



# КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ

НАЦІОНАЛЬНА  
АКАДЕМІЯ НАУК  
УКРАЇНИ

Том 23  
4(105)  
2017

# SPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY

ДЕРЖАВНЕ  
КОСМІЧНЕ  
АГЕНТСТВО  
УКРАЇНИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ ✦ ЗАСНОВАНО В ЛЮТОМУ 1995 Р. ✦ ВИХОДИТЬ 6 РАЗІВ НА РІК ✦ КИЇВ

## ЗМІСТ

Міжнародна конференція «Космічні технології: сучасне та майбутнє» . . . . . 3

### Ракетно-космічні комплекси

*Кушнарєв А. П., Пышнев В. Н., Дегтярев М. А., Демченко А. В.* Оценка стоимостных показателей ракеты-носителя с многоразовой первой ступенью . . . 15

*Чабаненко С. А., Корольков А. С., Ерофеев С. И.* Особенности создания транспортно-установочного агрегата с точки зрения конкурентоспособности . . . 20

### Космічні матеріали та технології

*Патон Б. Є., Лобанов Л. М., Асніс Ю. А., Терновий Є. Г., Зубченко Ю. В.* Обладнання і технологія для електронно-променевого зварювання в космосі . . . . . 27

*Ільющенко А. Ф., Савич В. В.* История и современное состояние аддитивных технологий в Беларуси, порошки металлов и сплавов для них . . . . . 33

*Селезнєва И. В., Мочёнов Р. А., Семененко Я. В., Сало М. П., Иваницкий Г. М.* Экспериментальное исследование процесса охлаждения газа в криогенном теплообменнике 46

## CONTENTS

International Scientific Conference Space Technologies: Present and Future . . . . . 3

### Space-Rocket Vehicles

*Kushnariov A. P., Pysnniev V. N., Degtyarev M. A., Demchenko A. V.* Assessment of cost indexes for launch vehicle with reusable lower stage . . . . . 15

*Chabanenko S. A., Korolkov A. S., Yerofeiev S. I.* Design features of the transporter-erector unit from the viewpoint of the competitiveness . . . . . 20

### Space Materials and Technologies

*Paton B. E., Lobanov L. M., Asnis Yu. A., Ternovoj E. G., Zubchenko Yu. V.* Equipment and technology for electron-beam welding in space . . . . . 27

*Iliushchenko O. F., Savich V. V.* Additive technologies, powders of metals and alloys for them. History and current production state in Belarus . . . . . 33

*Selezniova I. V., Mochionov R. A., Semenenko Ya. V., Salo M. P., Ivaniitsky G. M.* Experimental investigation of gas cooling in cryogenic heat exchanger . . . . . 46

## Соціогуманітарні аспекти космічних досліджень

*Жариков И. Н., Воротников В. А., Кукушкина Т. А.* Использование трансфера технологий как инструмента коммерциализации интеллектуальной собственности разработчиков высокотехнологичных инноваций ..... 52

*Калита П. Я.* Современным предприятиям космической отрасли — современные системы менеджмента ..... 61

## Космічна навігація та зв'язок

*Козырев Е. С., Кожухов А. М., Сибирякова Е. С.* Метод автоматического планирования наблюдений низкоорбитальных космических объектов на неподвижном телескопе ..... 71

**Наші автори** ..... 78

## Social Sciences in Space Exploration

*Zharikov I. N., Vorotnikov V. A., Kukushkina T. A.* Technology transfer as a tool for the intellectual property commercialization by developers of high-tech innovations . 52

*Kalyta P. Ya.* Modern management systems — to the modern space industry ..... 61

## Space Navigation and Communications

*Kozyrev Ye. S., Kozhukhov O. M., Sybiryakova Ye. S.* Method for automatic scheduling for leo object's observations at fixed telescope ..... 71

**Our authors** ..... 78

На першій сторінці обкладинки — ракета космічного призначення «Антарес» на стартовому майданчику (див. статтю С. А. Чабаненко та ін.)

**Журнал «Космічна наука і технологія» включено до переліку наукових фахових видань України, в яких публікуються результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата фізико-математичних та технічних наук**

*У підготовці видання взяло участь Українське регіональне відділення Міжнародної академії астронавтики*

**Відповідальний секретар редакції О. В. КЛИМЕНКО**

**Адреса редакції:** 01030, Київ-30, вул. Володимирська, 54,  
тел./факс (044) 526-47-63, ел. пошта: reda@mao.kiev.ua  
Веб-сайт: space-scitechnjournal.org.ua

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 1232 від 2 лютого 1995 р.

Підписано до друку 22.11.2017. Формат 84 × 108/16. Гарн. Ньютон. Ум. друк. арк. 8,4.  
Обл.-вид. арк. 8,82. Тираж 102 прим. Зам. № 5082.

Оригінал-макет виготовлено і тираж віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України  
вул. Терещенківська, 4, м. Київ, 01004

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.



## МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ «КОСМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ: СУЧАСНЕ ТА МАЙБУТНЄ»

З 23 по 26 травня 2017 р. у Державному підприємстві «Конструкторському бюро «Південне» імені М. К. Янгеля» пройшла VI Міжнародна конференція «Космічні технології: сучасне та майбутнє». Такі конференції проходять один раз на два роки у місті Дніпро. Перша відбулася у 2007 р.

Її організаторами виступили: КБ «Південне», Державне космічне агентство України (ДКА України) та Українське регіональне відділення Міжнародної академії астронавтики (МАО). Конференція була присвячена 80-річчю від дня народження Станіслава Миколайовича Конюхова — Генерального конструктора КБ «Південне» у 1991—2010 рр., академіка Національної академії наук України, віце-президента Міжнародної астронавтичної федерації, одного з ініціаторів створення Українського регіонального відділення МАО.



В роботі конференції взяли участь понад 450 вчених і фахівців з 21 країни світу: Австрії, Білорусі, Бельгії, Великобританії, Греції, Італії, Казахстану, КНР, Литви, Македонії, Мексики, Нідерландів, Німеччини, Польщі, Румунії, США, України, Франції, Чехії, Швейцарії, Швеції. На шести тематичних секціях заслухано та обговорено 290 доповідей, на пленарному засіданні — 11. Проведено низку круглих столів з актуальних проблем космічної діяльності. Серед них: «Створення місячної промислово-дослідної бази», «Створення і впровадження нових класів армованих композиційних матеріалів», «Функціональний підхід і розробка нових технологій обробки виробів з композиційних матеріалів» та інші.

Особливу увагу було приділено практичним аспектам створення місячної промислово-дослідної бази (інфраструктура, енерго- і життєзабезпечення, безпека, живучість), просторово-часовому моніторингу параметрів атмосфери Землі, дистанційній діагностиці природних і техногенних аномалій. Традиційно в центрі уваги перебували нові тенденції створення конкурентоспроможної ракетно-космічної техніки, питання оптимізації міжнародних коопераційних зв'язків при її розробці і виробництві, проблеми антиастероїдного захисту Землі і очищення навколоземного космічного простору від об'єктів техногенного засмічення. Конференція підкреслила першорядне значення консолідації зусиль світових ракетно-космічних компаній і вчених-енту-



зіастів у питаннях дослідження і практичного освоєння далекого космосу, прогнозування і запобігання глобальним природним катаклізмам і явищам, пов'язаним з космосом і з діяльністю людини.

Наступну сьому конференцію заплановано провести у місті Дніпро в травні 2019 р. Сайт конференції: <http://dpukrconfiaa.org/ua/>.

#### ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Відкриваючи пленарне засідання, в. о. Генерального директора КБ «Південне» Михайло Бондар привітав учасників і висловив надію, що конференція пройде продуктивно — розширення співробітництва у мирному космосі сприятиме подальшому розвитку космічної науки і аерокосмічної промисловості загалом.

Учасників конференції привітали Президент України у 1994—2005 рр. Л. Кучма, президент НАН України Б. Патон, представники ДКА України, НАН України та Агентства з космічних досліджень Білорусі. Вітальний лист надійшов також від Генерального конструктора КБ «Південне» О. Дегтярева, який через об'єктивні обставини не зміг бути присутнім на заході.

В. о. Голови ДКА України Юрій Радченко надіслав вітання на адресу конференції, побажав її учасникам плідних наукових контактів, творчого натхнення та висловив впевненість, що конференція стане черговим важливим кроком на шляху формування нових перспективних напрямів створення космічної техніки.

#### Вітальний лист від Генерального конструктора КБ «Південне» О. Дегтярева

*Уважаемые участники, спонсоры, организаторы и гости VI Международной конференции «Космические технологии: настоящее и будущее», приветствую вас в конструкторском бюро «Южное»! Я искренне сожалею, что в связи с объективными неплановыми обстоятельствами не могу участвовать в работе конференции и лично общаться с вами.*

*Из шести конференций, проводимых в космической столице Украины Днепре, КБ «Южное» такой форум у себя проводит впервые, хотя, уверен, многие из вас уже бывали здесь и, возможно, неоднократно. Организаторы предложили на этот раз провести конференцию именно на базе головного предприятия ракетно-космической отрасли Украины не случайно.*

*Основанное в 1954 году для решения важнейших задач государства, КБ «Южное» гордится своей историей.*

*В активе КБ «Южное» немало реализованных разработок, многие из которых стали достижениями мирового уровня. К ним можно отнести ракетно-космический комплекс «Зенит» на экологически чистых компонентах топлива и с безлюдным стартом, его новые модификации в международных проектах «Морской старт», «Наземный старт» и «Антарес», семейство РН «Циклон», конверсионный носитель «Днепр» и многое другое. Научно-технический потенциал КБ «Южное» сегодня по-прежнему решает самый широкий круг исследовательских и приклад-*

ных задач, предлагать мировому рынку новые разработки, технологии и услуги, участвовать и быть интегратором в самых престижных проектах.

Общеизвестно, что многие передовые научные открытия и технические достижения зачастую реализуются именно в космической сфере. Космические технологии прочно вошли в нашу жизнь как неотъемлемая часть технического прогресса и качественно её изменили. Владение реальными космическими технологиями — это показатель технического уровня и мирового рейтинга страны, что мотивирует всё новых игроков участвовать в мировом космическом рынке, а глобальность космических задач требует объединенных усилий стран-участников и системной координации их действий.

В этой связи важнейшей задачей нашей конференции является открытие новых возможностей взаимовыгодного сотрудничества в мирном космосе, и я уверен, что конференция — это отличная площадка для объединения усилий по продвижению новейших технологий, реализации глобальных космических проектов и осуществления дальних космических миссий.

Традиционно на конференции будут обсуждаться актуальные проблемы и прикладные задачи, стоящие сегодня на повестке дня. Это исследование ближнего и дальнего космоса; очистка околоземного пространства от продуктов техногенного засорения, антиастероидная защита Земли; дальние и ближние космические миссии и передовые космические технологии; вопросы совершенствования ракетно-космических систем, создание перспективных двигателей и многое другое.

Новыми направлениями станут вопросы совместного создания лунной научно-исследовательской базы и круглые столы, посвященные этой теме, а также проблемам межорбитального сервиса.

Надеюсь, что наша конференция предоставит хорошие возможности для укрепления партнёрских связей между участниками и будет в полной мере способствовать развитию сотрудничества между странами, интересам мирного освоения и использования космического пространства, объединения усилий для решения глобальных гуманитарных задач.

Приятно отметить, что наша конференция, проводимая в Днепре и ставшая уже традиционной, из года в год становится всё более представительной, содержательной и профессиональной.

*Искренне желаю всем участникам конференции успешной, плодотворной и результативной работы, содержательных и интересных дискуссий, ярких и приятных впечатлений от пребывания в космической столице Украины и конструкторском бюро «Южное»!*

*Александр ДЕГТЯРЕВ*

## **Вітальний лист від президента НАН України Б. Патона**

### **Учасникам VI Міжнародної конференції «Космічні технології: сучасне та майбутнє»**

*Від імені вчених Національної академії наук України сердечно вітаю організаторів та учасників VI Міжнародної конференції «Космічні технології: сучасне і майбутнє».*

*Науковці нашої держави завжди приділяли особливу увагу розвитку космічних досліджень, зробили значущий внесок в розвиток світової космічної галузі та освоєння космічного простору. Саме з метою координації робіт за цим напрямом у 1968 році при Академії наук УРСР була створена Комісія з космічних досліджень, в яку ввійшли провідні українські вчені. У 2001 році функції Комісії перейшли до створеної Ради з космічних досліджень НАН України, яка і сьогодні успішно виконує свою роботу.*

*З метою впровадження перспективних науково-технічних розробок і технологій у ракетобудування у жовтні 2012 року було підписано Генеральну угоду про науково-технічне співробітництво в галузі створення ракетно-космічної техніки між Національною академією наук України та Державним підприємством «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», а також затверджено Перспективний план спільної науково-технічної діяльності на 2013—2017 рр. Ця угода дозволила підняти на новий рівень співробітництво в галузі створення перспективної космічної техніки і технологій, істотно активізувати спільні дослідження та розробки науковців Національної академії наук України і славетного Конструкторського бюро «Південне».*

*Вкрай важливою для розвитку космічної галузі є можливість повноцінного обміну досвідом та участь у спільних проектах фахівців з різних країн світу. Багатолітнє співробітництво ДП «КБ «Південне»*

і Міжнародної академії астронавтики сприяє інтеграції України в міжнародне наукове співтовариство. У травні 2012 року було підписано Меморандум про взаєморозуміння, пріоритетні напрями і перспективи співробітництва Міжнародної академії астронавтики та Національної академії наук України у космічній сфері. Сьогодні проводяться спільні дослідження в галузі створення космічної системи моніторингу іоносфери, прогнозування сейсмічної активності Землі, системи дослідження атмосферних аерозолів, виведення радіоактивних відходів у дальній космос, розроблення та проектування систем видалення космічного сміття.

