp. 35–43 (in Russian).

5. Lonchakov Y.V., Kuritsyn A.A., Yaropolov V.I. Information Technologies of Training Cosmonauts for a Space Flight. In: *2017 International Workshop on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*, 2017, pp. 37–40. DOI: 10.1109/EnT.2017.24.

6. Kuritsyn A., Popova E., Shcherbinin D. The Use of Computer-Based Simulators to Train Cosmonauts for the Fulfillment of the Program of Scientific-Applied Research. In: *2018 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*, 2018, pp. 53–56. DOI: 10.1109/EnT.2018.00017.

Информация об авторах / Information about the authors

Курицын Андрей Анатольевич
доктор технических наук, доцент,
начальник управления,
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
a.kuricyn@gctc.ru

Andrey A. Kuritsyn
Dr. Sc. (Techn.), Associate Professor,
Head of Departmvet,
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
a.kuricyn@gctc.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Попова Елена Владимировна
кандидат педагогических наук, начальник отделения, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)
e.popova@gctc.ru

Кутник Ирина Владимировна
старший преподаватель, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*); аспирантка, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
i.kutnik@gctc.ru

Сабуров Петр Алексеевич
начальник отдела, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина» (*141160, Московская область, Звездный городок*)
p.saburov@gctc.ru

Elena V. Popova
Cand. of Sc. (Pedagogy), Head of Department, Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center (*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
e.popova@gctc.ru

Irina V. Kutnik
Senior Lecturer, Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center (*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*); Post-Graduate Student, Moscow Aviation Institute (National Research University)
i.kutnik@gctc.ru

Petr A. Saburov
Head of Department, Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center (*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
p.saburov@gctc.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 629.786 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_93

ПОДГОТОВКА КОСМОНАВТОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И.В. Вагнер
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2615-7474

В.И. Васильев
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8775-657X

Е.В. Дедкова
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5604-2571

В.Е. Фокин
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3147-8686

Е.С. Юрченко
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-0618-3373

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *В период с 18 апреля по 22 октября 2020 года на борту российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) работала шестьдесят третья основная экспедиция МКС-63 в составе командира А.А. Иванишина и бортинженера И.В. Вагнера. В ходе экспедиции реализован большой объем научно-прикладных космических экспериментов (КЭ). В статье рассматриваются особенности проведения подготовки космонавтов к выполнению визуально-инструментальных измерений (ВИН) с борта РС МКС, а также основные технические средства, используемые при подготовке космонавтов по данному направлению и особенности их применения.*

Методы. *Ряд КЭ программы выполнялись с использованием методов визуально-инструментальных наблюдений (ВИН), которые требуют специальной и достаточно объемной подготовки. ВИН поверхности Земли включают в себя: операции поиска, обнаружения и наблюдения объектов невооруженным глазом и их регистрацию с помощью оптических средств. Данные операции нередко вызывают трудности у оператора, находящегося в своем первом космическом полете. Это выдвигает повышенные требования к подготовке космонавтов по данному направлению их профессиональной деятельности. Прежде всего они заключаются в необходимости теоретической подготовки, а также проведения практических занятий и тренировок с использованием специализированных тренажеров, моделирующих визуальную обстановку в условиях полёта на МКС и полетов на аэровизуальные наблюдения тестовых участков суши и моря.*

Результаты. *С развитием информационных технологий появилась возможность создания систем визуализации высокого разрешения с применением специализированных эффектов (облачность, засветка, блики и т.п.) для имитации условий наблюдения с борта РС МКС. На основе этих технологий был разработан и введен в строй «Тренажер ВИН». Его применение в процессе подготовки позволило существенно расширить обучающие свойства технических средств подготовки космонавтов и обеспечить подготовку космонавтов к выполнению ВИН на высоком профессиональном уровне. После подготовки космонавтов на «Тренажере ВИН» следующим этапом является отработка навыков ВИН в полетах на самолете-лаборатории (СЛ) Ту-134ЛК, который как тренажер позволяет проводить подготовку космонавтов к выполнению операций ВИН в условиях, приближенных к реальным условиям космического полета.*

Выводы. *Данный подход к подготовке космонавтов в значительной степени способствует устойчивой работе экипажа на борту РС МКС и позволяет достичь быстрой адаптации к условиям космического полета. Анализ деятельности экипажа МКС-63 показал эффективность наземной подготовки к выполнению ВИН по разработанным программам и методикам с применением стенда «Тренажер ВИН» и СЛ Ту-134ЛК.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Подготовка космонавтов, визуально-инструментальные наблюдения, земная поверхность, космический полет, тренажеры.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Вагнер И.В., Васильев В.И., Дедкова Е.В., Фокин В.Е., Юрченко Е.С. Подготовка космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 93–98. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_93.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

TRAINING OF COSMONAUTS FOR EXECUTION VISUAL AND INSTRUMENTAL OBSERVATIONS EARTH SURFACE

Ivan V. Wagner
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2615-7474

Valery I. Vasiliev
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8775-657X

Ekaterina V. Dedkova
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5604-2571

Valery E. Fokin
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3147-8686

Ekaterina S. Yurchenko
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-0618-3373

Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star City, Russia

ABSTRACT

Object. *The crew of the 63rd long-term expedition (ISS-63), consisting of A.A. Ivanishin (commander) and I.V. Wagner (flight engineer) worked on board the ISS RS from April 18 to October 22, 2020. During the expedition, a large amount of scientific and applied space experiments (SE) were implemented. A number of SE programs were carried out using the methods of visual and instrumental observations (VIOs), which require special and sufficiently extensive training. The article examines the features of training cosmonauts to perform VIOs from the ISS RS, as well as the main technical means used for this purpose and the features of their application.*

Methods. *Observations of the Earth's surface include: operations of searching, detecting and observing objects with the naked eye and their registration using optical means. These operations often cause difficulties for the operator during his first space flight. This puts forward heightened requirements for the training in this area of cosmonauts' professional activity. First of all, the requirements are in the need for theoretical training, as well as for practical exercises and trainings using special-purpose simulators that simulate the visual environment during flight to the ISS and flying laboratories.*

Findings. *With the development of information technologies, it became possible to create high-resolution visualization systems using specialized effects (cloudiness, flare, glare, etc.) to simulate observation conditions from the ISS RS. On the basis of these technologies, the "Trenajor VIN" was developed and put into operation. [1]..*

Conclusions. *Its use in the training process made it possible to expand the teaching properties of the technical means intended for training cosmonauts to perform VIOs at a high professional level.*

KEYWORDS

Training of cosmonauts, visual-instrumental observations, earth's surface, space flight, simulators.

FOR CITATION

Wagner I.V., Vasiliev V.I., Dedkova E.V., Fokin V.E., Yurchenko E.S. Training of Cosmonauts for Execution Visual and Instrumental Observations Earth Surface. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 93–98. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_93 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

В ходе экспедиции МКС-63, продолжавшейся 195 суток, экипажем было выполнено 47 экспериментов, из них 4 без участия экипажа. Некоторые эксперименты, особенно связанные с наблюдениями, выполнялись в личное время. Таким образом, общее время, затраченное на выполнение всех экспериментов, составило почти 462 ч. Причем около 60 % времени или свыше 430 сеансов составили эксперименты, направленные на изучение природных и антропогенных объектов, процессов, происходящих в атмосфере, на земной и океанической поверхностях. Увеличение объемов таких исследований на МКС выдвигает повышенные требования к подготовке экипажей МКС по данному направлению на всех этапах подготовки к космическому полету. Прежде всего они заключаются в необходимости теоретической подготовки, а также проведения практических занятий и тренировок с применением информационных ресурсов специализированных тренажеров, моделирующих визуальную обстановку в условиях полёта на РС МКС [1] и полетов на аэровизуальные наблюдения тестовых участков суши и моря с использованием

специальных самолетов-лабораторий (СЛ), на которых прививаются и отрабатываются практические навыки и умения выполнения ВИН [2].

Особенности проведения ВИН с борта МКС

Процесс выполнения ВИН с борта пилотируемого космического аппарата (ПКА) состоит из операций поиска, обнаружения и наблюдения объектов подстилающей поверхности как невооруженным взглядом, так и с помощью оптических средств, расширяющих возможности зрительного анализатора космонавта, а также регистрации их изображений [3]. Наибольшие трудности при выполнении задач, связанных с ВИН, космонавты испытывают на начальном этапе в первом космическом полете.

Поиск объекта, находящегося на земной поверхности, представляет достаточно сложную задачу. Космонавт при высоте полета орбитального комплекса 400 км, имея огромное информационное пространство на поверхности Земли (до 1 млн км^2), должен найти конкретный объект, используя ориентиры и реперы его расположения.

После поиска и обнаружения объекта необходимо получить его изображение. Особую сложность вызывает поиск объекта в видоискателе фотоаппарата. При этом время пролета над объектом с момента его появления и до момента ухода из поля зрения составляет 1 минуту. Нередко для практического изучения поверхности Земли и выработки навыков уверенного ориентирования требуется значительный период времени, доходящий до двух месяцев от начала полета. Период адаптации к ориентированию на местности зависит в большой степени от уровня подготовленности и интереса к географии как предмету.

На качество проведения ВИН с борта ПКА оказывает влияние ряд факторов:

- баллистические условия полета, «бег» подстилающей поверхности;
- свето-теневая обстановка на орбите;
- наличие яркостного стимула-помехи (блик);
- атмосферная дымка;
- облачность любого типа;
- невесомость;
- резкое уменьшение угла поля зрения при переходе от наблюдения через иллюминатор к наблюдению с помощью средств регистрации;
- наличие в поле зрения элементов конструкции модулей орбитальной станции.

Стенд-тренажер для подготовки космонавтов к выполнению ВИН

Минимизация сроков выработки навыков ориентирования и выполнения ВИН на высоком профессиональном уровне предполагает проведение предполетной подготовки космонавтов с применением соответствующих технических средств подготовки космонавтов (ТСПК). Одним из путей решения данной задачи является создание таких тренажных средств на основе использования современных цифровых (компьютерных) технологий.

В 2013 году в ЦПК в штатную эксплуатацию введен специализированный стенд «Тренажер ВИН», обеспечивающий подготовку космонавтов для решения задач визуально-инструментальных наблюдений и мониторинга Земли с борта РС МКС. Тренажер базируется на имитации внешней визуальной обстановки и позволяет отображать цифровую визуальную модель Земли [1]. При разработке «Тренажера ВИН» максимально учитывались факторы, влияющие на выполнение ВИН с борта РС МКС.

Структурно «Тренажер ВИН» представляет собой три функциональные зоны, объединенные единым информационным пространством: зона тренировки, лекционная зона и методическая зона.

Для отработки задач визуальных наблюдений установлены макеты иллюминаторов. Реализована возможность наложения облачности и дымки разного уровня таким образом, что оператор может регистрировать параллактическое смещение облаков относительно земной поверхности.

Тренажер позволяет решать следующие задачи:

- подготовка кандидатов в космонавты и космонавтов к проведению мониторинга земной поверхности;
- отработка профессиональных навыков у космонавтов по обнаружению и дешифрированию наблюдаемых в полете объектов;

- дублирование и корректировка реальной работы экипажа на орбите в процессе проведения научно-прикладных исследований и экспериментов;
- обучение космонавтов методам наблюдения и регистрации заданных объектов с помощью научной и специальной аппаратуры;
- привитие навыков по отработке и экспресс-анализу полученной информации на бортовом ПК.

Для формирования устойчивого навыка самостоятельного выполнения операций ВИН была разработана циклограмма операций на тренажере, идентичная работам космонавта на борту МКС [3].

В рамках последующих модернизаций «Тренажера ВИН» были произведены:

- модернизация цифровой визуальной модели (ЦВМ) Земли;
- доработка специализированного программного обеспечения (СПО);
- расширение возможностей имитации стихийных бедствий, таких как пожары и вулканы (различной величины и направленности дымового шлейфа);
- добавление возможности наложения облачности и дымки разного уровня плотности;
- конструктивные доработки самого стенда.

Модернизация ЦВМ Земли заключалась в:

1) замене текстуры дневной поверхности Земли летнего периода. Новая текстура обладает более естественной цветопередачей и пространственным разрешением 15–20 м на пиксель;

2) замене текстуры дневной поверхности Земли зимнего периода. Текстура дневной поверхности Земли зимнего периода выполнена в виде мозаики монохромных черно-белых изображений и охватывает площадь около 17 млн км^2, заключенную между 35-й и 60-й параллелями северной широты и 15-м и 170-м меридианами восточной долготы и включает в себя южную часть территории РФ и сопредельные страны Европы и Азии. Её исходное пространственное разрешение составляет 60 м на пиксель.

Тренировки с использованием «Тренажера ВИН» оказались во многом полезными, особенно для наработки ориентиров, которые потом применяются на практике. Изображение земной поверхности достаточно близко к реальному. Постепенно нарабатывается понимание, как выглядит объект. Отработанная методика поиска объекта по ориентирам применяется космонавтом для самостоятельного поиска новых объектов.

После подготовки на «Тренажере ВИН» следующим этапом являются привитие и отработка навыков ВИН в полетах на СЛ.

Самолет-лаборатория Ту-134ЛК

Самолет Ту-134ЛК представляет собой летающую лабораторию для отработки практических навыков оператора-наблюдателя в приближенных к космическим условиях полета. Внутри фюзеляжа самолета расположены пассажирский салон и две зоны лабораторного отсека, в которых размещено несколько рабочих мест операторов [2].

На самолёте Ту-134ЛК для обеспечения визуального обзора земной поверхности установлен направленный в надир прецизионный иллюминатор, диаметром 320 мм. Для решения задач перспективных ВИН имеются боковые прецизионные иллюминаторы.

Для подготовки космонавтов к выполнению операций ВИН используются оптические средства и цифровые фотоаппараты.

В процессе выполнения тренировочных полетов на СЛ космонавты и кандидаты в космонавты приобретают и совершенствуют навыки и умения по поиску, обнаружению, распознаванию, идентификации и регистрации наземных, морских и воздушных объектов, процессов и явлений наблюдения в условиях, приближенных к космическому полету, а также приобретают и поддерживают навыки пространственной ориентации визуально и с применением навигационных систем. В соответствии с наклонением орбиты МКС все рекомендованные районы проведения учебно-тренировочных полетов (УТП) расположены на территории России между 40 и 65 градусами северной широты.

Сравнительный анализ параметров полета ПКА и СЛ показывает, что полной адекватности условий тренировочного полета условиям орбитальной операции добиться невозможно. Однако достаточная для выработки навыков адекватность может быть обеспечена по ряду важных параметров.

Выбор высоты и скорости полета СЛ позволяет воспроизвести закон изменения угловой скорости линии визирования и некоторые другие параметры рабочей зоны. Из допустимых для СЛ диапазонов высоты **H** и скорости полета **W** для отработки задач ВИН Земли выбираются такие их значения, при которых отношения **W/H** СЛ будут примерно равны отношениям орбитальных параметров $\mathbf{V_{орб}/H_{орб}}$ ПКА.

В этом случае скорость «бега» подстилающей поверхности в надирном иллюминаторе СЛ будет примерно равна таковой в иллюминаторе ПКА, что является конечной целью моделирования внешних условий космического полета в ходе УТП. В табл. 1 приведены расчетные данные по выбору высоты **H** и скорости учебно-тренировочного полета **W** на СЛ, необходимые для моделирования условий, подобных условиям визуальных наблюдений Земли с борта ПКА, летящего на высотах от 350 до 450 км. Для СЛ это условие выполняется при полете на высоте 10 км со скоростью 691 км/час (табл. 1). При этом для обнаружения на земле объектов, находящихся под углом 45˚, радиус поля обзора должен составлять 10 км.

Таблица 1 / Table 1

Летные данные для определения путевой скорости полета СЛ Ту-134ЛК в процессе ВИН Земли

Flight data for determining the ground speed of the Tu-134LK laboratory aircraft in the process of visual and instrumental observations of the Earth

Полет ПКА (орбита круговая)			Полет СЛ (в земной атмосфере)		
высота орбиты, $H_{орб}$, км	орбитальная скорость, $V_{орб}$, км/ч	$V_{орб}/H_{орб}$	высота полета, *H*, *км*	скорость, полета, *W*, км/ч	*W/H*
200	28 062	140,3	3	421	140,3
250	27 900	111,6	5	558	111,6
300	27 810	92,7	7	649	92,7
350	27 720	79,2	9	713	79,2
400	27 630	69,1	10	691	69,1
450	27 504	61,1	11	672	61,1

В сводной табл. 2 представлены основные группы объектов наблюдений для различных маршрутов по территории России. Трасса маршрута выбирается исходя из условия наблюдения максимально возможного количества объектов и участков природных и антропогенных ландшафтов в интересах научных экспериментов «Ураган», «Дубрава» и «Сценарий» на территории России. В зависимости от маршрута УТП в индивидуальных заданиях для космонавтов делается основной упор на конкретные объекты, характерные для данного региона.

Таблица 2 / Table 2

Основные объекты наблюдений

The main objects of observation

Объекты наблюдений	Юг Европейской части России, %	Центрально-европейская часть России, %	Центральная Сибирь, Алтай, %	Дальний Восток, Камчатка, %
Крупные города и промышленные объекты	45	50	47	39
Леса и сельскохозяйственные угодья	22	29	17	13
Объекты гидрографии	15	14	16	12
Горные системы и вулканы	10	0	16	32
Природные процессы и явления	8	7	4	4

В реальном космическом полете кроме этих объектов космонавты выполняют наблюдения и фотосъемку ночных городов, процессов и явлений в атмосфере (циклоны, серебристые облака, полярные сияния и т.п.) и на поверхности Мирового океана, природные и техногенные катастрофы, используя и применяя навыки и умения, полученные во время УТП.

Тренировки на СЛ позволяют получить неоценимый опыт работы с фотоаппаратурой, когда фотографирование подстилающей поверхности выполняется в момент движения. Учебно-тренировочные полеты на СЛ предоставляют возможность уверенно запоминать объекты, наблюдаемые на территории РФ. В результате складывается понимание территории, позволяющее надежно ориентироваться.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

На данный момент система подготовки космонавтов к выполнению ВИН с борта МКС представляет собой достаточно отработанный учебно-тренировочный процесс, ориентированный на освоение космонавтами теоретических основ экспериментальных исследований по актуальным проблемам наук о Земле, изучение физико-географических особенностей территорий и приобретение необходимых навыков и умений по поиску и опознаванию изучаемых объектов и практическому применению бортовой аппаратуры дистанционного зондирования Земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Такой подход к подготовке космонавтов в значительной степени способствует устойчивой работе экипажа на борту РС МКС и позволяет достичь быстрой адаптации к условиям космического полета. Анализ деятельности экипажа МКС-63 показал эффективность наземной подготовки к выполнению ВИН по разработанным программам и методикам с применением стенда «Тренажер ВИН» и СЛ Ту-134ЛК.

Литература / References

1. Kuristyn A.A., Vlasov P.N., Vasiliev V.I., Fokin V.E., Kharlamov M.M., Kutnik I.V., Chub N.A., Vasilieva N.V. Innovative solutions for designing a training simulator for visual instrumental observations from the ISS. IAF Human Spaceflight Symposium (B3) Flight & Ground Operations of HSF Systems – Joint Session of the IAF Human Spaceflight and IAF Space Operations Symposia), IAC-20, B3,4-B6.4,6,x58610.

2. Vasiliev V.I., Vlasov P.N., Kud-Sverchkov S.V., Kuristyn A.A., Kharlamov M.M., Fokin V.E. Experience in Training Cosmonauts for Visual Instrumental Observations from the ISS Using the Flying Laboratory. 70nd International Astronautical Congress – 2019 Washington D.C., USA Paper IAC-19,B3.5.4x49668.

3. Vasiliev V.I., Vlasov P.N., Kud-Sverchkov S.V., Kuristyn A.A., Kharlamov M.M., Fokin V.E. Experience in Training Cosmonauts for Visual Instrumental Observations from the ISS Using the Flying Laboratory. 70nd International Astronautical Congress – 2019 Washington D.C., USA Paper IAC-19,B3.5.4x49668.

Информация об авторах / Information about the authors

Васильев Валерий Иванович
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
V.Vasilev@gctc.ru

Valery I. Vasiliev
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
V.Vasilev@gctc.ru

Вагнер Иван Викторович
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
I.Vagner@gctc.ru

Ivan V. Vagner
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
I.Vagner@gctc.ru

Дедкова Екатерина Владимировна
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
E.Dedkova@gctc.ru

Ekaterina V. Dedkova
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
E.Dedkova@gctc.ru

Юрченко Екатерина Сергеевна
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
E.Yurchenko@gctc.ru

Ekaterina S. Yurchenko
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
E.Yurchenko@gctc.ru

Фокин Валерий Евгеньевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
V.Fokin@gctc.ru

Valery E. Fokin
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
V.Fokin@gctc.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 629.78:621.865.8 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_99

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЛАБОРАТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОСМОНАВТОВ С РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ДЛЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

В.А. Дикарев
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4534-7417

Ю.С. Чеботарев
ORCID: https://orcid.org 0000-0002-9369-7411

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Решение задач в длительных пилотируемых космических полетах (ПКП), в частности в рамках исследования и освоения Луны, не представляется возможным без использования робототехнических систем (РТС). Технологии взаимодействия человека и РТС исследовались в космических экспериментах (КЭ) «Контур-2», «Робонавт-2», «Испытатель» и пр. В действительности компоненты взаимодействия человека и РТС могут находиться в бинарных системных отношениях: конфликт, безразличие и сотрудничество. Конфликт компонентов взаимодействия человека и РТС характеризуется снижением целевой функции полезности эргатической системы (ЭС) «человек – РТС», безразличие – её неизменностью, сотрудничество – её повышением. Безусловно, в ЭС «человек – РТС» между её компонентами предпочтительно разрешать конфликт, устранять безразличие и стремиться к сотрудничеству. Ранее исследования взаимодействия человека и РТС в рамках проведения КЭ с учетом такого рода системных бинарных отношений между компонентами ЭС «человек – РТС» в явном виде не проводились.*

Методы и исследования. *Одной из ключевых особенностей коллаборативного взаимодействия человека с РТС является выполнение совместных операций человека с РТС, которые по своей сути являются спаренными или бигеминальными. Исследования взаимодействия человека с РТС с позиции достижимости степени бегиминальности операций человека и робота в явном виде также не проводились. Очевидно, что уровень коллаборативного взаимодействия человека и РТС может определяться необходимостью и достаточностью достижимости бигеминальности операторской деятельности в длительных ПКП.*

Результаты. *Результаты исследования наряду с позитивными отношениями (сотрудничества) могут содержать нежелательные отношения (конфликт, безразличие) компонентов взаимодействия человека и РТС. В робототехнике становится применимым более устойчивое понятие «коллаборативные роботы», которые создаются и применяются для выполнения совместной операционной работы робота и человека, т.е. в основе которых заложено операционное взаимодействие робота и человека. В свою очередь, под «коллаборацией» в большей части понимается как сотрудничество при выполнении совместной деятельности. С учетом этого предполагается целесообразным позитивные отношения (сотрудничества) между компонентами взаимодействия человека и РТС считать как коллаборативное взаимодействие человека с РТС. Это позволит акцентировать внимание на достижении коллаборативного взаимодействия человека и РТС как бесконфликтного, исключающего системные бинарные отношения – конфликт и безразличие. Таким образом, коллаборативное взаимодействие человека и РТС с точки зрения бинарных системных отношений – сотрудничество между взаимосвязанными компонентами ЭС «человек – РТС». Одними из способов обоснования необходимости и достаточности достижимости бигеминальности операторской деятельности космонавтов лунных экспедиций могут стать специальные экспериментальные исследования на моделирующих комплексах до и после воздействия невесомости и других неблагоприятных факторов длительных ПКП на МКС. Применительно к лунным экспедициям в первую очередь требуется рассмотреть модели и механизмы коллаборативного взаимодействия космонавта-оператора и РТС, отражающие этапа отработки технологий РТС в соответствии с необходимостью и достаточностью достижения степени бигеминальности операторской деятельности в длительных ПКП.*

Выводы. *Проведенные исследования могут стать основой для адаптации методов структурно-параметрического поиска решений на стадии предварительного проектирования компонентов коллаборативного взаимодействия космонавтов и РТС с возможностями их экспериментальной отработки на моделирующих и натурных комплексах ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», включая универсальный компьютерный стенд робототехнических систем.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Коллаборативное взаимодействие, космонавты, робототехнические системы, пилотируемые космические полеты

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Дикарев В.А., Чеботарев Ю.С. Разработка элементов коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 99–103. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_99.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

DEVELOPMENT OF INTERACTION ELEMENTS OF COLLABORATIVE INTERACTION OF ASTRONAUTS WITH ROBOTIC SYSTEMS FOR MANNED SPACE FLIGHTS

Vladimir A. Dikarev
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4534-7417

Yury S. Chebotarev
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9369-7411

Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star City, Russia

ABSTRACT

Object. *The solution of problems in long-term piloted space flights (PSF), in particular in the framework of the exploration and development of the Moon, is not possible without the use of robotic systems (RS). Technologies of human-RS interaction were studied in the space experiments (SE) "Kontur-2", "Robonaut-2", "Tester", etc. In fact, the components of human and RS interaction can be in binary system relations: conflict, indifference and cooperation. The conflict of the components of human-RS interaction is characterized by a decrease in the target utility function of the ergatic system (ES) " human – RS", indifference – its immutability, cooperation-its increase. Of course, in the ES human – RS, it is preferable to resolve the conflict between its components, eliminate indifference and strive for cooperation. Previously, studies of human-RTS interaction within the framework of the SE, taking into account this kind of system binary relations between the components of the "human – RTS" ES, were not explicitly carried out.*

Methods. *Therefore, the results of the study, along with positive relationships (cooperation), may contain undesirable relationships (conflict, indifference) of the components of human-RTS interaction. In robotics, a more stable concept of "collaborative robots" is becoming applicable, which are created and used to perform joint operational work of a robot and a person, i.e., which are based on the operational interaction of a robot and a person. In turn, "collaboration" is mostly understood as cooperation in the implementation of joint activities. Taking this into account, it is assumed that it is expedient to consider positive relations (cooperation) between the components of human interaction and the RS as a collaborative interaction of a person with the RS*

Findings. *Focus on achieving collaborative interaction between a person and the RS as a conflict – free, excluding systemic binary relations-conflict and indifference. Thus, the collaborative interaction of a person and an RS from the point of view of binary system relations is a cooperation between the interrelated components of the ES " human – RS". One of the key features of the collaborative interaction of a person with an RS is the implementation of joint operations of a person with an RS, which are essentially paired or bi-terminal. Researches of human interaction with RS from the point of view of the achievability of the degree of beginimality of human and robot operations in an explicit form have also not been conducted. It is obvious that the level of collaborative interaction between a person and RS can be determined by the necessity and sufficiency of the achievability of the bigeminality of operational activity in long-term control panels. One of the ways to substantiate the necessity and sufficiency of the achievability of the bigeminality of the operator activity of lunar expedition cosmonauts can be special experimental studies on modeling complexes before and after the impact of weightlessness and other unfavorable factors of long-term control panels on the ISS. With regard to lunar expeditions, first of all, it is necessary to consider models and mechanisms of collaborative interaction between the cosmonaut-operator and the RS, reflecting the stages of development of RS technologies in accordance with the need and sufficiency of achieving the degree of bigeminality of operator activity in long-term control panels.*

Conclusions. T*he research carried out can form the basis for the adaptation of methods of structural and parametric search for solutions at the stage of preliminary design of components of collaborative interaction between astronauts and RS with the possibilities of their experimental testing on modeling and full-scale complexes of the Gagarin Research Institute of the Central Research Institute, including a universal computer stand for robotic systems.*

KEYWORDS

Collaborative interaction, astronauts, robotic systems, manned space flights.

FOR CITATION

Dikarev V.A., Chebotarev Yu.S. Development of Interaction Elements of Collaborative Interaction of Astronauts with Robotic Systems for Manned Space Flights. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 99–103. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_99 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Решение задач в длительных пилотируемых космических полетах (ПКП), в частности в рамках исследования и освоения Луны, не представляется возможным без использования робототехнических систем (РТС). Это обусловлено не только необходимостью делегирования ряда тяжелых, рутинных и задач визуальной инспекции космических объектов задач роботам (выполнение этих задач занимает более 50% времени работы космонавтов при внекорабельной деятельности на МКС), но и из соображений обеспечения безопасности экипажей. Технологии взаимодействия человека и РТС, примерами которых являются удаленное управление РТС, распознавание речи космонавта, организация единого для человека и РТС информационного поля, исследовались

в российских космических экспериментах (КЭ) «Контур-2», «Робонавт-2», «Испытатель» и др.

Одним из примеров успешного создания и использования контура коллаборативного взаимодействия «человек – РТС», является мобильная система обслуживания «MSS» (рис. 1) [1, 5]. Особенностью функционирования «MSS» является возможность манипулятора перемещаться по рельсам, расположенным на ферменных конструкциях МКС, с помощью тележки мобильного транспортера, при этом для нашего исследования важна возможность в данной системе «человек – РТС» совместной работы космонавта при внекорабельной деятельности и манипуляционной РТС [4].

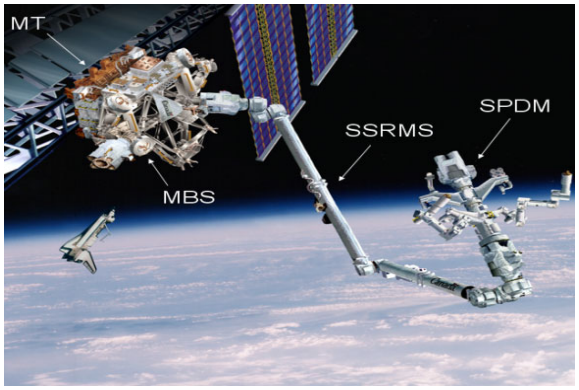


Рис. 1. Мобильная система обслуживания (MSS)
Fig. 1. Mobile Service System (MSS)

В действительности, компоненты взаимодействия человека и РТС могут находиться в бинарных системных отношениях: конфликт, безразличие и сотрудничество. Конфликт компонентов взаимодействия человека и РТС характеризуется снижением целевой функции полезности эргатической системы (ЭС) «человек – РТС», безразличие – её неизменностью, сотрудничество – её повышением. Целью исследования эргатической системы «человек – РТС» и является разработка методов для достижения между компонентами системы сотрудничества путем разрешения конфликта и устранения безразличия. Формализация отношений ЭС и среды можно описать следующим образом. Действия Δ_S и Δ_Q, соответственно системы S и среды Q, могут находиться в следующих их отношениях:

1) если $q(\Delta_Q, \Delta_S) < q(\Delta_Q, \overline{\Delta}_S)$, то $\Delta_S K \Delta_Q$;
2) если $q(\Delta_Q, \Delta_S) > q(\Delta_Q, \overline{\Delta}_S)$, то $\Delta_S M \Delta_Q$;
3) если $q(\Delta_Q, \Delta_S) = q(\Delta_Q, \overline{\Delta}_S)$, то $\Delta_S L \Delta_Q$,

где q – функция полезности Q; $\overline{\Delta}_S$ – отсутствие действия системы S; K, M и L – конфликт, сотрудничество и безразличие по функции q [2].