Широке міжнародне співробітництво і цілеспрямоване об'єднання зусиль науки та промисловості для вирішення сучасних задач ракетно-космічної галузі дає нам міцну основу для оптимізму і впевненість в успішному космічному майбутньому України.

Бажаю всім вам плідної роботи, натхнення та нових творчих успіхів.

Президент

Національної академії наук України  
академік НАН України

Б. Є. ПАТОН

На конференції з доповіддю виступив радник Голови Державного космічного агентства України Е. І. Кузнецов:

### **Уважаемые дамы и господа, уважаемые наши зарубежные коллеги!**

Позвольте мне от имени руководства Государственного космического агентства Украины приветствовать всех участников 6-й международной конференции «Космические технологии: настоящее и будущее» и пожелать успешной и творческой работы, новых успехов в важной и благородной деятельности по исследованию и освоению космического пространства.

Хочу обратить ваше внимание на то, что наша конференция проходит в зале заседаний Государственного конструкторского бюро «ЮЖНОЕ», стены которого помнят голоса часто выступавших здесь выдающихся конструкторов ракетно-космической техники, создателей уникальных ракет и космических аппаратов: Михаила Кузьмича Янгеля, Владимира Федоровича Уткина, Станислава Николаевича Конюхова, 80-летие которого мы отме-

тили в этом году. Дух этих великих ученых, инженеров и конструкторов до сих пор витает в этом зале и на территории предприятия. Их творения в виде РН «Космос», «Интеркосмос», «Циклон-2», «Циклон-3», «Воевода», «СС-18», «Зенит-2», «Зенит-3SL», «Зенит-3SLB», важных составляющих для РН «Антарес» и «Вега», более 400-т КА различного предназначения — это весомый результат их жизни и деятельности, который стал гордостью ракетно-космической отрасли Советского Союза и нынешней Украины.

В этом году исполнилось 25 лет Государственному космическому агентству Украины. Созданное в далеком 1992 году агентство, как новая структура в системе государственного управления страны того времени, за короткий срок сформировало эффективную ракетно-космическую отрасль в которую вошли всемирно известные предприятия: КБ «Южное», завод «Южмаш», ПО. «Хартрон», заводы «Коммунар», «Киевприбор», «Радиозавод», КБ и завод «Арсенал» и еще более 2-х десятков предприятий и организаций и продолжило производство ракетно-космической техники, адаптируясь к непростым условиям рыночной экономики, столкнувшись с жесткой конкуренцией на мировом рынке создания ракетно-космической техники и космических услуг. Каждый год — это весомый шаг не только в формировании космической отрасли, но и новые достижения в разработке ракетно-космической техники и новые достижения в научных исследованиях.

За это время мы выполнили 4-е космические программы и завершаем в этом году 5-ю программу. Мы сформировали космическое право Украины, состоящее из 140 законов и различных законодательных актов, адаптированных к европейским и мировым стандартам и требованиям, подписали соглашения о сотрудничестве в космической сфере с 25 странами и ведущими космическими агентствами и фирмами, провели два «Твиннинга» в которых участвовали космические структуры Франции, Германии, Испании, Италии и других стран Европы. В 2006 г. мы принимали международный семинар по международному космическому праву под эгидой ООН.

Это были первые и существенные шаги на пути вступления Украины ассоциированным членом в Европейское космическое агентство.

Благодаря динамичной перестройке наших предприятий и, в первую очередь, КБ «Южное» к новым рыночным условиям работы, отрасль в течение многих лет демонстрирует стабильную работу, выпуск современной, конкурентоспособной ракетно-космической техники, создание новой высокотехнологической продукции, соответствующей лучшим мировым образцам.

Космическое агентство, отдает должное плодотворному сотрудничеству наших предприятий с Национальной Академией наук. Хочу подчеркнуть, при этом, ведущую роль в этой работе КБ «Южное» и его руководителей — академиков НАНУ.

Это позволило нам за 25 лет произвести и запустить в космос 140 ракет-носителей отечественного производства и вывести на орбиты более 370 КА разного назначения по заказам 25 стран.

Кроме этого, наши предприятия внесли большой вклад в виде проектирования и изготовления систем управления, систем коммуникаций и других составляющих для 263 РН «Союз», 179 РН «Протон», 46 РН «Молния», 28 РН «Рокот», 3 РН «Стрела», базового модуля «Зоря» для МКС. Всего было изготовлено аппаратуры для 554 РН.

Для обеспечения нормальной работы МКС, смены экипажей и доставки грузов на станцию у нас было изготовлено 138 комплектов аппаратуры «Курс», которая применяется для поиска, сближения и стыковки космических кораблей с орбитальными станциями.

Мы высоко ценим сотрудничество с коллегами из Европы по РН «Вега», с американскими партнерами по РН «Антарес».

Новое время, его непростые вызовы требуют не останавливаться на достигнутом, а думать и решать задачи, которые станут перед человечеством через 5—15 лет.

Сегодня нужны новые идеи как в создании космических аппаратов, новых ракет-носителей, двигателей для них, новых видов топлива, материалов и технологий, так и в сохранении чистоты и экологии ближнего космоса, очистки его от космического мусора.

В ближайшие годы мире намечается тенденция минитюаризации космических аппаратов, создания многочисленных их «созвездий» для решения тех или иных научных или хозяйственных задач.

По прогнозам Еврокосалта до 2025 г. будет запущено около 1500 космических аппаратов весом более 50 кг. и около 10 000 КА весом меньше 50 кг., в том числе микро-, нано- и пико- спутников. Это вызовет рост рынка пусковых услуг на 18—20 %, по сравнению с предыдущим пятилетием, потребность в создании ракет-носителей легкого класса и, в свою очередь, увеличение количества «космического мусора» в околоземном пространстве. Но если Илон Маск подбросит человечеству еще пару тысяч КА, которые через определенный период отработают и пополнят «мусорную свалку» на орбитах и ситуация станет еще сложнее. А там, уже в настоящее время, насчитывается более 750000 мертвых КА, обломков и фрагментов последних ступеней РН.

Все это создает дополнительные угрозы функционированию научных космических аппаратов и аппаратов ДЗЗ, но самое главное, это безопасность пилотируемых миссий и доставки КА на геостационарную орбиту.

Поэтому борьба с «космическим мусором» становится одной из важнейших проблем, которую необходимо решать космическому сообществу в ближайшие годы.

Еще одна проблема, которая должна быть в центре внимания ученых и создателей космической техники и научных приборов — это изучение солнечно-земных связей и космической погоды. Погодные катаклизмы, которые мы наблюдали в этом году и которые, по предположению многих ученых, в течение ближайших лет будут только усугубляться, говорят об остроте этой проблемы и реальной угрозе для жизни землян, наряду с астероидной угрозой, что потребует объединения усилий ученых развитых стран для решения этих жизненно важных задач современности.

Во многих странах наблюдается некоторый спад интереса населения к проблемам изучения космоса и науки вообще. В этом есть некоторая вина и системы образования, которая пошла по пути упрощения и примитивизации учебных программ, и средств массовой информации, которые много внимания уделяют показу преимуществ шоу-бизнеса, профессионального спорта, заработкам так называемых звезд, что, естественно, привлекает молодых людей к этой якобы легкой и яркой жизни.

На мой взгляд, проблемы развития нашей цивилизации в постиндустриальный период, должны затребовать и выдвигать на первый план в жизни общества — ученых, инженеров, специалистов информационных и высоких технологий, специалистов базовых отраслей государства.

Нам необходимо создать международную атмосферу просвещения и формирования космического мировоззрения у молодых людей в первую очередь в развитых странах, в странах обладающих космическими технологиями, высоким уровнем развития науки и техники, обеспечивающими научно-технический прогресс нашей цивилизации.

Уважаемые участники конференции, я думаю, что у вас накопилось значительно большее число проблем, вопросов и ответов на них, над которыми вы работаете и на которые следует обратить внимание ученой и инженерной общественности разных стран. В последние 15 — 20 лет идет накопление потенциала ученых, конструкторов и инженеров для

решения этих проблем и мы ждем прорыва на отдельных и важных направлениях научного прогресса.

Предлагаю материалы и рекомендации нашей конференции направить в научно-технический и юридический подкомитеты по космосу ООН.

Желаю вам успешной работы в нашей столице ракетостроения городе Днепр, пусть пребывание здесь даст вам новый толчок в вашей научной и творческой деятельности. Новых успехов и достижений всем вам!

Благодарю за внимание!

Перед початком пленарних доповідей аудиторії був продемонстрований фільм «Місія Генерального конструктора», присвячений 80-річчю від дня народження С. М. Конюхова.

На пленарному засіданні до уваги учасників конференції і зацікавлених спеціалістів було подано 11 доповідей, присвячених розвитку космічних систем, проблемі очищення навколосемного космічного простору від техногенного засмічення, новим технологіям і матеріалам, ракетним двигунам та іншим актуальним питанням.

#### ТЕМАТИКА І РОБОТА СЕКЦІЙ

**Секція 1.** Сучасні та перспективні ракетно-космічні комплекси, ракети-носії, їхні компоненти і системи. Подано 68 доповідей.

**Секція 2.** Сучасні та майбутні космічні супутникові системи (42 доповіді).

**Секція 3.** Перспективні ракетні двигуни та енергетичні установки (36 доповідей).

**Секція 4.** Матеріали і технології (73 доповіді).



**Секція 5.** Космос для людства (19 доповідей).

**Секція 6.** Наземні комплекси, стартове устаткування та їхня експлуатація (46 доповідей).

Якісна організація заходів і дружня творча атмосфера дозволили провести роботу в кожній секції по-справжньому продуктивно. Доповідачі й аудиторія активно взаємодіяли — цікаві питання із зали надавали виступам більшої інформативності.

Обговорення були настільки жвавими, що робота секцій у деяких випадках відступала від графіка. Це підтверджує актуальність обраних тем і затребуваність подібних міжнародних конференцій у цілому.

Усі учасники могли не тільки поспілкуватися з колегами із різних країн, але й вивчити численні роздавальні матеріали, які містили інформацію про провідні компанії галузі.

Також були проведені заходи Фонду Премії Роберта і Вірджинії Хайнлайн, у рамках яких учасники могли особисто поспілкуватися з його розпорядником Артуром Дулою. Бажаючи надати можливість ознайомитися з фантастичними творами Хайнлайна — на демонстраційних столах було представлено десять видань його романів. А на телевізійних екранах транслювали документальні фільми, присвячені роботі Фонду.

На третій день конференції закінчилася робота секційних засідань, були проведені тематичні круглі столи в секціях.

Приємним доповненням до основної програми конференції стали екскурсії: етнографічна, екскурсія містом і технічна — КБП і Південмашем.

У рамках конференції учасники відвідали цех головного складання Південмашу, екскурсію яким провів заступник начальника цеху 97 Василь Нестеренко; ознайомилися з роботами дослідного виробництва КБП з виготовлення конструкцій з полімерних матеріалів, про яке розповів начальник комплексу 9 Олександр Потапов; побачили у процесі роботи 3D-принтер і прослухали коротку інформацію про нього від начальника відділу 716 Олександра Ломакіна; побували у випробувальному комплексі 3, про можливості якого докладно розповів його начальник Віктор Федоров.

Своїми враженнями від заходу поділилися гості КБ «Південне» і керівників секцій.



*Джефрі Д. Кемпбелл, представник Orbital:*

Вдруге беру участь у цій конференції як спонсор, а взагалі ми вже 10 років працюємо разом з КБ «Південне» щодо критично важливих конструкцій для «Антарес». Я дуже радий нашому партнерству, у нас хороші ділові відносини. Вважаю, що конференція дуже важлива й перспективна. Є надія зустріти потенційних партнерів. Ми продовжуємо роботу з КБ «Південне». У найближчі роки ми запланували ще декілька спільних пусків для доставляння вантажів на МКС.



*Ярослав Яцків, директор Головної астрономічної обсерваторії НАН України:*

Закінчується конференція. Ми бачимо — супровід, прийом, передача даних, організація секцій — все на найвищому рівні! Велика вдячність організаторам за проведення такого високого рівня наукової інноваційної конференції.

Дуже важливо, що люди мають можливість спілкуватися. Зараз у різних секціях іде активне обгово-

рення різних проблем. Я беру участь у роботі другої секції. Говорять, що високий науковий рівень доповідей у секції матеріалознавства. Знаю наскільки висока зацікавленість у секції двигунів, оскільки КБ «Південне» має тут певні нароби, тобто звідси буде зроблено наступний крок розповсюдження цієї інформації серед спільноти і можливі подальші практичні використання зробленого.

КБ «Південне» в реальності стає головною космічною організацією України і лідером, а лідер має певні обов'язки. Лідер мусить робити щось для інших. Можливо, це відволікає його працівників від головної роботи, але це обов'язок лідера — сприяти консолідації спільноти різних організацій космічної галузі, залучати наукову сферу, яку я представляю, і разом думати про перспективи майбутнього входження України до знаних космічних держав світу.

Ну і нарешті мої особливі враження. Я мав можливість знати попередніх Генеральних конструкторів, спілкуватися з Уткіним, бути близьким другом і колегою С. М. Конюхова, зараз співпрацюю з О. В. Дегтяревим. Дуже важливим на мій погляд є розповсюдження інформації в журналі «Космічна наука і технологія». Ми маємо можливість запропонувати, щоб у цьому журналі, де Борис Патон головний редактор, а я його заступник, були опубліковані всі головні результати цієї конференції. Я хочу щоб ці результати стали відомі в усьому світі.



*Павло Дегтяренко, головний конструктор КБ-1:*

Перше враження — помітно, що конференція не перша. Це вже шоста конференція, і ми кожного разу поліпшуємо ще дещо. У цьому році відмінності від попередніх разючі, ми досягли нового рівня. Можу сказати, що нам все вдалося. Організатори провели титанічну роботу. Навіть співробітники КБП підходили і дякували організаторам, нібито вони самі не були організаторами, не

брали участь у підготовці. Тому результат однозначно можна оцінити позитивно.

Контракти вже народжуються, але ще не підписуються. Це не швидка робота. Контакти налагоджуються дуже активно, гостям є що нам запропонувати, а нам є що запропонувати їм.

Щодо місячної бази — ви самі побачите завтра: людей на круглому столі буде дуже багато, ця тема викликає чималий інтерес. Звичайно, Україна сама не осилить такий масштабний проект. Висловлю крамольну думку, що Україна не стане й об'єднувальною ланкою. Це буде великий проект під керівництвом ЄКА — НАСА. Але нам є що запропонувати, ми повинні брати участь у цьому проекті. Ми повинні штурмувати Місяць!



*Олександр Мащенко, перший заступник Генерального конструктора — Генерального директора з організаційно-технічних питань:*

Я керую першою секцією «Сучасні та перспективні ракетно-космічні комплекси, ракети-носії, їхні компоненти та системи». На секцію підготовлено і подано 70 доповідей із 17 організацій. Очікуване широке коло питань, які подано у заявлених доповідях, починаючи від загальних питань проектування, конструювання ракетно-космічної техніки, пускових систем, їх відмінностей, порівнянь. Це питання, які пов'язані з проектуванням різних систем, керуванням, вимірюванням, системи подачі компонентів палива і ПГС, а також питання міцності, орбітального руху, аеродинаміки і т. д. Є питання, пов'язані з космічним сміттям і його видаленням, а також питання надійності.

Що варто було б відзначити? На попередній 5-й конференції ми висловлювали побажання і рекомендували, щоб учасники від українських організацій для надання їх роботам і доповідям більш прикладного характеру та підвищення їхнього рівня у науковому плані, спиралися на ре-

альні розробки КБП. Маю відзначити, що зараз із 70 доповідей більше 20 підготовлені у співавторстві з працівниками КБП.

І останнє. Як завжди, приємно перебувати у колі розумних кваліфікованих спеціалістів, шукаючих і зацікавлених людей.

#### ЗАСІДАННЯ КРУГЛИХ СТОЛІВ «ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МІСЯЧНА БАЗА»

У рамках проведення 6-ї Міжнародної наукової конференції «Космічні технології: сучасне та майбутнє» 25 і 26 травня було проведено круглі столи за тематичними напрямками секцій «Матеріали і технології» та «Місячна промислово-дослідна база».

Модератором двох круглих столів секції «Матеріали і технології» виступив начальник комплексу нових матеріалів та перспективних технологій Олександр Потапов. У засіданні брали участь 60 провідних спеціалістів: 32 з КБ «Південне», інші — з Донецького національного університету, Інституту еластомірних матеріалів і виробів та Інституту проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича НАН України (ІПМ НАН України).

Тема першого круглого столу — *«Створення та впровадження нових класів армованих композиційних матеріалів на підприємствах аерокосмічної галузі»*. Учасники з інтересом заслухали доповідь декана інженерно-фізичного факультету Національного технічного університету України (КПІ) Петра Лободи. Він представив презентацію про досягнення у галузі створення композиційних матеріалів, що працюють в екстремальних умовах.

Під час дискусії обговорювалися питання дослідження властивостей нових матеріалів, їх зносостійкість, розроблення підходів до керамічних матеріалів та ін.

*Підводячи підсумки засідання, було запропоновано створити спільну робочу групу з розроблення проекту державної програми щодо імпортозаміщення і підготовки вихідних документів про застосування нових матеріалів у виробі військової та ракетно-космічної техніки.*

Другий круглий стіл провели на тему *«Функціональний підхід до створення оброблювальних техноло-*



*гій»*. Основними доповідачами були завідувач кафедри процесів і обладнання механічної та фізико-технічної обробки Кременчуцького національного університету Олександр Саленко і професор Кременчуцького національного університету Віктор Щетинін. Під час роботи столу брали участь провідні спеціалісти КБ «Південне», ІПМ НАН України, Інституту технічної механіки НАН України.

Доповідачі представили огляд, присвячений розмірному обробленню виробів з композиційних матеріалів. Це є безсумнівно цікавим для сучасного високотехнологічного виробництва. Було зроблено акцент і на традиційних методах оброблення заготовок. Доповідачі також продемонстрували деякі особливості застосування функціонально-вартісного підходу до впровадження технології оброблення композиційних заготовок із шаруватих надтвердих матеріалів.

Під час жвавої дискусії обговорювалися питання оптимізації процесів оброблення виробів.

При підведенні підсумків роботи обох круглих столів було відзначено, що провідні наукові організації України мають значний технічний і науковий потенціал для розроблення та впровадження нових матеріалів і технологій під час виготовлення виробів РКТ, а також визначено шляхи подальшої співпраці.

26 травня у рамках програми завершального дня конференції було проведено круглий стіл «Створення місячної бази. Основні кроки й аспекти реалізації». Безпосередньо у роботі взяли участь 14 вчених і спеціалістів з п'яти країн світу. Серед них ті, хто виступив модераторами круглого столу: перший заступник Генерального конструктора — Генерального директора КБ «Південне» з системного проектування О. Кушнар'єв і директор Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України О. Федоров, а також заступник Генерального конструктора з наукової і навчальної роботи «КБ



«Південне» О. Кашанов, член Президії НАН України Я. Яцків, піклувальник Фонду Премії Роберта і Вірджинії Хайнлайн Артур Дула, директор Європейського представництва ДП «КБ «Південне» О. Венцковський, завідувач відділу системного аналізу та проблем керування Інституту технічної механіки НАН України А. Алпатов, директор Шансійського науково-дослідного інституту енергомашу (КНР) Лі Пін, начальник проектного відділу ДП «КБ «Південне» з розроблення спеціальних ракетно-космічних систем Г. Осіновий, космічний оглядач, журналіст, видавець сайту RussianSpaceWeb.com А. Зак (США), науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України В. Волков.

Круглий стіл проводили у спеціально трансформованій під цю подію актовій залі КБ «Південне», в якій, крім безпосередніх учасників були присутні понад сто спеціалістів і вчених з багатьох вітчизняних і закордонних організацій, а також представники ЗМІ.

Дискусії, пов'язані зі створенням місячної бази, велися з таких основних питань:

- проект створення місячної бази — логічне продовження проекту Міжнародної космічної станції?
- створення місячної промислово-дослідної бази — повністю роботизоване або все ж таки за участю людини?
- місячна база — промислово-дослідна або просто наукова?
- місячна база — на поверхні або ж підмісячне розміщення?
- аспекти організації міжнародної співпраці.



На засіданні було заслухано доповіді Г. Осінового, В. Волкова, О. Венцовського, А. Зака та інших, які присвячено проблемам створення місячної бази. Було порушено питання перспективної співпраці, обміну інформацією, використання двигунів і посадкового модуля розробки КБП, створення нової МКС на орбіті Місяця. Значну увагу приділили фінансовим і організаційним аспектам теми, яку розглядали.

*У своїй роботі круглий стіл щодо створення місячної бази підтвердив зацікавленість вчених і спеціалістів як українських, так і закордонних наукових організацій і підприємств, а також доцільність міжнародної співпраці та координації зусиль у питаннях створення місячної бази. Практику проведення круглих столів, присвячених темі створення місячної бази, буде продовжено.*

Засідання круглого столу «**Місячна промислово-дослідна база**». Модераторами круглого столу виступили перший заступник Генерального конструктора «КБ «Південне» з системного проектування О. Кушнар'єв і директор Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України О. Федоров.

Учасники круглого столу виступили з короткими оглядами діяльності своїх організацій і розробок, пов'язаних з дослідженням і освоєнням Місяця. Усі виступи буде зібрано і подано для публікації у науково-практичному журналі «Космічна наука і технологія».

У рамках засідання круглого столу було висловлено думки про місце України у місячному проекті. Зокрема, у виступах українських доповідачів підкреслювалося, що наша країна не повинна пропустити свій реальний шанс брати участь у такому амбіційному міжнародному космічному проекті. І не обов'язково ця участь повинна вилитися у значні витрати. Ми могли б внести свій внесок у місячні програми, використовуючи свій високий інтелектуальний потенціал та пропонуючи високотехнологічні ідеї реалізації місячного проекту.

Слід відзначити доповідь Артура Дули, який ознайомив аудиторію конференції з оцінками вартості місячних проектів, проведених провідними американськими дослідниками. Артур Дула особливо відзначив, що освоєння Місяця



має і комерційний потенціал, який припускає різні програми, серед яких, наприклад, космічний туризм.

Усі доповідачі були однієї думки, що тільки об'єднавши зусилля світового космічного співтовариства можна створити місячну базу, яка направить людство на шляху до пізнання Всесвіту і принесе практичні результати світовому співтовариству.

*Коментар члена президії НАН України, заступника голови Ради з питань космосу, академіка НАН України Я. Яцківа щодо проекту місячної промислово-дослідної бази.*

— *Питання про місячну промислово-дослідну базу. Ваша думка? Місце України в колонізації Місяця та перспективи на майбутнє?*

— Цю проблему необхідно обговорювати. Це майбутнє людства, але вважаю, що потенціал України ще не настільки високий, щоб ми самотужки освоювали Місяць. У нас був колись спільний з КБ «Південне» проект «УкрСелена», який ми хотіли здійснити: запуск полярного супутника. Умови фінансування призвели до того, що ця унікальна ідея українського супутника для вивчення полярних ділянок Місяця, де є, можливо, вода, де можливе будівництво дослідних баз, не була реалізована.

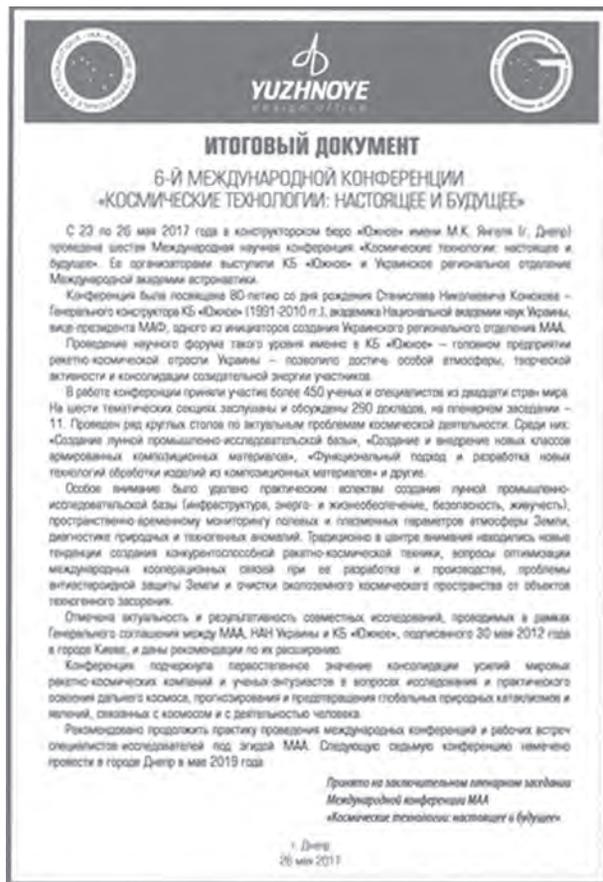
Другий крок — це обговорення створення місячної промислово-дослідної бази. Це прекрасна ініціатива КБ «Південне», але ми повинні інтегруватися у світову космічну спільноту з Китаєм, Америкою чи Європейським космічним агентством. І те, що ми можемо зробити

краще, має увійти до цих міжнародних місій, тобто нас повинні взяти, як партнера. Так як КБ «Південне» — партнер проектів «Антарес» чи «Вега». Тобто ми повинні подбати, щоб Україна була державою, яку повинні запросити взяти участь. Наприклад, Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона вміє робити конструкції, які розкриваються, — це може бути одним з моментів. Наші біологи вміють створювати космічні оранжереї, вирощувати там деякі рослини, які можуть бути використані, наприклад, для харчування. Це теж додаток до місячної програми, який нам варто запропонувати. КБ «Південне» і «Південмаш» можуть робити дещо стосовно систем життєзабезпечення або інших технічних систем. Це ми можемо запропонувати іншим країнам.