Ранее исследования взаимодействия человека и РТС в рамках проведения КЭ с учетом такого рода системных бинарных отношений между компонентами ЭС «человек – РТС» в явном виде не проводились. Поэтому результаты исследования наряду с позитивными отношениями (сотрудничества) могут содержать нежелательные отношения компонентов взаимодействия человека и РТС (конфликт, безразличие), ведущие к рассогласованию компонентов системы либо приводящие к желаемой цели с запредельными значениями надежности, точности или других параметров. С точки зрения бинарных отношений предлагается рассмотреть проблемы обеспечения эффективного взаимодействия космонавта и РТС. Для этого необходимо разделение функций между человеком и роботом: по задачам (с учетом различия космических программ), по способам управления роботом, по действиям в штатных и нештатных ситуациях. Важное значение имеет и определение необходимой степени интеллектуальной организации робота (то есть определение его внутренней модели внешнего мира), проблемы адаптации человека и робота (восприятие сигналов рецепторами человека, эргономическая и антропометрическая совместимость робота и человека, двигательные управления роботом с помощью экзоскелетонов), определение границ применения робота вместо космонавта; определение рациональных способов управления роботами (копирующий – без ЭВМ, полуавтоматический – ЭВМ рассчитывает управление приводами, супервизорный – ЭВМ планирует траектории движения и управляет движением робота), проблемы безопасного взаимодействия человека и робота. Таким образом, мы убеждаемся, что перечень проблемных вопросов обеспечения эффективного взаимодействия космонавта и РТС не исчерпан и требует выработки решений для его устранения.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

В робототехнике становится применимым более устойчивое понятие «коллаборативные роботы», которые создаются и применяются для выполнения совместной операционной работы робота и человека, т.е. в основе которых заложено операционное взаимодействие робота и человека. В свою очередь, под «коллаборацией» в большей части понимается как сотрудничество при выполнении совместной деятельности. С учетом этого предполагается целесообразным позитивные отношения (сотрудничества) между компонентами взаимодействия человека и РТС считать как коллаборативное взаимодействие человека с РТС. Это позволит акцентировать внимание на достижении коллаборативного взаимодействия человека и РТС как бесконфликтного, исключающего системные бинарные отношения – конфликт и безразличие. Таким образом, коллаборативное взаимодействие человека и РТС с точки зрения бинарных системных отношений – сотрудничество между взаимосвязанными компонентами ЭС «человек – РТС».

Одной из ключевых особенностей коллаборативного взаимодействия человека с РТС является выполнение совместных операций человека с РТС, которые по своей сути являются спаренными или бигеминальными. Исследования взаимодействия человека с РТС с позиции достижимости степени бигеминальности операций человека и робота в явном виде также не проводились. Очевидно, что уровень коллаборативного взаимодействия человека и РТС может определяться необходимостью и достаточностью достижимости бигеминальности операторской деятельности в длительных ПКП. Одними из способов обоснования необходимости и достаточности достижимости бигеминальности операторской деятельности космонавтов лунных экспедиций могут стать специальные экспериментальные исследования на моделирующих комплексах до и после воздействия невесомости и других неблагоприятных факторов длительных ПКП на МКС. Базовым стендом для проведения данных экспериментальных исследований в ближайшей перспективе планируется к использованию универсальный компьютерный стенд робототехнических систем (УКС РТС) Центра подготовки космонавтов. УКС РТС представляет собой комплекс (рис. 2), включающий четыре компьютерных рабочих места, два сервера, экран коллективного пользования с проектором, задающее устройство копирующего типа (ЗУКТ) для управления физическим роботом или его 3-D моделью в виртуальной среде с очками виртуальной реальности, а также автоматизированное мобильное рабочее место с мобильным комплектом ноутбуков (2 шт.) и ЗУКТ облегченной конфигурации с шлемом виртуальной реальности [3].

С помощью УКС РТС проводится моделирование выполнения полетных технологических операций роботом в виртуальной среде при копирующем управлении космонавтом-оператором с помощью ЗУКТ, а также возможно управление реальным роботом (например, АРТС «Федор»).

Рис. 2. Универсальный компьютерный стенд робототехнических систем

Fig. 2. Universal computer stand of robotic systems

Применительно к лунным экспедициям в первую очередь требуется рассмотреть модели и механизмы коллаборативного взаимодействия космонавта-оператора и РТС, отражающие этапа отработки технологий РТС в соответствии с необходимостью и достаточностью достижения степени бигеминальности операторской деятельности в длительных ПКП. Они станут основой для адаптации методов структурно-параметрического поиска решений на стадии предварительного проектирования компонентов коллаборативного взаимодействия космонавтов и РТС с возможностями их экспериментальной отработки на моделирующих и натурных комплексах ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», включая универсальный компьютерный стенд робототехнических систем.

Литература

1. Алпатов А.П., Белоножко П.А., Белоножко П.П., Кузьмина Л.К., Тарасов С.В., Фоков А.А. Перспективы использования и особенности исследования динамики космических манипуляторов с упругими конструктивными // Техническая механика. 2012. № 1. С. 82–93.

2. Дикарев В.А. Автоматизация тренажной подготовки операторов радиоэлектронных объектов. М.: ИПРЖР, 2002. 166 с.

3. Чеботарев Ю.С. Использование универсального робототехнического комплекса в интересах развития перспективных роботов поддержки космонавтов в космическом полете // «Орбита молодежи» и перспективы развития российской космонавтики: материалы VI Всерос. молодежной науч.-практ. конф. Пермь, 2020. С. 368–370.

4. Dmitriev V.N., Burdin B.V., Dovzhenko V.A., Chebotarev Yu.S. Application of Space Robotic Systems to Support Cosmonauts' Activity for the Implementation of Existing and Future Space Programs. Proc. of the Int. Sci. and Techn. Conf. «Extreme Robotics». St. Petersburg, Gangut Publ., 2019, pp. 360–366.

5. Ower C., Poynter L., Keenan A. The role of dexterous robotics in ongoing maintenance of the ISS. 63rd International Astronautical Congress 2012 (IAC 2012), Naples, Italy, 1–5 October 2012, vo. 5 of 14: IAC-12.B3.4-B6.5.6.

References

1. Alpatov A.P., Belonozhko P.A., Belonozhko P.P., Kuz'mina L.K., Tarasov S.V., Fokov A.A. Prospects for use and features of the study of the dynamics of space manipulators with elastic constructive. *Tekhnicheskaya mekhanika*, 2012, no. 1, pp. 82–93 (in Russian).

2. Dikarev V.A. *Avtomatizatsiya trenazhnoi podgotovki operatorov radioelektronnykh ob"ektov [*Automation of training of operators of radio-electronic objects]. Moscow, 2002, 166 c. (in Russian).

3. Chebotarev Yu.S. The use of a universal robotic complex in the interests of the development of promising robots to support astronauts in space flight. In: *«Orbita molodezhi» i perspektivy razvitiya rossiiskoi kosmonavtiki: ma-terialy VI Vseros. molodezhnoi nauch.-prakt. konf.* [Proc. of 4th Russ. Sci. Conf. «"Orbit of Youth" and Prospects for the Development of Russian Cosmonautics»]. Perm', 2020, pp. 368–370 (in Russian).

4. Dmitriev V.N., Burdin B.V., Dovzhenko V.A., Chebotarev Yu.S. Application of Space Robotic Systems to Support Cosmonauts' Activity for the Implementation of Existing and Future Space Programs. Proc. of the Int. Sci. and Techn. Conf. «Extreme Robotics». St. Petersburg, Gangut Publ., 2019, pp. 360–366.

5. Ower C., Poynter L., Keenan A. The role of dexterous robotics in ongoing maintenance of the ISS. 63rd In. Astronautical Congress 2012 (IAC 2012), Naples, Italy, 1–5 October 2012, vo. 5 of 14: IAC-12.B3.4-B6.5.6.

Информация об авторах / Information about the authors

Дикарев Владимир Анатольевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
V.Dikarev@gctc.ru

Vladimir A. Dikarev
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
V.Dikarev@gctc.ru

Чеботарев Юрий Сергеевич
ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А.Гагарина»
(*141160, Московская область, Звездный городок*)
Y.Chebotarev@gctc.ru

Yury S. Chebotarev
Yu.A. Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center
(*Star City, Moscow Region, Russia, 141160*)
Y.Chebotarev@gctc.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 612.128 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_104

АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ ФАКТОРА ВИЛЛЕБРАНДА В КРОВИ КОСМОНАВТОВ ДО И ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Д.С. Кузичкин
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3015-7979

И.А. Ничипорук
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0118-3374

А.А. Маркин
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2402-6622

О.А. Журавлева
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3049-4983

Т.В. Журавлева
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4822-8672

Л.В. Вострикова
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9132-629X

А.Ю. Кочергин
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0993-6692

И.В. Заболотская
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0326-6560

Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Известно, что действие факторов космического полета на организм человека может приводить к повреждению, активации и развитию дисфункции эндотелия. Данный эффект в сочетании с наблюдающимися во время полета застойными явлениями в кровяном русле могут существенно повышать риск развития тромбофилических состояний вплоть до появления окклюзионных тромбозов. Одним из специфичных маркеров развития эндотелиальной дисфункции является фактор фон Виллебранда (ФВ). Плазменный уровень этого синтезируемого преимущественно эндотелиальными клетками гликопротеина повышается при повреждении и активации эндотелия. В плазме ФВ опосредует адгезию и агрегацию тромбоцитов, а также является апоферментом VIII фактора коагуляционного каскада, защищая его от протеолиза.*

Целью данной работы являлось исследование уровня ФВ в плазме крови при воздействии факторов космического полета.

Материалы и методы. *В исследовании принимали участие 15 космонавтов мужского пола в возрасте от 37 до 60 лет, совершивших орбитальные полеты продолжительностью от 115 до 205 суток. Взятие венозной крови осуществлялось в фоновом периоде за 30-45 суток до старта, а также на 1-е и 7-е сутки периода восстановления (ПВ). Концентрацию ФВ в цитратной плазме космонавтов определяли стандартным иммуноферментным методом. Оценка динамики изменений в ходе до- и послеполетных обследований выполнялась с использованием критерия Уилкоксона.*

Результаты. *Концентрация ФВ в плазме была статистически значимо повышена на 39,1% (p = 0,015) в 1-е сутки ПВ и на 35,9% (p = 0,031) к 7-м суткам ПВ. Вероятно, имело место повышение синтеза и выделения в кровоток ФВ при активации и повреждении эндотелия под воздействием факторов космического полета. Известно, что вазопрессин, уровень которого повышается в космическом полете, стимулирует высвобождение ФВ из эндотелиальных клеток в кровоток. Повышение уровня ФВ в плазме обычно приводит к усилению прокоагулянтного потенциала коагуляционного каскада и адгезивно-агрегативных свойств тромбоцитов, однако кофакторная активность и метаболизм ФВ в значительной мере определяются величиной градиента скорости между слоями ламинарного потока крови (скоростью сдвига). При небольшой скорости сдвига кофакторная активность ФВ низка. В условиях повышения скорости сдвига вследствие конформационных изменений молекулы тромбогенный потенциал ФВ возрастает, но при этом данный белок также становится более подвержен протеолизу.*

Выводы. *Таким образом, после завершения длительных космических полетов наблюдается повышенный относительно фоновых значений уровень фактора Виллебранда. Данный эффект может свидетельствовать об активации или повреждении эндотелиальных клеток, а также приводить к повышению адгезивно-агрегативного потенциала тромбоцитов.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Длительные космические полеты, фактор Виллебранда, плазма крови.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Кузичкин Д.С., Ничипорук И.А., Маркин А.А., Журавлева О.А., Журавлева Т.В., Вострикова Л.В., Кочергин А.Ю., Заболотская И.В. Анализ концентрации фактора Виллебранда в крови космонавтов до и после длительных космических полетов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 104–112. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_104.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что действие факторов космического полета на организм человека может приводить к повреждению, активации и развитию дисфункции эндотелия [18]. Показано, что количество циркулирующих в крови эндотелиальных клеток увеличивается через 2 месяца антиортостатической гипокинезии [12]. Выявлены признаки повреждения цитоскелета, повышения проницаемости клеточных мембран и снижения пролиферативной активности в культурах эндотелиальных клеток после пребывания в условиях орбитального полета [3]. Однако заключающаяся в регуляции агрегатного состояния крови функция эндотелия при воздействии факторов космического полета практически не исследовалась. Известно, что факторы космического полета могут приводить к повреждению кровеносных сосудов, влияют на систему регуляции агрегатного состояния крови [4], повышая риск развития тромбофилических состояний, а в некоторых случаях приводя к появлению окклюзионных тромбозов в условиях орбитального полета [17]. Нами был избран для исследований один из специфичных маркеров развития эндотелиальной дисфункции – фактор фон Виллебранда (ФВ). ФВ представляет собой мультимерный гликопротеин, присутствующий в плазме крови, эндотелиальных клетках, мегакариоцитах и тромбоцитах. ФВ постоянно секретируется в кровоток тельцами Вейбеля–Паладе эндотелиальных клеток и из α-гранул тромбоцитов при активации. Пул циркулирующего ФВ состоит из мультимеров различного размера, от нескольких димеров до высокомолекулярных мультимеров, которые содержат 11–20 димеров. Первые в основном служат переносчиками VIII фактора коагуляционного каскада, защищая его от протеолиза [25], а вторые опосредует адгезию и агрегацию тромбоцитов [24].

Целью данной работы являлось исследование уровня ФВ в плазме крови при воздействии факторов космического полета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 15 космонавтов мужского пола в возрасте от 37 до 60 лет, совершивших орбитальные полеты продолжительностью от 115 до 205 суток. Взятие венозной крови осуществлялось в фоновом периоде за 30-45 суток до старта, а также на первые и седьмые сутки периода восстановления. Забор крови осуществлялся в пробирку Vacuette фирмы Greinerbio со стандартным содержанием цитрата натрия (в соотношении 9 объемов крови к 1 объему 3,8% раствора цитрата натрия). Получение цитратной плазмы осуществлялось методом центрифугирования при 1500 g в течение 10 минут, после чего отбиралась бедная тромбоцитами фракция супернатанта. Концентрацию ФВ в полученной плазме определяли стандартным иммуноферментным методом. Оценка динамики изменений в ходе до- и послеполетных обследований выполнялась с использованием критерия Уилкоксона [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения концентрации ФВ находились в пределах референтного интервала. Лишь у троих космонавтов на первые сутки периода восстановления наблюдалось умеренное превышение его верхней границы (2 МЕ/мл [1]). В исследованной выборке концентрация ФВ в плазме была статистически значимо повышена на 39,1% (p = 0,015) в первые сутки после полета и на 35,9% (p = 0,031) к седьмым суткам периода восстановления.

Принимая во внимание, что ФВ преимущественно секретируется эндотелием, повышение его плазменного уровня может происходить вследствие повреждения эндотелия и выхода данного белка в кровоток [19]. У большинства исследованных космонавтов наблюдались кровоизлияния в виде петехий или подкожных экхимозов после завершения полетов.

Вероятно, повышение уровня синтеза и секреции ФВ наблюдается также и вследствие

воздействия механических и гуморальных стимулов на интактный эндотелий. Среди механических стимулов важнейшим является гидродинамическое давление, определяемое величиной прямо пропорциональной вязкости крови и градиенту скорости (скорости сдвига) между слоями ламинарного потока крови (напряжением сдвига) [21]. Преобразование механического стимула напряжения сдвига в биологические сигналы, контролирующие функции эндотелия, достигается за счет механотрансдукции [11].

Различные медиаторы стресса и воспаления влияют на высвобождение ФВ из эндотелиальных клеток. Интерлейкин-6 (IL-6) в комплексе с растворимым рецептором IL-6, IL-8 и фактором некроза опухоли-α (TNF-α) значительно стимулирует высвобождение ФВ из эндотелиальных телец Вейбеля–Паладе. IL-6 препятствует расщеплению ФВ под действием плазменной металлопротеиназы ADAMTS-13 [6]. Показано повышение плазменного уровня (TNF-α) и IL-8 во время полета, а также повышение концентрации IL-6 в плазме крови непосредственно после завершения экспедиции (+0 сутки) [9].

Известно, что вазопрессин, уровень которого повышается в космическом полете [13], стимулирует высвобождение ФВ из эндотелиальных телец Вейбеля–Паладе и существенно увеличивает уровни ФВ в плазме [15].

Повышение уровня ФВ в плазме обычно приводит к усилению прокоагулянтного потенциала коагуляционного каскада и адгезивно-агрегативных свойств тромбоцитов, однако кофакторная активность и метаболизм ФВ в значительной мере определяются величиной скорости сдвига кровотока в сосудах. ФВ существует в кровотоке в одной из двух конформаций – глобулярной и развернутой [22]. В условиях низких скоростей сдвига (например, в венах, где скорости сдвига составляют 15–200 $с^{-1}$, или в крупных артериях, где они составляют 300–800 $с^{-1}$) ФВ остается в глобулярной форме, которая скрывает связывание сайтов и не взаимодействует с циркулирующими тромбоцитами.

В случае повреждения сосуда и при высоких скоростях сдвига (например, в интактных мелких артериях и артериолах скорость сдвига составляет 450–1600 $с^{-1}$) молекула ФВ разворачивается и открывает сайты связывания, в частности, для гликопротеиновых Ib рецепторов тромбоцитов [19].

Распутываясь, ФВ сталкивается со своим антагонистом, ADAMTS-13 (дезинтегратор и металлопротеиназа с мотивом тромбоспондина первого типа, 13-й представитель) [23]. ADAMTS-13 циркулирует в кровотоке как активный фермент, но ФВ в глобулярной конформации остается устойчивым к протеолизу. Как только глобула ФВ разворачивается, открываются сайты связывания для ADAMTS-13. Последующее взаимодействие с ADAMTS-13 приводит к расщеплению мультимеров ФВ, что укорачивает мультимеры и снижает гемостатическую активность ФВ [14]. Этот процесс замедляется при потреблении протеазы ADAMTS-13 [7].

В модельных экспериментах на мелких животных показано, что интенсивность адгезии и агрегации тромбоцитов снижена после гипогравитационного и повышена после гипергравитационного воздействия [10].

Недавние исследования показали, что ФВ также участвует в процессах воспаления, связывая тромбоз и воспаление. Воспаление может спровоцировать тромбоз через ФВ-зависимый путь, который включает активацию эндотелия, секрецию ФВ в кровоток, активацию ФВ и взаимодействие с тромбоцитами и последующую адгезию тромбоцитов к стенке сосуда. Мультимеры ФВ и тромбоциты, прикрепленные к поврежденному и активированному эндотелию, могут служить местами рекрутирования лейкоцитов. В совокупности это предрасполагает к распространению воспалительного процесса [8, 16].

Следует отметить, что повышение уровня ФВ в плазме не приводит к повышению уровня фактора VIII и не влияет на интенсивность его расщепления протеином С, так как ФВ всегда присутствует в многократном избытке относительно уровня фактора VIII [2]. Однако, если имеет место активация тромбоцитов коллагеном в зоне повреждения эндотелия или ФВ в зонах высокого напряжения сдвига, активированные тромбоциты, высвобождая полифосфаты, способствуют инициации внутреннего пути (контактной фазы) коагуляционного каскада [20]. Ранее в нашей лаборатории были показаны статистически значимое ($p < 0,05$) повышение потенциальной активности внутреннего пути

коагуляционного каскада в выборке космонавтов и активация фибринообразования у некоторых космонавтов вплоть до седьмых суток периода восстановления [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, повышение уровня фактора Виллебранда в плазме крови относительно фоновых значений наблюдается как на первые, так и на седьмые сутки после завершения длительных космических полетов.

Данный эффект, вероятно, вызван повреждением и активацией эндотелиальных клеток механическими и гуморальными стимулами.

Не исключено, что повышение уровня фактора Виллебранда может приводить к повышению прокоагулянтной активности плазмы крови, повышению адгезивно-агрегативного потенциала тромбоцитов, особенно в случае изменения реологических характеристик кровотока в период реадаптации к наземным условиям.

Литература

1. Александрова Е.Н., Новиков А.А., Решетняк Т.М., Насонов Е.Л. Иммунологические маркеры антифосфолипидного синдрома // Научно-практическая ревматология. 2010. № 5. С. 67–74.

2. Долгов В. В., Свирин П. В. Лабораторная диагностика нарушений гемостаза. М.: Триада, 2005. 227с.

3. Капитонова М.Ю., Кузнецов С.Л., Фромминг Г.Р.А., Муид С., Нор-Ашикин, С. Отман М.Н.К., Шахир А.Р.М., Навави Х. Влияние факторов космического полета на морфофункциональные особенности эндотелиальных клеток // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2012. Т. 154, № 12. С. 776–771.

4. Кузичкин Д.С., Маркин А.А., Журавлева О.А., Колотева М.И., Вострикова Л.В., Глебова Т.М., Логинов В.И. Связь характера подкожных кровоизлияний с изменениями системы плазменного гемостаза у космонавтов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53, № 6. С. 38–41.

5. Реброва Р.Ю. Статистический анализ медицинских данных. М.: Медиа Сфера, 2006. 312 с.

6. Bernardo A., Ball C., Nolasco L., Choi H., Moake J.L., Dong J.F. Platelets adhered to endothelial cell-bound ultralarge von Willebrand factor strings support leukocyte tethering and rolling under high shear stress. *J. Thromb. Haemost.*, 2005, vol. 3, pp. 562–570.

7. Chang J.C. Sepsis and septic shock: endothelial molecular pathogenesis associated with vascular microthrombotic disease. *Thromb J*., 2019, vol. 17, p. 10.

8. Chen J., Chung D.W. Inflammation, von Willebrand factor, and ADAMTS13. *Blood*., 2018, vol. 132, pp. 141–147.

9. Crucian B.E., Zwart S.R., Mehta S., Uchakin P., Quiriarte H.D. et al. Plasma cytokine concentrations indicate that in vivo hormonal regulation of immunity is altered during long-duration spaceflight. *J Interferon Cytokine Res*., 2014, vol. 34(10), pp. 778–786.

10. Dai K., Wang Y., Yan R., Shi Q., Wang Z. et al.. Effects of microgravity and hypergravity on platelet functions. *Thromb Haemost*., 2009, vol. 101(5), pp. 902–910.

11. Davies P.F. Flow-mediated endothelial mechanotransduction. *Physiol Rev*., 1995, vol. 75, pp. 519–560.

12. Demiot C., Dignat-George F., Fortrat J.O., Sabatier F., Gharib C. et al. WISE 2005: chronic bed rest impairs microcirculatory endothelium in women. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*., 2007, vol. 293(5), pp. 3159–3164.

13. Grigor'ev A.I., Noskov V.B. Hormonal control of human hydratation status in space flight. *Ross Fiziol Zh Im I M Sechenova*. 2009, vol. 95(3), pp. 225–234.

14. Huisman B., Hoore M., Gompper G., Fedosov D.A. Modeling the cleavage of von Willebrand factor by ADAMTS13 protease in shear flow. *Med Eng Phys*., 2017, vol. 48, pp. 14–22.

15. Kaufmann J.E., Oksche A., Wollheim C.B., Günther G., Rosenthal W., Vischer U.M. Vasopressin-induced von Willebrand factor secretion from endothelial cells involves V2 receptors and cAMP. *J. Clin. Investig*., 2000, vol. 106, pp. 107–116.

16. Kawecki C., Lenting P.J., Denis C.V. von Willebrand factor and inflammation. *J. Thromb. Haemost*., 2017, vol. 15, pp. 1285–1294.

17. Marshall-Goebel K., Laurie S.S., Alferova I.V., Arbeille P., Auñón-Chancellor S.M. et al. Assessment of Jugular Venous Blood Flow Stasis and Thrombosis During Spaceflight. *JAMA Netw Open*., 2019, vol. 2(11), e1915011.

18. Navasiolava N., Yuan M., Murphy R., Robin A., Coupé M. et al. Vascular and Microvascular Dysfunction Induced by Microgravity and Its Analogs in Humans: Mechanisms and Countermeasures. *Front Physiol*., 2020, vol. 11, p. 952.

19. Okhota S., Melnikov I., Avtaeva Y., Kozlov S., Gabbasov Z. Shear Stress-Induced Activation of von Willebrand Factor and Cardiovascular Pathology. *Int J Mol Sci*., 2020, vol. 21(20), p. 7804.

20. Puy C., Tucker E.I., Wong Z.C. et al. Factor XII promotes blood coagulation independent of factor XI in the presence of long-chain polyphosphates. *J Thromb Haemost*., 2013, vol. 11, pp. 1341–1352.

21. Schillemans M., Karampini E., Kat M., Bierings R. Exocytosis of Weibel-Palade bodies: how to unpack a vascular emergency kit. *J Thromb Haemost*., 2019, vol. 17(1), pp. 6–18.

22. Schneider S.W., Nuschele S., Wixforth A., Gorzelanny C., Alexander-Katz A. et al. Shear-induced unfolding triggers adhesion of von Willebrand factor fibers. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 2007, vol. 104, pp. 7899–7903.

23. Springer T.A. von. Willebrand factor, Jedi knight of the bloodstream. *Blood*., 2014, vol. 124, pp. 1412–1425.

24. Stockschlaeder M., Schneppenheim R., Budde U. Update on von Willebrand factor multimers: Focus on high-molecular-weight multimers and their role in hemostasis. B*lood Coagul. Fibrinolysis*., 2014, vol. 25, pp. 206–216.

25. Terraube V., O'Donnell J.S., Jenkins P.V. Factor VIII and von Willebrand factor interaction: Biological, clinical and therapeutic importance. *Haemophilia*, 2010, vol. 16, pp. 3–13.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ANALYSIS VON WILLEBRAND FACTOR CONCENTRATION IN COSMONAUTS' BLOOD BEFORE AND AFTER LONG-TERM SPACE FLIGHTS

Dmitry S. Kuzichkin
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3015-7979

Igor A. Nichiporuk
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0118-3374

Andrey A. Markin
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2402-6622

Olga A. Zhuravleva
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3049-4983

Tatyana V. Zhuravleva
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4822-8672

Larisa V. Vostrikova
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9132-629X

Alexey Yu. Kochergin
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-0993-6692

Irina V. Zabolotskaya
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0326-6560

Institute for Biomedical Problems of RAS, Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *It is known that the effect of space flight factors on the human body can lead to endothelium damage, activation and its dysfunction progress. This effect, in combination with the stagnation in the bloodstream observed during the flight, can significantly increase the risk of developing thrombophilic conditions up to the appearance of occlusive thrombosis. One of the specific endothelial dysfunction markers is the von Willebrand factor (vWF). The plasma level of this glycoprotein, which is mainly synthesized by endothelial cells, increases with damage and activation of the endothelium. In plasma, vWF mediates platelet adhesion and aggregation, and is also an apoenzyme of coagulation cascade VIII factor, protecting it against proteolysis.*

The aim of this work was to study the level of vWF in blood plasma under the influence of space flight factors.

Methods and materials. *The study involved 15 male astronauts aged 37 to 60 years, who completed orbital flights lasting 115–205 days. Venous blood was taken in the background period 30-45 days before the start, as well as on the 1st and 7th days of the recovery period (RP). The concentration of vWF in the citrate plasma of astronauts was determined by the standard ELISA method. The dynamics of changes in the course of pre- and post-flight surveys were evaluated using the Wilcoxon test.*

Results and discussion. *The concentration of vWF in the plasma was significantly increased by 39,1% (p = 0,015) on the 1st day of RP and by 35,9% (p = 0,031) by the 7th day of RP. Probably, there was an increase in the synthesis and release of vWF into the bloodstream during the endothelium activation and damage under the influence of space flight factor. It is known that vasopressin, which level increases in space flight, stimulates the release of vWF from endothelial cells into the bloodstream. An increase in the level of vWF in plasma usually leads to an increase of the coagulation cascade procoagulant potential as well as the adhesive and aggregative properties of platelets, however, the cofactor activity and metabolism of vWF is largely determined by the index of the velocity gradient between the layers of the laminar blood flow (shear rate). At a slight shear rate, the cofactor activity of the vWF is low. Under conditions of increasing the shear rate, due to conformational changes in the molecule, the thrombogenic potential of vWF increases, but this protein also becomes more susceptible to lysis.*

Conclusion. *Thus, after the completion of long-term space flights, the level of the Wilebrand factor is increased relative to the background values. This effect may indicate the activation or damage of endothelial cells, as well as lead to an increase in the adhesive and aggregative potential of platelets.*

KEYWORDS

Long space flights, von Willebrand factor, blood plasma.

FOR CITATION

Kuzichkin D.S., Nichiporuk I.A., Markin A.A., Zhuravleva O.A., Zhuravleva T.V., Vostrikova L.V., Kochergin A.Yu., Zabolotskaya I.V. Analysis von Willebrand Factor Concentration in Cosmonauts' Blood Before and After Long-Term Space Flights. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 104–112. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_104 (in Russian).

INTRODUCTION

It is known that the effect of space flight factors on the human body can lead to endothelium damage, activation and its dysfunction progress [18]. This effect, in combination with the stagnation in the bloodstream observed during the flight, can significantly increase the risk of developing thrombophilic conditions up to the appearance of occlusive thrombosis [17]. One of the specific endothelial dysfunction markers is the von Willebrand factor. The plasma level of this glycoprotein, which is mainly synthesized by endothelial cells, increases with damage and activation of the endothelium. In plasma, von Willebrand factor mediates platelet adhesion and aggregation, and is also an apoenzyme of coagulation cascade VIII factor, protecting it against proteolysis [2].

The aim of this work was to study the level of von Willebrand factor in blood plasma under the influence of space flight factors.

MATERIALS AND METHODS

The study involved 15 male astronauts aged 37 to 60 years, who completed orbital flights lasting 115–205 days. Venous blood was taken in the background period 30-45 days before the start, as well as on the 1st and 7th days of the recovery period. The concentration of von Willebrand factor in the citrate plasma of astronauts was determined by the standard ELISA method. The dynamics of changes in the course of pre- and post-flight surveys were evaluated using the Wilcoxon test [5].

RESULTS AND DISCUSSION

The values of von Willebrand factor concentration were within the reference interval. Only three cosmonauts on the first day of the recovery period had a moderate excess of its upper limit (2 IU/ml [1]). The concentration of von Willebrand factor in the plasma was significantly increased by 39,1% (p = 0,015) on the 1st day of recovery period and by 35,9% (p = 0,031) by the 7th day of the recovery period.

Considering that von Willebrand factor is mainly secreted by the endothelium, an increase in its plasma level may occur due to damage to the endothelium and the release of this protein into the bloodstream [19]. Most of the cosmonauts studied had hemorrhages in the form of petechiae or subcutaneous ecchymoses after the completion of the flights.

Probably, an increase in the level of synthesis and secretion of von Willebrand factor is also observed due to the influence of mechanical and humoral stimuli on the intact endothelium. Among the mechanical stimuli, the most important is the hydrodynamic pressure determined by the value of the directly proportional blood viscosity and the velocity gradient (shear rate) between the layers of the laminar blood flow (shear stress) [21]. The transformation of the mechanical stimulus of the shear stress into biological signals that control the functions of the endothelium is achieved by mechanotransduction [11].

Various mediators of stress and inflammation affect the release of von Willebrand factor from endothelial cells. Interleukin-6 in combination with the soluble Interleukin-6 receptor, interleukin-8 and tumor necrosis factor-α significantly stimulates the release of von Willebrand factor from the Weibel–Palade endothelial cells. interleukin-6 prevents the cleavage of von Willebrand factor under the action of plasma metalloproteinase ADAMTS-13 (a disintegrin and metalloproteinase with a thrombospondin type 1 motif, member 13) [6]. An increase in the plasma tumor necrosis factor-α level and interleukin-8 during the flight was shown, as well as an increase in the concentration of interleukin-6 in blood plasma immediately after the completion of the expedition (+0 day) [9].

It is known that vasopressin, the level of which increases during space flight [13], stimulates the release of von Willebrand factor from the Weibel-Palade endothelial cells and significantly increases the levels of von Willebrand factor in plasma [15].

An increase in the level of von Willebrand factor in plasma usually leads to an increase in the procoagulant potential of the coagulation cascade and the adhesive-aggregative properties of platelets, however, the cofactor activity and metabolism of von Willebrand factor is largely determined by the value of the blood flow shift rate in the vessels. von Willebrand factor exists in the bloodstream in one of two conformations – globular and expanded [22]. In conditions of low shear rates (for example,

in veins, where the shear rates are 15–200 s^{-1}, or in large arteries, where they are 300–800 s^{-1}), von Willebrand factor remains in a globular form, which hides the binding sites and does not interact with circulating platelets.

In the case of vessel damage and at high shear rates (for example, in intact small arteries and arterioles, the shear rate is 450–1600 s^{-1}), the von Willebrand factor molecule unfolds and opens binding sites, in particular, for platelet glycoprotein Ib receptors [19].

While unraveling, von Willebrand factor encounters its antagonist, ADAMTS-13 [23]. ADAMTS-13 circulates in the bloodstream as an active enzyme, but von Willebrand factor in the globular conformation remains resistant to proteolysis. As soon as the von Willebrand factor globule unfolds, binding sites for ADAMTS-13 are opened. Subsequent interaction with ADAMTS-13 leads to the cleavage of von Willebrand factor multimers, which shortens the multimers and reduces the hemostatic activity of von Willebrand factor [14]. This process slows down when consuming the ADAMTS-13 protease [7].