Дуже правильно, що ми обговорюємо ці питання. Ми повинні бути рівноправним гідним учасником цієї роботи, до якої людство так чи інакше дійде або через 10 років, або пізніше, але я впевнений, що така перехідна база на Місяці буде! Буде орбітальна станція, як зараз МКС, буде база для підготування майбутніх польотів на Марс. Це необхідно людству.

Ми ніколи не залишимо ідею про те, що рано чи пізно нам необхідно колонізувати інші планети Сонячної системи.

- Так прапор України буде там майорити?
- Буде!



На завершальному пленарному засіданні 26 травня 2017 р. було ухвалено Підсумковий документ 6-ї Міжнародної наукової конференції «Космічні технології: сучасне та майбутнє».

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.015>

УДК 629.764 338.5

**А. П. Кушнарєв, В. Н. Пышнев, М. А. Дегтярев, А. В. Демченко**

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»,  
Днепро, Украина

## ОЦЕНКА СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ С МНОГОРАЗОВОЙ ПЕРВОЙ СТУПЕНЬЮ

---

*Проведен сравнительный анализ стоимостных показателей ракеты-носителя с одноразовой и многоразовой первой ступенью. Получены соотношения, связывающие стоимость пуска со стоимостями основной конструкции, двигательной установки, системы управления, восстановления первой ступени и кратностью ее использования. На примере модельной ракеты-носителя рассчитана стоимость пуска в зависимости от кратности использования первой ступени. Представлен качественный анализ допущений, используемых в этих расчетах. Показано, что для каждого варианта сочетаний стоимости составных частей ракеты и затрат на восстановление есть оптимальная кратность использования первой ступени. Дальнейшее увеличение кратности использования не дает значимого экономического эффекта с точки зрения снижения стоимости пуска, но увеличивает единовременные затраты на разработку и отработку составных частей, допускающих многократное использование.*

**Ключевые слова:** многоразовая первая ступень, оценка стоимостных показателей, анализ стоимости, конкурентоспособность, стоимость пусковых услуг, стоимость ракеты-носителя.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Один из мировых трендов современного ракетостроения состоит в снижении стоимости пусковых услуг за счет применения многоразовых ступеней [1, 2], что требует не только разработки технологий спасения первых ступеней ракет-носителей но и технико-экономического анализа их внедрения.

Использование многоразовой (спасаемой) первой ступени приводит к увеличению ее стоимости и стоимости ракеты-носителя в целом по сравнению с одноразовым вариантом, к некоторому ухудшению энергетических характеристик носителя и усложнению технологии эксплуата-

ции. Кроме того, появляются затраты на восстановление первой ступени, отсутствующие в одноразовом варианте. В то же время применение восстановленной первой ступени в нескольких пусках может дать заметное снижение средней себестоимости пуска, поскольку у поставщика пусковых услуг основной статьей затрат является приобретение ракеты-носителя.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим два проекта ракеты-носителя легко-го класса, отличающиеся исполнением первой ступени. В варианте 1 первая ступень одноразовая, в варианте 2 — многоразовая (спасаемая, самолетный вариант спасения). Соответственно далее индексы «1» и «2» при переменных и обозначениях будут относиться к одноразовому и

---

© А. П. КУШНАРЕВ, В. Н. ПЫШНЕВ,  
М. А. ДЕГТЯРЕВ, А. В. ДЕМЧЕНКО, 2017

многоразовому варианту. Проведем сравнительный анализ стоимостных показателей (по единовременным и повторяющимся затратам) двух вариантов рассматриваемой ракеты-носителя.

Для проведения анализа введем следующие предположения.

1. Единовременные затраты второго варианта (спасаемая первая ступень) превышают соответствующие показатели первого за счет увеличения расходов на разработку и экспериментальную отработку новых элементов конструкции: шасси и крыло при самолетной схеме спасения, носовой аэродинамический обтекатель, органы управления, другие элементы конструкции, обеспечивающие мягкую посадку. Кроме того, увеличиваются затраты на экспериментальную отработку ступени и двигательной установки, а также технологии спасения ступени.

2. Возрастание повторяющихся затрат второго варианта связано с:

2.1. Увеличением стоимости спасаемой первой ступени за счет:

- усложнения конструкции (шасси и крыло при самолетной схеме спасения, носовой аэродинамический обтекатель, органы управления и другие элементы конструкции, обеспечивающие мягкую посадку). Это удорожает «основную конструкцию» на 15–20 %;

- появления на борту первой ступени полноценной системы управления, обеспечивающей ее полет на участке снижения и приземление. По стоимости она сопоставима с «основной» системой управления ракеты.

2.2. Усложнением технологии эксплуатации (в том числе ее логистической части) в связи с необходимостью выполнения восстановительных работ для основной конструкции и двигательной установки, а также проведения тестов, гарантирующих возможность дальнейшего использования ступени. Это ведет к увеличению эксплуатационных расходов.

2.3. Ухудшением на 10–15 % энергетических характеристик ракеты в целом из-за необходимости резервирования части топлива на первой ступени для обеспечения процесса посадки спасаемой первой ступени. Это не оказывает прямого влияния на повторяющиеся затраты, но

ведет к уменьшению клиентской базы по сравнению с одноразовым вариантом. Поэтому опосредованно (или за счет снижения частоты пусков, или за счет уменьшения цены пуска) это эквивалентно увеличению эксплуатационных затрат, хотя и трудно прогнозируемо.

3. Уменьшение повторяющихся затрат второго варианта связано со снижением средней стоимости ракеты в целом при условии многоразового использования первой ступени. Поскольку стоимость ракеты дает наибольший вклад в повторяющиеся затраты, ее уменьшение позволяет снизить стоимость пусковых услуг и, тем самым, повысить конкурентоспособность такой ракеты.

Опираясь на принятые предположения, проведем оценку средней стоимости пуска как функции кратности повторного использования первой ступени, стоимости восстановления ступени и удорожания основной конструкции спасаемой ступени относительно одноразовой.

#### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Получим соотношения для оценки средней стоимости пуска. Введем такие обозначения:  $x_1$  и  $x_2$  — стоимость основной конструкции первой ступени в одноразовом и спасаемом варианте,  $k$  — коэффициент удорожания основной конструкции спасаемой ступени относительно одноразовой ( $x_2 = kx_1$ ),  $d$  — стоимость двигательной установки первой ступени,  $y$  — стоимость системы управления ракетой,  $x_{dv}$  — стоимость основной конструкции и двигателей верхних ступеней,  $v$  — стоимость верхних ступеней ( $v = x_{dv} + y$ ),  $z_1$  и  $z_2$  — стоимость ракеты в целом в одноразовом и спасаемом варианте,  $s$  — стоимость всех работ, связанных с проведением ремонтно-восстановительных работ и обеспечением возможности дальнейшего использования первой ступени,  $p$  — стоимость подготовки и проведения пуска,  $n$  — кратность использования первой ступени,  $c_1$  и  $c_2$  — средняя стоимость одного пуска в одноразовом и спасаемом варианте,  $cc_1$  и  $cc_2$  — стоимость  $n$  пусков в одноразовом и спасаемом варианте,  $e_1$  и  $e_2$  — единовременные затраты на создание ракетного комплекса ( $e_2 = e_1 + \Delta$ , где  $\Delta$  — разница между величинами единовремен-

ных затрат для первого и второго вариантов),  $pr_1$  и  $pr_2$  — цена пусковой услуги для первого и второго варианта,  $N_1$  и  $N_2$  — годовой манифест пусков,  $t_1$  и  $t_2$  — условный срок окупаемости.

Тогда справедливы следующие соотношения.

Стоимость ракеты-носителя в одноразовом и многоразовом вариантах исполнения соответственно равна

$$z_1 = x_1 + d + v, \quad z_2 = x_2 + d + y + v.$$

Средняя стоимость одного пуска в одноразовом и многоразовом вариантах исполнения равна

$$c_1 = z_1 + p = x_1 + d + xdv + y + p, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} c_2 &= \frac{1}{n} \cdot (x_2 + d + y + v + (s + v) \cdot (n - 1) + p \cdot n + d) = \\ &= \frac{1}{n} \cdot (k \cdot x_1 + 2 \cdot d + y + xdv + y + v + (s + xdv + y) \cdot (n - 1) + p \cdot n). \quad (2) \end{aligned}$$

Стоимость  $n$  пусков в одноразовом и многоразовом вариантах исполнения равна

$$\begin{aligned} cc_1 &= c_1 \cdot n = (x_1 + d + v + p) \cdot n, \\ cc_2 &= z_2 + (s + v) \cdot (n - 1) + p \cdot n + d = \\ &= x_2 + d + y + v + (s + v) \cdot (n - 1) + p \cdot n + d. \end{aligned}$$

Отметим как очевидный вывод, что при  $s \geq x_1 + d$  восстановление первой ступени вообще нецелесообразно по экономическим соображениям.

Представляет практический интерес зависимость средней стоимости пуска ракеты со спасаемой первой ступенью от стоимости восстановления, кратности использования, коэффициента удорожания конструкции.

Для определения такой зависимости примем, что стоимости составных частей (выраженные в условных единицах, которые отражают типичные пропорции для стоимости составных частей ракет легкого класса) составляют:  $x_1 = 2$ ,  $d = 3$ ,  $xdv = 5$ ,  $y = 1$ ,  $p = 3$ . Тогда, подставив принятые значения в зависимости (1) и (2), получим:

$$\begin{aligned} c_1 &= 2 + 3 + 5 + 1 + 3 = 14, \\ c_2 &= \frac{1}{n} \cdot (2k + 6 + 1 + 5 + 1 + (s + 5 + 1) \cdot (n - 1) + 3 = \\ &= \frac{1}{n} \cdot (2k + 13 + (s + 6) \cdot (n - 1)) + 3. \quad (3) \end{aligned}$$

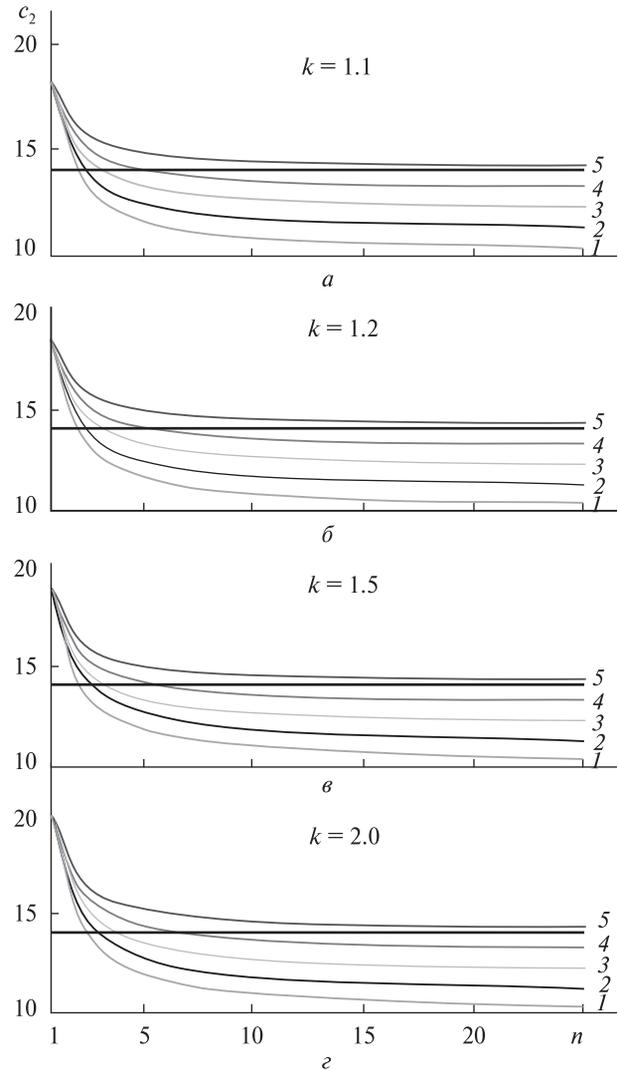


График зависимости средней себестоимости пуска  $c_2$  от кратности повторного использования первой ступени  $n$  для разных значений коэффициента  $k$  удорожания основной конструкции спасаемой ступени относительно одноразовой: цифры у кривых — стоимость всех операций, связанных с проведением ремонтно-восстановительных работ и обеспечением возможности дальнейшего использования первой ступени. Горизонтальная прямая показывает стоимость пуска при использовании одноразовой первой ступени

Отметим, что полученные соотношения имеют смысл условия  $s < x_1 + d = 5$ .

Результаты расчетов по формуле (3) средней стоимости  $c_2$  пуска как функции кратности  $n$  повторного использования первой ступени при

разных значениях стоимости  $s$  восстановления ступени и удорожания  $k$  основной конструкции спасаемой ступени относительно одноразовой представлены на рисунке. Горизонтальная прямая показывает стоимость пуска при использовании одноразовой первой ступени.

Анализ полученных результатов показывает возможность определения минимального количества повторных запусков первой ступени, при котором реализуется более низкая, по сравнению с использованием одноразовой ступени, стоимость пуска. Другим, менее очевидным результатом анализа является вывод о нецелесообразности «бесконечного» увеличения кратности использования первой ступени.