In model experiments on small animals, it was shown that the intensity of platelet adhesion and aggregation was reduced after hypogravitation and increased after hypergravity exposure [10].

Recent studies have shown that von Willebrand factor is also involved in the processes of inflammation, linking thrombosis and inflammation. Inflammation can provoke thrombosis through the von Willebrand factor dependent pathway, which includes activation of the endothelium, secretion of von Willebrand factor into the bloodstream, activation of von Willebrand factor and interaction with platelets and subsequent platelet adhesion to the vessel wall. von Willebrand factor multimers and platelets attached to the damaged and activated endothelium can serve as places for recruiting white blood cells. Together, this predisposes to the spread of the inflammatory process [8, 16].

It should be noted that an increase in the level of von Willebrand factor in plasma does not lead to an increase in the level of factor VIII and does not affect the intensity of its cleavage by protein C, since von Willebrand factor is always present in multiple excess relative to the level of factor VIII [2]. However, if there is activation of platelets by collagen in the area of endothelial damage or von Willebrand factor in areas of high shear stress, activated platelets, releasing polyphosphates, contribute to the initiation of the internal pathway (contact phase) of the coagulation cascade [20]. Earlier, our laboratory showed a statistically significant ($p<0.05$) increase in the potential activity of the internal pathway of the coagulation cascade in a sample of cosmonauts and activation of fibrin formation in some cosmonauts up to the seventh day of the recovery period [4].

CONCLUSION

Thus, an increase in the level of the Willebrand factor in blood plasma relative to background values is observed both on the first and on the seventh day after the completion of long-term space flights.

This effect is probably caused by damage and activation of endothelial cells by mechanical and humoral stimuli.

It is possible that an increase in the level of the Willebrand factor may lead to an increase in the procoagulant activity of blood plasma, an increase in the adhesive-aggregate potential of platelets, especially in the case of changes in the rheological characteristics of blood flow during the period of readaptation to the terrestrial conditions.

References

1. Aleksandrova E.N., Novikov A.A., Reshetnyak T.M., Nasonov E.L. Immunological markers of antiphospholipid syndrome. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*, 2010, no. 5, pp. 67–74 (in Russian).

2. Dolgov V.V., Svirin P.V. *Laboratornaya diagnostika narushenii gemostaza* [Laboratory diagnosis of hemostasis disorders]. Moscow, Triada Publ., 2005, 227 p. (in Russian).

3. Kapitonova M.Yu., Kuznetsov S.L., Fromming G.R.A., Muid S., Nor-Ashikin, S. Otman M.N.K., Shakhir A.R.M., Navavi Kh. Influence of spaceflight factors on morphofunctional features of endothelial cells. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny*, 2012, vol. 154, no. 12, pp. 776–771 (in Russian).

4. Kuzichkin D.S., Markin A.A., Zhuravleva O.A., Kolote¬va M.I., Vostrikova L.V., Glebova T.M., Loginov V.I. Connection of the nature of subcutaneous hemorrhages with changes in the plasma hemostasis system in astronauts. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 2019, vol. 53, no. 6, pp. 38–41 (in Russian).

5. Rebrova R.Yu. *Statisticheskii analiz meditsinskikh dannykh* [Statistical analysis of medical data]. Moscow, Media Sfera Publ., 2006, 312 p. (in Russian).

6. Bernardo A., Ball C., Nolasco L., Choi H., Moake J.L., Dong J.F. Platelets adhered to endothelial cell-bound ultralarge von Willebrand factor strings support leukocyte tethering and rolling under high shear stress. *J. Thromb. Haemost.*, 2005, vol. 3, pp. 562–570.

7. Chang J.C. Sepsis and septic shock: endothelial molecular pathogenesis associated with vascular microthrombotic disease. *Thromb J*., 2019, vol. 17, p. 10.

8. Chen J., Chung D.W. Inflammation, von Willebrand factor, and ADAMTS13. *Blood*., 2018, vol. 132, pp. 141–147.

9. Crucian B.E., Zwart S.R., Mehta S., Uchakin P., Quiriarte H.D. et al. Plasma cytokine concentrations indicate that in vivo hormonal regulation of immunity is altered during long-duration spaceflight. *J Interferon Cytokine Res*., 2014, vol. 34(10), pp. 778–786.

10. Dai K., Wang Y., Yan R., Shi Q., Wang Z. et al.. Effects of microgravity and hypergravity on platelet functions. *Thromb Haemost*., 2009, vol. 101(5), pp. 902–910.

11. Davies P.F. Flow-mediated endothelial mechanotransduction. *Physiol Rev*., 1995, vol. 75, pp. 519–560.

12. Demiot C., Dignat-George F., Fortrat J.O., Sabatier F., Gharib C. et al. WISE 2005: chronic bed rest impairs microcirculatory endothelium in women. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*., 2007, vol. 293(5), pp. 3159–3164.

13. Grigor'ev A.I., Noskov V.B. Hormonal control of human hydratation status in space flight. *Ross Fiziol Zh Im I M Sechenova*. 2009, vol. 95(3), pp. 225–234.

14. Huisman B., Hoore M., Gompper G., Fedosov D.A. Modeling the cleavage of von Willebrand factor by ADAMTS13 protease in shear flow. *Med Eng Phys*., 2017, vol. 48, pp. 14–22.

15. Kaufmann J.E., Oksche A., Wollheim C.B., Günther G., Rosenthal W., Vischer U.M. Vasopressin-induced von Willebrand factor secretion from endothelial cells involves V2 receptors and cAMP. *J. Clin. Investig*., 2000, vol. 106, pp. 107–116.

16. Kawecki C., Lenting P.J., Denis C.V. von Willebrand factor and inflammation. *J. Thromb. Haemost*., 2017, vol. 15, pp. 1285–1294.

17. Marshall-Goebel K., Laurie S.S., Alferova I.V., Arbeille P., Auñón-Chancellor S.M. et al. Assessment of Jugular Venous Blood Flow Stasis and Thrombosis During Spaceflight. *JAMA Netw Open*., 2019, vol. 2(11), e1915011.

18. Navasiolava N., Yuan M., Murphy R., Robin A., Coupé M. et al. Vascular and Microvascular Dysfunction Induced by Microgravity and Its Analogs in Humans: Mechanisms and Countermeasures. *Front Physiol*., 2020, vol. 11, p. 952.

19. Okhota S., Melnikov I., Avtaeva Y., Kozlov S., Gabbasov Z. Shear Stress-Induced Activation of von Willebrand Factor and Cardiovascular Pathology. *Int J Mol Sci*., 2020, vol. 21(20), p. 7804.

20. Puy C., Tucker E.I., Wong Z.C. et al. Factor XII promotes blood coagulation independent of factor XI in the presence of long-chain polyphosphates. *J Thromb Haemost*., 2013, vol. 11, pp. 1341–1352.

21. Schillemans M., Karampini E., Kat M., Bierings R. Exocytosis of Weibel-Palade bodies: how to unpack a vascular emergency kit. *J Thromb Haemost*., 2019, vol. 17(1), pp. 6–18.

22. Schneider S.W., Nuschele S., Wixforth A., Gorzelanny C., Alexander-Katz A. et al. Shear-induced unfolding triggers adhesion of von Willebrand factor fibers. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 2007, vol. 104, pp. 7899–7903.

23. Springer T.A. von. Willebrand factor, Jedi knight of the bloodstream. *Blood*., 2014, vol. 124, pp. 1412–1425.

24. Stockschlaeder M., Schneppenheim R., Budde U. Update on von Willebrand factor multimers: Focus on high-molecular-weight multimers and their role in hemostasis. B*lood Coagul. Fibrinolysis*., 2014, vol. 25, pp. 206–216.

25. Terraube V., O'Donnell J.S., Jenkins P.V. Factor VIII and von Willebrand factor interaction: Biological, clinical and therapeutic importance. *Haemophilia*, 2010, vol. 16, pp. 3–13.

Информация об авторах / Information about the authors

Кузичкин Дмитрий Сергеевич
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
dmitry181985@mail.ru

Ничипорук Игорь Александрович
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
igor.nichiporuk@yandex.ru

Маркин Андрей Аркадьевич
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
andre_markine@mail.ru

Журавлёва Ольга Александровна
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
juravlyovabc@mail.ru

Dmitry S. Kuzichkin
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
dmitry181985@mail.ru

Igor A. Nichiporuk
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
igor.nichiporuk@yandex.ru

Andrey A. Markin
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
andre_markine@mail.ru

Olga A. Zhuravleva
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
juravlyovabc@mail.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Журавлёва Татьяна Владимировна
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
tita1993@mail.ru

Вострикова Лариса Васильевна
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
vostrikova.l.v.@yandex.ru

Кочергин Алексей Юрьевич
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
ochkarik300@gmail.com

Заболотская Ирина Владимировна
Институт медико-биоло-гических проблем РАН
(*123007, Россия, Москва, Хорошевское ш., 76-а*)
zabolotskaya.i.v.@yandex.ru

Tatyana V. Zhuravleva
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
tita1993@mail.ru

Larisa V. Vostrikova
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
vostrikova.l.v.@yandex.ru

Alexey Yu. Kochergin
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
ochkarik300@gmail.com

Irina V. Zabolotskaya
Institute for Biomedical Problems of RAS
(*76-a Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007 Russia*)
zabolotskaya.i.v.@yandex.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 378.147.31 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_113

ОСОБЕННОСТИ СМЕШАННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНОМ ВУЗЕ

Д.А. Залевский
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3406-2037

К.А. Соколов
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7932-8663

Ю.В. Соколова
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6197-881X

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *События последнего времени, а именно распространение коронавируса, поставили в сложное положение образовательные организации. Смешанная форма обучения, объединяющая очное и дистанционное образование, стала преимущественной для многих вузов нашей страны в 2020/21 учебном году, так как полностью очное обучение было невозможным в условиях пандемии, а перевод всех занятий в онлайн-формат привел бы к значительному снижению качества образования. В данной статье рассматриваются преимущества и недостатки смешанной формы обучения на младших курсах инженерного вуза глазами студентов. Смешанный формат обучения использовался в НИУ «МЭИ» практически весь учебный год.*

Методы. *Лекции проводились дистанционно в форме онлайн-конференций. Семинары и лабораторные работы проходили очно, так как большую часть семинаров и все лабораторные работы не могли бы проходить удаленно без серьезной потери качества. Обучение в лабораториях является важной частью инженерной подготовки, без которой невозможно полноценное освоение профессии. Далее речь пойдет об особенностях дистанционных лекций, потому что именно эта часть обучения была изменена в условиях пандемии. Практика показала, что у смешанного формата есть интересные преимущества и весомые недостатки. Главным недостатком является отсутствие живого общения, при котором устанавливается контакт лектора и студентов. Еще одним существенным минусом оказалась необходимость студентов иметь устройства и условия, позволяющие полноценно заниматься онлайн. Обеспечение хорошей скорости Интернета, подходящего для обучения компьютера потребовало дополнительных материальных затрат как от студентов, так и от преподавателей. Кроме того, им стали нужны навыки использования ресурсов для дистанционного обучения. Также еще одной сложностью для студентов стала необходимость заниматься в домашней обстановке, при которой у некоторых могли возникнуть трудности с сосредоточением на занятиях без прямого контроля со стороны преподавателя.*

Результаты. *В дистанционном обучении есть свои плюсы, главным из которых является экономия времени, затрачиваемого на дорогу до университета и обратно. Появляется возможность использовать это время для самостоятельных занятий, спорта или работы. Еще одной положительной стороной занятий в дистанционном формате оказалась возможность записывать видеолекции и просматривать их повторно для улучшения понимания материала. Кроме того, при плохом самочувствии можно без риска заразить окружающих и ухудшить свое состояние присутствовать на занятии. Также при удаленном обучении формируются навыки, имеющие большое значение для последующей жизни: умение планировать свое время и заниматься самостоятельно.*

Выводы. *Таким образом, смешанный формат обучения в инженерном образовании имеет ряд недостатков и преимуществ по сравнению с традиционной очной формой обучения. Стоит заметить, что смешанная форма выгодно отличается от заочного образования, которое применялось и ранее. У смешанного формата обучения есть достаточно преимуществ, поэтому возможно они будут использоваться в инженерном образовании и в дальнейшем после спада пандемии. А навыки использования электронных ресурсов, приобретенные в процессе дистанционного обучения, будут играть одну из важных ролей в условиях всеобщей цифровизации.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Инженерное образование, смешанный формат обучения, дистанционное обучение.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Залевский Д.А., Соколов К.А., Соколова Ю.В. Особенности смешанной формы обучения в инженерном вузе // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 113–118. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_113.

PECULIARITIES OF THE MIXED FORM OF ENGINEERING EDUCATION

Daniil A. Zalevsky
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-3406-2037

Konstantin A. Sokolov
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-7932-8663

Yulija V. Sokolova
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-6197-881X

National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ABSTRACT

Object. *Recent events, namely the spread of the COVID-19, have put educational organizations in a difficult situation. The mixed form of education, combining traditional and on-line education, became predominant for many universities in our country in the 2020/21 academic year. In the conditions of the pandemic traditional form of education was impossible, and the transfer of all classes to the on-line format would lead to a significant decrease in the quality of education. This article examines the advantages and disadvantages of a mixed form of education at the junior courses of an engineering university in the students' point of view. The mixed format of training was used in the National Research University "MPEI" almost through the entire academic year.*

Methods. *Lectures were held remotely in the form of on-line conferences. Tutorials and laboratory work were held in person, since most of the tutorials and all laboratory work could not be carried out on-line without a serious loss of quality. Training in laboratories is an important part of engineering education, without which it is impossible to fully master the profession. We shall consider lectures since this part of the training was changed in the conditions of the pandemic. It became clear that the mixed format has interesting advantages and significant disadvantages. The main disadvantage is the lack of live communication, which establishes contact between a lecturer and students. Another significant disadvantage is the need for students to have devices and conditions that allow them to fully engage on-line. Additional material costs from both students and teachers were required. They had to have a good Internet connection and a computer. In addition, they needed the skills of using resources for distance learning. Also, another difficulty for students was the need to study in a home environment, in which some might have difficulty concentrating on classes without direct control from the teacher.*

Findings. *Though distance learning has its advantages. The main advantage is saving time spent on the road to the university. There is an opportunity to use this time for independent studies, sports or work. Another positive aspect of on-line classes is the possibility to video record lectures and use them repeatedly to improve the understanding of the material. In addition, if you feel unwell, you can safely attend the on-line class. Also, with on-line training, skills that are of great importance for later life are formed: the ability to plan your time and study independently.*

Conclusions. *Thus, the mixed format of training in engineering education has a number of disadvantages and advantages compared to the traditional form of training. The mixed training format has enough advantages, so it is possible that they will be used in engineering education in the future after the decline of the pandemic. And the skills of using electronic resources acquired in the process of on-line learning will play an important role in the global digitalization.*

KEYWORDS

Engineering education, blended learning, distance learning.

FOR CITATION

Zalevsky D.A., Sokolov K.A., Sokolova Yu.V. Peculiarities of the Mixed form of Engineering Education. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 113–118. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_113 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

События последнего времени, а именно распространение коронавируса, поставили в сложное положение образовательные организации. Смешанная форма обучения, объединяющая очное и дистанционное образование, стала преимущественной для многих вузов нашей страны в 2020/21 учебном году, так как полностью очное обучение было невозможным в условиях пандемии, а перевод всех занятий в онлайн-формат привел бы к значительному снижению качества образования.

В данной статье рассматриваются преимущества и недостатки смешанной формы обучения на младших курсах инженерного вуза глазами студентов. Смешанный формат обучения использовался в Национальном исследовательском университете «МЭИ» практически на протяжении всего 2020/21 учебного года. Семинары и лабораторные работы проходили очно, так как проведение большинства семинарских занятий и лабораторных работ в удаленном режиме невозможно без серьезной потери качества обучения. Занятия в лабораториях являются важной частью инженерной подготовки, без которой не может проходить полноценное освоение профессии. Лекции в условиях смешанного формата проводились дистанционно в форме онлайн-конференций преимущественно на платформах Zoom и Webex. Итоговая аттестация в зимнюю и летнюю сессии 2020/21 учебного года в НИУ «МЭИ» тоже прошла в дистанционном формате. Далее речь пойдет именно об особенностях проведения дистанционных лекций и внесении изменений в процедуру проведения и оформления результатов итоговой аттестации, потому что именно эти элементы учебного процесса претерпели изменения в условиях пандемии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Специфика различных учебных дисциплин во многом определяет преимущества и недостатки применения смешанной формы обучения по этим предметам, но существует ряд общих черт, которые справедливы в отношении всех преподаваемых курсов. Практика показала, что у смешанного формата обучения в инженерном вузе наряду с существенными

недостатками есть интересные преимущества, использование которых возможно и после отмены эпидемиологических ограничений. Следует иметь в виду, что использование дистанционной формы обучения потребовало от вузов определенного уровня технической и педагогической готовности. НИУ «МЭИ» в этом отношении имел весомые преимущества по сравнению со многими российскими вузами. Связано это с тем, что в НИУ «МЭИ» процесс цифровизации образовательной среды начался задолго до пандемии COVID-19. Активное внедрение современных цифровых технологий в образовательное пространство в НИУ «МЭИ» сопровождалось масштабным обучением персонала и профессорско-преподавательского состава вуза в области цифровых компетенций. Широкое использование информационных систем (ИС), инструментов дистанционного обучения (таких как система «Прометей»), элементов электронного документооборота позволило осуществлять образовательный процесс в 2020/21 учебном году в условиях ограничений, связанных с распространение COVID-19, на высоком профессиональном уровне.

Тем не менее дистанционный формат обучения имеет особую специфику и по сравнению с традиционной очной формой обучения в инженерном вузе характеризуется целым рядом особенностей, которые можно считать недостатками. Главным недостатком проведения удаленных лекций является отсутствие живого общения преподавателей и студентов. Живой контакт лектора и слушателей имеет ряд неоспоримых преимуществ перед дистанционной формой подачи лекционного материала. Отсутствие этого контакта во время дистанционных занятий ощущается и со стороны преподавателя, и со стороны студентов. Особая атмосфера поточных лекций не может быть передана через экран даже в условиях видеотрансляции. Скорость подачи материала, иллюстрирование его примерами, характер объяснений на лекции во многом зависят от восприятия аудитории. Только в непосредственном живом контакте лектор может уловить нюансы понимания и подготовки слушателей, что позволяет ему корректировать ход изложения материала. Кроме того, дистанционная форма может быть неким психологическим барьером для непосредственного общения лектора и аудитории. И часто то, что не вызывает проблем в непосредственном живом контакте, может быть осложнено общением «через экран». Обособленность студентов во время дистанционных занятий тоже можно считать существенным недостатком этой формы обучения. Нахождение в творчески насыщенной интеллектуальной среде инженерного сообщества в условиях очных занятий благотворно отражается не только на усвоении изучаемого материала, но и на повышении мотивации к обучению и генерированию идей. Замкнутость в личном пространстве не позволяет использовать преимущества коллективной формы обучения и может иметь негативные социально-психологические последствия для молодежи. Перевод значительной доли общения в цифровое пространство плохо влияет на способность к социальной адаптации и может впоследствии препятствовать не только легкому налаживанию контактов между людьми, но и успешной профессиональной деятельности.

Одной из важных сторон студенческой жизни всегда было живое общение с сокурсниками и преподавателями вуза, межфакультетское общение. Выполнение совместных проектов, совместный досуг, занятия спортом, общественная деятельность – всегда были важными составляющими университетских лет. Ограничение этих форм социальной активности может иметь негативные последствия не только в образовательном контексте, но и в более широком спектре мировоззренческих вопросов.

Еще одним существенным минусом дистанционной формы обучения оказалась необходимость для студентов и преподавателей иметь технические возможности и условия, позволяющие полноценно заниматься онлайн. И если в отношении преподавателей технические вопросы отчасти могли быть решены за счет материально-технической базы вузов, то студентам потребовалось самостоятельно решать эти проблемы. Обеспечение хорошей скорости Интернета, наличие подходящего для обучения компьютера потребовали дополнительных материальных затрат от большинства обучающихся.

Кроме того, и студентам, и преподавателям стали необходимы навыки использования ресурсов для дистанционного обучения.

Большой сложностью для многих студентов стала необходимость заниматься в домашней обстановке. Кроме наличия подходящего помещения и обеспечения условий для полноценных занятий дома студентам нужно было научиться сосредоточиваться на занятиях без непосредственного контроля преподавателя. Умение удерживать концентрацию достаточно долгое время и сосредоточиваться на обучении вне стен университета может представлять собой довольно сложную задачу, особенно для студентов младших курсов вуза. Принципы университетского обучения предполагают гораздо более высокий уровень мотивации обучающегося, хорошо развитые навыки самостоятельной работы и требуют инициативности со стороны студента. По сравнению с этой системой школьное обучение характеризуется высоким уровнем учительского контроля, конкретным характером учебных задач, опекой учителя (в том числе и с психологической стороны). Переход от школьной системы контроля к гораздо большей степени свободы обучающегося в вузе всегда представлял сложность для определенной части молодых людей в первые годы обучения. В условиях удаленных занятий эти сложности усилились. Начальный этап университетского образования – это важный период формирования комплекса качеств личности, необходимых для успешного получения образования и профессиональной карьеры. Одним из ключевых качеств, необходимых для успешного обучения, является навык самостоятельной работы. Его формированию в условиях удаленного или смешанного формата обучения осложнено.

Тем не менее в дистанционном обучении есть ряд преимуществ, одним из которых является значительная экономия времени, затрачиваемого на дорогу до университета и обратно. Условия жизни в больших городах часто предполагают ежедневные перемещения на большие расстояния. Москва как крупнейший образовательный центр является местом учебы огромного количества студентов, многим из которых приходится ежедневно приезжать на учебу из отдаленных районов города, Московской и других областей. В условиях дистанционного обучения у студентов появляется возможность экономии времени, ранее затрачиваемого на дорогу, и использования его для самостоятельных занятий, спорта или работы. В НИУ «МЭИ» было разработано расписание, где чередовались дни очных (семинарских и лабораторных) занятий и дистанционного обучения (лекционные дни). Такая система позволяла студентам наиболее рационально использовать их время.

Еще одной положительной стороной занятий в дистанционном формате оказалась возможность записывать видеолекции и просматривать их повторно для улучшения понимания материала. Снимки экранов во время демонстрации слайдов позволяют детально проработать лекционный материал во время самостоятельных занятий. Сохранение теоретической базы дает возможность обращаться к ней в течение всего периода обучения и использовать ее по мере необходимости. Кроме того, при плохом самочувствии студент всегда имеет возможность присутствовать на дистанционном занятии без риска заразить окружающих или ухудшить свое состояние здоровья. Это позволяет не прерывать обучение даже в периоды болезни и избавляет от необходимости наверстывать пропущенное.

Освоение навыков работы с инструментами дистанционного образования, которое, с одной стороны, представляло собой сложность при переходе на дистанционный формат лекций, с другой стороны, стало преимуществом, так как этот полезный навык можно использовать не только для обучения, но и для работы. Кроме того, приобретенные цифровые компетенции имеют большое значение в условиях расширения всеобщей цифровизации. Пожалуй, в долгосрочной перспективе именно приобретение студентами специфических навыков в ходе дистанционного обучения можно считать наиболее весомыми достоинствами применения удаленного формата. С этой точки зрения формирование умений планировать свое время и заниматься самостоятельно имеет наибольшее значение для дальнейшей профессиональной жизни. Современная тенденция к постоянному наращиванию профессиональных

компетенций требует от специалиста готовности к обучению и переобучению на протяжении всей карьеры. Высокая степень самостоятельности в обучении, сформированная в ходе применения смешанного формата, будет способствовать наращиванию профессиональных компетенций уже после окончания учебы.

Проведение итоговой аттестации в дистанционном формате имеет значительные отличия от привычной очной формы аттестации. В НИУ «МЭИ» при проведении дистанционной аттестации студентов в 2020/21 учебном году во многом опирались на опыт ИДДО НИУ «МЭИ» (Института дистанционного и дополнительного образования). ИДДО НИУ «МЭИ» обеспечивает подготовку и сопровождение электронных образовательных ресурсов, разрабатываемых преподавателями МЭИ, организует повышение квалификации сотрудников МЭИ, стажировки в НИУ «МЭИ» для преподавателей и научных сотрудников других образовательных учреждений и имеет богатый опыт в области дистанционного образования.

Для проведения дистанционной аттестации, прежде всего, необходимо иметь механизм идентификации студентов, присутствующих на зачете или экзамене. Для оформления результатов аттестации требуется наличие возможности оформления электронных документов (ведомостей итоговой аттестации) и заверения их электронной подписью преподавателей. Многолетнее использование балльно-рейтинговой системы оценки студентов (БАРС) в НИУ «МЭИ» позволило довольно легко внедрить электронные зачетные книжки и ведомости итоговой аттестации. Следует отметить, что это нововведение прижилось, и было принято решение об отмене бумажных зачетных книжек студента с 2021/22 учебного года.

БАРС представляет собой электронный учебный журнал студенческих групп с широкими возможностями для хранения и анализа информации по успеваемости студентов. БАРС содержит информацию о рабочей программе дисциплины, плане контрольных мероприятий и т.д., система позволяет формировать ведомости итоговой аттестации с цифровыми подписями. Система контрольных мероприятий, которые последовательно проводятся на протяжении всего семестра по всем изучаемым дисциплинам, была внедрена в учебный процесс в НИУ «МЭИ» несколько лет назад. Применение этой системы позволяет контролировать усвоение учебного материала и выполнение заданий не только в периоды зимней и летней сессии, но последовательно на протяжении всего периода обучения. Результаты контрольных мероприятий фиксируются в системе БАРС и складываются в оценку работы в семестре по каждой дисциплине, которая наряду с зачетной или экзаменационной оценкой влияет на итоговый балл освоения дисциплины. Кроме того, в условиях ограничений, связанных с ростом заболеваемости COVID-19, использование системы постоянного мониторинга освоения учебного материала дисциплин позволило учесть результаты контрольных мероприятий (в их совокупности) в качестве итоговой оценки.

Кроме вопросов технического обеспечения (наличия оборудования для аудио- и видеосвязи) остро встали вопросы авторства ответов и элиминации возможности заимствований. Это потребовало определенных содержательных корректировок итоговых заданий и вопросов, а также видоизменения форм проведения зачетов и экзаменов. Дистанционная форма итогового контроля потребовала более широкого использования формы собеседования во время зачетов и экзаменов, а также внесения вопросов, которые требуют обоснования, анализа и сравнения в устном или письменном ответе студента.

Все эти необходимые нововведения для проведения итоговой аттестации студентов в дистанционном режиме потребовали увеличения времени на проведение зачетов и экзаменов, количество преподавателей и учебно-вспомогательного персонала, привлеченного к проведению итоговой аттестации, тоже возросло. Имея такой ограниченный опыт проведения зачетов и экзаменов в новом формате, пока сложно объективно оценить достоинства этой формы. Недостатками ее можно считать все трудности, которые возникли как для преподавателей, так и для студентов.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ проведения удаленных лекционных занятий и дистанционного формата итоговой аттестации в 2020/21 учебном году в инженерных вузах во время эпидемиологических ограничений, связанных с пандемией COVID-19, показал, что такой образовательный формат имеет как недостатки, так и преимущества по сравнению с традиционной очной формой обучения. Стоит заметить, что смешанная форма выгодно отличается от заочного образования, которое существовало в системе российского образования ранее. Достаточное количество преимуществ, выявленных в ходе применения смешанного формата обучения в инженерном вузе, дает основания полагать, что использование элементов дистанционного формата в дальнейшем (после спада пандемии) представляется возможным.

Литература

1. Аймалетдинов Т.А., Баймуратова Л.Р., Зайцева О.А., Имаева Г.Р., Спиридонова Л.В. Цифровая грамотность российских педагогов. Готовность к использованию цифровых технологий в учебном процессе. М.: Изд-во НАФИ, 2019. 84 с.

2. Донских И.В. Формирование навыков самостоятельной работы студентов как основы профессиональной подготовки будущего специалиста // Актуальные вопросы модернизации российского образования: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. М., 2015. С. 42–44.

References

1. Aimaletdinov T.A., Baimuratova L.R., Zaitseva O.A., Imaeva G.R., Spiridonova L.V. *Tsifrovaya gramotnost' rossiiskikh pedagogov. Gotovnost' k ispol'zovaniyu tsifrovykh tekhnologii v uchebnom protsesse* [Digital literacy of Russian teachers. Ready to use digital technologies in the educational process]. Moscow, NAFI Publ., 2019, 84 p. (in Russian).