Так, при принятых допущениях о соотношении стоимостных показателей составных частей ракеты (основная конструкция, двигатель, система управления и т. д.), для всего диапазона варьирования параметров  $s$  и  $k$ , кривые выходят на почти горизонтальную «полку» уже при  $n = 10 \dots 16$ . В частности, для наиболее реалистичных значений  $k = 1, 2$  и  $s = 3$  не имеет смысла проектировать первую ступень, способную осуществить более 10–12 полетов: дальнейшее увеличение кратности использования почти не сказывается на снижении себестоимости пуска.

Рассмотрим вопрос о допустимом увеличении единовременных затрат на создание ракетного комплекса со спасаемой первой ступенью (параметр  $\Delta$ ), при котором его разработка становится экономически целесообразной по сравнению с одноразовой первой ступенью. В качестве критерия для сравнения вариантов используем условный срок окупаемости затрат, потребовав выполнение неравенства  $t_1 \geq t_2$ . То есть, условный срок окупаемости для многократного варианта комплекса не должен превышать таковой для одноразового варианта.

Определим единовременные затраты на создание ракетного комплекса с многократовой первой ступенью:

$$e_2 = e_1 + \Delta. \quad (4)$$

Тогда условные сроки окупаемости для двух вариантов исполнения комплекса будут определяться формулами

$$t_1 = \frac{e_1}{(p_1 - c_1) \cdot N_1}, \quad (5)$$

$$t_2 = \frac{e_2}{(p_2 - c_2) \cdot N_2}. \quad (6)$$

Учитывая соотношения (5), (6) и условие  $t_1 \geq t_2$ , получим:

$$\frac{e_1}{(p_1 - c_1) \cdot N_1} \geq \frac{e_2}{(p_2 - c_2) \cdot N_2}.$$

Приняв (например, по результатам исследования рынка)  $pr_1 \approx pr_2$  и  $N_1 \approx N_2$ , с учетом (4) экономически целесообразные единовременные затраты по созданию многократовой первой ступени (допустимое значение величины  $\Delta$ ) определяются зависимостью

$$\Delta \leq e_1 \cdot (c_1 - c_2) / (pr_1 - c_1).$$

Для рассмотренного выше примера ( $k = 1.2, s = 2$ ) приняв  $e_1 = 350$  и  $pr_1 = 16$ , получим  $\Delta \leq 350 \cdot (14 - 11.6) / (16 - 14) = 420$ . Для менее оптимистичных  $k = 1.2, s = 4, e_1 = 350, pr_1 = 18$ , получаем  $\Delta \leq 350 \cdot (14 - 13.5) / (18 - 14) = 43.75$ .

Иначе говоря, чем больше снижение себестоимости пуска при использовании многократовой ступени и чем меньше маржа (разница между ценой и себестоимостью пуска) при использовании одноразовой ступени, тем больше средств может потратить разработчик на создание многократовой ступени.

## ВЫВОДЫ

1. Получены соотношения, связывающие стоимость пуска со стоимостями основной конструкции, двигательной установки, системы управления, восстановления первой ступени и кратностью ее использования.

2. Разработка многократовой первой ступени имеет смысл (с экономической точки зрения) только при том условии, что затраты на восстановление первой ступени не превышают стоимости первой ступени в одноразовом варианте.

3. Полученные соотношения дают возможность определить минимальное количество повторных запусков первой ступени, при котором

реализуется более низкая, по сравнению с использованием одноразовой ступени, себестоимость пуска.

4. Кратность использования многоразовой первой ступени имеет экономически целесообразный предел. Есть конечное значение проектной кратности использования многоразовой первой ступени, выше которого себестоимость пуска перестает существенно изменяться. Для рассмотренного примера это значение кратности составляет  $n = 10...12$ .

5. Получены соотношения, позволяющие оценить допустимое увеличение единовременных затрат на создание ракетного комплекса со спасаемой первой ступенью, при котором его разработка становится экономически целесообразной по сравнению с одноразовой первой ступенью. В качестве критерия использовано условие непревышения условным сроком окупаемости для многоразового варианта комплекса того же срока для одноразового варианта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chang K. (2017-03-30). Recycled Rockets Could Drop Costs, Speed Space Travel // The New York Times site. — Mode of access: <https://www.nytimes.com/2017/03/30/science/space-x-reuseable-rockets-launch.html?action=click&contentCollection=Science&module=RelatedCoverage&region=Marginalia&pgtype=article>.
2. Foust J. (2017-04-05). SpaceX gaining substantial cost savings from reused Falcon 9 // Spacenews site. Mode of access: <http://spacenews.com/spacex-gaining-substantial-cost-savings-from-reused-falcon-9/>.

Стаття надійшла до редакції 28.08.17

#### REFERENCES

1. Chang K. (2017-03-30). Recycled Rockets Could Drop Costs, Speed Space Travel // The New York Times site. — Mode of access: <https://www.nytimes.com/2017/03/30/science/space-x-reuseable-rockets-launch.html?action=click&contentCollection=Science&module=RelatedCoverage&region=Marginalia&pgtype=article>.
2. Foust J. (2017-04-05). SpaceX gaining substantial cost savings from reused Falcon 9. Spacenews site. Mode of access: <http://spacenews.com/spacex-gaining-substantial-cost-savings-from-reused-falcon-9/>.

О. П. Кушнар'ов, В. М. Пишнев,  
М. О. Дегтярьов, А. В. Демченко

Державне підприємство «Конструкторське бюро  
«Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

#### ОЦІНКА ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РАКЕТИ-НОСІЯ З БАГАТОРАЗОВИМ ПЕРШИМ СТУПЕНЕМ

Проведено порівняльний аналіз вартісних показників ракети-носія з одноразовим і багаторазовим першим ступенем. Отримано співвідношення, які зв'язують вартість пуску з вартостями основної конструкції, рушійної установки, системи керування, відновлення першого ступеня і кратністю її використання. На прикладі модельної ракети-носія розраховано вартість пуску залежно від кратності використання першого ступеня. Наведено якісний аналіз допущень, які використовувалися в цих розрахунках. Показано, що для кожного варіанта поєднань вартості складових частин ракети і витрат на відновлення є оптимальна кратність використання першого ступеня. Подальше збільшення кратності використання не дає значущого економічного ефекту з точки зору зниження вартості пуску, але збільшує одноразові витрати на розробку і відпрацювання складових частин, що допускають багатократне використання.

**Ключові слова:** багаторазовий перший ступінь, оцінка вартісних показників, аналіз вартості, конкурентоспроможність, вартість пускових послуг, вартість ракети-носія.

A. P. Kushnariov, V. N. Pysnniev,  
M. A. Degtyarev, A. V. Demchenko

Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine

#### ASSESSMENT OF COST INDEXES FOR LAUNCH VEHICLE WITH REUSABLE LOWER STAGE

We conduct a comparative analysis of cost indexes for launch vehicle with the expendable and reusable lower stage. The obtained relations connect the cost of launch with the costs of the rocket core construction, propulsion system and control system, recovery of the lower stage and the multiplicity of its use. The cost of the launch depending on the multiplicity of utilizing the lower stage was estimated for a model launch vehicle. We give also a qualitative analysis of the assumptions applied in these calculations. It is shown that for each combination of the cost of rocket components and expenses for recovery of the lower stage, there is an optimal multiplicity of its use. Further increase in the multiplicity of its launch does not show a significant economic effect in terms of reducing the cost of the launch, but increases one-time expenses for the development and working out of reusable components.

**Keywords:** reusable lower stage, assessment of cost indexes, analysis of cost, competitiveness, cost of launch services, launch vehicle cost.

**С. А. Чабаненко, А. С. Корольков, С. И. Ерофеев**

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепро, Украина

## ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ТРАНСПОРТНО-УСТАНОВОЧНОГО АГРЕГАТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

*На ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля» разработан универсальный транспортно-установочный агрегат для транспортировки, установки и удержания ракет космического назначения легкого и тяжелого классов, собираемых и транспортируемых в горизонтальном положении из монтажно-испытательного корпуса на разные пусковые столы по пути без уклона, для повышения унификации и уменьшения количества наземного оборудования при наименьших финансовых затратах.*

**Ключевые слова:** транспортно-установочный агрегат, пусковой стол, ракета космического назначения, системы управления активными модулями, транспортная система термостатирования.

Анализ информации по зарубежным образцам ракетной техники показал, что мировой опыт создания конкурентоспособных изделий показывает, что широкое использование унифицированных узлов и агрегатов позволяет уменьшить сроки разработки образца и затраты на изготовление и экспериментальную отработку. В ГП «КБ «Южное» [[www.yuzhnoye.com/](http://www.yuzhnoye.com/)] ведется разработка ракетно-космического комплекса (РКК), включающего ракеты-носители (РН) легкого и тяжелого классов собираемые и транспортируемые в горизонтальном положении из монтажно-испытательного корпуса (МИК) на два разных пусковых стола (ПС) по пути без уклона, при полном отсутствии базовой инфраструктуры. Такой подход дает возможность сократить промежуток времени между пусками ракет. Была поставлена задача разработать конкурентоспособный универсальный транспортно-установочный агрегат (ТУА).

**Транспортно-установочные агрегаты обеспечивают:**

- транспортирование ракеты космического назначения (РКН) из МИК на стартовый комплекс (СК);

- установку и ветровое удержание РКН на ПС;
- проведение работ в случае отмены пуска — снятие РКН с ПС, ее транспортирование в МИК для проведения последующих операций с РКН.

Главным критерием конкурентоспособности ТУА является минимальная стоимость разработки, изготовления и эксплуатации агрегата. В связи с отсутствием объективных (фактических) данных по стоимости, оценка проводилась по показателям:

- 1) масса, как интегральный показатель;
- 2) качественная оценка стоимости с учетом сложности агрегатов;
- 3) необходимость проектирования, конструирования, наземной экспериментальной отработки.

Также к показателям, влияющим на стоимость ТУА можно отнести: применение покупных серийных изделий, уменьшение энергопотребления агрегата и автоматизирование технологических процессов.

Традиционно для ракетной техники, разработанной в СССР, в частности для изделий ГП «КБ



Рис. 1. Транспортно-установочный агрегат на железнодорожном ходу с использованием серийных колесных пар при транспортировании и установке ракеты космического назначения на пусковой стол: а, б — для РКН «Протон М», в, г — для РКН «Союз-У», д, е — для РКН «Союз-ФГ», ж, з — для РКН «SpaceX»

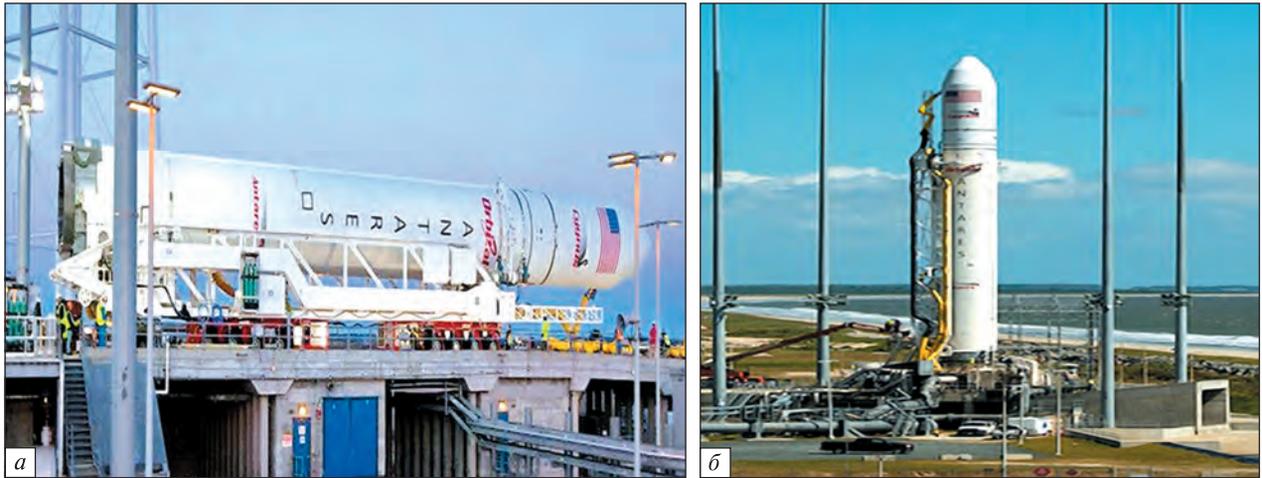


Рис. 2. Транспортно-установочный агрегат на колесном ходу для ракеты космического назначения «Антарес»: а — при транспортировании, б — при установке