2. Donskikh I.V. Formation of skills of independent work of students as the basis for professional training of a future specialist. In: *Aktual'nye voprosy modernizatsii rossiiskogo obrazovaniya: materialy XXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of 21st Int. Sci. Conf. «Topical issues of modernization of Russian education»]. Moscow, 2015, pp. 42–44 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Залевский Даниил Александрович
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(*111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14*)
Zalevskydana@mpei.ru

Daniil A. Zalevsky
National Research University “Moscow Power Engineering Institute”
(*14 Krasnokazarmennaya str., Moscow, 111250 Russia*)
Zalevskydana@mpei.ru

Соколов Константин Александрович
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(*111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14*)
Sokolovkal@mpei.ru

Konstantin A. Sokolov
National Research University “Moscow Power Engineering Institute”
(*14 Krasnokazarmennaya str., Moscow, 111250 Russia*)
Sokolovkal@mpei.ru

Соколова Юлия Владимировна
кандидат философских наук, доцент,
зав. кафедрой, Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(*111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14*)
SokolovaYulV@mpei.ru

Yulija V. Sokolova
Cand. Sc. (Philosophy), Associate Professor,
Head of the Department, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”
(*14 Krasnokazarmennaya str., Moscow, 111250 Russia*)
SokolovaYulV@mpei.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 378.145; 378.147 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_119

МЕСТО ФИЗИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В УЧЕБНЫХ ПЛАНАХ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ МОСКОВСКОГО АВИАЦИОННОГО ИНСТИТУТА (на примере специальности 24.05.07)

А.В. Ципенко
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3639-4219

Л.И. Рудакова
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6837-4311

А.Г. Лобов
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5733-9203

А.В. Шаньков
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8891-4717

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Переход на многоуровневое образование (бакалавриат, магистратура, специалитет, аспирантура) и преобразование институтов в технические университеты привели к тому, что далеко не все студенты в техническом вузе получают диплом, в котором стоит квалификация «инженер». В статье рассмотрены некоторые аспекты именно инженерного образования для авиационной отрасли на примере специальности 24.05.07 в МАИ. Одна из проблем многоуровневого образования – наполняемость магистратуры мотивированными к инженерной деятельности студентами. Инженерная и научная квалификация мало востребованы, поэтому цели студентов – получить диплом и работать в Москве. Цель МАИ и ряда других московских вузов – сохранить конкретный вуз как структуру. Именно этим обусловлено стремление инженерных вузов к специалитету, который позволяет сохранить учебную нагрузку выпускающих кафедр. При таком подходе результаты обучения никого не интересуют, а учебный план (УП) решает проблемы вуза и кафедры, а не студентов. В статье на примере УП специальности 24.05.07 это проиллюстрировано.*

Методы*. Достаточно очевидным является тот факт, что промышленности необходимы инженеры разного уровня подготовки. Экспертные оценки показывают, что надо около 70% так называемых «линейных» инженеров, из которых выходит большинство современных менеджеров, ещё 20–25% инженеров-операторов для эксплуатации высокотехнологичного оборудования. Для их подготовки достаточно бакалавриата. И 5–10% – инженерная элита, разработчики новой техники, специалисты мирового уровня. Именно на них должны быть ориентированы магистратура и аспирантура.*

Результаты. *Сопоставление и анализ УП показывают стремление выпускающих кафедр основное время обучения занять так называемыми специальными дисциплинами (около 45% общего времени обучения). Блок базовых математических и естественно-научных дисциплин за последние 40 лет уменьшился примерно в 2.2 раза и составляет около 16% общего времени обучения. Например, количество аудиторных часов по физике сократилось с 432 до 172 (специалитет) или 144 (бакалавриат). При этом увеличилось количество дисциплин, а среднее время на одну дисциплину менее 4.5 зачетных единицы, то есть подавляющее большинство дисциплин изучается поверхностно. Налицо попытка «объять необъятное», отказ от инструментов познания в пользу конкретных знаний.*

Выводы. *Напрашивается вывод, что МАИ отказался от подготовки инженерной элиты в пользу операторов и «линейных» инженеров, а также социализации молодежи. Для успешной реализации эта реальная цель обучения должна быть понята и принята всеми участниками образовательного процесса.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Учебные планы инженерных специальностей, физические, математические и естественно-научные дисциплины.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Ципенко А.В., Рудакова Л.И., Лобов А.Г., Шаньков А.В. Место физических дисциплин в учебных планах инженерных специальностей Московского авиационного института (на примере специальности 24.05.07) // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 119–124. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_119.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

THE PLACE OF PHYSICAL DISCIPLINES IN THE CURRICULA OF ENGINEERING SPECIALTIES OF THE MOSCOW AVIATION INSTITUTE (on the example of the specialty 24.05.07)

Anton V. Tsipenko
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-3639-4219

Ljudmila I. Rudakova
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-6837-4311

Alexander G. Lobov
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-5733-9203

Andrey V. Shankov
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-8891-4717

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *The conversion to a multi-level education (bachelor's, master's, specialist degree, postgraduate) and the transformation of institutes into technical universities have led to the fact that not all students in a technical university receive a engineer degree. The paper considers some aspects of MAI engineering education for the aviation industry on the example of the specialty #24.05.07.Hence, one of the problems of multi-level education is visible – the filling of the master's degree with students motivated to engineering activities. Engineering and scientific qualifications are in little demand, so the students set themselves the goal of getting a diploma and working in Moscow. The task of MAI and a number of other Moscow universities is to preserve a specific university as a structure. This is the reason for the desire of engineering universities to study specialists, which rise the teaching load at the graduating faculties. With this approach, no one is interested in learning outcomes, and the curriculum solves the problems of the university and faculty, not the students. This is illustrated in this paper on the example of the specialty #05.24.07.*

Methods. *It is quite obvious that the industry needs of different level engineers. Expert estimates show that about 70% of the so-called "linear" engineers are needed, from which the majority of modern managers come out, and another 20-25% of operating engineers are needed to operate high-tech equipment. A bachelor's degree is enough for their preparation. And 5-10% are the engineering elite, developers of new equipment, world-class specialists. For them, there must be a master's and postgraduate studies.*

Findings. *The comparison and analysis of the curriculums show the desire of the graduating departments to occupy the main learningtime with the so-called special disciplines (about 45% of the total training time). The block of basic mathematical and natural science disciplines has decreased by about 2.2 times over the past 40 years and accounts for about 16% of the total learningtime. For example, the number of classroom hours in physics has been reduced from 432 to 172 (specialist degree) or 144 (bachelor's degree). At the same time, the number of disciplines has increased, and the average time per discipline is less than 4.5 conditional unit of learning time, that is, the vast majority of disciplines are studied superficially. There is an attempt to "embrace the boundless", the rejection of the tools of knowledge in favor of specific knowledge.*

Conclusions. *The conclusion is that MAI has abandoned the training of the engineering elite in favor of operators and "linear" engineers, and the socialization of young people. For successful implementation, this real goal of learning must be understood and accepted by all participants in the educational process.*

KEYWORDS

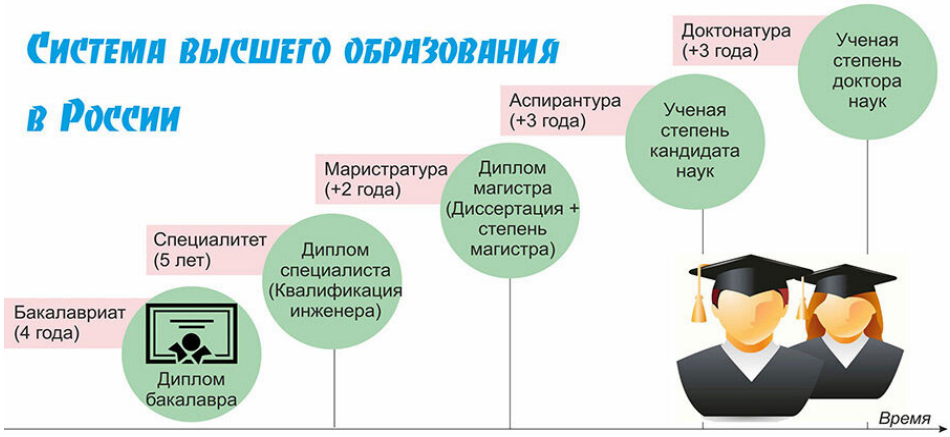
Curricula of engineering specialties, physical, mathematical and natural science disciplines

FOR CITATIONS

Tsipenko A.V., Rudakova L.I., Lobov A.G., Shankov A.V. The Place of Physical Disciplines in the Curricula of Engineering Specialties of the Moscow Aviation Institute (on the Example of the Specialty 24.05.07). Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 119–124. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_119 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Переход на многоуровневое образование (бакалавриат, магистратура, специалитет, аспирантура, рисунок) и преобразование институтов в технические университеты привели к тому, что далеко не все студенты в техническом вузе получают диплом, в котором стоит квалификация «инженер». В работе рассмотрены некоторые аспекты именно инженерного образования на примере учебного плана (УП) очного специалитета по специальности 24.05.07, специализация «Самолетостроение» 2021/22 (соответствует ФГОС 3++) в МАИ. Отметим, что по части 8 статьи 69 Закона № 273-ФЗ для «специалистов» обучение в магистратуре считается вторым высшим образованием и возможно только на платной основе.



Уровни высшего образования в России

Levels of higher education in Russia

УП должны предполагать ответы на несколько типовых вопросов: *Кого учим? Зачем учим? Чему учим? Как учим?* Оставим в стороне первый вопрос «*Кого учим?*» и рассмотрим остальные.

Зачем учим?

Достаточно очевидным является тот факт, что промышленности необходимы инженеры разного уровня подготовки. Экспертные оценки показывают, что надо около 70% так называемых «линейных» инженеров, из которых выходит большинство современных менеджеров, ещё 20–25% инженеров-операторов для эксплуатации высокотехнологичного оборудования. Для их подготовки достаточно бакалавриата. И 5–10% – инженерная элита, разработчики новой техники, специалисты мирового уровня. Именно на них должны быть ориентированы магистратура и аспирантура.

Отсюда видна одна из проблем многоуровневого образования – наполняемость магистратуры мотивированными к инженерной деятельности студентами. Инженерная и научная квалификация мало востребованы (под критерием «востребованность» мы понимаем зарплату и социальный пакет), поэтому цели студентов – получить диплом и работать в Москве. Цель МАИ и ряда других московских вузов (критерием вывода о цели является отношение администрации, вплоть до заведующих выпускающими кафедрами, к результатам обучения, сформулированным в УП) – сохранить конкретный вуз как структуру. Именно этим обусловлено стремление инженерных вузов к специалитету, который позволяет сохранить учебную нагрузку выпускающих кафедр. При таком подходе результаты обучения никого не интересуют, а УП решает проблемы вуза и кафедры, а не студентов. Рассмотрим это на примере указанного ранее УП.

Чему учим?

Начнем с констатации фактов. Блок «гуманитарных» дисциплин (не имеющих прямого отношения к специальности) составляет 38 зачетных единиц[1] (ЗЕ) (см. табл. 1). Это 12 дисциплин, в среднем 3,2 ЗЕ/дисциплина. При нормативе около 50% на аудиторные часы, и в рамках аудиторных часов 25% на контроль знаний, это в среднем 43 ач, или 22 занятия на дисциплину. При таком количестве занятий информация, получаемая студентами, усваивается в лучшем случае в объеме основных понятий, определение которых студент может вполне самостоятельно найти и прочитать в Интернете. При этом 9 дисциплин составляет 2 ЗЕ, что соответствует 14 занятиям на дисциплину!

Блок «физико-математических» дисциплин составляет 54 ЗЕ (табл. 2). Это 11 дисциплин,

[1] 1 ЗЕ = 36 академических часов (ач), 1 ач = 45 минут.

в среднем 4,9 ЗЕ/дисциплина, что составляет 16% времени обучения. С учетом сложности дисциплин, при таком количестве занятий информация, получаемая студентами, усваивается в лучшем случае в объеме основных понятий. Разница с блоком «гуманитарных» дисциплин в том, что здесь среднестатистический студент МАИ не может самостоятельно найти и прочитать правильно сформулированную с научной точки зрения информацию в Интернете. При этом также присутствуют 3 дисциплины в 2 и 3 ЗЕ.

Таблица 1 / Table 1

Блок «гуманитарных» дисциплин

Block of "humanitarian" disciplines

N	Дисциплина	ЗЕ
1	История	4
2	Культурология	2
3	Правоведение	2
4	Философия	4
5	Социология	2
6	Психология и педагогика	2
7	Политика командной работы	2
8	Экономическая теория	2
9	Основы менеджмента	2
10	Экономика и организация промышленности	2
11	Управление проектами	2
12	Иностранный язык	12
		38

Таблица 2 / Table 2

Блок «физико-математических дисциплин»

Block of "Physical and Mathematical Disciplines"

N	Дисциплина	ЗЕ
1	Линейная алгебра и аналитическая геометрия	4
2	Математический анализ	8
3	Дифференциальные уравнения	4
4	Уравнения математической физики	2
5	Теория вероятностей и математическая статистика	3
6	Численные методы	4
7	Алгоритмические языки и программирование	4
8	Физика	11
9	Химия	3
10	Теоретическая механика	7
11	Термодинамика и теплопередача	4
		54

Блок «общеинженерных» дисциплин составляет 71 ЗЕ (табл. 3). Это 16 дисциплин, в среднем 4,2 ЗЕ/дисциплина. При этом также присутствуют 9 дисциплин в 2 и 3 ЗЕ.

Таблица 3 / Table 3

Блок «общеинженерных» дисциплин

Block of "general engineering" disciplines

N	Дисциплина	ЗЕ
1	Моделирование инженерных задач	3
2	Общая электротехника и электроника	2
3	Начертательная геометрия	3
4	Инженерная графика	4
5	Техническое рисование	2
6	Сопротивление материалов	8
7	Теория машин и механизмов	3
8	Детали машин и основы конструирования	5
9	Метрология и стандартизация	2
10	Материаловедение	7
11	Технология конструкционных материалов	3
12	Безопасность жизнедеятельности	2
13	Прикладная экология	3
14	Введение в авиационную и ракетно-космическую технику	4
15	УИРС	8
16	Информационная поддержка жизненного цикла изделия	9
		71

Блок «специальных» обязательных дисциплин составляет 98 ЗЕ (табл. 4). Это 23 дисциплины, в среднем 4,3 ЗЕ/дисциплина. При этом также присутствуют 8 дисциплин в 2 и 3 ЗЕ. Отметим, что дисциплины «Управление качеством» и «Коммуникативные технологии» к обязательным для конструктора дисциплинам можно отнести только при большой фантазии.

Таблица 4 / Table 4

Блок «специальных» обязательных дисциплин

Block of "special" compulsory disciplines

N	Дисциплина	ЗЕ
1	Проектирование неманевренных самолетов	4
2	Проектирование маневренных самолетов	4
3	Конструирование шасси и СУ	7
4	Эксплуатационная технологичность, надежность и выживаемость	5
5	Конструирование агрегатов планера	7
6	Конструирование деталей и узлов	6
7	Конструкция самолетов	5
8	Теоретические основы проектирования летательных аппаратов	5
9	Строительная механика	4
10	Аэродинамика самолета	2
11	Динамика полета самолета	5
12	Основы проектирования конструкций самолета из композиционных материалов	5
13	Системы снаряжения	3
14	Технология изготовления авиационных конструкций из ПКМ	3
15	Коммуникативные технологии	2

Окончание табл. 4 / End of Table 4

N	Дисциплина	ЗЕ
16	Аэродинамика	4
17	Прочность конструкций	5
18	Технология производства самолетов (вертолетов)	8
19	Сертификация авиационной техники	3
20	Силовая установка	4
21	Лабораторный практикум по динамике и управлению полетом	2
22	Интеллектуализированные комплексы бортового оборудования	3
23	Управление качеством	2
		98

Блок «специальных» элективных дисциплин составляет 9 ЗЕ (табл. 5). Это 3 дисциплин, в среднем 3 ЗЕ/дисциплина.

Таблица 5 / Table 5

Блок «специальных» элективных дисциплин

Block of "special" elective disciplines

N	Дисциплина	ЗЕ
1	Системы механического оборудования	5
	Конструкция систем механического оборудования самолета	
2	Эффективность авиакомплексов	2
	Эффективность боевых авиакомплексов	
3	Системы приборного оборудования	2
	Комплексы приборного оборудования	
		9

Как учим?

Общий итог по дисциплинам в 2-3 ЗЕ: 31 дисциплина (всего в УП 54 дисциплины) занимает 73 ЗЕ. При общем времени обучения 330 ЗЕ это 22%.

Блок «гуманитарных» дисциплин, включая дисциплины «Управление качеством» и «Коммуникативные технологии», составляет 12%. При этом время на изучение блока «физико-математических» дисциплин, который необходим для понимания специальных дисциплин, 16%.

Сопоставление и анализ УП других специализаций показывают стремление выпускающих кафедр основное время обучения занять так называемыми специальными дисциплинами (около 45% общего времени обучения). При этом увеличилось количество дисциплин, а среднее время на одну дисциплину менее 4,5 ЗЕ, то есть подавляющее большинство дисциплин изучается поверхностно. Налицо попытка «объять необъятное», отказ от инструментов познания в пользу конкретных знаний.

Знание физики и математики в недостаточном объеме недвусмысленно ведет к плохой подготовке инженеров. Создается впечатление, что блок «физико-математических» дисциплин выпускающими кафедрами воспринимается как вспомогательный. Часто идет речь о специализации курса физики с учетом будущей специальности, об изложении только тех вопросов, которые могут пригодиться в будущей профессиональной деятельности. При этом не принимается во внимание, что физика – единая наука, обладающая внутренней структурой, все части которой взаимосвязаны. Исключение отдельных разделов нарушает внутреннюю логику дисциплины, делает преподавание физики формальным. В этом случае у студентов формируется неполная, фрагментарная физическая картина окружающего мира.

В результате на сегодня в МАИ нет образовательных траекторий для подготовки конструкторов новой авиационно-ракетной техники с уровнем компетенций в базовой подготовке, хотя бы близким к мировому уровню.

В сфере российского образования у нас есть примеры глубокого изучения физики, например, на факультете аэромеханики и летательной техники (ФАЛТ) Московского физико-технического института (МФТИ), где курс физики читается не 2 или 3 семестра, как в МАИ, а 5 семестров с большим количеством часов (табл. 6).

Таблица 6 / Table 6

Аудиторные часы по физике в МАИ и МФТИ

Table 6. Classroom hours in physics at MAI and MIPT

Семестр	МАИ (специалитет)			ФАЛТ (бакалавриат)		
	лекции	ПЗ	ЛР	лекции	ПЗ	ЛР
1	18	13	3	15	15	15
2	12	7	3	15	15	15
3	12	7	3	15	15	15
4				15	15	15
5				15	15	15
Итого	42	27	9	75	75	75
Аудиторных часов	174			600		

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Напрашивается вывод, что МАИ отказался от подготовки инженерной элиты в пользу операторов и «линейных» инженеров, а также социализации молодежи. Для успешной реализации эта реальная цель обучения должна быть понята и принята всеми участниками образовательного процесса.

Для повышения уровня подготовки студентов рекомендуется, прежде всего, уменьшить не менее чем в 2 раза:

- количество изучаемых дисциплин;
- долю «гуманитарных» дисциплин.

Информация об авторах / Information about the authors

Ципенко Антон Владимирович
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой 801 «Физика»,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
tsipenko_av@mail.

Рудакова Людмила Ивановна
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры 801 «Физика»,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
andrejev-goetting@yandex.ru

Лобов Александр Георгиевич
старший преподаватель кафедры 801 «Физика»,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
alexanderlobov@mail.ru

Шаньков Андрей Валерьевич
кандидат технических наук,
доцент кафедры 801 «Физика»
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
kaf801@mai.ru

Anton V. Tsipenko
Dr. Sc. (Techn.), Associate Professor,
Head of Physics Department,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
tsipenko_av@mail.ru

Ljudmila I. Rudakova
Cand. of Sc. (Phys. and Math.), Associate Professor,
Physics Department,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
andrejev-goetting@yandex.ru

Aleksandr G. Lobov
Senior Lecturer, Physics Department,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
alexanderlobov@mail.ru

Andre V. Shankov
Cand. of Sc. (Techn.), Physics Department,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
kaf801@mai.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Управление производством / Production management

УДК 658.6

DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_125

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ

В.А. Васильев
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4528-7696

С.В. Александрова
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7102-3029

Г.М. Летучев
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2073-367X

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Управление качеством в современной экономике является приоритетным инструментом конкурентоспособности продукции, услуг, процессов их создания и предприятий в целом. Развитие средств и методов управления качеством от древних времен до наших дней подробно описано в литературе. Объединение различных методов управления качеством привело к созданию современных систем качества (СМК). Очередным шагом в развитии СМК, а точнее уже СМ – системы менеджмента, является интеграция с цифровыми технологиями (ЦТ). Цифровые технологии интенсивно развивались уже в XX веке, но в XXI веке стали проникать во все области жизни человека.*

Цель. *Создание эффективно работающей системы управления качеством с использованием цифровых технологий.*

Методы. *Реализация этих задач связана не только с отсутствием специалистов одновременно в области информационных технологий и управлении качеством, но и с отсутствием интеграции современных методов менеджмента качества с существующими программными продуктами. В большинстве готовых решений управление качеством сводится к контролю параметров процессов и качества продукции. Получается плохо скоординированное параллельное развитие передовых цифровых технологий и современных подходов к управлению качеством. С одной стороны, создание искусственного интеллекта (ИИ) и соответствующих возможностей его использования, с другой – новые методы планирования качества, принятия решений по работе с несоответствиями, анализ рисков и другие возможности менеджмента качества (МК). На современном этапе развития менеджмент качества применяет множество известных IT технологий, которые позволяют достичь этих целей: электронный документооборот (EDM системы), планирование ресурсов предприятия (ERP-системы), системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), управление бизнес-процессами (BPM) и др. Однако эти технологии в той или иной степени задействуют людей, их знания и способности для обеспечения нормальной работы. Цифровая трансформация предлагает сделать следующий шаг – перевести ручные операции управления качеством в цифровой вид. В менеджменте качества существует множество задач, которые требуют существенных затрат человеческих ресурсов, например, сбор и анализ данных о продукции, процессах и системах организации, мониторинг и управление процессами, принятие решений на основе фактических данных, масштабирование требований системы качества на изменяющиеся процессы, выявление и анализ рисков и пр. Разработка новых методов менеджмента качества на основе интеграции методов МК и ЦТ создает предпосылки для цифровой трансформации всего жизненного цикла изделия, создания цифровых систем менеджмента качества.*

Результаты. *1. Использование вышеперечисленных технологий позволяет осуществить централизованный контроль на всех стадиях жизненного цикла создаваемого изделия: цифровое конструирование и моделирование, цифровое производство, цифровая цепочка поставок, логистика и цифровая адаптация для потребителя изделия после его поставки.*

2. Результатом этого является качественно иной уровень работы предприятия, характеристиками которого станет формирование цифрового двойника технологических процессов и процессов системы менеджмента качества, а также самого производства.

Выводы. *При переходе к цифровым технологиям главная задача состоит в том, чтобы перестроить процессы и процедуры таким образом, чтобы как люди, так и программные продукты могли обеспечить стабильность и повышение качества.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Цифровые технологии, управление качеством, технологические процессы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Васильев В.А., Александрова С.В., Летучев Г.М. Цифровые технологии в управлении качеством // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 125–129. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_125.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

DIGITAL TECHNOLOGIES IN QUALITY MANAGEMENT

Victor A. Vasiliev
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-4528-7696

Svetlana V. Aleksandrova
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-7102-3029

Gennady M. Letuchev
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-2073-367X

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. *Quality management in the modern economy is a priority tool for the competitiveness of products, services, their creation processes and enterprises as a whole. The development of quality management tools and methods from ancient times to the present day is described in detail in the literature. Combining various methods of quality management has led to the creation of modern quality systems (QMS). The next step in the development of the QMS, or rather the SM – management system, is integration with digital technologies. Digital technologies developed intensively already in the 20th century, but in the 21st they began to penetrate into all areas of human life.*

Object. *Creation an effective quality management system using digital technologies.*

Methods. *The difficulty is not only in the absence of specialists in the field of information technology and quality management at the same time, but also in the lack of integration of modern quality management methods with existing software products. In most ready-made solutions, quality management is reduced to the control of process parameters and product quality. The result is a poorly coordinated parallel development of advanced digital technologies and modern approaches to quality management. On the one hand, the creation of artificial intelligence (AI) and the corresponding opportunities for its use, on the other hand, new methods of quality planning, decision-making on dealing with inconsistencies, risk analysis and other quality management capabilities (QM). At the present stage of development, quality management uses many well-known IT technologies that allow achieving these goals: electronic document management (EDM systems), enterprise resource planning (ERP systems), customer relationship management systems (CRM), business process management (BPM), etc. However, these technologies to some extent involve people, their knowledge and abilities to ensure normal work. Digital transformation suggests taking the next step – to translate manual quality management operations into digital form. In quality management, there are many tasks that require significant human resources, for example, collecting and analyzing data on products, processes and systems of the organization, monitoring and managing processes, making decisions based on actual data, scaling the requirements of the quality system to changing processes, identifying and analyzing risks, etc. The development of new quality management methods based on the integration of MC and CT methods creates prerequisites for the digital transformation of the entire product life cycle, the creation of digital quality management systems.*

Findings. *1. The use of the above technologies allows for centralized control at all stages of the life cycle of the product being created: digital design and modeling, digital production, digital supply chain, logistics and digital adaptation for the consumer of the product after its delivery.*

2. The result of this is a qualitatively different level of work of the enterprise, the characteristics of which will be the formation of a digital double of technological processes and processes of the quality management system, as well as the production itself.

Conclusions. In the digital transformation, the main challenge is to redesign processes and procedures so that both people and software can provide consistency and improved quality.

KEY WORDS

Digital technologies, quality management, technological processes.

FOR CITATIONS

Vasiliev V.A., Aleksandrova S.V., Letuchev G.M. Digital Technologies in Quality Management. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 125–129. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_125 (in Russian)

ВВЕДЕНИЕ

Производство современной аэрокосмической продукции требует совершенствования и создания новых материалов, технологий, оборудования. Но не меньшее значение имеет совершенствование методов управления процессами на предприятии, в том числе методов менеджмента качества. Управление качеством в современной экономике является приоритетным инструментом повышения конкурентоспособности продукции, услуг, процессов их создания и предприятий в целом. Развитие инструментов и методов управления качеством с древних времен до наших дней подробно описано в литературе. Объединение различных методов управления качеством привело к созданию современных систем качества (СМК). Следующим шагом в развитии СМК, а точнее системы СМ – системы менеджмента, является интеграция с цифровыми технологиями.

Цифровые технологии интенсивно развивались уже в XX веке, но в XXI веке они начали проникать во все сферы человеческой жизни. Создать эффективную систему менеджмента качества с использованием цифровых технологий непросто.

МЕТОДЫ

На современном этапе развития управление качеством использует множество известных IT-технологий, позволяющих достичь этих целей: электронный документооборот (EDM-системы), планирование ресурсов предприятия (ERP-системы), системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), управление бизнес-процессами (BPM) и др. Однако эти технологии в какой-то степени задействуют людей, их знания и способности для обеспечения нормальной работы.

Цифровая трансформация предполагает следующий шаг – перевести ручные операции по управлению качеством в цифровую форму. В управлении качеством существует множество задач, требующих значительных человеческих ресурсов, например, сбор и анализ данных о продуктах, процессах и системах организации, мониторинг и управление процессами, принятие решений на основе фактических данных, масштабирование требований системы качества к изменяющимся процессам, выявление и анализ рисков и т.д.

Разработка новых методов управления качеством, основанных на интеграции методов МК (менеджмента качества) и ЦТ (цифровых технологий), создает предпосылки для цифровой трансформации всего жизненного цикла продукции, создания цифровых систем управления качеством [1–5]. Использование вышеперечисленных технологий позволяет осуществлять централизованный контроль на всех этапах жизненного цикла создаваемого продукта: цифровое проектирование и моделирование, цифровое производство, цифровая цепочка поставок, логистика и цифровая адаптация для потребителя продукта после его доставки. Результатом этого является качественно иной уровень работы предприятия, характеристиками которого станет формирование цифрового двойника технологических процессов и процессов системы менеджмента качества, а также самого производства.

Развитие цифровых технологий предполагает как материальную составляющую (различные гаджеты и их совокупность – например, «умный дом», «умное производство» и даже «умный город»), так и интеллектуальную составляющую – в основном в виде программного обеспечения. Как в материальном, так и в интеллектуальном направлении развернулась острая конкурентная борьба между ведущими мировыми корпорациями. В такой ситуации очень сложно выбрать свой собственный путь развития без серьезного анализа. Многие российские предприятия, искренне желающие быть в числе лидеров, внедряют дорогостоящие готовые программные и аппаратные решения от разных производителей. В будущем это приводит к конфликтам между различными решениями и снижению общей эффективности внедренных цифровых технологий.

Еще сложнее создать эффективную систему менеджмента качества с использованием цифровых технологий. Сложность заключается не только в отсутствии специалистов в области информационных технологий и управления качеством одновременно, но и в отсутствии интеграции современных методов управления качеством с существующими программными продуктами. В большинстве готовых решений управление качеством сводится к контролю параметров процесса и качества продукции. В лучшем случае используется цикл PDCA, который известен с середины прошлого века. Результатом является плохо скоординированное параллельное развитие передовых цифровых технологий и современных подходов к управлению качеством. С одной стороны, создание искусственного интеллекта (ИИ) и соответствующих возможностей для его использования, с другой стороны, новые методы планирования качества, принятия решений по устранению несоответствий, анализа рисков и других возможностей управления качеством (QM).

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее очевидными эффектами интеграции МК и ЦТ являются следующие:

1. Регистрация и анализ данных. Это одна из самых трудоемких задач системы качества. Снижение стоимости и увеличение скорости систем хранения и обработки информации позволяют нам решить задачу, которая ранее казалась невыполнимой – измерить и зарегистрировать все, что может повлиять на качество продукта. Были разработаны программные продукты и различные типы датчиков для новых источников данных. Стало возможным размещать датчики там, где это необходимо, а не там, где это позволяет технология или дизайн продукта. В то же время система «больших данных» позволяет анализировать эти огромные, сложные и быстро растущие наборы данных из нескольких источников.

2. Мониторинг и контроль процессов. Чаще всего для управления процессами в управлении качеством используются различные инструменты качества (статистические методы или экспертные оценки специалистов). С появлением алгоритмов глубокого обучения для нейронных сетей использование искусственного интеллекта стало возможным для этих целей. Накопление информации о процессах и алгоритмах устранения отклонений и несоответствий повышает эффективность системы. Обученная нейронная сеть обнаруживает тенденции и изменения в процессах гораздо эффективнее и быстрее, чем человек или автоматизированные комплексы, основанные на статистической обработке данных.

3. Подтверждение соответствия требованиям (нормативным документам, спецификациям и т.д.). Во многих процессах деятельности организации необходимо подтвердить объективность полученных сертификатов соответствия установленным требованиям. Технология блокчейн позволяет вам иметь безопасную, децентрализованную и полностью объективную систему подтверждения выполненных требований. Влияние человеческого фактора сведено к минимуму.

4. Принятие решений в сложных ситуациях. Система менеджмента качества требует создания «жестко» прописанных алгоритмов выполнения процессов. Алгоритмы устанавливаются в картах процессов и других процедурах. Если процесс сложный и разветвленный, а выполнение операций зависит от изменения параметров, то вам либо придется прописать все возможные варианты хода процесса, либо положиться на экспертное решение исполнителя процесса. Любая неопределенная ситуация может привести к сбою или остановке процесса. Цифровая трансформация позволяет нам решить эту проблему с помощью надежной аналитики.

5. Обеспечение качества на всех этапах жизненного цикла продукта.

6. Совершенствование (повышение эффективности и результативности) производства.

Из вышесказанного ясно, что цифровая трансформация снижает «сложность» многих задач по управлению качеством, которые приходится выполнять персоналу любой организации. При переходе к цифровым технологиям главная задача состоит в том, чтобы перестроить процессы и процедуры таким образом, чтобы как люди, так и программные продукты могли обеспечить стабильность и повышение качества. Внедрение интеграции ЦТ и МК в реальное производство – очень сложная задача, которую могут решить только команды специалистов различного профиля – программистов, технологов, инженеров по качеству и автоматизации, экономистов и т.д.

Литература

1. Васильев В.А., Вельмакина Ю.В. Порядок формирования интегрированной системы менеджмента на предприятии // Управление качеством: избр. науч. тр. восемнадцатой Междунар. науч.-практ. конф. М.: Пробел-2000, 2019. С. 101–106.

2. Васильев В.А. Качество как элемент конкурентоспособной экономики // Управление качеством: избр. науч. тр. четырнадцатой Междунар. науч.-практ. конф. М., 2015. С. 14–18.

3. Васильев В.А., Александрова С.В., Александров М.Н. Интеграция менеджмента качества и цифровых технологий // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 9(148). С. 14–19.

4. Васильев В.А., Александрова С.В. Управление качеством в современных условиях // Российская металлургия (Металлы). 2015. Т. 2015, № 13. С. 1161–1167.

5. Vasiliev V.A., Aleksandrova S.V., Aleksandrov M.N. Integration of quality management and digital technologies. In: 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS), 2017, pp. 454–456. DOI: 10.1109/ITMQIS.2017.8085860.

References

1. Vasil'ev V.A., Vel'makina Yu.V. The procedure for the formation of an integrated management system at the enterprise. In: *Upravlenie kachestvom: izbr. nauch. tr. vosemnadtsatoi Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of 18th Int. Sci. Conf. «Quality Management»]. Moscow, Probel-2000 Publ., 2019, pp. 101–106 (in Russian).

2. Vasil'ev V.A. Quality as an element of a competitive economy. In: *Upravlenie kachestvom: izbr. nauch. tr. chetyrnadtsatoi Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of 14th Int. Sci. Conf. «Quality Management»]. Moscow, 2015, pp. 14–18 (in Russian).

3. Vasil'ev V.A., Aleksandrova S.V., Aleksandrov M.N. Integration of quality management and digital technologies. K*achestvo. Innovatsii. Obrazovanie*, 2017, no. 9(148), pp. 14–19 (in Russian).

4. Vasil'ev V.A., Aleksandrova S.V. Quality management in modern conditions. *Rossiiskaya metallurgiya (Metally)*, 2015, vol. 2015, no. 13, pp. 1161–1167 (in Russian).

5. Vasiliev V.A., Aleksandrova S.V., Aleksandrov M.N. Integration of quality management and digital technologies. In: 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS), 2017, pp. 454–456. DOI: 10.1109/-ITMQIS.2017.8085860.

Информация об авторах / Information about the authors

Васильев Виктор Андреевич
доктор технических наук, профессор кафедры управления качеством и сертификации,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*121552, г. Москва, ул. Оршанская, д. 3*)
vasiliev@mati.ru

Александрова Светлана Викторовна
кандидат технических наук, доцент кафедры управления качеством и сертификации,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*121552, г. Москва, ул. Оршанская, д. 3*)
vasil-s@yandex.ru

Летучев Геннадий Михайлович
кафедра управления качеством и сертификации,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*121552, г. Москва, ул. Оршанская, д. 3*)
letuchev65@ya.ru

Victor A. Vasiliev
Dr. Sc. (Technics), Professor,
Quality Management and Certification Department,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
(*3, Orshanskaya Str., Moscow, Russia 121552*)
vasiliev@mati.ru

Svetlana V. Aleksandrova
Cand. of Sc. (Technics), Associate Professor,
Quality Management and Certification Department,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
(*3, Orshanskaya Str., Moscow, Russia 121552*)
vasil-s@yandex.ru

Gennady M. Letuchev
Quality Management and Certification Department,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
(*3, Orshanskaya Str., Moscow, Russia 121552*)
letuchev65@ya.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 338.3 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_130

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Р.С. Голов

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1594-6619

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Автором рассматриваются предпосылки к развитию цифровой трансформации промышленности. Анализируются предыдущие этапы комплексной автоматизации производства.*

В качестве задачи исследования выступает выявление и определение ключевых аспектов киберфизической трансформации производства на аэрокосмических предприятиях.