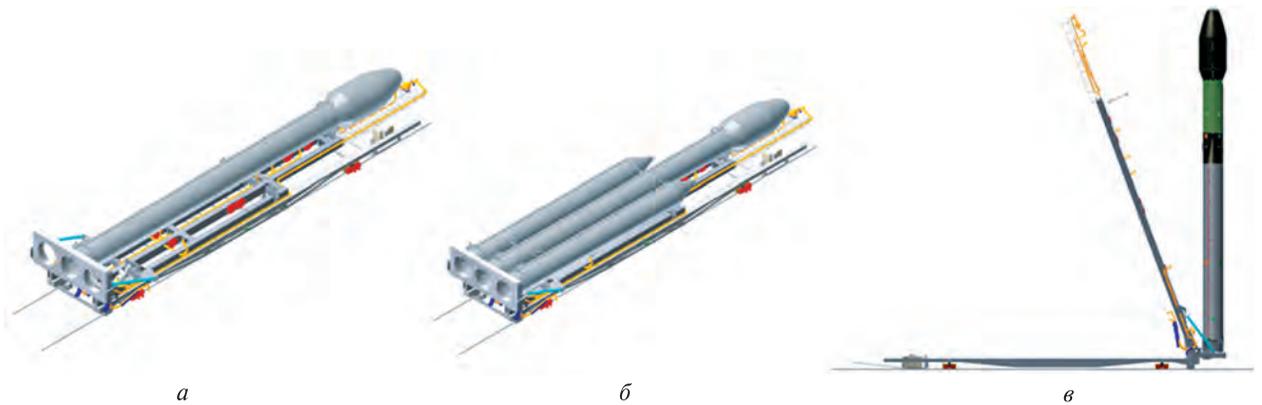
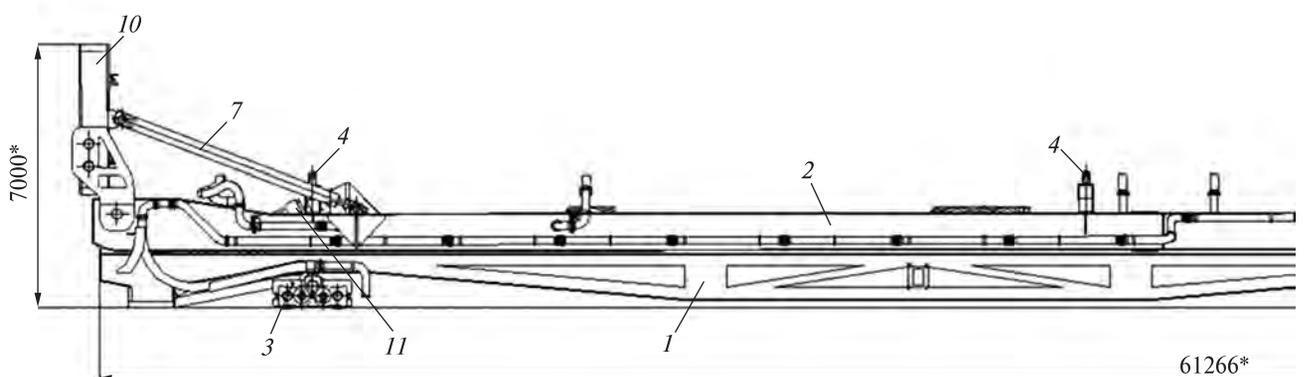


Рис. 3. Предложенный универсальный конкурентоспособный транспортно-установочный агрегат: а — с РКН легкого класса, б — с РКН тяжелого класса, в — стрела ТУА в отведенном положении



«Южное», ТУА применяются на железнодорожном ходу с использованием серийных колесных пар для движения по стандартной колее (рис. 1).

Вариант ТУА разработан для перевозки тяжелой ракеты с возможностью его использования и для легкой РКН. В такой конструкции из-за малой грузоподъемности железнодорожной колесной пары (32 т) требуется большое количество колесных пар для передвижения имеющейся массы. Для обеспечения доставки РКН из МИК на разные ПС требуется движения по криволинейному пути, что при использовании железнодорожного пути и при большом количестве железнодорожных колесных пар приводит к увеличению высоты ТУА и создает риск опрокидывания. Прокладка двух параллельных железнодорожных путей позволит уменьшить общую высоту ТУА, однако движение по криволинейному пути также усложнено. Для осуществления движения по железнодорожному пути, как правило, тре-

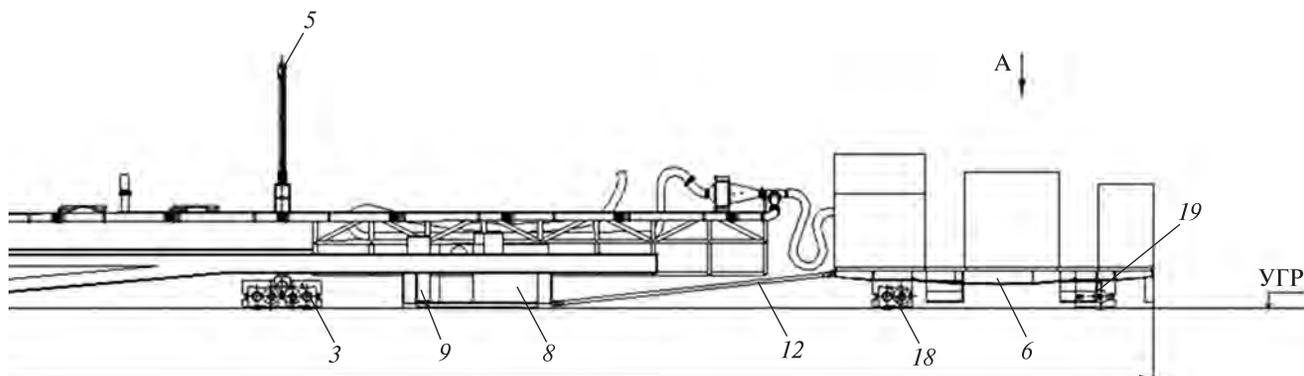
буется отдельный движитель. В совокупности эти особенности значительно увеличивают массу ТУА и, как следствие, приводят к достаточно высокой стоимости агрегата.

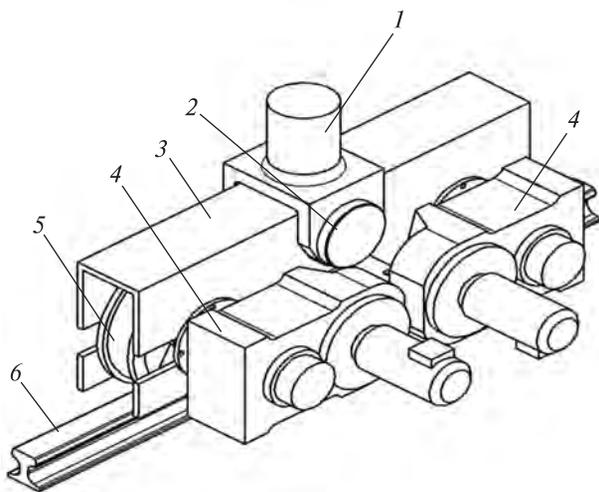
В мировой практике для транспортировки РКН к ПС и ее установки на ПС также используются грунтовые агрегаты на колесном или гусеничном ходу (рис. 2). Для реализации поставленных задач приходится использовать специализированные колеса с повышенной грузоподъемностью или специальные гусеничные тележки с индивидуальным приводом очень высокой стоимости.

По результатам анализа конструкций существующих ТУА была принята следующая концепция: использовать рельсовый путь с увеличенной шириной колеи и колесами высокой грузоподъемности (80 т) с индивидуальным приводом.

По результатам проектирования ТУА имеет следующие основные параметры и характеристики (рис. 3):

**Рис. 4.** Общий вид транспортно-установочного агрегата: 1 — рама, 2 — стрела, 3 — поворотные тележки с активными модулями передвижения из состава ходовой части, 4 — регулируемые ложементы из состава стрелы, 5 — регулируемый ложемент с захватами из состава стрелы, 6 — платформа самоходная из состава ходовой части, 7 — штанга телескопическая из состава стрелы, 8 — насосные станции из состава гидрооборудования, 9 — блок управления из состава гидрооборудования, 10 — опора парковочная, 11 — гидроцилиндры из состава гидрооборудования; 12 — сцепное устройство из состава рамы, 13 — дизель-генераторы из состава электрооборудования и ТСТ, 14 — кабина оператора ТСТ, 15 — кабина оператора СУАМ из состава ходовой части, 16 — промышленный кондиционер из состава ТСТ, 17 — блок воздушных компрессоров из состава ТСТ, 18 — активные модули передвижения из состава платформы самоходной, 19 — пассивные модули передвижения из состава платформы самоходной





**Рис. 5.** Поворотная тележка с активными модулями передвижения ходовой части транспортно-установочного агрегата: 1 — вертикальная поворотная ось поворотной тележки, 2 — горизонтальная поворотная ось балансира поворотной тележки, 3 — силовая балка поворотной тележки, 4 — мотор-редуктор активного модуля передвижения, 5 — колесо активного модуля, 6 — крановый рельс

- длина поезда до 62 м с самоходной платформой, ширина 11,5 м, высота 7 м, высота от уровня головки рельса до оси РКН 5 м;
- масса поезда ТУА 426 т;
- крановый рельсовый путь с шириной колеи 6,8 м.

В состав транспортно-установочного агрегата входят (рис. 4): ходовая часть, рама, стрела, парковочная опора, гидрооборудование, пневмооборудование; механизм перемещения ТУА на стартовом сооружении для точного позиционирования, электрооборудование и кабельная сеть, элементы для монтажа коммуникаций и оборудования систем, размещаемых на ТУА, комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП).

В конструкции ходовой части используются серийные крановые колеса большой грузоподъемности образующие вместе с мотор-редуктором активные модули передвижения, которые попарно объединены в поворотные тележки для обеспечения маневренности. Движение осуществляется по серийным крановым рельсам (рис. 5).

Управление активными модулями передвижения осуществляется с помощью системы управления активными модулями (СУАМ), что сводит к мини-

муму влияние человеческого фактора на точность и безопасность движения ТУА и исключает затраты на приобретение отдельного движителя. Так как СУАМ заимствована из предыдущего проекта, ее стоимость в данном случае невысока. Совокупность всех элементов ходовой части дала возможность полностью отказаться от дополнительного движителя и осуществлять автоматическое управление движением ТУА согласно заданной программе.

В состав ходовой части также входит платформа самоходная, которая с помощью сцепного устройства пристыкована к ТУА. Она служит для размещения как собственного оборудования (кабина оператора с оборудованием СУАМ, дизель-генератор (ДГ) из состава электрооборудования ТУА) так и оборудования транспортной системы термостатирования (ТСТ) (блок воздушных компрессоров и промышленных кондиционеров, кабину оператора и ДГ). Это позволило снизить затраты на приобретение либо разработку дополнительной железнодорожной платформы для размещения оборудования ТСТ.

Такой подход к проектированию ходовой части позволил обеспечить минимальную стоимость основных элементов ходовой части за счет отсутствия необходимости разработки на них конструкторской документации и последующей отработки.

Рама ТУА (рис. 6) — сборная конструкция, элементы которой представляют собой сварные металлические секции. Применена конструкционная сталь относительно невысокой стоимости. Имеет небольшую массу при достаточной прочности. На раме предусмотрены шарниры крепления стрелы и гидроцилиндров, сцепное устройство, а также размещены элементы гидрооборудования (две насосные станции и блок управления), механизм перемещения ТУА на стартовом сооружении для точного позиционирования и оборудование системы измерений вибраций и перегрузок. При уменьшении массы оборудования размещаемого на раме, но не входящего в ее состав, уменьшается и масса рамы.

У большинства известных ТУА для подъема стрелы применяются многоступенчатые гидроцилиндры двухстороннего действия, либо двойной комплект таких же цилиндров, но одностороннего действия, что довольно дорого.

В данной конструкции был оптимизирован гидропривод подъема стрелы — применены два срав-

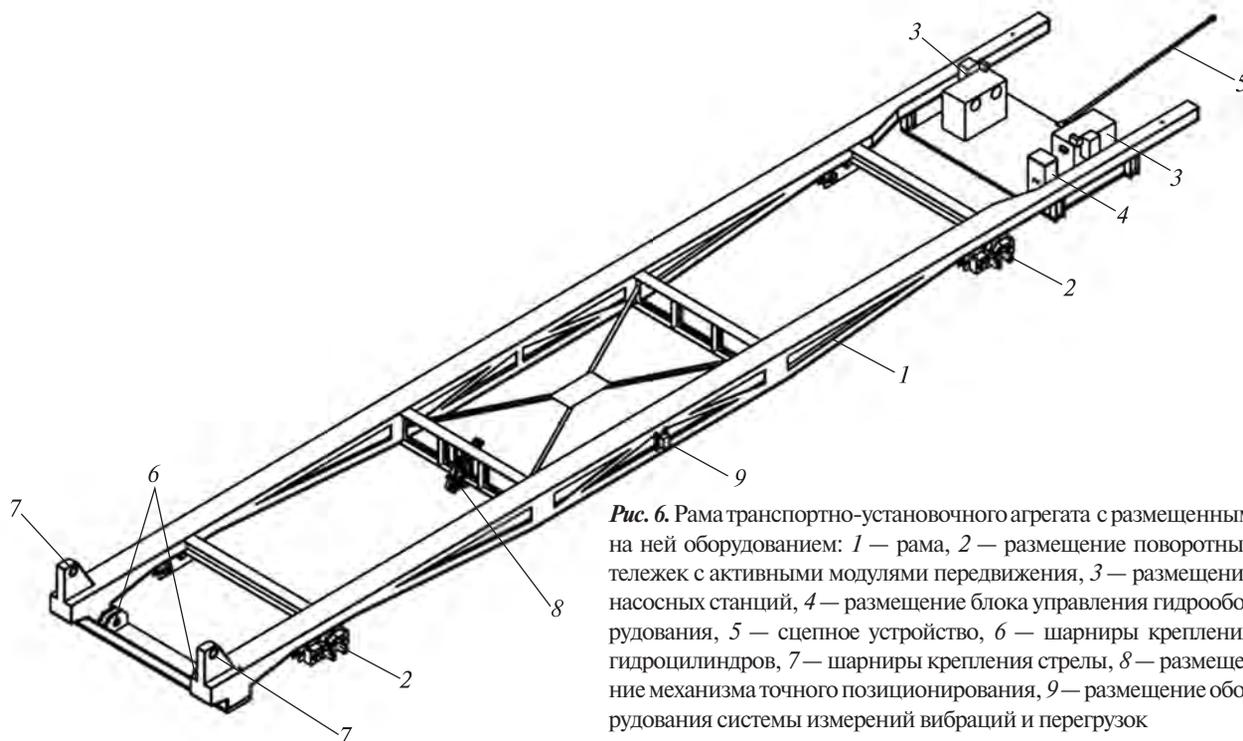


Рис. 6. Рама транспортно-установочного агрегата с размещенным на ней оборудованием: 1 — рама, 2 — размещение поворотных тележек с активными модулями передвижения, 3 — размещение насосных станций, 4 — размещение блока управления гидрооборудования, 5 — сцепное устройство, 6 — шарниры крепления гидроцилиндров, 7 — шарниры крепления стрелы, 8 — размещение механизма точного позиционирования, 9 — размещение оборудования системы измерений вибраций и перегрузок

нительно недорогих одноступенчатых гидроцилиндра двухстороннего действия (рис. 7). Все элементы серийно выпускаются и не требуют индивидуальной разработки и обработки.