Методы. *В качестве методов проведения исследования автором были использованы общенаучные методы системного анализа, абстракция, анализ и синтез и др.*

Результаты. *Как показал проведенный анализ, двумя основными начальными точками развития Индустрии 4.0 стали Ганноверская технологическая ярмарка, состоявшаяся в Германии в 2011-м году, и проведенный в 2016-м году Всемирный экономический форум в Давосе, где его основатель Клаус Шваб определил ее как глобальный переход к новой эпохе развития экономики и промышленности. Автором приводится классификация цифровых технологий, из числа которых выделяется консолидирующая их технология киберфизических систем. Определяются перспективы и ключевые аспекты применения киберфизической трансформации для предприятий аэрокосмической отрасли. Отдельное внимание уделяется проблеме поиска нового баланса между человеческим персоналом и высокоуровневыми системами автоматизации, обладающими развитым искусственным интеллектом.*

Выводы. *В заключение делаются основные выводы по результатам проведенного исследования. Сбалансированный подход к киберфизической трансформации предприятий аэрокосмической отрасли предполагает не исключение человека из производства, а его переход на более высокий интеллектуальный уровень. Значимую поддержку для реализации такого подхода способны оказать вузы, действующие в регионе расположения предприятий.*

Ключевые слова

Автоматизация производства, цифровая трансформация, Индустрия 4.0, киберфизические системы, искусственный интеллект, киберфизическая трансформация предприятий, подготовка кадров.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Голов Р.С. Основные аспекты киберфизической трансформации производства на предприятиях аэрокосмической отрасли // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 130–134. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_130.

KEY ASPECTS OF CYBER-PHYSICAL TRANSFORMATION OF PRODUCTION IN AEROSPACE ENTERPRISES

Roman S. Golov

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1594-6619

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. *The author considers the prerequisites for the development of digital transformation of industry. Analyzes the previous stages of the complex automation of production.*

Problem Statement. The task of the study is to identify and determine the key aspects of cyber-physical transformation of production in aerospace enterprises.

Methods. *The author used general scientific methods of system analysis, abstraction, analysis and synthesis, etc. as methods of research.*

Results. As the analysis showed, the two main starting points of Industry 4.0 were the Hannover Technology Fair held in Germany in 2011 and the World Economic Forum held in 2016 in Davos, where its founder Klaus Schwab defined it as a global transition to a new era of economic and industrial development. The author gives a classification of digital technologies, among which the technology of cyber-physical systems that consolidates them is distinguished. Prospects and key aspects of cyber-physical transformation application for aerospace industry enterprises are defined. Particular

attention is paid to the problem of finding a new balance between human personnel and high-level automation systems with advanced artificial intelligence.

Conclusion. *The conclusion draws the main conclusions on the results of the study. A balanced approach to the cyber-physical transformation of aerospace enterprises involves not the exclusion of a person from production, but his transition to a higher intellectual level. Significant support for the implementation of this approach can be provided by universities operating in the region where the enterprises are located.*

KEYWORDS

Production automation, digital transformation, Industry 4.0, cyber-physical systems, artificial intelligence, cyber-physical transformation of enterprises, personnel training.

FOR CITATION

Golov R.S. Key Aspects of Cyber-Physical Transformation of Production in Aerospace Enterprises. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 130–134. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_130 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Развитие высокотехнологичных предприятий аэрокосмической отрасли представляет собой одно из приоритетных направлений государственной промышленной политики как в рамках укрепления обороноспособности страны, так и в контексте реализации программ освоения космоса. Это определяет необходимость отбора и внедрения на таких предприятиях наиболее современных технологий комплексной автоматизации производства, обеспечивающих качественно новый уровень эффективности реализации производственных процессов, повышающих прозрачность самой производственно-технологической системы предприятия, а также снижающих ряд технических рисков, в том числе вызванных так называемым «человеческим фактором».

Первые опыты по автоматизации производства берут свое начало еще с 70-х годов прошлого века, когда только начинали создаваться опытные автоматизированные системы управления (АСУ), внедряться современные образцы средств вычислительной техники и промышленные роботы. За прошедшие с того времени десятилетия технологии автоматизации производства постоянно развивались сообразно росту вычислительного потенциала компьютерной техники, разработке новых технологий и специализированного оборудования. С точки зрения изменения масштаба автоматизации, первые ее этапы были связаны с автоматизацией отдельных участков и линий производства, в то время как последующие этапы были нацелены на формирование более крупных АСУ уровня цехов и всего предприятия в целом. Более подробно технологии комплексной автоматизации производства рассмотрены в [1–3].

Качественно новые возможности автоматизации производства были достигнуты с наступлением Четвертой промышленной революции, технологии которой связаны, в большей степени, не с традиционными механизмами автоматизации производства, а с его повсеместной цифровизацией на основе качественно новых цифровых технологий и подходов. Как отмечают многие исследователи, само возникновение Четвертой промышленной революции связано, прежде всего, с существенным техническим прогрессом современных компьютерных систем и возрастанием их вычислительных мощностей, что позволило достичь серьезных успехов в области одной из ее ключевых технологий – искусственного интеллекта.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве основной задачи исследования выступает выявление и определение ключевых аспектов киберфизической трансформации производства на аэрокосмических предприятиях. Решение этой задачи, по мнению автора, позволит повысить эффективность цифровой трансформации аэрокосмических предприятий, развивая идеи технологической синергии и глубокой связности между отдельными технологиями Индустрии 4.0, объединяемыми в рамках киберфизической системы.

МЕТОДЫ

В рамках проведения исследования автором использовались такие методы научно-исследовательской работы, как общенаучные методы системного анализа, абстракция, анализ и синтез, аналогия и классификация. Кроме того, автором был использован метод исторического анализа, исторический и логический методы исследования.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

РЕЗУЛЬТАТЫ

В основе проведенного автором исследования лежит глубокое изучение внутренних процессов Четвертой промышленной революции, для более краткого и емкого обозначения именуемой термином «Индустрия 4.0». Впервые данный термин был упомянут на Ганноверской технологической ярмарке, состоявшейся в Германии в 2011 году. В последующие годы, по мнению германских экспертов Б. Блокинга, П. Летигера, Т. Олтманна с соавторами, развитие технологий Индустрии 4.0 в Европе позволит входящим в ее состав странам получить дополнительный объем валовой добавленной стоимости размером в 1,25 трлн евро [4].

Глобальную же известность термин «Индустрия 4.0» получил в 2016 году, прозвучав из уст основателя и бессменного председателя Всемирного экономического форума в Давосе Клауса Шваба [5]. В структуру самой концепции Индустрии 4.0 Шваб включил динамично распространяющиеся на глобальном уровне новейшие цифровые технологии, оказывающие значительное влияние как на промышленность и бизнес, так и на жизнь миллионов людей: Интернет вещей, облачные технологии, искусственный интеллект, киберфизические системы, цифровые двойники, аддитивное производство и др. Важным фактором здесь является то, что в условиях цифровой экономики данные технологии часто развиваются и внедряются не по отдельности, а взаимосвязанно, благодаря чему удается получить самые разные технологические и экономические эффекты. Это становится возможным благодаря тому, что, как правило, общим знаменателем в этом процессе выступает искусственный интеллект, обладающий максимально широким спектром целевых функций и возможностей для встраивания в различные технологические системы.

В рамках развития технологий Индустрии 4.0 на предприятиях аэрокосмической отрасли одним из наиболее оптимальных решений для проведения их интеллектуальной автоматизации выступает внедрение киберфизической системы – комплекса производственного, регулирующего, аналитического и управляющего оборудования, взаимосвязанного в рамках единой технологической экосистемы на основе сквозных алгоритмов искусственного интеллекта, специализированных цифровых технологий и программного обеспечения. Таким образом, внедрение подобных систем позволяет осуществлять киберфизическую трансформацию высокотехнологичного производства, базирующуюся на внутреннем единстве входящих в киберфизическую систему оборудования и программных продуктов и нацеленную на формирование прозрачной, гибкой и адаптивной производственной среды.

Одним из наиболее важных качеств киберфизической системы выступает наличие у нее высокого потенциала к самоорганизации, за счет которого обеспечивается саморегуляция управляемого ей оборудования и производственно-технологических процессов без необходимости привлечения к решению данных задач человеческого персонала. На практике это означает ее способность к оперативному и пропорциональному реагированию на большинство типов нештатных ситуаций и внутренних технических проблем, возникающих как в рамках аппаратных, так и в границах программных подсистем, в основе которого лежат развитые алгоритмы искусственного интеллекта, имеющие возможность проведения различных типов оценки таких ситуаций и самостоятельного принятия решений. Благодаря этой способности киберфизическая система представляет собой качественно новый этап интеллектуальной автоматизации производства, существенно повышающий уровень технологической автономности различных производственных подсистем предприятия аэрокосмической отрасли.

Изменяя баланс влияния на производство между человеческим персоналом и машинными системами, киберфизическая трансформация приводит к определенному «вытеснению» человека из определенных сфер оперативной организации и управления производственными процессами. Это, в свою очередь, способствует возрастанию опасений со стороны рабочих, связанных с угрозой утери ими собственной роли на производстве и риском увольнения.

По мнению автора, киберфизическая трансформация предприятия отнюдь не предполагает полного вытеснения человека из производства.

Скорее, речь идет о создании в эпоху Индустрии 4.0 качественно новых сценариев не только киберфизической трансформации, но и для интеллектуальной трансформации и роста самих сотрудников предприятия. В качестве одного из основных направлений такой трансформации выступает обеспечение переобучения и переподготовки уже действующих сотрудников с обеспечением их качественно новыми цифровыми компетенциями. В основе подобных компетенций лежат навыки управления оборудованием и программными компонентами киберфизической системы, их развертывания на предприятии, наладки, переналадки, настройки, диагностики, ремонта и др. Таким образом, интеллектуальная автоматизация производства, с одной стороны, позволяет автоматизировать наиболее трудоемкие функции, выполнявшиеся людьми, а с другой – способствует когнитивному развитию самих людей, участвующих в процессах производства.

В качестве прикладного механизма обеспечения такого развития, по мнению автора, может выступить сотрудничество предприятия с ведущими вузами региона в рамках совместной разработки и реализации новых программ целевой подготовки, переподготовки, повышения квалификации сотрудников предприятия с учетом специфики и технических параметров внедряемой на нем киберфизической системы, на основе которых определяются блоки требуемых к усвоению цифровых компетенций.

Подобный подход позволит существенно снизить широко распространенные в настоящее время страхи, связанные с массовой безработицей как следствием цифровизации экономики и промышленности, а также повысит мотивацию самих рабочих к собственному интеллектуальному и образовательному развитию. Тем самым, Четвертая промышленная революция может стать не только новым этапом в развитии технологий и машинных систем, но и создать импульс к дальнейшей интеллектуальной эволюции самого человека.

ВЫВОДЫ

Уже сегодня киберфизическая трансформация представляет собой один из магистральных путей развития предприятий аэрокосмической отрасли. Создаваемые на предприятиях киберфизические системы органично интегрируют в своем составе широкий спектр цифровых технологий, кардинально преображая саму структуру производственных процессов, повышая их динамику и синхронность в рамках общего жизненного цикла высокотехнологичной продукции.

Вместе с тем данная трансформация несет также некоторые риски и вызывает опасение у сотрудников предприятий, видящих в «интеллектуальных машинах» потенциальных конкурентов за их рабочие места. В то же время сбалансированный подход к киберфизической трансформации предприятий аэрокосмической отрасли предполагает не исключение человека из производства, а его переход на более высокий интеллектуальный уровень. Значимую поддержку для реализации такого подхода способны оказать вузы, действующие в регионе расположения предприятий и обладающие необходимым потенциалом для реализации переобучения, повышения квалификации, целевой подготовки для него высокопрофессиональных сотрудников, обладающих важными цифровыми компетенциями.

Литература

1. Голов Р.С., Мыльник А.В. Трансформация профессиональных функций человека в условиях формирования интегрированных автоматизированных информационных систем управления в промышленности // Экономика и управление в машиностроении. 2017. № 1. С. 5–11.

2. Голов Р.С., Мыльник А.В. Ключевые принципы модернизации промышленности в контексте реиндустриализации экономики России // Экономика и управление в машиностроении. 2017. № 2. С. 61–64.

3. Голов Р.С., Мыльник А.В. Концептуальные основы формирования инновационно-инвестиционных кластерных сред в условиях модернизации экономики // Экономика и управление в машиностроении. 2014. № 1. С. 32–38.

4. Bloching B., Leutiger P., Oltmanns T., Rossbach C., Schlick T. et al. The digital transformation of industry. Roland Berger Strategy Consultants und Bundesverband der Deutschen-Industrie, München, 2015.

5. Schwa K. The Fourth Industrial Revolution, what it means and how to respond. Available at: https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

References

1. Golov R.S., Myl'nik A.V. Transformation of human professional functions in the context of the formation of integrated automated management information systems in industry. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii*, 2017, no. 1, pp. 5–11 (in Russian).

2. Golov R.S., Myl'nik A.V. Key Principles of Industrial Modernization in the Context of Re-Industrialization of the Russian Economy. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii*, 2017, no. 2, pp. 61–64 (in Russian).

3. Golov R.S., Myl'nik A.V. Conceptual foundations of the formation of innovation and investment cluster environments in the context of economic modernization. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii*, 2014, no. 1, pp. 32–38 (in Russian).

4. Bloching B., Leutiger P., Oltmanns T., Rossbach C., Schlick T. et al. The digital transformation of industry. Roland Berger Strategy Consultants und Bundesverband der Deutschen-Industrie, München, 2015.

5. Schwa K. The Fourth Industrial Revolution, what it means and how to respond. Available at: https://www.wefo-rum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond.

Информация об авторе/ Information about the author

Голов Роман Сергеевич
доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой менеджмента и маркетинга высокотехнологичных отраслей промышленности,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
главный редактор журнала «Экономика и управление в машиностроении».
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
roman_golov@rambler.ru

Roman S. Golov
Dr. Sc. (Economics), Professor, Head of the Department of Management and Marketing of High-Tech Industries, Moscow Aviation Institute (National Research University),
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
roman_golov@rambler.ru.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 334.7 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_135

МЕЖКЛАСТЕРНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО САМАРСКОГО И ТИТАНОВОГО ИННОВАЦИОННЫХ КЛАСТЕРОВ

Л.А. Костыгова

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7303-8075

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель *– определить перспективы межкластерного сотрудничества и оценить направления взаимодействия Самарского и Титанового инновационных кластеров. Управление цепочками поставок в кластерах обеспечивает более высокий уровень коммуникациии, координацию бизнес-процессов, что должно положительно повлиять на эффективность кластеров.*

Методы. *Применение методов синтеза и анализа данных, в том числе системного анализа, позволило выявить закономерности в развитии межкластерного сотрудничества, определить перечень комплексных задач, стоящих перед кластерами, решение которых позволит скоординировать действия на межрегиональном уровне, установить зависимости, на основе которых стало возможно предложить количественную оценку требований к устойчивому развитию кластеров.*

Результаты. *В качестве основных направлений взаимодействия Самарского и Титанового инновационных кластеров определены следующие: круговая экономика; единая мультисистема; «зеленая направленность». Для каждой из выявленных тенденций межкластерного сотрудничества разработаны направления их реализации. Разработана система показателей для характеристики «зеленых» требований устойчивого развития на межкластерном уровне. Предложена схема управления межкластерным сотрудничеством.*

Выводы. *Выполненный анализ позволил выявить перспективы сотрудничества Самарского и Титанового кластеров и предложить инструменты их реализации (система показателей, схема управления межкластерным сотрудничеством).*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Направления и инструменты межкластерного сотрудничества, Самарский инновационный аэрокосмический кластер, Титановый инновационный кластер.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Костыгова Л.А. Межкластерное сотрудничество Самарского и Титанового инновационных кластеров // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 135–142. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_135.

PROSPECTS OF INTER-CLUSTER COOPERATION ON THE EXAMPLE OF THE SAMARA INNOVATIVE AEROSPACE CLUSTER

Ludmila A. Kostygova

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7303-8075

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

Thegoal *is to determine the prospects for inter-cluster cooperation and to assess the areas of interaction between the Samara and Titanium innovation clusters.Supply chain management in clusters provides a higher level of communication and coordination of business processes, which should positively affect the efficiency of clusters.*

Methods. *The use of data synthesis and analysis methods, including system analysis, allowed: to identify patterns in the development of inter-cluster cooperation; to determine the list of complex tasks facing clusters, the solution of which will allow coordinating actions at the interregional level; to establish dependencies on the basis of which it became possible to offer a quantitative assessment of the requirements for the sustainable development of clusters.*

Results. *The following are identified as the main areas of interaction between Samara and Titanium innovation clusters: circular economy; unified multi-system; "green orientation". Directions of their implementation have been developed for each of the identified trends of inter-cluster cooperation. A system of indicators has been developed to characterize the "green" requirements of sustainable development at the intercluster level. A scheme for managing inter-cluster cooperation is proposed.*

Conclusions. *The analysis made it possible to identify the prospects for cooperation between the Samara and Titanium clusters and to propose tools for their implementation (a system of indicators, a management scheme for inter-cluster cooperation).*

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

KEYWORDS
Directions and tools of inter-cluster cooperation, Samara Innovative Aerospace Cluster, Titanium Innovation Cluster.

FOR CITATION
Kostygova L.A. Prospects of Inter-Cluster Cooperation on the Example of the Samara Innovative Aerospace Cluster. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 135–142. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_135 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Самарский аэрокосмический территориальный инновационный кластер является одним из 25 пилотных российских территориальных инновационных кластеров (ТИК), он [3, 7]:

- обеспечивает около 25% машиностроения и 3% выпуска промышленной продукции Самарской области;
- характеризуется полным циклом производства аэрокосмической продукции. На территории Самарского региона выстроена интегрированная цепочка, включающая три приоритетных национальных комплекса, осуществляющих 1) разработку, производство и обслуживание «ракетно-космических систем, 2) авиационных, ракетных, авиационных и промышленных двигателей, 3) прикладные исследования и разработки в области проектирования авиационных узлов, создание новых материалов и процессов» [3].

Для Самарского кластера с точки зрения создания сквозных цепочек производства продукции и обеспечения долговременных связей с поставщиками первоочередными действиями является установление межкластерных связей с производителем титана – Титановым инновационным кластером, расположенным в Свердловской области в особой экономической зоне «Титановая долина».

Первый в металлургии Титановый кластер входит в число первых 25 российских пилотных ТИК. Ведущим предприятием кластера является ПАО «Корпорация ВСМПО – Ависма», которое взаимодействует с предприятиями из 49 стран мира и имеет долгосрочные контракты с ведущими аэрокосмическими компаниями: «Airbus» и «Boeing». Титановый ТИК обеспечивает до 95% потребности в титановой продукции внутреннего и до 35% мирового рынка. В кластере организовано производство титана и изделий из него, их черновая и чистовая обработка [4, 8].

Самарский аэрокосмический и Титановый инновационные кластеры содержат все элементы инновационных кластеров, которые осуществляют поддержку процесса кластеризации:

- образовательные в лице ведущих вузов региона;
- научно-исследовательские организации, занимающиеся научными исследованиями и проектированием техники;
- инновационные структуры регионов в форме технопарков, бизнес-инкубаторов, центров кластерного развития.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Необходимость координации усилий на межрегиональном уровне возникает в связи с решением комплексных задач стоящими перед кластерами, таких как (рис. 1):

- использование больших объемов данных (BigData),
- выстраивание сквозных цепочек поставок, управление ими;
- формирование отношений нового типа между современными инновационными территориальными кластерами. Для Самарского аэрокосмического кластера таким агентом в первую очередь является поставщик сырья – Титановый ТИК. Данные кластеры имеют положительный опыт международного сотрудничества, который может быть использован.

В результате будут сформирован новый тип отношений между основными агентами полной цепочки производства от добычи и переработки сырья до получения аэрокосмический продукции.

Управление цепочками поставок на межкластерном уровне позволяет наладить коммуникационный процесс, скоординировать действия участников цепи поставок, что повышает их эффективность (рис. 2).

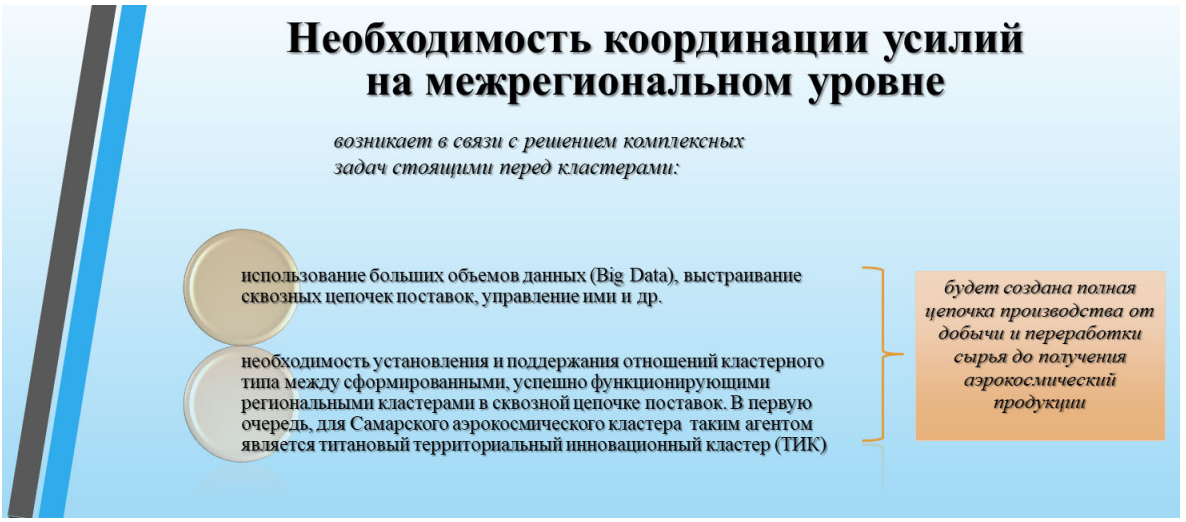


Рис. 1. Координация взаимодействия Самарского и Титанового ТИК

Fig. 1. Coordination of interaction between Samara and Titanium Territorial Innovation Clusters

Рис. 2. Управление цепочками поставок на межкластерном уровне

Fig. 2. Supply chain management at the inter-cluster level

Конечная цель управления цепочками поставок с точки зрения устойчивого развития заключается в обеспечении эффективного производства, поставок товаров и услуг заданного качества, отвечающих экологическим и социальным требованиям. Связывающие ТИК цепочки поставок – основа их устойчивого развития. Поэтому установление длительных связей на основе межкластерных взаимоотношений между Титановым и Самарским ТИК является безальтернативным вариантом их развития. Такой подход обеспечит комплексное ускоренное интеграционное развитие как самих кластеров, так и территорий, на которых они расположены [2, 5, 6].

Межкластерные отношения – насущная потребность развития инновационных промышленных кластеров. Опыт кластерной политики ЕС подтверждает целесообразность межрегионального сотрудничества. В России имеется положительный опыт такого взаимодействия в нефтехимической отрасли между кластерами Татарстана, Башкортостана и Самарской области [5].

МЕТОДЫ

При анализе закономерностей межкластерного сотрудничества были использованы методы синтеза и анализа данных, в том числе системного анализа.

Анализ взаимоотношений между рассматриваемыми ТИК как агентами цепочек поставок позволил определить основные направления их взаимодействия (рис. 3):

- круговая экономика;
- единая мультисистема;
- «зеленая направленность».

Круговая экономика

Уровень межкластерного взаимодействия значительно выше простой кооперации. В результате появляется возможность решать задачи, которые были недоступны до этого отдельным участникам кластера – обеспечиваются полный учет, сбор и переработка вторичного сырья и отходов производства.

Межкластерное взаимодействие позволяет объединить на длительной основе взаимосвязанные экономические субъекты: поставщиков сырья, производителей продукции, комплектующих и специализированных услуг; создать совместные инфраструктуры. Инфраструктуры кластеров взаимодополняют друг друга, позволяют осуществить замкнутый процесс переработки сырья и обеспечить снижение вредного воздействия промышленных производств на окружающую среду [9]. Титановый ТИК, как поставщик титана и его сплавов, перерабатывает минеральное сырье сложного вещественного состава, нуждающееся в комплексной переработке. Образование при обработке металла значительного количества металлосодержащих отходов требует тесной кооперации машиностроения с металлургией с целью рециркуляции отходов и обеспечения «круговой» экономики.

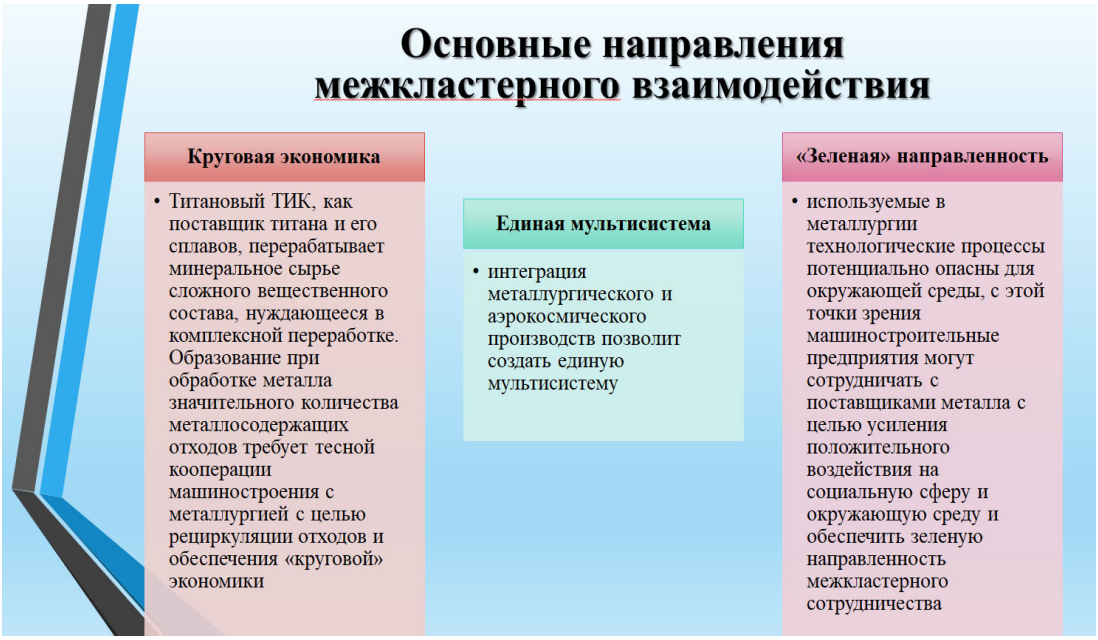


Рис. 3. Основные направления межкластерного взаимодействия Самарского и Титанового ТИК

Fig. 3. The main directions of inter-cluster interaction of Samara and Titanium Territorial Innovation Clusters

Рис. 4. Предлагаемые направления реализации концепции круговой экономики в Самарском и Титановом кластерах

Fig. 4. Proposed directions for the implementation of the concept of circular economy in the Samara and Titanium clusters

На рис. 4 приведены предлагаемые направления реализации концепции круговой экономики в Самарском и Титановом кластерах.

Создание единой мультисистемы

Интеграция металлургического и аэрокосмического производств позволит создать единую мультисистему. Возможность применения прорывных технологий в каждом из рассматриваемых кластеров будет стимулировать и поддерживать развитие новых технологий на межкластерном уровне. Так, например, развитие приборо- и роботостроения обеспечило автоматизацию и роботизацию аэрокосмического производства, а это, в свою очередь, требует новых решений в производстве и обработке титана (например, аддитивные технологии).

Тесная, постоянная взаимосвязь агентов по всей цепочке поставок позволит:

- наладить выпуск высокотехнологичной продукции высокой добавленной стоимости, например, организовать в Титановом ТИК выпуск титановых изделий для Самарского кластера. Имеется опыт длительного тесного взаимодействия в этой области титанового кластера с зарубежными аэрокосмическими компаниями Boeing и Airbus;
- осуществлять совместные научные исследования (например, в области создания новых сплавов);
- создать единую систему учета данных.

«Зеленая» направленность межкластерного развития

Используемые в металлургии технологические процессы потенциально опасны для окружающей среды, с этой точки зрения машиностроительные предприятия могут сотрудничать с поставщиками металла с целью усиления положительного воздействия на социальную сферу и окружающую среду и обеспечить зеленую направленность межкластерного сотрудничества. В результате будет возможен управляемый переход к «зеленому» устойчивому развитию. Для этого необходимо тесное сотрудничество, при котором сформированная сквозная цепочка поставок позволит осуществлять и контролировать ответственность всех агентов цепочки в области устойчивого развития. На рис. 5 представлены предлагаемые направления межкластерного «зеленого» устойчивого развития Самарского и Титанового инновационных кластеров.

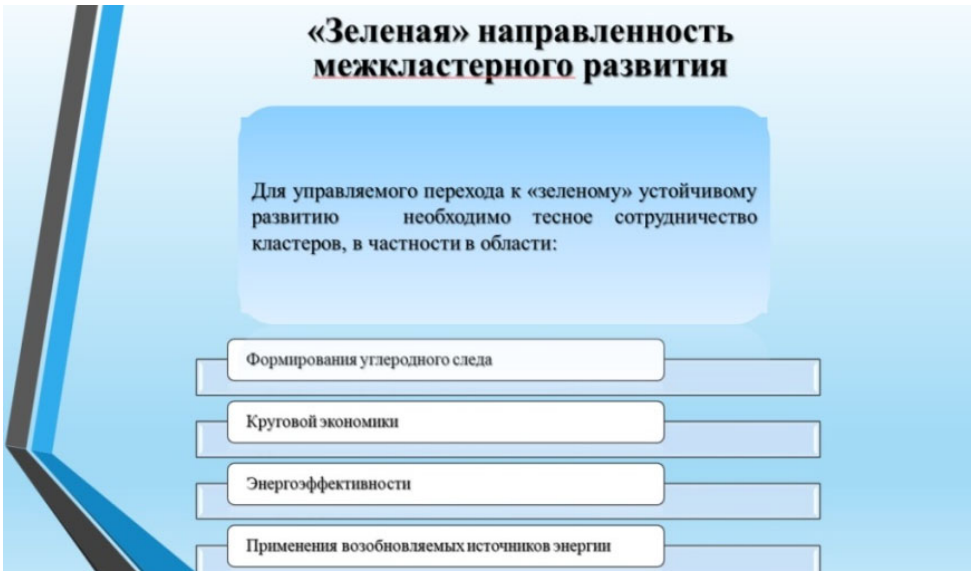


Рис. 5. Предлагаемые направления «зеленого» межкластерного развития Самарского и Титанового инновационных кластеров

Fig. 5. Proposed directions of "green" inter-cluster development of Samara and Titanium Innovation Clusters

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для характеристики «зеленого» межкластерного развития необходима разработка индикаторов, которые позволят оценить уровень межкластерного развития в этом направлении. Решение данной задачи может быть осуществлено на основе системы показателей, разработанной для выполнения требований к устойчивому развитию цепочки поставок в машиностроении [1] и представленной в таблице.

Система показателей, характеризующая «зеленые» требования устойчивого межкластерного развития Самарского и Титанового инновационных кластеров [1]

A system of indicators characterizing the "green" requirements for sustainable inter-cluster development of the Samara and Titanium innovation clusters [1]

Требования	Показатели (рекомендации, задания, обязательства, фактические значения)
1.Экологичность и значимость сырья, используемых материалов и выпускаемой продукции	*Углеродный след* («потенциал глобального потепления (GWP) для 100-летнего периода» и «потенциал изменения глобальной температуры для 100-летнего периода (GTP)»). *Содержание вредных веществ* (тяжелых металлов, ароматических углеводородов и т.п.). *Воздействие на человека, окружающую среду* (безвреден для кожи….). Отнесение к значимым группам: *критически важные материалы, конфликтные минералы* и т.п.
2. Экономия ресурсов	а) за счет увеличения срока службы продукции
	б) экономия материальных ресурсов: сырья, материалов
	в) экономия смазки
	г) экономия энергии, степень вовлечения в использование возобновляемых источников энергии
3.Рециркуляция ресурсов[1]	а) структура используемых отходов, степень использования отходов б) структура используемого амортизационного лома, степень использования амортизационного лома
4. Оптимизация технологических процессов, улучшение «экологического следа» продукции	Улучшение «экологического следа» продукции в виде экономии материальных, трудовых финансовых ресурсов, роста производительности труда
5. Рост общего количества и качества технологий	Рост производительности труда, сокращение времени на подготовку производства

[1]Для более полной характеристики рециркуляции ресурсов между поставщиками (предприятиями металлургического комплекса), предприятиями машиностроительного комплекса и потребителями машиностроительной продукции целесообразно использовать показатели формирования и использования металлофонда, более подробно эти вопросы освещены в статье Костыгова Л.А. «Оценка и управление рациональным использованием ресурсов в титановой отрасли кластерах» (Микроэкономика.2014. № 6. С. 29–38).

Рис. 6. Схема управления межкластерным сотрудничеством Самарского и Титанового инновационных кластеров

Fig. 6. Management scheme of inter-cluster cooperation of Samara and Titanium innovation clusters

Данная система может быть применена при характеристике «зеленых» требований устойчивого развития на межкластерном уровне.

Для организации процесса управления межкластерным сотрудничеством была разработана схема управления, обеспечивающая реализацию взаимодействия Самарского и Титанового инновационных кластеров и состоящая из четырех блоков (рис. 6):

- формализация требований к межкластерному сотрудничеству;
- проверка соответствия кластеров требованиям межкластерного сотрудничества;
- рекомендации и задания по выполнению условий межкластерного сотрудничества;
- сотрудничество кластеров в области совместных бизнес-процессов, единой мультисистемы, устойчивого развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования установлены:

- необходимость и целесообразность межкластерного сотрудничества Самарского и Титанового инновационных кластеров;
- определены и охарактеризованы основные направления взаимодействия Самарского и Титанового инновационных кластеров: круговая экономика; единая мультисистема; «зеленая направленность»;
- предложены инструменты межкластерного сотрудничества в виде системы показателей для характеристики «зеленых» требований устойчивого развития на межкластерном уровне; схемы управления межкластерным сотрудничеством;
- установлено, что в результате межкластерного сотрудничества будет повышена экономическая эффективность функционирования Самарского и Титанового ТИК, создана экономическая база для развития социальной и экологической сфер данных ТИК, сформированы условия для межрегионального взаимодействия.

Литература

1. Голов Р.С., Костыгова Л.А., Прокофьев Д.А., Анисимов К.В., Андрианов А.М. Управление цепочками поставок в машиностроительном комплексе с точки зрения устойчивого развития // СТИН. 2021. № 10. С. 40–42.

2. Голов Р.С., Мыльник А.В. Формирование гибридных кластеров в машиностроении в условиях перехода экономики в шестой технологический уклад // Экономика и управление в машиностроении. 2017. № 6. С. 5–9.

3. Инновационный территориальный аэрокосмический кластер [Электронный ресурс]. URL: http://cik63.ru/uslugi-centra/o-centre/aerospace-cluster (дата обращения: 15.07.2021).

4. Корпорация ВСМПО-АВИСМА: офиц. сайт. URL: http://www.vsmpo.ru/ru/ (дата обращения: 15.07.2021).

5. Костыгова Л.А. Европейский опыт модернизации промышленности на основе межрегионального сотрудничества // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11, № 4 [Электронный ресурс]. URL: https://esj.today/PDF/46ECVN419.pdf (дата обращения: 15.07.2021).

6. Костыгова Л.А. Территориальные инновационные кластеры и их роль в современном интеграционном развитии металлургии и машиностроения // Экономика и управление в машиностроении. 2019. № 2. С. 22–27.

7. Тарасов Е.В. Формирование кластерной политики Самарского региона [Электронный ресурс]. URL: https://www.imi-samara.ru/wp-content/uploads/2018/07/3_Tarasov_23-31.pdf (дата обращения: 20.07.2021).

8. Титановый кластер Свердловской области [Электронный ресурс]. URL: http://www.technounity.ru/klaster/klastery-rossii/titanovyy-klaster-sverdlovskoy-oblasti/ (дата обращения: 20.07.2021).

9. Eliseeva E. Economic impact of metallurgical complex on the ecological balance: rational use of resources and evaluation of environmental measures. In: 17th International multidisciplinary scientific GEO conference SGEM 2017, Albena, Bulgaria, 2017, pp. 249–254.

References

1. Golov R. S., Kostygova L.A., Prokof'ev D.A., Anisimov K.V., Andrianov A.M. Supply chain management in the machine-building complex from the point of view of sustainable development. STIN, 2021, no. 10, pp. 40–42 (in Russian).

2. Golov R.S., Myl'nik A.V. Formation of hybrid clusters in mechanical engineering in the context of the transition of the economy to the sixth technological order. Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii, 2017, no. 6, pp. 5–9 (in Russian).

3. Innovative Territorial Aerospace Cluster. Available at: http://cik63.ru/uslugi-centra/o-centre/aerospace-cluster (Access Date: 2021, July 15) (in Russian).

4. VSMPO-AVISMA Corporation: official website. Available at: http://www.vsmpo.ru/ru (Access Date: 2021, July 15) (in Russian).

5. Kostygova L.A. European experience in industrial modernization on the basis of interregional cooperation. Vestnik evraziiskoi nauki, 2019, vol. 11, no. 4. Available at: https://esj.today/ PDF/46ECVN419.pdf (Access Date: 2021, July 15) (in Russian).

6. Kostygova L.A. Territorial innovation clusters and their role in the modern integration development of metallurgy and mechanical engineering. Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii, 2019, no. 2, pp. 22–27 (in Russian).

7. Tarasov E.V. Formation of the cluster policy of the Samara region. Available at: https://www.imi-samara.ru/wp-content/uploads/2018/07/3_Tarasov_23-31.pdf (Access Date: 2021, July 15) (in Russian).

8. Titanium cluster of the Sverdlovsk region. Available at: http://www.technounity.ru/klaster/klastery-rossii/titanovyy-klaster-sverdlovskoy-oblasti/ (Access Date: 2021, July 15) (in Russian).

9. Eliseeva E. Economic impact of metallurgical complex on the ecological balance: rational use of resources and evaluation of environmental measures. In: 17th International multidisciplinary scientific GEO conference SGEM 2017, Albena, Bulgaria, 2017, pp. 249–254.

Информация об авторе/Information about the author

Костыгова Людмила Александровна
доктор экономических наук, доцент,
профессор кафедры менеджмента и маркетинга высокотехнологичных отраслей промышленности,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
kostmisis@yandex.ru

Ludmila A. Kostygova
Dr. Sc. (Economics), Professor, Department of Management and Marketing of High-Tech Industries, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
kostmisis@yandex.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 338.3 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_143

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

А.С. Кошелев

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5424-4340

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Важность и значимость технологического развития предприятий ракетно-космической отрасли обусловлены многими факторами, одним из которых является высокая энергоёмкость производственных циклов. При таком сценарии отечественная ракетно-космическая отрасль не может конкурировать с западными. Внедрение механизма системы управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли может изменить подход в управлении производственным предприятием. В статье рассматривается план-схема поэтапного внедрения системы управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли посредством механизма энергосервиса, в том числе исследуется определение основного комплекса подготовительных мероприятий при внедрении системы управления энергоэффективностью.*

Методы. *В качестве метода проведения исследования был выбран метод системного функционального анализа. Система управления энергоэффективностью, являясь технологией Четвертой промышленной революции, реализуется в виде киберфизической системы, способной в цифровом пространстве анализировать, просчитывать, контролировать функционирование энергетической системы с дальнейшим применением инструмента удаленного управления. Основные преимущества предлагаемой системы энергоэффективности – безопасность, эффективность, экономичность и надежность. В свою очередь, разработка и реализация системы управления энергоэффективностью достаточно затратный процесс для предприятия, поэтому автором предлагается рассмотреть внедрение системы с применением механизма энергетического сервиса, который позволит без вложений со стороны предприятия повысить конкурентоспособность производимых ракетоносителей и механизмов.*

Результаты. *При реализации механизма энергосервиса применительно к внедрению системы управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли условия энергосервисного контракта могут иметь разный объем и зависят от уровня технологий и степени внедрения системы. Предложенный план по внедрению системы управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли с применением механизма энергосервиса позволит обновить оборудование энергосистемы, управление энергосистемами, тем самым повысив их энергоэффективность и надежность.*

Выводы. *Предлагаемая система управления энергоэффективностью высокопромышленного предприятия позволит упорядочить работу энергохозяйства предприятия, наладить энергоэффективный производственный процесс, повысить безопасность и обеспечить выпускаемой продукции высокий конкурентоспособный уровень.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Энергоэффективность, энергосервис, системы управления, энергетика, энергетический аудит, технологическое развитие.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Кошелев А.С. Система управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 143–146. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_143.

ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT SYSTEM AT THE ENTERPRISES OF THE ROCKET AND SPACE INDUSTRY

Alexander S. Koshelev

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5424-4340

Federal State Budgetary Educational Institution «Moscow Aviation Institute (National Research University)», Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *The importance and significance of the technological development of enterprises in the rocket and space industry is due to many factors, one of which is the high energy intensity of production cycles. In this scenario, the domestic rocket and space industry cannot compete with the Western ones. Implementation of the mechanism of the energy efficiency management system at the enterprises of the rocket and space industry is a multistage system at its roots, changing the approach to the management of a production enterprise. The article discusses the plan-scheme of the phased implementation of the energy efficiency management system at the enterprises of the rocket and space industry through the energy service mechanism. The objective of the study is to determine the main set of preparatory measures for the implementation of an energy efficiency management system.*

Methods. *As a method of research, was used the method of system functional analysis. The energy efficiency management system, being the technology of the Fourth Industrial Revolution, is implemented in the form of a cyber-physical system capable of analyzing, calculating, monitoring*

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

the functioning of the energy system in the digital space with the further use of a remote control tool. The main advantages of the proposed energy efficiency system are safety, efficiency, economy and reliability. In turn, the development and implementation of an energy efficiency management system is a rather costly process for an enterprise, therefore the author proposes to consider the introduction of a system using an energy service mechanism, which will allow, without investments from the enterprise, to increase the competitiveness of the produced launch vehicles and mechanisms.

Findings. *When implementing of the energy service mechanism in relation to the implementation of an energy efficiency management system at the enterprises of the rocket and space industry, the terms of the energy service contract may have a different scope and depend on the level of technology and the degree of implementation of the system. The proposed plan for the introduction of an energy efficiency management system at the enterprises of the rocket and space industry using the energy service mechanism will update the equipment of the energy system, the management of energy systems, thereby increasing their energy efficiency and reliability.*

Conclusions. *The proposed energy efficiency management system for a highly industrial enterprise will help streamline the operation of the enterprise's energy facilities, establish an energy efficient production process, improve safety and ensure the products are manufactured at a high competitive level.*

KEYWORDS

Energy efficiency, energy service, management systems, energy, energy audit, technological development.

FOR CITATION

Koshelev A.S. Energy Efficiency Management System at the Enterprises of the Rocket and Space Industry. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 143–146. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_143 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Необратимый этап технологического развития требует от предприятий ракетно-космической промышленности надежно подготовленной энергетической базы. Распространённым инструментом выступает модернизация действующей энергетической системы путем замены устаревшего оборудования на более современное. Такая адаптация энергосистемы подразумевает внедрение обновленных инструментов управления. Разработанные системы управления энергохозяйством требуют больших финансовых затрат.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важнейшей задачей, возникающей при внедрении системы управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли, является рациональная взаимосвязь её составляющих при реализации соответствующего комплекса прикладных организационно-технических мероприятий. Успешность решения этой задачи во многом зависит от уровня опыта и наличия специализированных энергоэффективных компетенций у участников команды разработчиков. С учетом этого фактора наиболее оптимальным подходом является привлечение к внедрению системы управления энергоэффективностью энергосервисной компании.

Еще одним важным фактором, определяющим важность сотрудничества предприятия ракетно-космической отрасли с энергосервисными компаниями (ЭСКО) при внедрении системы управления энергоэффективностью, является весьма высокий уровень финансовых затрат, требуемых для ее развертывания на предприятии. Логично предположить, что в условиях экономического кризиса далеко не каждое предприятие будет готово направить значительный объем финансовых ресурсов на построение подобной системы и принять на себя сопутствующие данной работе риски. Используемый ЭСКО механизм энергетического сервиса позволяет исключить необходимость вложения средств в реализацию мероприятий по формированию системы управления энергоэффективностью со стороны самого предприятия, обеспечив полное финансирование за счет собственных и/или привлеченных средств энергосервисной компании.

При этом, в соответствии с условиями стандартного энергосервисного контракта, возврат вложенных такой компанией финансовых ресурсов осуществляется исключительно из объема средств, сэкономленных благодаря функционирующей на предприятии системе управления. А это, в свою очередь, определяет реальные и измеримые результаты повышения энергоэффективности самого предприятия в качестве краеугольного условия возврата средств. Соответственно, предприятие выплачивает финансовые средства исключительно из объема реально достигнутой экономии.

МЕТОДЫ

В качестве метода проведения исследования автором использовался метод системного функционального анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С учетом вышеизложенного процесс внедрения системы управления энергетической эффективностью предприятия начинается с заключения контракта между энергосервисной компанией и предприятием ракетно-космической отрасли.

После заключения контракта руководство предприятия совместно со специалистами ЭСКО формулирует цель и задачи создаваемой системы, учитывая при этом масштаб, отраслевую и технологическую специфику самого предприятия, а также ключевые экономические приоритеты.

На следующем этапе специалистами энергосервисной компании реализуется комплекс подготовительных мероприятий, выполнение которых необходимо для построения системы управления энергоэффективностью.

В комплексе подготовительных мероприятий на первом этапе производится сбор информации об объекте энергетического обследования специалистом ЭСКО совместно с представителями энергохозяйства. Специалисты собирают всю имеющеюся информацию о характеристиках каскада зданий объекта и их назначений, энергетического оборудования и историю оплат за потреблённые энергетические ресурсы на протяжении всей эксплуатации объекта. Собранная информация формируется в единый документ, который на протяжении всего подготовительно этапа дополняется информацией.

Затем проводится анализ энергетических систем предприятия, специалисты визуально и технически анализируют теплопотребление и выработку тепловой энергии, проверяют ревизионные люки на предмет утечки и при необходимости проводят гидравлические тесты. Далее посредством этой же технологии специалисты анализируют систему водоснабжения. Далее команда специалистов с допуском к работе с электроэнергией не ниже 4-го разряда анализирует систему электроснабжения, просчитываются количество потребляющего энергию оборудования и их характеристики, далее с помощью телевизионной съемки выявляются узлы напряжения в системе. Собранные данные комплектуются в единый документ.

На конечном этапе подготовительных мероприятий специалисты энергосервисной компании дают оценку энергоэффективности производственных мощностей предприятия. Сопоставляют нормативные показатели потребления оборудования и систем с фактическими, а затем фактические – с эталонными.

По завершении реализации подготовительных мероприятий специалистами ЭСКО совместно с руководством и ключевыми сотрудниками предприятия разрабатывается система планов комплексного повышения энергоэффективности данной промышленной структуры. Специалисты ЭСКО разрабатывают план-график по организации и проведению регулярных технических обследований предприятия. Закрепляется за объектом команда из технологов и аналитиков, в задачи которых входит проведение комплексного технического энергоаудита не реже одного раза в триместр и экспресс-энергоаудита – не реже одного раза в месяц.

Следующим шагом выступает разработка вариантов по энергоэффективной модернизации и автоматизации оборудования предприятия. Опираясь на информацию с первичного анализа оборудования и систем предприятия, специалисты ЭСКО просчитывают варианты по возможной адаптации имеющегося оборудования к внедряемой системе управления энергоэффективностью (подключение коммутаторов и КСПД) и необходимой замены оборудования на энергоэффективное с блоками удаленного управления.

Далее специалистами ЭСКО разрабатывается проект по повышению энергоэффективности инженерно-технических и энергетических систем предприятия. На данном этапе специалисты, используя полученные данные из энергоаудита о состоянии узлов энергохозяйства предприятия и фактическом износе инженерных систем, просчитывают объем капитального ремонта систем. В зависимости от формы управления на предприятии разрабатываемый проект может трактоваться как модернизация или реконструкция.

Опираясь на вышеописанные этапы, командой специалистов ЭСКО разрабатывается технический проект по развертыванию и дальнейшему развитию на предприятии систем

и технологий цифровизации энергоснабжения и энергосбережения. Проводится сбор информации о сроках исполнения обязательств от поставщиков оборудования. На основе полученной информации разрабатывается план-график поэтапного внедрения системы управления энергоэффективность в действующее энергохозяйство предприятия с учетом неполной остановки деятельности предприятия.

На основе технического проекта разрабатывается проект, подразумевающий организацию и развитие интеллектуальной цифровой системы управления энергоэффективностью предприятия. На данном этапе программисты высчитывают возможность адаптации получившейся на предыдущем этапе новой структуры энергохозяйства предприятия в программную среду управления, базирующуюся на языке программирования Phyton. Программисты вкупе с специалистами ЭСКО определяют функционал управления системой, и в зависимости от этого производится вычисление необходимой производимой мощности для устанавливаемого серверного оборудования.

После того как была разработана совокупность планов комплексного энергосбережения на предприятии, разработчики осуществляют проектирование организационной структуры системы управления энергоэффективностью с ее последующим внедрением. Данный этап является одним из наиболее трудоемких в общей структуре мероприятий по внедрению рассматриваемой системы и предполагает последовательное развертывание на предприятии совокупности высокотехнологичного оборудования, аппаратных систем и программного обеспечения с их последующей взаимоувязкой. Особое внимание при этом уделяется внедрению технологий автоматизации и цифровизации энергосбережения.

ВЫВОДЫ

Предложенный план по внедрению системы управления энергоэффективностью на предприятиях ракетно-космической отрасли с применением механизма энергосервиса позволит обновить оборудование энергосистемы, управление энергосистемами, тем самым повысив их энергоэффективность и надежность.

Литература

1. Голов Р.С. Маркетинг в цифровую эру: эпоха великих открытий // Экономика и управление в машиностроении. 2020. № 1. С. 4–6.

2. Голов Р.С., Мыльник А.В. Инновационно-синергетическое развитие промышленных организаций (теория и методология). 3-е изд., перераб. и доп. М.: Дашков и К, 2021. 426 с.

3. Кошелев А.С. Системный подход к внедрению энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 1. С. 44–51.

4. Кошелев А.С. Классификация энергоэффективных технологий как инструмент системного внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях промышленного профиля // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 2. С. 27–32.

References

1. Golov R.S. Marketing in the Digital Age: An Age of Discovery. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii*, 2020, no. 1, pp. 4–6 (in Russian).

2. Golov R.S., Myl'nik A.V. *Innovatsionno-sinergeticheskoe razvitie promyshlennykh organizatsii (teoriya i metodologiya). 3-e izd., pererab. i dop.* [Innovative and synergetic development of industrial organizations (theory and methodology). 3rd ed.]. Moscow, Dashkov i K Publ., 2021, 426 p. (in Russian).

3. Koshelev A.S. Systematic approach to the introduction of energy-saving technologies at industrial enterprises. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii*, 2021, no. 1, pp. 44–51 (in Russian).

4. Koshelev A.S. Classification of energy-efficient technologies as a tool for system implementation of energy-saving measures at industrial enterprises. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii*, 2021, no. 2, pp. 27–32 (in Russian).

Информация об авторе/ Information about the author

Кошелев Александр Сергеевич
ассистент кафедры менеджмента и маркетинга высокотехнологичных отраслей промышленности,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
fohfdt@gmail.com

Alexander S. Koshelev
Assistant Lecturer, Department of Management and Marketing of High-Tech Industries,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
fohfdt@gmail.com

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

Углеводороды и твердотельные материалы /
Hydrocarbons and solid-state materials

УДК 662.75 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_147

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА МАНОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Н.И. Варламова[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1519-8190

А.И. Казаков[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3760-7514

А.А. Молоканов[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7913-2732

Н.А. Плишкин[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0912-5905

Г.А. Тарасов[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6828-5952

Л.С. Яновский[1,2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2603-6795

[1] *Центральный институт авиационных моторов имени П.И. Баранова, Москва, Россия*
[2] *Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, МО, Россия*

АННОТАЦИЯ

Цель. *В статье приведены результаты работ по исследованию свойств углеводородных соединений с применением разработанного комплекса манометрических методов, предназначенного для определения теплофизических характеристик (упругость пара, критические параметры, энтальпия и энтропия испарения) и кинетики термического разложения компонентов топлив или смазочных материалов для авиационных двигателей, включающего высокоточную низкотемпературную установку и ее модернизированный вариант для повышенных температур и давлений.*

Методы. *В статье проведена апробация разработанного комплекса методов при проведении расчётно-экспериментальных исследований свойств декана. Кинетику разложения декана исследовали в интервале температур 420÷450°С. Энергия активации процесса термического разложения декана равна 52,2±0,4 ккал/моль, энтальпия и энтропия испарения равны ΔH = –6,8±0,2 ккал/моль, ΔS = 12,8±0,4 кал/(моль*К).*

Результаты. *Полученные новые данные по теплофизическим свойствам и кинетике термического разложения декана в базе данных NIST отсутствуют.*

Выводы. *В продуктах термического разложения декана в паровой фазе при температуре 460 °С и глубине η, близкой к 100 %, хромато-масс-спектрометрическим методом идентифицированы 30 соединений.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Исследования свойств, углеводородные соединения, манометрические методы, топлива, смазочные материалы для авиационных двигателей.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Варламова Н.И., Казаков А.И., Молоканов А.А., Плишкин Н.А., Тарасов Г.А., Яновский Л.С. Исследования свойств углеводородных соединений с помощью комплекса манометрических методов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 147–151. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_147.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

STUDIES OF THE PROPERTIES OF HYDROCARBON COMPOUNDS USING A COMPLEX OF MANOMETRIC METHODS

Natalija I. Varlamova[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-1519-8190

Anatoly I. Kazakov[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3760-7514

Alexander A. Molokanov[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7913-2732

Nikolay A. Plishkin[2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0912-5905

Georgy A. Tarasov[1]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-6828-5952

Leonid S. Yanovsky[1,2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2603-6795

[1] *Central Institute of Aviation Motors, Moscow, Russia*
[2]*Institute of Problems of Chemical Physics RAS, Chernogolovka, Moscow Region, Russia*

ABSTRACT
Object. *To study the properties of hydrocarbon compounds, a complex of manometric methods was developed for studying thermophysical characteristics (vapor pressure, critical parameters, enthalpy and entropy of evaporation) and the kinetics of thermal decomposition of components of fuel or lubricants for aircraft engines, consisting of a high-precision low-temperature unit and its modernized version for high temperatures and pressures.*
Methods. *In the work, the approbation of a complex technique for carrying out computational and experimental studies of the properties of new compounds on manometric installations was carried out. The results were approbation for a decane in the temperature range 420÷450 °C.*
New data were obtained on the thermophysical properties and kinetics of thermal decomposition for decane for temperature and pressure ranges that are absent in the NIST information base.
*The obtained activation energy of the thermal decomposition of decane is 52,23±0,38 kcal / mol.The enthalpies and entropies of evaporation determined in the work are equal ΔH = –6,8±0,2 kcal/mol, ΔS = 12,8±0,4 cal/(mol*K).*
Findings. *In the products of thermal decomteratureposition of decane in the vapor phase at a temperature of 460°C and a depth of η close to 100%, 30 compounds were identified by the gas chromatography-mass spectrometric method.*
Conclusions. The obtained data on the kinetics of decane decomposition, enthalpy and entropy of evaporation were compared with the data of other works.

KEYWORDS
Property studies, hydrocarbon compounds, manometric methods, fuels, lubricants for aircraft engines.

FOR CITATION
Варламова Н.И., Казаков А.И., Молоканов А.А., Плишкин Н.А., Тарасов Г.А., Яновский Л.С. Исследования свойств углеводородных соединений с помощью комплекса манометрических методов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 147–151. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_147.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема развития перспективных авиационных технологий требует системного подхода к ее решению. Одним из важных направлений являются поиск и исследование свойств новых энергоемких или термостабильных соединений и их композиций, которые могут найти применение в составе топлив и масел с целью повышения их эксплуатационных свойств. Проблемой является ограниченность существующих экспериментальных установок и методик исследования кинетики химических реакций, проходящих с изменением количества газообразных соединений, а также определения температурных зависимостей упругостей паров от температуры, энтальпий и энтропий испарения, температур кипения и критических температур новых соединений и материалов, предназначенных для применения в двигателях

летательных аппаратов авиационных ГТД при температурах до 500 °С и давлениях до 50 атм. В частности, это выражается в том, что большинство из них не подходят для исследования кинетических процессов в газовой фазе или обладают существенными ограничениями по температуре и давлению в опыте.

МЕТОДЫ И РЕШЕНИЯ

Для решения этой проблемы авторами модернизирована экспериментальная установка и предложено использовать методику [2]. Целью данной работы является апробация разработанного комплекса методов исследования теплофизических характеристик и кинетики термодеструкции соединений – компонентов топлив или смазочных материалов для авиационных двигателей манометрическим методом. Для апробации методики использовался декан. Помимо апробации предлагаемой в работе методики было необходимо провести уточнение противоречивых свойств декана, полученных разными авторами.

Апробацию результатов проводили для декана в интервале температур 420÷450 °С. Результаты расчета сведены в таблицу.

Результаты определения констант скоростей реакций термического разложения декана

Results of determining the constants of reaction rates of thermal decomposition of the decane

t, °C	1000/T, K^{-1}	k, c^{-1}	Δ k, c^{-1}	log(k), c^{-1}	Δ log(k), c^{-1}
450	1,38	$1{,}57\cdot10^{-4}$	$4{,}52\cdot10^{-6}$	–3,80494	0,02505
440	1,4	$9{,}91\cdot10^{-5}$	$2{,}64\cdot10^{-6}$	–4,00375	0,02313
430	1,42	$6{,}08\cdot10^{-5}$	$1{,}31\cdot10^{-6}$	–4,21621	0,01868
420	1,44	$3{,}29\cdot10^{-5}$	$9{,}29\cdot10^{-7}$	–4,4829	0,02452

Уравнение Аррениуса для описания скорости газовыделения при разложении декана в паровой фазе при температурах 420°С–450°С имеет следующий вид:

$k = 10^{12{,}04}\pm0{,}11\ \exp((-52{,}23\pm0{,}08)10^3/RT)$, c^{-1}

R = 1,987 кал/(моль•К).

Полученная энергия активации процесса термического разложения декана равна 52,23±0,38 ккал/моль. Стоит отметить, что результаты, полученные ранее другим коллективом (рис. 1, (2)) [1] для интервала температур 645–685°С, совпадают с результатами, полученными в настоящей работе, и ложатся на одну кривую аррениусовской зависимости, что говорит о достоверности полученных авторами результатов (рис. 1). Данные работы [4] существенно выпадают из установленной аррениусовской зависимости, что ставит их под сомнение.

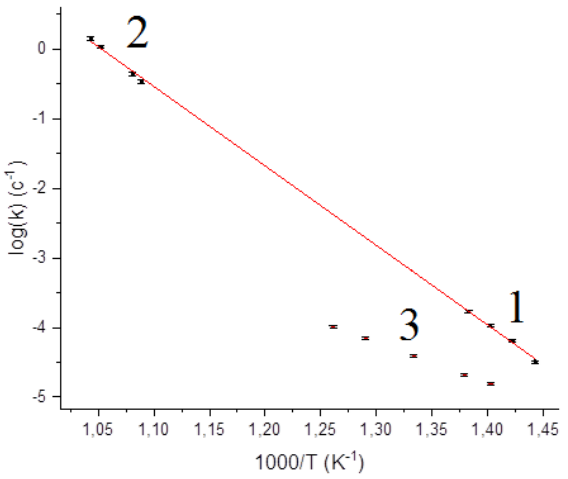


Рис. 1. График для определения энергии активации:
1 – точки, полученные в настоящей работе;
2 – точки, полученные в работе [1];
3 – точки, полученные в работе [4]

Fig. 1. Graph for determining the activation energy:
1 – points obtained in this work;
2 – points obtained in the work [1];
3 – points obtained in operation [4]

Важным параметром, характеризующим процесс разложения, является стехиометрический коэффициент газовыделения χ (рис. 2). Он характеризует количество выделившегося газа при разложении 1 моль исходного вещества и определяется по формуле

$$X = (n\infty + no) / no,$$

где n∞ – конечное количество газа, выделившееся в результате реакции, полученное экстраполяцией экспериментальных данных на бесконечное время проведения реакции; no – количество вещества исходного соединения.

Измерение упругости пара декана проводилось в интервале температур 40÷100°С. Полученная в настоящей работе зависимость упругости паров от температуры соответствуют группе точек (2) на рис. 3.

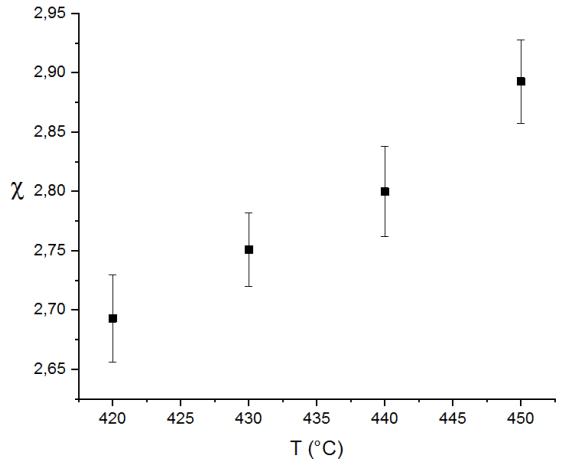


Рис. 2. Зависимость стехиометрического коэффициента газовыделения от температуры

Fig. 2. Dependence of the stoichiometric coefficient of gas emission on temperature

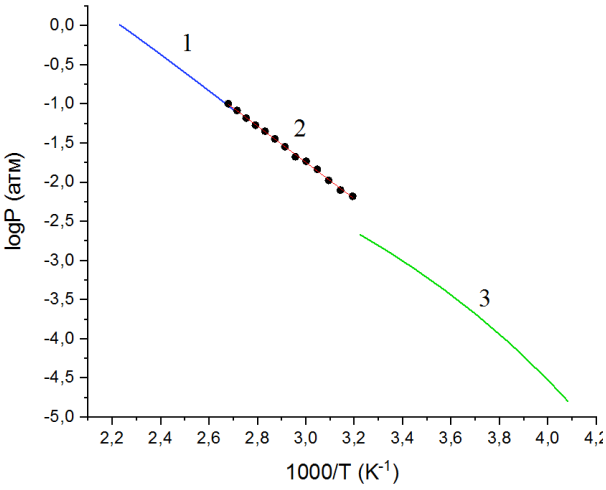


Рис. 3. График для определения энергии активации: 1– график по данным работы [5]; 2 – точки, полученные в настоящей работе; 3 – график по данным работы [3]

Fig. 3. Graph for determining the activation energy: 1 – schedule according to the work data [5]; 2 – points obtained in this work; 3 – schedule according to the work data [3]

Данные (1) и (3) получены другими авторами в работах [5] и [3]. Согласование полученных в работе данных (2) с результатами (1) работы [5] может свидетельствовать об их достоверности.