Для обеспечения электропитания ходовой части в состав электрооборудования был введен серийный дизель-генератор одновременно использующийся как резервный для ТСТ.

Оставшиеся элементы конструкции (стрела; парковочная опора; пневмооборудование; механизм перемещения ТУА на стартовом сооружении для точного позиционирования; осветительные приборы; элементы для монтажа коммуникаций и оборудования систем, размещаемых на ТУА) будут иметь аналогичную конструкцию и стоимость для разных вариантов ТУА.

Работоспособность ТУА обеспечивается проведением технического обслуживания, плановых и внеплановых ремонтов с использованием комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП). ЗИП включает базовые серийные элементы для скорейшей замены неисправных. Это уменьшает длительность ремонта и стоимость восстановления, повышая ремонтпригодность и надежность ТУА. Есть возможность обучить своего

специалиста для обслуживания покупного оборудования или привлечь изготовителя для его обслуживания. При таком подходе исключаются затраты на разработку и отработку собственной эксплуатационной документации.

В результате проектирования был получен конкурентоспособный ТУА, что подтверждает правильность выбранных показателей и подхода.

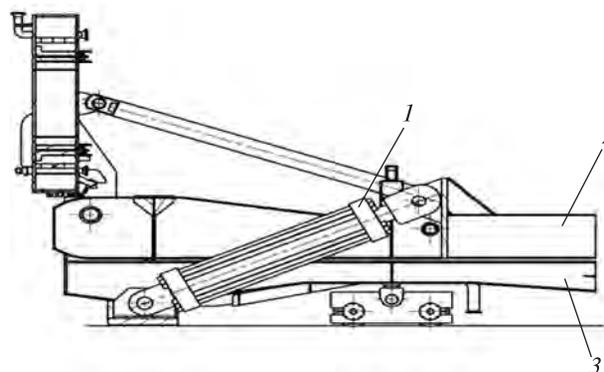


Рис. 7. Расположение гидроцилиндров на транспортно-установочном агрегате (стрела ТУА в горизонтальном положении): 1 — одноступенчатый гидроцилиндр двухстороннего действия, 2 — стрела ТУА, 3 — рама ТУА

## ВЫВОДЫ

Разработанная конструкция имеет невысокую стоимость за счет экономии на разработке и обработке отдельных элементов конструкции и систем, эксплуатационной документации. Была проведена предварительная работа с изготовителями и поставщиками покупных изделий с целью обеспечения требуемого гарантийного срока без существенного удорожания конструкции. ТУА является самоходным и универсальным для РКН легкого и тяжелого класса. Имеет небольшие габариты. Снижение массы ТУА относительно варианта, использующего железнодорожный путь, составляет 20—25 %. За счет использования активных модулей передвижения минимальный радиус скругления рельсового пути ТУА составляет примерно 500 м. Проработано размещение ТСТ на платформе самоходной. При воздействии ветровых нагрузок подтверждена стойкость ТУА к опрокидыванию. ТУА обладает достаточной прочностью, надежностью, безопасностью и стойкостью к воздействию внешних возмущающих факторов.

Полученная конструкция ТУА является результатом предложенного подхода к проектированию. Принятые критерии конкурентоспособности заданы корректно. Данный подход может использоваться при разработке других агрегатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Номер* заявки на изобретение «Транспортно-установочный агрегат стартового комплекса для транспортирования та утримання ракет космічного призначення» А 2017 00390, дата подачі заявки 16.01.2017 г.
2. *Оптимизация* конструкции транспортировочного, установочного оборудования и стартового сооружения РКК «Маяк»: Книга техн.отчет. MSA YZH ANL 087 02, 2016. — 237 с.
3. *Оптимизация* конструкции транспортировочного, установочного оборудования и стартового сооружения РКК «Маяк»: Альбом чертежей техн.отчет. MSA YZH DRW 003 02, 2016. — 44 с.
4. *Оптимизация* конструкции транспортировочного, установочного оборудования и стартового сооружения РКК «Маяк»: Презентация техн.отчет. MSA YZH SPT 049 02, 2016. — 37 с.

*Стаття надійшла до редакції 28.08.17*

## REFERENCES

1. *A number* of application for invention “Launch Complex Transporter/Erector for Integrated Launch Vehicles

- Transportation and Hold-down” A 2017 00390, date of application: 16/01/2017.
2. *Structural Optimization of Mayak SLS Transportation, Erecting Equipment and Launch Facility: Technical Report Book.* MSA YZH ANL 087 02, 2016. — 237 p.
3. *Structural Optimization of Mayak SLS Transportation, Erecting Equipment and Launch Facility: Album of Technical Report Drawings.* MSA YZH DRW 003 02, 2016. — 44 p.
4. *Structural Optimization of Mayak SLS Transportation, Erecting Equipment and Launch Facility: Technical Report Presentation.* MSA YZH SPT 049 02, 2016. — 37 p.

*С. А. Чабаненко, А. С. Корольков, С. И. Ерофеев*

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТРАНСПОРТНО-УСТАНОВЧОГО АГРЕГАТА З ТОЧКИ ЗОРУ КОНКУРЕНТОЗДАТНОСТІ

На ДП «КБ «Південне» ім. М. К. Янгеля» розроблено універсальний транспортно-установочний агрегат для транспортування, установлення та утримання ракет космічного призначення легкого й важкого класів, які складають і транспортують у горизонтальному положенні із монтажно-випробувального корпусу на різні пускові столи шляхом, що не має похилу, для підвищення уніфікації та зменшення кількості наземного устаткування за найменших фінансових витрат.

**Ключові слова:** транспортно-установочний агрегат, пусковий стіл, ракета космічного призначення, система керування активними модулями, транспортна система термостатування.

*S. A. Chabanenko, A. S. Korolkov, S. I. Yerofeiev*

Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine

## DESIGN FEATURES OF THE TRANSPORTER-ERECTOR UNIT FROM THE VIEWPOINT OF THE COMPETITIVENESS

We describe a universal transporter-erector unit, which was developed at the Yuzhnoye State Design Office. It is designed for transportation, installation, and holding of integrated launch vehicles of light and heavy classes, which are assembled and transported in a horizontal position from the assembly-and-test building to various launch pads along the route without downgrade. The unit was devised to improve the unification and to decrease the number of ground equipment at lowest cost.

**Keywords:** transporter-erector, launch pad, integrated launch vehicle, active modules control system, mobile thermostating system.

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.027>

УДК 621.791:629.78

**Б. Є. Патон, Л. М. Лобанов, Ю. А. Асніс, Є. Г. Терновий, Ю. В. Зубченко**

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України, Київ, Україна

## ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ В КОСМОСІ

---

*В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона створено нове покоління ручного електронно-променевого інструмента для зварювання і споріднених технологій при виконанні монтажних і ремонтно-відновлювальних робіт на пілотованих космічних апаратах у відкритому космосі. Передбачено можливість роботи інструмента не тільки в ручному, а й у автоматичному режимі з використанням робототехнічних пристроїв. Розроблена апаратура і технології можуть також застосовуватися при виконанні робіт, пов'язаних з освоєнням Місяця і при польоті на Марс. Проведено роботи з відпрацювання технології зварювання алюмінієвих і титанових сплавів, а також нержавіючих сталей за допомогою ручного електронно-променевого інструмента нового покоління. Одержані результати досліджень зварних з'єднань підтвердили високу дієздатність і надійність створеного обладнання.*

**Ключові слова:** електронно-променеве зварювання, споріднені технології, ручний електронно-променевий інструмент нового покоління, технологія зварювання, алюмінієві та титанові сплави, нержавіючі сталі, дослідження, зварні з'єднання.

---

Одним із перспективних напрямків робіт, необхідних при експлуатації орбітальних комплексів і створення довготривалих баз на Місяці, є монтаж та ремонт конструкцій і фрагментів металевих елементів, які використовуються для створення різноманітних космічних об'єктів [1, 2, 8]. При цьому з'єднання окремих елементів або ремонт за допомогою зварювання, без сумніву, має переваги в плані одержання гарантованої герметичності порівняно з фланцевими, різьбовими, пресовими чи іншими з'єднаннями.

Проблеми зварювання металевих елементів різноманітного функціонального призначення перш за все є актуальними при проведенні ремонтних робіт на борту пілотованих космічних об'єктів, у першу чергу орбітальних космічних комплексів [6,

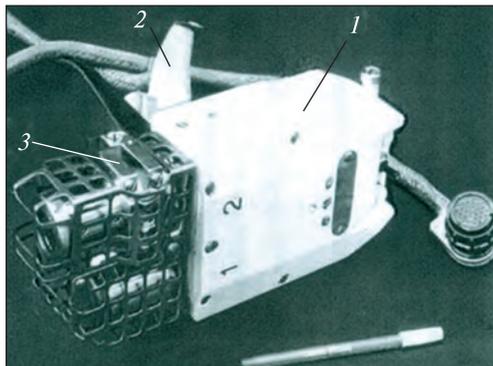
9]. Тому оснащення таких об'єктів високонадійним універсальним зварювальним обладнанням дозволить виконати зварювальні та інші роботи, які забезпечать високу дієздатність конструкції протягом всього часу її експлуатації.

Аналіз різних способів зварювання показав, що найбільш ефективним і надійним способом для виконання зварювальних та споріднених технологій (різання, паяння, нанесення покриттів та ін.) у відкритому космосі є електронно-променевий як в ручному, так і в автоматизованому варіантах.

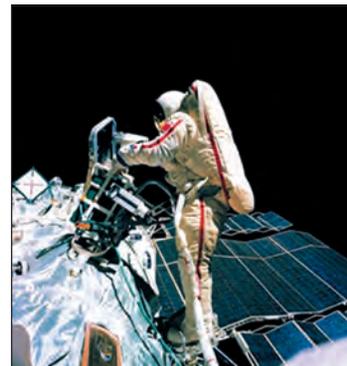
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона займає провідні позиції у світі із розробок та застосування обладнання для зварювальних і споріднених технологічних процесів у космосі. За багато років накопичено значний досвід створення апаратури для зварювання та інших робіт у відкритому космосі. Цей досвід був використаний при створенні ручного електронно-променевого інструмента попереднього і нового покоління для зварювання та



**Рис. 1.** Ручна електронно-променева гармата першого дослідного зразка



**Рис. 2.** Льотний зразок ручного електронно-променевого інструмента (УРІ): 1 — високовольтне джерело живлення, 2 — рукоятка, 3 — діодні електронно-променеві гармати



**Рис. 3.** С. Савицька виконує технологічні експерименти у відкритому космосі

споріднених технологій при проведенні ремонтних і монтажних робіт у відкритому космосі.

Проведений у 1969 р. експеримент із автоматичного зварювання у відкритому космосі на кораблі «Союз-6» сприяв використанню космічного середовища для виконання різних науково-дослідних та технологічних задач [5] і став фундаментом космічної технології. В експерименті на космічному кораблі «Союз-6» на апаратурі «Вулкан» були випробувані декілька способів зварювання, зокрема і електронно-променевої. За допомогою електронно-променевої гармати було отримано електронний промінь, яким виконували технологічні експерименти зі зварювання та різання зразків із титану, алюмінієвих сплавів та нержавіючих сталей в автоматичному режимі [7]. В результаті проведених технологічних експериментів у космосі і наземних досліджень отриманих зразків було встановлено, що найбільш перспективним способом зварювання є електронно-променевий, при якому використовується високий космічний вакуум. Перший технологічний експеримент у космосі довів можливість і перспективність використання автоматичного зварювання для одержання нероз'ємних та герметичних з'єднань металів. Проте є велика кількість монтажних і ремонтно-відновлювальних робіт, які неможливо виконати за допомогою автоматичного зварювання. Такі роботи повинні виконуватися вручну. Це сприяло вивченню можливостей виконання в космосі ручного зварювання, різання та інших технологічних процесів. Відкритий космос —

це «природний» вакуум — якісне середовище для електронного променя. Електронний промінь є висококонцентрованим джерелом нагріву, що дозволяє працювати з усіма матеріалами, які використовуються у космічному апаратобудуванні. Цей процес не супроводжується бризкоутворенням, що важливо при роботі у скафандрі. Тому було прийнято рішення закласти в основу бортового інструмента для ручного зварювання саме цей процес.