Аналитическая зависимость давления насыщенного пара декана от температуры в исследованном интервале температур представляется в виде

$$P_{нас.} = 10^{2,8\pm0,1}\exp((-6,8\pm0,2)\cdot10^3/RT).$$

Определенные по этому уравнению энтальпии и энтропии испарения равны $\Delta H = -6,8\pm0,2$ ккал/моль, $\Delta S = 12,8\pm0,4$ кал/(моль*К).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В продуктах термического разложения декана в паровой фазе при температуре 460°С и глубине η, близкой к 100%, хромато-масс-спектрометрическим методом идентифицированы 30 соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе на примере декана показано, что разработанный авторами комплекс манометрических методов позволяет с высокой точностью определять упругость пара углеводородных соединений, исследовать кинетику их термического разложения и состав получаемых в процессе термического разложения продуктов. Полученные кинетические параметры термического разложения и данные по упругости паров декана согласуются с данными, опубликованными другими авторами, что подтверждает эффективность использования предлагаемого в работе комплекса манометрических методов для исследования свойств и других углеводородных соединений.

Литература

1. Румянцев А.Н., Шевелькова Л.В., Соколова В.М., Наметкин Н.С. Зависимость константы скорости распада высших н-парафиновых углеводородов от их молекулярной массы // Нефтехимия. 1980. Т. 20(2). С. 212–217.

2. Устройство для определения давления газообразных соединений: Пат. 188986 Рос. Федерация. МПК G01L 7/04 Дубихин В.В., Галюк О.С., Яновский Л.С., Варламова Н.И., Казаков А.И., Молоканов А.А. № 2018113786; заявл. 16.04.2018; опубл. 06.05.2019 Бюл. № 13. 6 с.

3. Carruth G.F., Kobayashi R. Vapor pressure of normal paraffins ethane through n-decane from their triple points to about 10 mm mercury. J. Chem. Eng. Data, 1973, vol. 18(2), pp. 115–126.

4. Gonzalez, M.G.; Lew, L.; Cunningham, R.E. Determinacion de la Cinetica de DescomposicionTermica de Alcoholes e Hidrocarburos Mediante un Reactor Pulso. Lab. Ensayo Mater. Invest. Tecnol. Prov. Buenos Aires Publ., 1971. Ser. 2: 103–123.

5. Williamham, C.B.; Taylor, W.J.; Pignocco, J.M.; Rossini, F.D., Vapor Pressures and Boiling Points of Some Paraffin, Alkylcyclopentane, Alkylcyclohexane, and Alkylbenzene Hydrocarbons. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, 1945, vol. 35(3), pp. 219–244.

References

1. Rumyantsev A.N., Shevel'kova L.V., Sokolova V.M., Nametkin N.S. Z dependence of the decay rate constant of higher n-paraffin hydrocarbons on their molecular weight. *Neftekhimiya*, 1980, vol. 20(2), pp. 212–217 (in Russian).

2. Dubikhin V.V., Galyuk O.S., Yanovskii L.S., Varlamova N.I., Kazakov A.I., Molokanov A.A. *Ustroistvo dlya opredeleniya davleniya gazoobraznykh soedinenii* [Device for determining the pressure of gaseous compounds]. Patent RF, no. 188986, 2018 (in Russian).

3. Carruth G.F., Kobayashi R. Vapor pressure of normal paraffins ethane through n-decane from their triple points to about 10 mm mercury. J. Chem. Eng. Data, 1973, vol. 18(2), pp. 115–126.

4. Gonzalez, M.G.; Lew, L.; Cunningham, R.E. Determinacion de la Cinetica de DescomposicionTermica de Alcoholes e Hidrocarburos Mediante un Reactor Pulso. Lab. Ensayo Mater. Invest. Tecnol. Prov. Buenos Aires Publ., 1971. Ser. 2: 103–123.

5. Williamham, C.B.; Taylor, W.J.; Pignocco, J.M.; Rossini, F.D., Vapor Pressures and Boiling Points of Some Paraffin, Alkylcyclopentane, Alkylcyclohexane, and Alkylbenzene Hydrocarbons. *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, 1945, vol. 35(3), pp. 219–244.

Информация об авторах / Information about the authors

Варламова Наталья Ивановна
инженер, Центральный институт авиационных моторов имени П.И. Баранова
(*111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2*)
nivarlamova@ciam.ru

Natalija I. Varlamova
Engineer, Central Institute of Aviation Motors
(*2 Aviamotornaya St., Moscow 111116, Russian*)
nivarlamova@ciam.ru

Казаков Анатолий Иванович
доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, Центральный институт авиационных моторов имени П.И. Баранова
(*111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2*)
akazakov@icp.ac.ru

Anatoly I. Kazakov
Dr. Sc. (Chemistry), Senior Research Fellow,
Central Institute of Aviation Motors
(*2 Aviamotornaya St., Moscow 111116, Russian*)
akazakov@icp.ac.ru

Молоканов Александр Александрович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела специальных авиационных двигателей и химмотологии, Центральный институт авиационных моторов имени П.И. Баранова
(*111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2*)
aamolokanov@ciam.ru

Alexander A. Molokanov
Cand. of Sc. (Techn.), Research Fellow of the Department of Special Aircraft Engines and Chemmotology,
Central Institute of Aviation Motors
(*2 Aviamotornaya St., Moscow 111116, Russian*)
aamolokanov@ciam.ru

Плишкин Николай Алексеевич
кандидат технических наук, научный сотрудник,
Институт проблем химической физики РАН
(*142432, г. Черноголовка, просп. Академика Семёнова, 1*)
nplishkin@yandex.ru

Nikolay A. Plishkin
Cand. of Sc. (Techn.), Research Fellow,
Institute of Problems of Chemical Physics RAS
(*1 Prospekt Akademika Semenova, Chernogolovka 142432, Russia*)
nplishkin@yandex.ru

Тарасов Георгий Александрович
инженер, Центральный институт авиационных моторов имени П.И. Баранова
(*111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2*)
gatarasov@ciam.ru

Georgy A. Tarasov
Engineer, Central Institute of Aviation Motors
(*2 Aviamotornaya St., Moscow 111116, Russian*)
gatarasov@ciam.ru

Яновский Леонид Самойлович
доктор технических наук, профессор, начальник отдела, Центральный институт авиационных моторов имени П.И. Баранова
(*111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2*)
lsyanovskiy@ciam.ru

Leonid S. Yanovsky
Dr. Sc. (Techn.), Professor, Head of Department,
Central Institute of Aviation Motors
(*2 Aviamotornaya St., Moscow 111116, Russian*)
lsyanovskiy@ciam.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 001.891.53 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_152

АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, МИКРОСТРУКТУРЫ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИНДИЕМ

Т.Т. Фозилов

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3881-1987

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Алюминиевые сплавы широко применяются в авиационной и автомобильной промышленности. При получении изделий из алюминиевых сплавов главенствующее значение имеет модифицирование эвтектики и зерен α-твердого раствора, так как основные эксплуатационные и технологические свойства напрямую зависят от структуры сплава. А.М. Рабиновичем было проведено исследование влияния различных по весу добавок индия на структуру и свойства сплава АК5М2 (предел прочности – 228 МПа, пластичность – 1,33%). Процесс модифицирования силуминов индием протекает за счет того, что индий – поверхностно-активный модификатор, согласно адсорбционной теории. Вводился элемент в чистом виде, 0,05; 0,1; 0,2 масс.%. Показатели составили: 0,05 In – прочность 240 МПа, а пластичность – 1,71%, но в последующих случаях предел прочности оставался на уровне немодифицированного, а пластичность не превысила 1,5%. Также был выполнен эксперимент со сплавом АК7ч и проведена его термическая обработка, так как, согласно исследованиям И.А. Петрова, наибольшее модифицирующее воздействие индий показывает при его старении. В настоящей статье приводятся результаты исследования влияния индия на эвтектический силумин АК12 (немодифицированный σв =135 МПа; δ = 2,1 %), вводился индий 0,1; 0,2; 0,3 масс. %, в случае добавки 0,1% In прочность сплава возрастает до 155 МПа, пластичность – до 4,8%, однако в случае 0,2 и 0,3 предел прочности остается на уровне немодифицированного сплава, но пластичность возрастает до 3,2%.*

Методы*. При введении 0,1% индия в АК7ч предел прочности возрастал до 173,5 МПа, пластичность же возросла до 3,9%. Но после добавок 0,2% и 0,3% модифицирующего воздействия на механические свойства практически нет, так как они остаются на уровне немодифицированного сплава (157 МПа прочность и 2,1% пластичность). После термообработки и добавки индия 0,3% было получено максимальное значение предела прочности, бв = 303,3 МПа, δ = 1,8%, а при введении 0,1% получена максимальная пластичность δ = 2,2% (предел прочности бв = 301,5 МПа), что превосходит значения немодифицированного сплава (АК7ч после закалки с последующим искусственным старением: σв =235 МПа; δ = 1 %). Был выполнен дифференциально-термический анализ силумина АК12, определены температуры ликвидуса и солидуса, чистый АК12 имеет температуры 583,6 ℃ – ликвидуса и 560,5 ℃ – солидуса, при введении индия ликвидус уменьшается до 582,7 ℃, а солидус – до 557,9 ℃, что позволяет сделать вывод о расширении интервала кристаллизации сплава и перемещения кристаллизации в область более низких температур.*

Результаты. *Введение 0,1% In способствует измельчению кристаллов эвтектического кремния и более равномерному распределению дендритов α-твердого раствора, наблюдается распределение модифицированной структуры по объему сплава, с повышением массы добавок происходит небольшое измельчение эвтектики, это происходит из-за поверхностно-активного действия индия, согласно адсорбционной теории.*

Выводы. *По результатам исследования было установлено, что наибольшее влияние на микроструктуру и механические свойства алюминиевых сплавов индий оказывает при термической обработке.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Силумин, микроструктура, механические свойства, алюминиевые сплавы, индий.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Фозилов Т.Т. Анализ механических свойств, микроструктуры и кристаллизации литейных алюминиевых сплавов после обработки индием // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 152–157. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_152.

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES, MICROSTRUCTURE AND CRYSTALLIZATION OF CAST ALUMINUM ALLOYS AFTER INDIUM TREATMENT

Timur T. Fozilov

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3881-1987

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *This work presents a literature analysis and study of the influence of indium on its basis, mechanical tests and differential thermal analysis were carried out to determine the properties of the alloy. The influence of indium on AK12and AK7ch is small; for the greatest effect, heat treatment*

is required. Aluminum alloys are widely used in the aviation and automotive industries. When obtaining products from aluminum alloys, the modification of the eutectic and the grains of the α – solid solution is of paramount importance, since the main operational and technological properties directly depend on the structure of the alloy. A.M. Rabinovich the influence of various indium additives by weight on the structure and properties of the AK5M2 alloy (tensile strength – 228 MPa, plasticity – 1.33%) was studied. The process of modifying silumins with indium proceeds due to the fact that indium is a surface-active modifier, according to the adsorption theory. The element was introduced in its pure form, 0.05; 0.1; 0.2 wt.%. The indicators were: 0.05 In – strength 240MPa, and plasticity – 1.71%, but in subsequent cases the tensile strength remained at the unmodified level, and the plasticity did not exceed 1.5%. An experiment was also performed with the AK7ch alloy and its heat treatment was carried out, as, according to the research of I.A. Petrov, the greatest modifying effect of indium shows during aging. This article presents the results of a study of the effect of indium on the eutectic silumin AK12 *(unmodified σb =135 MPa; δ = 2.1 %), indium 0.1; 0.2; 0.3 wt.% was introduced, in the case of an additive of 0.1% In, the strength of the alloy increases to 155 MPa, the ductility is up to 4.8%, but in the case of 0.2 and 0.3 – the tensile strength remains at the level of the unmodified alloy, but the ductility increases to 3.2%.*

Methods. *With the introduction of 0.1% indium in AK7h, the tensile strength increased to 173.5 MPa, while the plasticity increased to 3.9%. But after the addition of 0.2% and 0.3%, there is practically no modifying effect on the mechanical properties, since they remain at the level of an unmodified alloy (157MPa strength and 2.1% plasticity). After heat treatment and the addition of indium 0.3%, the maximum values of the ultimate strength were obtained ,σb = 303.3 MPa, δ = 1.8%, and with the introduction of 0.1%, the maximum plasticity δ = 2.2% was obtained (the ultimate strength σb = 301.5 MPa), which exceeds the values of the unmodified alloy (AK7h after quenching with subsequent artificial aging: σb =235 MPa; δ = 1%). Differential thermal analysis of silumin AK12 was performed, the liquidus and solidus temperatures were determined, pure AK12 has temperatures of 583.6 ℃ – liquidus and 560.5 ℃ – solidus, with the introduction of indium, the liquidus decreases to 582.7 ℃, and the solidus to 557.9 ℃, which allows us to conclude that the crystallization interval of the alloy is expanded and the crystallization moves to a lower temperature region.*

Findings. *The introduction of 0.1% In contributes to the grinding of eutectic silicon crystals and a more uniform distribution of dendrites of the α-solid solution, the distribution of the modified structure over the volume of the alloy is observed, with an increase in the mass of additives, a slight grinding of the eutectic occurs, this is due to the surface-active action of indium, according to the adsorption theory.*

Conclusions. According to the results of the study, it was found *that indium has the greatest influence on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys during heat treatment.*

KEYWORDS

Silumin, microstructure, mechanical properties, aluminum alloys, indium.

FOR CITATION

Fozilov T.T. Analysis of Mechanical Properties, Microstructure and Crystallization of Cast Aluminum Alloys after Indium Treatment. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 152–157. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_152 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Алюминиевые сплавы широко применимы в авиа- и автопромышленности. При получении изделий из алюминиевых сплавов основную роль играет модифицирование эвтектики и зерен α-твердого раствора, так как основные эксплуатационные и технологические свойства напрямую зависят от структуры сплава [4]. В связи с ростом требований к свойствам необходимы исследования новых модификаторов и сплавов на основе уже изученных и, как следствие, более эффективного воздействия на свойства сплавов.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

В настоящей работе основным критерием выбора стала величина поверхностного натяжения алюминия и кремния. Согласно адсорбционной теории модифицирования, наиболее эффективными модификаторами, измельчающими кристаллы эвтектического кремния, являются элементы с низким поверхностным натяжением, а именно: чем ниже поверхностное натяжение рассматриваемого элемента, тем он интенсивнее адсорбируется на поверхностях растущего кристалла, замедляя его рост и, таким образом, измельчаются кристаллы эвтектического Si.

Поверхностное натяжение у Al – 914мН/м, у Si – 865мН/м, а у In и, например, Mg – 556мН/м и 559мН/м, соответственно. Согласно этим данным индий, как и магний, способен являться поверхностно-активным элементом.

В работе [3] было проведено исследование влияния индия на структуру и свойства сплава АК5М2 (σ– 228 МПа, δ – 1,33%). Вводился In в чистом виде: 0,05; 0,1; 0,2%. Показатели составили: 0,05 In – прочность 240 МПа, а пластичность – 1,71%, но в следующих случаях предел прочности оставался на уровне исходного, а пластичность не превысила 1,5%.

Также был выполнен эксперимент со сплавом АК7ч и проведена его термическая обработка, так как, согласно источнику [1], наибольшее модифицирующее воздействие индий показывает при старении.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования был выбраны сплавы АК12, состав (%) которого: Al – основа, Si – 11,5, Fe –

0,175, Cu – 0,002, Mn – 0,002, Mg – 0,001, Zn – 0,002, Ti – 0,016, Pb – <0,005, Sn – < 0,002, и АК7ч, состав (%) которого: Al – основа, Si – 7,1, Fe – 0,3, Cu – 0,018, Mn – 0,02, Mg – 0,28, Zn – 0,01, Ti – 0,015, Pb – <0,007, Sn – < 0,003. Примечание: химический состав сплава определялся спектральным анализом с помощью спектрометра Q4 TASMAN-170, управляемого специальным ПО Q Matrix на ПК.

Для исследования влияния на сплавы был выбран чистый индий марки ИН00 по ГОСТ 10297-94.

Плавки силуминов проводились в муфельной электропечи сопротивления типа СНОЛ. Индий вводился в расплав, в чистом виде, при 730–750 °С, замешивался в течение нескольких минут после растворения. Затем с поверхности расплава снимали шлак. При 710 °С расплав заливался в песчано-глинистую форму.

Механические свойства (предел прочности и относительное удлинение) определялись в соответствии с ГОСТ 1497-84 с помощью разрывной машины Instron 5982. Микроструктура исследовалась на шлифах, с помощью микроскопа Imager.Z2mAXIO, ДСК-анализ проводился на сканирующем калориметре Netzsch DSC404 F3 Pegasus.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исходном (немодифицированном) состоянии основной структурной составляющей сплава АК12 является эвтектика (α+Si), присутствуют также дендриты алюминия и отдельные кристаллы первичного кремния (рис. 1).

Было выполнено исследование влияния индия на эвтектический силумин АК12 (немодифицированный $\sigma_в$ =135 МПа; δ = 2,1 %) и доэвтектический силумин АК7ч, вводился индий 0,1; 0,2; 0,3 масс. %.

Результаты механических испытаний сплавов АК12 и АК7ч в зависимости от количества вводимых добавок приведены в табл. 1.

В случае добавки 0,1% In в АК12 прочность возрастает до 155 МПа, пластичность – до 4,8%, однако в случае 0,2% и 0,3% предел прочности остается на уровне исходного сплава, но возрастает пластичность до 3,2%, микроструктура сплава, модифицированного индием, показана на рис. 1.

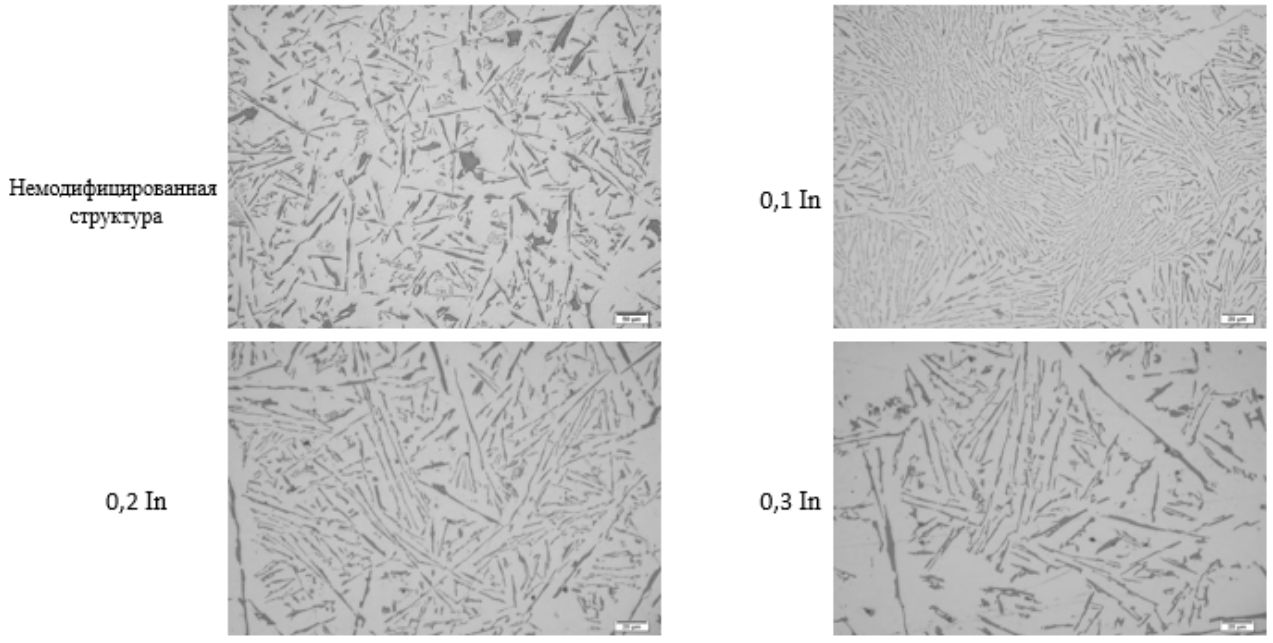


Рис. 1. Микроструктура сплава АК12 исходного и после введения In (x200)

Fig. 1. Microstructure of AK12 alloy original and after introduction In (x200)

Таблица 1 / Table 1

Влияние индия на механические свойства сплавов АК12 и АК7ч

Influence of indium on the mechanical properties of ALLOYS AK12 and AK7h

Сплав	Свойства	Немод.	% In			Немод. Т5	% In после Т5		
			0,1	0,2	0,3		0,1	0,2	0,3
АК12	Предел прочности, $\sigma_в$ МПа	135	155	139	138	–	–	–	–
	Пластичность, δ %	2,1	4,8	3,2	3,1	–	–	–	–
АК7ч	Предел прочности, $\sigma_в$ МПа	157	173,5	154	164	235	301,5	300	303,5
	Пластичность, δ %	2,1	3,9	2,1	2,3	1	2,2	2,1	1,8

Введение 0,1% In (рис. 1) способствует измельчению кристаллов эвтектического кремния и более равномерному распределению дендритов α-твердого раствора, наблюдается распределение модифицированной структуры по объему сплава. Дальнейшее увеличение содержания индия приводит лишь к небольшому увеличению пластичности, в структуре наблюдается грубая пластинчатая форма кремния в эвтектике.

При введении 0,1% индия в АК7ч предел прочности возрос до 173,5 МПа, пластичность – до 3,9%. Но после добавок 0,2% и 0,3% модифицирующего воздействия на механические свойства практически нет, так как они остаются на уровне исходного сплава (157 МПа прочность и 2,1% пластичность). После термообработки и добавки индия 0,3% было получено максимальное значение предела прочности, $б_в$ = 303,3 МПа, δ = 1,8%, а при введении 0,1% получена максимальная пластичность δ = 2,2% (предел прочности $б_в$ = 301,5 МПа), что превосходит значения исходного сплава (АК7ч после закалки с последующим искусственным старением: $\sigma_в$ =235 МПа; δ = 1 %). Микроструктура сплава АК7ч представлена на рис. 2.

Как видно на рис. 2, изменения структуры подобны изменению структуры сплава АК12, измельчаются кристаллы кремния и более равномерно распределяются кристаллы α-твердого раствора, наблюдается распределение модифицированной структуры по объему сплава и сфероидизация зёрен.

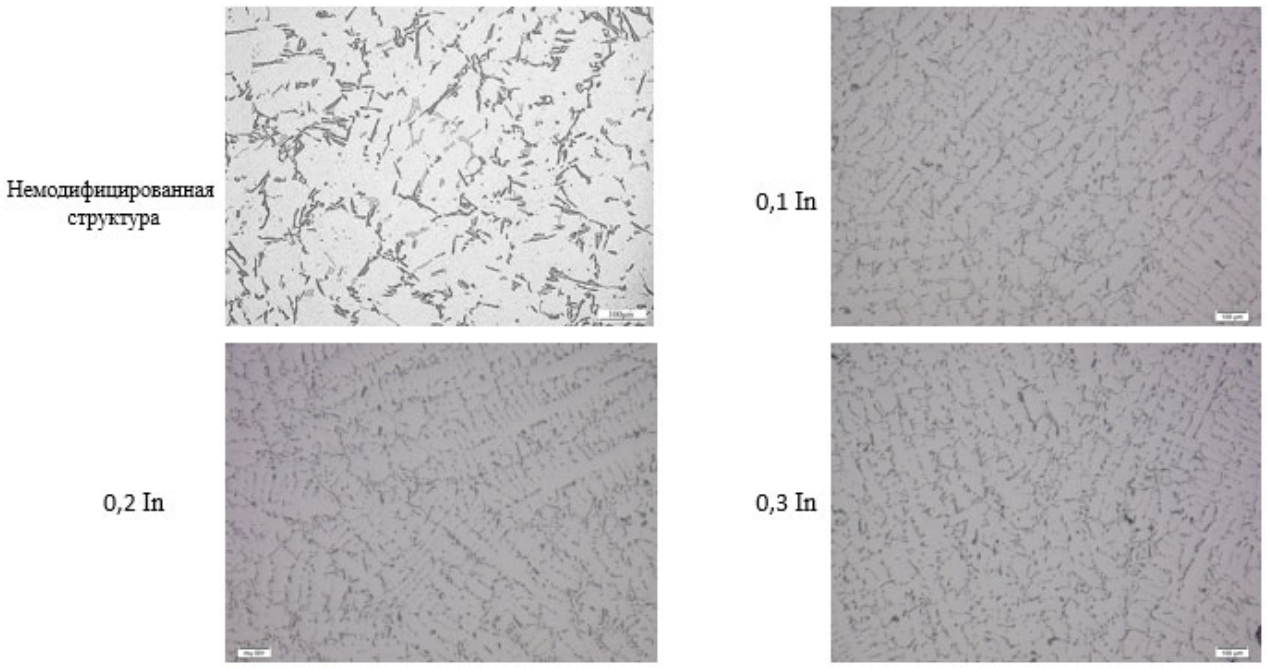


Рис. 2. Микроструктура сплава АК7ч исходного и после введения In и ТО (х100)

Fig. 2. Microstructure of the alloy AK7h initial and after the introduction of In and TO (x100)

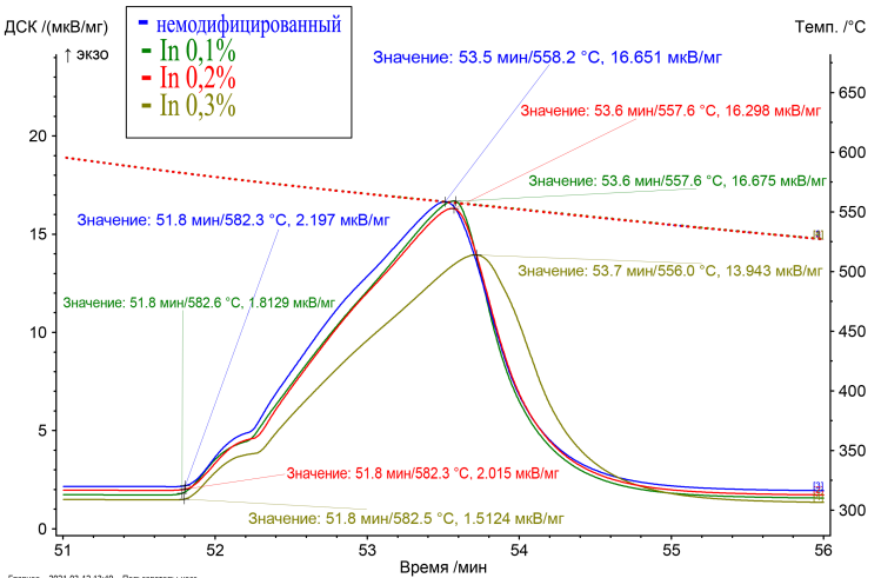


Рис. 3. Кривые ДСК-анализа для сплава АК12

Fig. 3. Curves DSCanalysis for alloy AK12

Также отмечается, что измельчается и облагораживается структура сплава железосодержащей фазы. Термическая обработка сплава также оказала дополнительное воздействие на измельчение и облагораживание структуры сплава всех фаз.

Далее был исследован процесс кристаллизации сплава, при котором происходит формирование его внутренней структуры, что является одним из главных факторов его эксплуатационных свойств [1].

Исследование процессов кристаллизации исследуемого сплава АК12, обработанного индием, проводили по кривым ДСК-анализа (рис. 3). Процесс затвердевания из жидкого в кристаллизованное состояние проходит в два этапа, на первом этапе происходят зарождение кристаллов α-твердого раствора и их рост, что вызывает первый термический эффект. Второй термический эффект вызван кристаллизацией двойной эвтектики по реакции L→α+Si. Так как исследуемый сплав содержит примесь Fe, при кристаллизации возможно образование эвтектик, содержащих железо (Al_5FeSi).

Определяли температуры ликвидуса и солидуса. Чистый АК12 имеет температуры 582,4°С – ликвидуса и 558,2°С – солидуса, при введении индия 0,1% ликвидус уменьшается до 582,6 °С, а солидус – до 557,6°С, в случае с добавкой 0,2% Int_{liq}=582,3 °С, а t_{sol}=557,6 °С. Наиболее выраженное смещение температур установлено при введении 0,3% In, t_{liq} = 582,5 °С, а t_{sol} = 556 °С, что позволяет сделать вывод о расширении интервала кристаллизации сплава.

При введении в расплав 0,3% индия наблюдаются расширение интервала кристаллизации и смещение кристаллизационного процесса в область более низких температур, но на микроструктуру, как мы можем наблюдать на рис. 2, это не оказывает значительного влияния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сказать, что, в настоящей работе установлено, что введение индия в сплавы АК12 и АК7ч повышает их механические свойства за счет изменения и измельчения формы эвтектического кремния и α-твердого раствора, как и предполагалось. Введение индия способствует небольшому повышению механических свойств в сплаве АК12, однако при исследовании АК7ч индий после введения 0,1% значительно увеличил механические свойства, после термической обработки прочность возросла до 301,5 МПа, а пластичность – до 2,2%, что является самым оптимальным результатом в текущем исследовании.

Кристаллизация сплава АК12 после введения индия в целом смещается в область более низких температур, что, в свою очередь, положительно влияет на литейные свойства. Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что использование индия в качестве модификатора целесообразно, однако нежелательно в качестве легирующего элемента.

Литература

1. Нгуен Ван Тьен. Повышение механических свойств литейных медесодержащих алюминиевых сплавов путем совершенствования состава и технологии их плавки: дис. … канд. техн. наук. Л., 1990. 182 с.

2. Петров И.А. Исследование и разработка флюса комплексного действия для модифицирования силуминов и технологии его применения: дис. … канд. техн. наук. М., 2015. 176 с.

3. Рабинович А.М. Повышение механических свойств вторичных алюминиевых сплавов путем рационализации их составов и режимов термической обработки: дис. … канд. техн. наук. Л., 1984. 215 с.

4. Шляпцева А.Д., Петров И.А., Ряховский А.П., Моисеев В.С. Исследование алюмотермического восстановления диоксида титана в алюминиевом расплаве // Литейщик России. 2019. № 11. С. 8–12.

References

1. Nguen Van T'en. *Povyshenie mekhanicheskikh svoistv liteinykh medesoderzhashchikh alyuminievykh splavov putem sovershenstvovaniya sostava i tekhnologii ikh plavki: dis. … kand. tekhn. nauk* [Improving the mechanical properties of casting copper-containing aluminum alloys by improving the composition and technology of their melting: Cand. Diss]. Leningrad, 1990, 182 p. (in Russian).

2. Petrov I.A. *Issledovanie i razrabotka flyusa kompleksnogo deistviya dlya modifitsirovaniya siluminov i tekhnologii ego primeneniya: dis. … kand. tekhn. nauk* [Research and development of flux of complex action for modification of silumins and technology of its application: Cand. Diss.]. Moscow, 2015, 176 p. (in Russian).

3. Rabinovich A.M. *Povyshenie mekhanicheskikh svoistv vtorichnykh alyuminievykh splavov putem ratsionalizatsii ikh sostavov i rezhimov termicheskoi obrabotki: dis. … kand. tekhn. nauk* [Improving the mechanical properties of secondary aluminum alloys by rationalizing their compositions and heat treatment regimes: Cand. Diss.]. Leningrad, 1984, 215 p. (in Russian).

4. Shlyaptseva A.D., Petrov I.A., Ryakhovskii A.P., Moiseev V.S. Study of aluminothermal reduction of titanium dioxide in aluminum melt. *Liteishchik Rossii*, 2019, no. 11, pp. 8–12.

Информация об авторе / Information about the author

Фозилов Тимур Тохирович
аспирант, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
fozbourne@yandex.ru

Timur T. Fozilov
Post-Graduate Student,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
fozbourne@yandex.ru

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

УДК 550.34.038 DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_158

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

М.Р. Либерзон[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8306-2474

Ю.В. Павлов[2]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-7716-2046

П.Г. Погородний[3]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-2936-0061

[1] Российская инженерная академия, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия
[2] Опытно-конструкторское бюро океанологической техники РАН, г. Москва, Россия
[3] Инновационный технологический центр МАТИ, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. *Создание уникального универсального аппаратно-программного комплекса для проведения геофизических исследований и сейсмотехнологического контроля месторождений и технологических объектов. Комплекс является отечественной разработкой и обучаемой экспертной системой принятия оперативных решений («УК ГИ СТК») для всех стадий жизненного цикла объекта исследования на основе получаемой информации.*

Методы. *В режиме реального времени «УК ГИ СТК» позволяет осуществлять контроль проседания дна, определять положение свода нефтегазодобывающих месторождений с целью управления режимами эксплуатации скважин и промыслов, обеспечивая технологическую безопасность и улучшение экологической среды добычи. Применяемое аппаратно-программное обеспечение позволяет проводить мониторинг состояния грунтов промышленных объектов и критически важных инфраструктур в зонах повышенной сейсмической активности и вечной мерзлоты с целью предотвращения сейсмических воздействий различного типа. «УК ГИ СТК» является проектно-компонуемым набором многофункциональных станций подводного, наземного и скважинного исполнения, взаимодействующих со специализированным программным обеспечением, имеющим в своем составе ряд подсистем: (1) сбора и хранения данных, (2) первичной обработки данных, (3) визуализации и интерпретации данных в виде специализированных рабочих модулей для геологоразведки и сейсмической безопасности, (4) обучения и интерполяции событий для региона применения.*

Результаты. *Оборудование обеспечивает эффективный поиск полезных ископаемых для нефтегазовых месторождений, позволяя проводить одновременную геологоразведку лицензионных участков на земле и под водой, на глубинах до 6000 метров, а также обеспечивать в режиме эксплуатации мониторинг сейсмических угроз техногенного и естественного характера как месторождений, так и различных инфраструктурных объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК), населенных пунктов и иных инженерных сооружений.*

Выводы. *Широкое применение на российском рынке удобного в использовании многофункционального вариативного комплекса позволяет заместить применяемые в отрасли зарубежные решения различных производителей на суше и в воде, доминирующих сегодня на рынке и обеспечить технологическое лидерство по ряду направлений разведки природных ресурсов сухопутных, шельфовых и морских месторождений страны. Внедрение комплекса позволяет оптимизировать процесс добычи и эксплуатации, обеспечивает эффективность решений по организации инвестиций и способствует улучшению качества планирования объемов финансирования при разработке лицензионных участков. Использование отечественной российской системы повысит уровень национальной технологической и экологической безопасности при нефтегазодобыче и эксплуатации ключевых отраслей экономики.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Интеллектуальные технологии, машинное обучение, суша, море, шельф, Арктика, разведка, геологоразведка, сейсморазведка, месторождения углеводородов, интерпретация данных, визуализация, безопасность, промышленная безопасность, экология.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Либерзон М.Р., Павлов Ю.В., Погородний П.Г. Использование сейсмических технологий для геофизической разведки, эксплуатации и обеспечения безопасности месторождений и технологических объектов // Идеи и новации. – 2022. – Т. 10, № 1-2. – С. 158–166. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_158.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

USE OF SEISMIC TECHNOLOGIES FOR GEOPHYSICAL EXPLORATION, OPERATION AND SAFETY OF DEPOSITS AND TECHNOLOGICAL OBJECTS

Mark R. Liberzon[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8306-2474

Yury V. Pavlov[2]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-7716-2046

Petr G. Pogorodny[3]
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-2936-0061

[1] Russian Engineering Academy, Moscow Aviation Institute {National Research University), Moscow, Russia
[2] Experimental Design Bureau of Oceanological Techniques RAS, Moscow, Russia
[3] MATI Innovative Technology Center, Moscow, Russia

ABSTRACT

Object. *Development an unique universal hardware and software complex for conducting geophysical research and seismic and technological control of deposits and technological objects. The complex is a domestic development and is a trained expert system for making operational decisions ("UK GI STK") for all stages of the life cycle of the research object based on the information received.*

Methods. *In real time, the "UK GI STK" allows you to monitor the subsidence of the bottom, determine the position of the arch of oil and gas fields in order to control the operating modes of wells and fields, ensuring technological safety and improving the environmental environment of production. The hardware and software used allows monitoring the soil condition of industrial facilities and critical infrastructures, in areas of increased seismic activity and permafrost, in order to prevent various types of seismic impacts. "UK GI STK" is a design-component set of multifunctional stations of underwater, ground and borehole execution interacting with specialized software that includes a number of subsystems: (1) data collection and storage, (2) primary data processing, (3) visualization and interpretation of data in the form of specialized working modules for geological exploration and seismic safety, (4) training and event interpolation for the application region.*

Findings. The equipment provides an effective search for minerals for oil and gas fields, allowing simultaneous geological exploration of licensed areas on the ground and under water, at depths up to 6000 meters, as well as providing monitoring of seismic threats of man-made and natural nature of both deposits and various infrastructure facilities of the fuel and energy complex (fuel and energy complex), settlements and other engineering structures in operation.

Conclusions. *The widespread use of an easy-to-use multifunctional variable complex on the Russian market makes it possible to replace foreign solutions of various manufacturers used in the industry for land and water, which dominate the market today, and provide technological leadership in a number of areas of exploration of natural resources of onshore, offshore and offshore fields of the country. The implementation of the complex makes it possible to optimize the production and operation process, ensures the effectiveness of investment management solutions and contributes to improving the quality of planning financing volumes during the development of license areas. The use of the domestic Russian system will increase the level of national technological and environmental safety in oil and gas production and operation of key sectors of the economy.*

KEYWORDS

Intelligent technologies, machine learning, land, sea, shelf, Arctic, exploration, geological exploration, seismic exploration, hydrocarbon deposits, data interpretation, visualization, safety, industrial safety, ecology.

FOR CITATIONS

Liberzon M.R., Pavlov Yu.V., Pogorodny P.G. Use of Seismic Technologies for Geophysical Exploration, Operation and Safety of Deposits and Technological Objects. Ideas and Innovations, 2022, vol. 10, no. 1-2, pp. 158–166. DOI: 10.48023/2411-7943_2022_10_1-2_158 (in Russian).

Введение

Использование сейсмических технологий позволяет вести разведку месторождений углеводородов, отслеживать сейсмическое состояние и её динамику в различных регионах, осуществлять мониторинг состояния и изменений грунтов и материалов в основе зданий и сооружений, обеспечивать охрану объектов от несанкционированных проникновений.

Сейсморазведка – необходимая составляющая эффективного использования нефтегазовых месторождений морского шельфа, так как стоимость бурения скважины на шельфе в сотни раз дороже бурения скважины на суше, а предварительная морская сейсморазведка может помочь избежать неоправданных затрат.

Высокое качество морской сейсморазведки возможно получить только при помощи донных технологий: на исследуемый участок морского дна опускают специальные донные станции, которые улавливают прямые и отраженные от морского дна акустические сигналы,

генерируемые на поверхности акустическим излучателем. Полученные акустические сигналы станции фиксируют и записывают. После того как данные записаны, станцию поднимают на поверхность, записанные данные скачивают со станции на специальные устройства для последующей интерпретации. В результате на основе полученных данных составляют 2D или 3D детальную карту вероятных залежей нефти и газа. Полученные карты используют для определения точных координат установки буровых станций.

Самой распространенной технологией морской сейсморазведки является применение донных станций на фале (верёвке). Первые разработки донных станций на фале начались в 70-е годы прошлого века и не предполагали средств автоматизации работ с донными станциями. Все операции съема и прикрепления фала к станции, погружения и подъема станции, а также ряд других операций производились вручную. На сегодняшний день фактически не появилось какой-либо эффективной автоматизации в работе со станциями на фале. Кроме того, использование фала привносит в морскую сейсморазведку множество других негативных явлений и трудностей. Вот лишь несколько из них: зацепления фала за неровности дна и возможные препятствия, что влечет потерю или порчу станций, обрыв фала; необходимость иметь на судне достаточно места для хранения фала и лебедок для фала, что ведёт к использованию габаритных судов и, как следствие, – к невозможности вести сейсморазведку на малых глубинах и в приливных/отливных транзитных зонах; фал, соединяющий станции на дне, производит сейсмический шум, что сильно ухудшает качество получаемых данных; невозможность вести сейсморазведку в местах, где находятся другие суда (например, рыболовецкие), и т.п.

Разработанная в течение нескольких последних лет новая отечественная технология морской сейсморазведки позволяет решить указанные и многие другие проблемы. Многие из этих проблем вообще не возникают, так как в этой технологии фалы не используются, а работа ведется с помощью автономных самовсплывающих донных станций. Эта технология детально описана в публикациях [1–3]. Разработанные на основе сейсмических технологий и описанные ниже специальные аппаратные комплексы позволяют решать следующие задачи: отслеживать сейсмическое состояние регионов, что обеспечивает предотвращение или значительно снижение последствий техногенных сейсмических событий, и принимать меры предосторожности в случае возникновения опасности естественного сейсмического события, контролировать динамику сейсмического состояния региона и прогнозировать появление техногенных сейсмических событий (землетрясений с большой степенью вероятности), а также непрерывно контролировать уровень общей сейсмической опасности.

Комплекс контроля состояния вечной мерзлоты в большой степени обеспечивает предотвращение катастрофических ситуаций, связанных с протаиванием грунтов, и, как следствие, проседанием опор и фундаментов сооружений, приводящих к разрушению последних.

Регистратор сейсмических сигналов «Иркут»
и его скважинная и подводная (АДСС) модификации

Seismic signal recorder "Irkut" and its downhole
and underwater (ADSS) modifications

Система охраны объектов от несанкционированного проникновения является модификацией комплекса сейсмического контроля и выполняет регистрацию и распознавание объекта и его типа, пересекающего заданные границы. Разрешение и чувствительность системы таковы, что позволяют не только отличить упавшее дерево от идущего человека, но и определить тип движущегося автомобиля. К тому же система рассчитана на комплексирование с уже имеющимися системами охраны и видеонаблюдения. Функционально система отличается от прототипа, но экономические показатели остаются такими же (таблица).

Технические характеристики регистраторов

Technical characteristics of recorders

Характеристики	Тип регистратора	
	«ИРКУТ» в скважинном и наземном вариантах	АДСС
Число каналов	до 6	4 (1-гидроакустический)
Встроенные сейсмоприемники (X, Y, Z)	есть	есть
Возможность корректного подключения внешних пассивных и активных сейсмоприемников любого типа: - с автоматическим переключением со встроенных сейсмоприемников на внешние - дополнительных (X1, Y1, Z1)	есть	нет
Разрядность АЦП, бит (действительная)	23	23
Динамический диапазон, дБ	141	141
Диапазон регистрируемых частот, Гц	0,0065 – 1000	0.01 – 500
Встроенный источник питания	нет/есть	есть
Питание, В: - от встроенного источника питания - от внешнего источника	 5 ÷ 9 7 ÷ 36	7 ÷12
Период дискретизации, мс	программируемый от 1 до 3200, с шагом 1	программируемый от 1 до 3200, с шагом 1
Память, Гб	до 32	до 32
Потребляемая мощность, Вт: - постоянная - при периоде дискретизации 10 мс - при периоде дискретизации 20 мс	 0.186 (потребляемый ток – 0.031 А 0.174 (потребляемый ток – 0.029 А)	в среднем 1.6
Срок автономной работы по энергоресурсам, дней: (для станций «ГРОТ» и «ИРКУТ» – от встроенных источников питания) - при периоде дискретизации 10 мс - при периоде дискретизации 20 мс	 до 27 до 29	до 30
Усиление, в диапазоне до 110 дБ, ступеней	1-255	4-255
Габариты, мм	242x165x88	сфера 480 мм
Масса регистратора (с сейсмоприемниками и источниками питания), кг	2.5 – 3.5	40 (включая балласт 21 кГ)
Режим работы	По календарю, непрерывный и/или программируемый	
Синхронизация	по GPS, по компьютеру и/или по линии связи	по GPS, по компьютеру
Точность хода внутренних часов, с/с	$2{,}5\times10^{-10}$	$1{,}2\times10^{-10}$
Точность синхронизации по GPS, с	1×10^{-6}	1×10^{-6}
Внешний интерфейс	Ethernet (100Мбит/с), радио–Ethernet	Ethernet (100 Мбит/с), радио–Ethernet
Диапазон рабочих температур, Cº	–40 ÷ +90	–30 ÷ +50
Рабочая глубина, м	-	до 6000
Исполнение	герметичное; условия работы – от полярных до тропических; в рабочем состоянии допустимо погружение в воду на глубину до 2 м	пыле-, брызгозащищенное

Помимо перечисленных в таблице характеристик регистраторы имеют следующие особенности:

а) блок точного времени регистраторов имеет два режима:

- в режиме энергосбережения, при указанном потреблении, коррекция точности удержания длительности 1 мс внутреннего таймера производится автоматически при изменении температуры регистратора на 0,5ºС и через каждые 5 часов работы при температуре, не выходящей за пределы промежутка ±0,5Cº;
- при установке в пункте наблюдения, оборудованном сетью 220 В или аккумуляторами большой емкости, возможен переход в режим прямого пересчета частоты встроенного термостабилизированного генератора. При этом точность хода внутренних часов регистратора достигает значения $1{,}2\times10^{-11}$ (с/с), но ток потребления возрастает до 0,23 А, что при наличии сетевого питания большого значения не имеет;

б) внешние сейсмоприемники, подключаемые к станции, могут быть различного типа, как пассивные так и активные.

1. Комплекс сейсмического контроля

Данный комплекс является законченным изделием, включающим в себя необходимый набор сейсмостанций, средств передачи информации и центр обработки данных (ЦОД).

Комплекс является универсальным, не требует переработки под различного рода объекты, а настраивается на конкретный объект конфигурированием. Комплекс выполняет непрерывный мониторинг микросейсмических полей, регистрацию данных и ближних землетрясений и регистрацию сейсмических событий антропогенного характера. Данные поступают в ЦОД, в основном в реальном масштабе времени, и обрабатываются по мере поступления. Программное обеспечение ЦОД позволяет распознавать характер события и его тип в момент поступления данных о нем. Имеющиеся функции в обработке данных в ЦОД позволяют контролировать динамику сейсмического состояния региона и прогнозировать появление техногенных сейсмических событий (землетрясений с большой степенью вероятности), а также непрерывно контролировать уровень общей сейсмической опасности.

Целевая направленность комплекса способствует снижению значительных убытков от естественных и техногенных катастрофических ситуаций в связи с возможностью применения прогностических методов анализа.

Кроме того, оборудование комплекса построено таким образом, что практически не требует обслуживания, а расходы на сопровождение работы комплекса становятся минимальными (от 2 до 5 млн в год) в зависимости от размера объекта.

2. Комплекс контроля состояния области вечной мерзлоты

Комплекс включает в себя термометрические датчики с разрешением 0,1–0,2°С и сейсмоакустические компоненты, отслеживающие микрометрические подвижки опор и фундаментов зданий и сооружений. По функциям и экономическим характеристикам комплекс аналогичен описанному выше. Целью комплекса является предотвращение катастрофических ситуаций, связанных с протаиванием грунтов и, как следствие, проседанием опор и фундаментов сооружений, приводящих к разрушению последних.

Универсальный комплекс для геофизических исследований и сейсмотехнологического контроля (УК ГИ СТК)

Рынок технологий сейсморазведки активно эволюционирует и развивается с использованием интеллектуальных технологий и технологий цифровизации процессов для разведки и эксплуатации лицензионных участков на всех стадиях «жизненного цикла», что обеспечивает сокращение операционных затрат и улучшение качества при проведении работ.

Получаемые цифровые данные используются для комплексного геолого-геофизического моделирования и построения трехмерных моделей, что обеспечивает возможность мониторинга и формирования эффективных параметров добычи на промыслах в эксплуатационном

режиме. Аппаратный контроль и знание процессов, возможность предиктивного управления и устранения причин вероятных рисков и последствий для подземной и надземной инфраструктуры месторождений позволяют организовать прогнозирование и управление режимами эксплуатации в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе, что приводит к снижению непредвиденных расходов, повышению рентабельности и более эффективному планированию инвестиций.

Важнейшей частью современных бизнес-процессов при освоении лицензионных участков является возможность с применением аппаратно-программных комплексов при поиске месторождений полезных ископаемых и точек последующего бурения и строительства скважин обеспечить контроль процессов в режиме реального времени.

Это позволяет обеспечить мониторинг проседания дна, прогнозировать техногенные землетрясения и подвижки грунтов, определять положение свода нефтегазодобывающих месторождений на суше с целью регулировки дебита скважин и прогнозирования режимов эксплуатации, контролировать состояние объектов в зонах вечной мерзлоты, что особенно актуально в связи с глобальным потеплением, и проведение работ в зоне шельфовых месторождений Арктики и Сибири.

Основой эффективности применяемых отечественных аппаратно-программных комплексов являются разработанные и легко адаптируемые для конкретных условий цифровые платформы обработки и интерпретации данных сейсморазведки, аккумулирующие опыт и знания разработчиков в области разведки и разработки месторождений углеводородов, а также современные технологии, адаптированные для геологического моделирования с целью получения согласованной 3D-модели месторождения и минимизации рисков бурения и строительства.

Цифровые платформы решают геофизические задачи с применением миграционных алгоритмов. Результатом работы являются полученные сейсмические временные разрезы, кубы сейсмических данных, отображающие геологическое строение среды в поле отражённых волн, применяемые от классической интерпретации 2D профилей до технологий интерпретации 3D данных. Используя наборы сейсмических атрибутов, можно создавать уникальный 3D-структурный каркас, учитывающий тектоническое строение и условия осадконакопления; различные сейсмические аномалии; объемные тела, выделенные по сейсмическим данным (палеорусла, соляные купола и т.п.); сейсмофации и объемное распределение акустических и плотностных свойств среды.

Для решения подобных задач ведущие нефтегазовые компании России используют дорогостоящие аппаратно-программные комплексы и цифровые платформы различных зарубежных производителей, сталкиваясь с технологической зависимостью, сезонностью и ограничением по срокам и объемам проведения работ при значительном финансировании работ в связи с отсутствием отечественных решений.

Проектной группой в составе «Инновационный Технологический Центр МАТИ», «Опытно-Конструкторское Бюро Океанологической Техники РАН», Центр нефтегазовых технологий АНО ВО «Университет Иннополис» для решения задач геологоразведки предусматривается применение отечественного универсального аппаратно-программного комплекса для геофизических исследований и сейсмотехнологического контроля. Реализованные алгоритмы обеспечивают возможность «обучения» системы и применение его в качестве экспертной системы принятия решений («УК ГИ СТК»).

«УК ГИ СТК» является проектно-компонуемым набором технических и программных средств и состоит из многофункциональных станций подводного, наземного и скважинного исполнения для поиска и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, что позволяет проводить одновременную геологоразведку лицензионных участков на земле и под водой на глубинах до 6000 метров; мониторинг сейсмических угроз техногенного и естественного характера для месторождений, инфраструктурных объектов ТЭК, населенных пунктов и иных инженерных сооружений, взаимодействующих со специализированной цифровой системой. Функционально система включает

ряд модулей: 1) сбора и хранения данных; 2) первичной обработки данных; 3) визуализации и интерпретации данных для геологоразведки и сейсмической безопасности; 4) обучения и адаптации данных и событий в районе проведения работ.

Специализированная цифровая система «УК ГИ СТК» обеспечивает также решение комплекса геолого-технологических задач: 1) корреляции горизонтов и трассирования тектонических нарушений; 2) построения глубинно-скоростных моделей среды; 3) динамической интерпретации данных сейсморазведки; 4) построения куба акустической инверсии; 5) сейсмофациального анализа, позволяющего уточнить строение залежей и прогноз коллекторских свойств при обустройстве; 6) прогноза продуктивных отложений; 7) прогноза перспективных участков поиска и добычи углеводородов.

Модульная реализация цифровой системы «УК ГИ СТК» обеспечивает решение ряда комплексных геофизических и геолого-технологических задач при классической интерпретации 2D-профилей и технологий 3D-данных, используя наборы сейсмических атрибутов для анализа и преобразования сейсморазведочных данных, в том числе: 1) предварительной обработки данных сейсморазведки (препроцессинг); 2) сигнальной обработки данных сейсморазведки; 3) фильтрации: частотной; переменной во времени частотной; режекторной; медианной; согласующей; адаптивной; многомерной (F-K фильтрация; T-p фильтрация, F-X фильтрация и когерентная фильтрация); 4) проведения скоростного анализа; 5) расчёта и ввода кинематических поправок; 6) вычисления и ввода корректирующих статических поправок; 7) проведения миграционных процедур для учета сейсмического сноса по сейсмическим разрезам (кубам) и сейсмограммам; 8) построения глубинно-скоростной модели среды, используемой для глубинной миграции сейсмограмм; 9) построения сейсмических изображений (разрезов, кубов), отображающих геологическое строение среды в поле отраженных волн.

Цифровая система «УК ГИ СТК» решает разнообразные комплексы геофизических задач, начиная со стандартной обработки исходных полевых данных для наземной, морской и скважинной сейсморазведки, включая многоволновую обработку с выполнением миграционных преобразований во временной и глубинной областях.

Необходимо отметить, что работа с данными сейсморазведки предполагает нечто большее, чем применение геофизических алгоритмов к отобранным данным. По мере того как вычислительная мощность компаний объединяется в мегакластеры, а скорость отдельных процессоров растет экспоненциально, сложность геофизических задач и применяемых алгоритмов растет. В то же время объемы обработки сейсмических данных увеличиваются как в объеме, так и в размерности.

Для работы в условиях растущих объемов данных и скорости их поступления необходима автоматизация и интеллектуализация обработки данных для задействованных процессов. Основными направлениями при работе с данными сейсморазведки являются внедрение инструментов машинной обработки и применение нейросетевых решений, чтобы снизить влияние человеческого фактора и повысить скорость работы в целом. Для любого этапа сейсмической обработки и интерпретации используется ряд рабочих процессов для применения геофизических алгоритмов. Тип и количество используемых рабочих процессов зависят от данных, для чего они будут использоваться, и договорных обязательств. Чаще всего последовательность представляет собой совокупность обработки, редактирования и уточнения данных. Для достижения успешного результата с использованием обычного подхода специалисту геофизику необходимо взаимодействовать с данными, изменяя каждый рабочий процесс. Экспертная система принятия решений «УК ГИ СТК» является обучаемой и предоставляет автоматизированные механизмы для подбора графа обработки и интерпретации сейсмических данных, а также оптимизирует требования к вычислительным ресурсам, минимизируя при этом нагрузку на сеть.

Цифровая система «УК ГИ СТК» является уникальной и объединяет в себе как высокоэффективные алгоритмы обработки и интерпретации

сейсморазведочных данных, так и масштабируемость, возможность обработки данных любых объемов, независимо от их размерности и территориального расположения. Ресурсы системы могут быть распределены, при этом взаимодействие пользователя с получаемыми данными сведено к минимуму. Планирование и автоматизация проектов в системе могут быть оптимизированы с использованием статистической информации, получаемой системой.

Появление на российском рынке передового отечественного единообразного вариативного аппаратно-программного комплекса «УК ГИ СТК» позволит заменить зарубежные разработки, доминирующие сегодня на рынке, и обеспечить технологическое лидерство по ряду направлений технологий разведки природных ресурсов моря и суши страны.

Комплекс будет предлагаться на рынке в виде самостоятельно внедряемого пользователем «коробочного продукта» с возможностью приобретения: 1) парка станций с сервисной поддержкой; 2) ПО – цифровой системы обработки и интерпретации данных в виде ежегодного абонирования; 3) в виде готового бизнес-решения, включающего в себя и парк станций, и ПО с возможностью подготовки специалистов в специализированном учебном центре.

Внедрение на рынке полностью российской системы повысит уровень национальной безопасности ключевых отраслей экономики, стандартизирует процесс добычи и обеспечит улучшение качества планирования объемов инвестиций лицензионных участков на всех этапах разработки.

Система разрабатывается на базе Комплекса Сейсмотехнологического Контроля для Объектов Использования Атомной Энергии «кСТК-18.1». Решением экспертного совета ГК «РОСАТОМ» комплекс «кСТК-18.1» включен в реестр инновационных решений ГК «РОСАТОМ» с получением сертификата за номером 001. Комплекс обеспечивает непрерывный сейсмологический мониторинг района размещения и площадки техногенных объектов, распознавая и квалифицируя события в автоматическом режиме и реальном времени, способен отличить техногенную активность от сейсмической и передавать информацию и ее изменения в режиме реального времени.

Инновационным этапом внедрения для нефтегазовых компаний является применение «универсального комплекса для геофизических исследований и сейсмотехнологического контроля» «УК ГИ СТК» в процессе разведки и эксплуатации.

Передовая по мировым меркам система «УК ГИ СТК» является эволюционным этапом объединения фундаментальных разработок структур РАН в лице ОКБ ОТ РАН, реинжиниринга НП «Инновационный Технологический Центр МАТИ», современных возможностей российских производителей электронной компонентной базы и передового опыта российских разработчиков программных продуктов для нефтегазовой отрасли в лице Центра нефтегазовых технологий АНО ВО «Университет Иннополис».

Все модели станций «УК ГИ СТК» используют унифицированный электронный блок, разработанный на отечественной компонентной базе, управление которым осуществляется программным способом посредством изменения настроек. Система «УК ГИ СТК» вариативна, используется единая методология и стандартизация получения и обработки данных для различных сред. При разработке аппаратно-программного комплекса «УК ГИ СТК» использованы авторские российские разработки и ноу-хау.

Литература

1. Еремин Н.А., Либерзон М.Р., Столяров В.Е., Павлов Ю.В., Погородний П.Г. Применение сейсмических технологий при разведке и эксплуатации нефтегазовых месторождений на суше и на море // Автоматизация, телемеханизация и связь. 2021. № 9(578). С. 13–26.

2. Либерзон М.Р. Несколько задач прикладной механики. М.: Изд-во РИА, 2019. 238 с.

3. Либерзон М.Р., Ильинский Д.А., Погородний П.Г., Шаренков С.Б. Технология Геонод для сейсморазведки углеводородов на шельфе и обнаружения объектов // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 3. С. 75–82.

Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1-2

References

1. Eremin N.A., Liberzon M.R., Stolyarov V.E., Pav-lov Yu.V., Pogorodnii P.G. Application of seismic technologies in the exploration and operation of oil and gas fields on land and at sea. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz'*, 2021, no. 9(578), pp. 13–26 (in Russian).

2. Liberzon M.R. Neskol'ko zadach prikladnoi mekhaniki [Several Problems of Applied Mechanics]. Moscow, RIA Publ., 2019, 238 p. (in Russian).

3. Liberzon M.R., Il'inskii D.A., Pogorodnii P.G., Sharenkov S.B. Geonod technology for offshore hydrocar-bon seismic exploration and object detection. *Ideas and innovations*, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 75–82.

Информация об авторах / Information about the authors

Либерзон Марк Романович
доктор физико-математических наук, профессор,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
(*125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*)
заслуженный деятель науки РФ, лауреат Премии Президента РФ, вице-президент Российской инженерной академии
mark@fund.ru

Mark R. Liberzon
Dr. Sc. (Phys&Math), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University)
(*4, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russia 125993*)
Honoured Scientist of the Russian Federation, Laureate, Prize of the President of the Russian Federation, Vice President, Russian Academy of Engineering.
mark@fund.ru

Павлов Юрий Владимирович
директор, Опытно-конструкторское бюро океанологической техники РАН
(*109387, г. Москва, Летняя ул., д. 1, корп. 2*)
info.geophit@mail.ru

Yury V. Pavlov
Director, Experimental Design Bureau of Oceanological Techniques RAS
(1/2 Letniya Str., Moscow, 109387 Russia)
info.geophit@mail.ru

Погородний Петр Геннадьевич
заместитель генерального директора,
Инновационный технологический центр МАТИ
(*109383, г. Москва, ул. Полбина, 45, стр. 1*)
p@itcmati.ru

Petr G. Pogorodny
Deputy General Director,
MATI Innovative Center
(*bld. 1, 45 Polbina str., Moscow, 109383 Russia*)
p@itcmati.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Условия и порядок приема рукописей:

1. Редакция принимает к публикации материалы на русском языке по темам, соответствующим основным научным направлениям журнала. Научные статьи принимаются в течение года и при условии положительных результатов независимой экспертизы включаются в очередной номер журнала.

2. В журнале публикуются статьи, отличающиеся высокой степенью научной новизны, теоретической и практической значимости. В статье должны быть изложены основные результаты исследования. Материалы статьи должны быть оригинальными, ранее нигде не публиковавшимися. Авторами могут быть ученые-исследователи, докторанты, аспиранты, соискатели.

3. Авторы предоставляют в редакцию журнала на e-mail: ideasnov@yandex.ru один файл формата Microsoft Word, содержащий статью и сведения об авторе. Имя файлу присваивается следующим образом: фамилия, имя, отчество, научное направление статьи (при наличии 2 и более авторов указывается фамилия только первого автора), файлы, инфицированные вирусами, не обрабатываются.

4. Поступившие в редакцию материалы регистрируются и в течение 3 дней автору (авторам) по электронной почте высылается подтверждение о получении статьи.

5. Статьи, не соответствующие условиям публикации и требованиям к оформлению, не рассматриваются.

6. Если рецензия содержит рекомендации по исправлению и доработке статьи, то она направляется автору с предложением учесть рекомендации при подготовке нового варианта статьи. Датой поступления статьи в данном случае считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

7. Аспирантам необходимо приложить к статье сканированную копию рецензии научного руководителя, заверенную печатью организации, и справку из отдела аспирантуры, подтверждающую обучение с указанием срока его окончания.

8. Корректура авторам не высылается, присланные материалы не возвращаются.

9. Гонорар за публикацию статьи не выплачивается.

RULES FOR AUTHORS

Manuscripts are accepted in keeping with the following terms and procedures:

1. The Editorial Team accepts for publication Russian-language materials which meet the criteria regarding the main scientific focus areas of the journal. Scientific articles are accepted all the year round. If they successfully pass independent peer review, they are included in the upcoming issue of the journal.

2. The journal publishes articles marked by a high degree of scientific novelty and theoretical and practical significance. The article is expected to contain the main research results from the conducted study. The materials of the article should be original and never published anywhere else before. The eligible contributors are scientists – participants in official postgraduate and doctoral studies programs and departments affiliated with academic and research institutions or candidate and doctoral degree students non-affiliated with these departments.

3. Contributors submit to the Editorial Team one Microsoft Word file with the article and with information about the author(s). E-mail address for submission is ideanov@yandex.ru. The file name is assigned as follows: last name, first name and patronymic initials, and research focus area of the article. If the article has two or more authors, only the first author's name is noted. Files infected with viruses are not processed and are not accepted for publication.

4. The materials submitted to the Editorial Team are registered, and within 3 days, an e-mail acknowledgement of receipt is sent to the author (authors).

5. Articles not consistent with publication terms and presentation requirements are not considered.

6. If the peer review generates recommendations for the correction and further improvement of the article, it is sent to the author (s) with a suggestion that these recommendations should be incorporated in the preparation of a new version of the article. The date of receipt of the final version of the article by the Editorial Team is recognized as the date of submission.

7. Postgraduate studies department students need to supplement the article with a scanned copy of the scientific supervisor's review validated by his or her signature and the organization's official stamp, and with a certificate from the postgraduate studies department confirming the fact of the formal training at the department and the date of its termination.

8. Edits and proofs are not sent to contributors. Received materials are not returned.

9. Contributors are not paid any fees for the publication of their articles.

ИДЕИ И НОВАЦИИ (16+)

Т. 10 № 1-2
2022

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзоре)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-54169 от 17 мая 2013 г.

Учредители: Общероссийская общественная организация «Российская инженерная академия» (РИА),
Автономная некоммерческая организация «Институт региональной журналистики»,
Творческое объединение «Союз»

Адрес редакции и издателя: 109004, г. Москва, ул. Александра Солженицына, д. 19, стр. 2
e-mail: ideasnov@yandex.ru
Тел.: +7(977) 807-33-97 +7(499) 343-89-47

Существенный вклад в формирование материалов этого номера журнала
внесла кандидат технических наук Е.Б. Зайченкова

Редактор Н.И. Завгородняя
Компьютерная верстка и правка Н.Н. Ивановой
Оформление С.Е. Чакъров

Сдано в набор 15.03.2022. Подписано в печать 25.03.2022. Выход в свет 04.04.2022.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Calibri. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 21,3. Тираж 1000 экз. Свободная цена.

Отпечатано в ПАО «Т8»
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5

При использовании материалов ссылка на журнал «Идеи и новации» обязательна