Були розроблені, виготовлені та випробувані в земних умовах кілька дослідних зразків інструмента для ручного електронно-променевого зварювання. На рис. 1 показано один із перших інструментів для ручного електронно-променевого зварювання.

Завдяки всебічним випробуванням дослідних зразків ручного електронно-променевого інструмента були вирішені конструкторсько-технологічні проблеми, та питання техніки безпеки при виконанні технологічних робіт. Це дозволило створити перший зразок бортового ручного електронно-променевого інструмента (УРІ), який був виготовлений і випробуваний в наземних умовах (рис. 2).

Конструктивно він значно відрізнявся від першого макетного зразка ручного електронно-променевого інструмента. В ньому були використані дві діодні пряморозжарювальні електронно-променеві гармати, які були злиті з високовольтним джерелом живлення, до якого також була приєднана рукоятка з низьковольтним кабелем від вторинного джерела живлення (інвертора) і системи керування.

В 1984 р. у відкритому космосі були проведені експерименти із відпрацювання технологій зварювання, різання, паяння та нанесення покриттів за допомогою ручного електронно-променевого інструмента. Експеримент тривав майже чотири години. Його виконували космонавти-оператори С. Савицька та В. Джанібеков за бортом орбітальної станції «Салют-7» (рис. 3) [2, 6].

Виконані технологічні експерименти за допомогою ручного електронно-променевого інструмента підтвердили необхідність такого інструмента для робіт у відкритому космосі. Але цей інструмент вимагав доробок і модифікації. Він мав малу потужність (0.6 кВт), великі габарити та масу (до 5.5 кг), а також малу робочу відстань (40 мм) від електронно-променевої гармати до зразків, що обробляються. Все це завдавало незручностей у роботі, не дозволяло зварювати матеріал товщиною понад 0.5 мм.

Після детального аналізу даних, отриманих в експерименті, було створено наступне покоління зварювального інструмента — апаратура «Універсал» (рис. 4).

До апаратури «Універсал» були внесені суттєві зміни порівняно з УРІ:

- удвічі збільшено вихідну потужність апаратури,
- сам інструмент виконано функціонально цільовим, одногарматним, з катодним резервуванням, що дозволяло переходити від однієї операції до іншої (УРІ мав дві гармати для різних технологічних функцій),



Рис. 4. Загальний вигляд ручного електронно-променевого інструмента «Універсал»



Рис. 5. Ручний електронно-променевий інструмент нового покоління

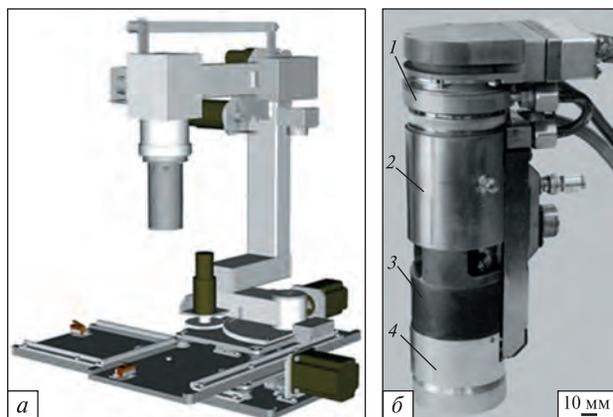
• «Універсал» мав оснащений базовий інструмент для зварювання, паяння та різання; а також інструмент з турельною насадкою і вміщеними в ній чотирма тиглями з матеріалами для випаровування при нанесенні покриттів.

Після наземного випробування він був запущений у виробництво як льотний комплект апаратури, з яким передбачалося здійснити новий космічний експеримент [3, 4]. Планувалося провести космічні експерименти на борту одного з кораблів серії «Шаттл», а також на орбітальній станції «Мир». В обох випадках були проведені всебічні кваліфікаційні випробування, і апаратура була повністю підготовлена для роботи на цих об'єктах. Однак у зв'язку з рядом обставин ці експерименти не були проведені.

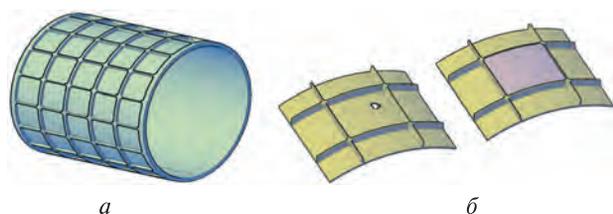
Аналіз результатів наземних технологічних експериментів, проведених з апаратурою «Універсал», показав, що з його допомогою можна зварювати алюмінієві і титанові сплави, а також нержавіючу сталь товщиною до 1.5 мм, тоді як товщина матеріалів, які використовуються при виготовленні пілотованих КА, може бути до 6 мм.

В даний час в ІЕЗ ім. Є. О. Патона виконуються роботи зі створення нового покоління електронно-променевого інструмента для зварювання у відкритому космосі.

На рис. 5 показано ручний електронно-променевий інструмент нового покоління, що включає в себе тріодну електронно-променеву гармату, яка відокремлена від високовольтного джерела живлення. Конструктивне відокремлення електронно-променевої гармати від високовольтного джерела живлення та використання для живлення гармати гнучкого високовольтного кабеля з малогабаритним високовольтним роз'ємом дає можливість суттєво зменшити габарити і масу інструмента та підвищити його маневре-

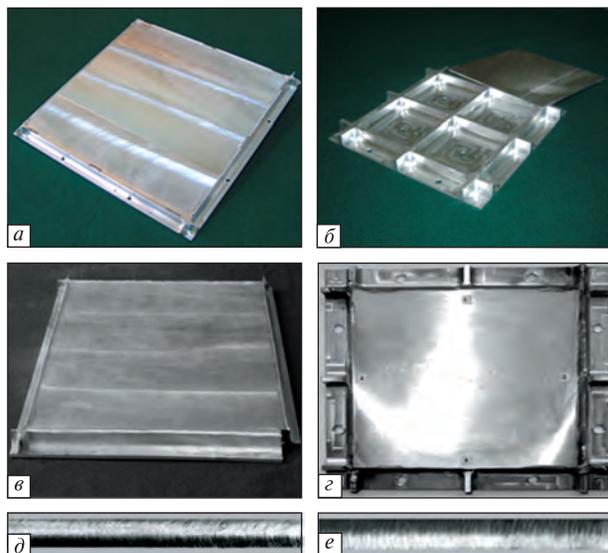


**Рис. 6.** Обладнання для автоматичного електронно-променевого зварювання в космосі: а — маніпулятор для переміщення електронно-променевої гармати, б — триодна електронно-променева гармата нового покоління: 1 — катодна частина, 2 — анодна частина, 3 — фокусувальна система, 4 — відхилювальна система

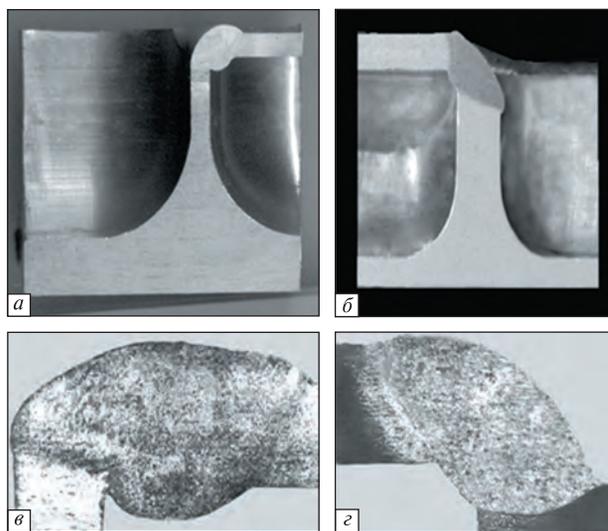


**Рис. 7.** Ремонт фрагментів корпусу космічних апаратів з використанням обладнання і технології електронно-променевого зварювання: а — корпусна оболонка, б — герметизація пошкодженої комірки корпусу накладкою за допомогою автоматичного електронно-променевого зварювання

ність при здійсненні технологічних процесів у відкритому космосі; підвищити термін безперервної роботи та експлуатаційну надійність інструмента в цілому завдяки тому, що високовольтне джерело живлення розміщують в автономному герметичному контейнері, а також полегшити операції зміни інструментів різного технологічного призначення безпосередньо за бортом космічного об'єкта. В новому поколінні електронно-променевого інструмента значно підвищена потужність до 2.5 кВт, а також є можливість отримати гостросфокусований промінь діаметром не більше 0.6 мм при відстані 70...85 мм від зварювальної поверхні. Маса гармати з рукояткою і гардою складає приблизно 3 кг, що майже удвічі менше, ніж маса «Універсалу». Ресурс роботи катода складає 30...40 год. Заміну спра-



**Рис. 8.** Відпрацювання технології ремонту чарунок панелей способом приварювання накладок електронним променем: а — фрагмент панелі з накладкою на комірку (алюмінієвий сплав 2219), б — фрагмент панелі з накладкою на комірки (алюмінієвий сплав 5456), в, г — панелі після приварення накладок, д — фрагмент шва на панелі із сплаву 2219, е — фрагмент шва на панелі зі сплаву 5456



**Рис. 9.** Макро- та мікроструктури отриманих з'єднань при різних збільшеннях

цьованого катодного вузла можна буде виконати на орбіті протягом 5...10 хв. Передбачено також можливість роботи інструмента не тільки в ручному, але і в автоматичному режимі з викорис-

танням робототехнічних пристроїв або маніпуляторів (рис. 6).

Апаратура для автоматичного електронно-променевого зварювання відрізняється від ручного інструмента тим, що до складу анодної частини гармати входить фокусувальна і відхилювальна системи. Фокусувальна система дозволяє керувати електронним променем з метою одержання гостросфокусованого або розфокусованого променя, в залежності від виду технологічного процесу. При цьому робоча відстань від поверхні зварюваного об'єкта збільшується до 120 мм (при виконанні цієї операції в ручному режимі, як це було вказано вище, відстань сягає 80 мм).

На космічних апаратах, які тривалий час функціонують, є вірогідність виникнення різних аварійних ситуацій, зокрема пошкодження корпусних оболонок космічних модулів (рис. 7) і порушення їхньої герметичності. Нова апаратура має широкі технологічні можливості для усунення таких пошкоджень методом зварювання. Так, наприклад, для відновлення герметичності корпусу оболонки можна виконати заварювання тріщин, пробоїн, а також приварювання накладок-латок у місці виникнення дефекту (рис. 7, б).

Наземне відпрацювання технології ремонту чарунки оболонки виконувалося на зразках фрагментів плоских панелей із алюмінієвих сплавів 2219 та 5456 (рис. 8, а, б) шляхом герметизації комірки накладкою за допомогою електронно-променевого зварювання. Вибір конструкцій з'єднань та попередні відпрацювання режимів виконувалися на плоских зразках-імітаторах з аналогічних сплавів. Аналіз макрошліфів та геометрія одержаних проплавів на зразках-імітаторах дозволили вибрати оптимальні конструкції зварного з'єднання і режими для приварювання накладок до чарунок панелей із алюмінієвих сплавів. Зовнішній вигляд зварених панелей та фрагменти одержаних з'єднань показано на рис. 8, в — е. Випробування одержаних з'єднань на герметичність показали позитивні результати.

Макро- та мікроструктури зварних з'єднань показано на рис. 9. Були також вивчені хімічний, фазовий та газовий склади цих з'єднань.

Аналіз комплексу технологічних та дослідних робіт показав, що найбільш прийнятним варіан-

том для ремонту оболонок в умовах космосу може бути автоматичний спосіб електронно-променевого зварювання.

Таким чином, технологічні та науково-дослідні експерименти показали, що нове покоління електронно-променевого інструмента для ручного та автоматичного зварювання має високу та надійну дієздатність. Ця апаратура може використовуватися на різних космічних об'єктах при виконанні ремонтно-відновлювальних та монтажних робіт, а також на поверхні Місяця.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Беляков И. Т., Борисов Ю. Д.* Технология в космосе. — М.: Машиностроение, 1974. — С. 7—29.
2. *КОСМОС: технологии, материаловедение, конструкции: сбор. науч. труд. / Под ред. Б. Е. Патона.* — Киев: ИЭС им Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — 528 с. + 24 с. вкл.
3. *Михайловская Е. С., Шульм В. Ф., Загребельный А. А.* Результаты экспериментов по ручной ЭЛС в обитаемой барокамере // Автомат. сварка. — 2002. — № 2. — С. 23—27.
4. *Патон Б. Е., Дудко Д. А., Лапчинский В. Ф. и др.* Применение сварки для ремонта космических объектов // Космические исследования на Украине. — Киев: Наук. думка, 1975. — Вып. 6. — С. 18—21.
5. *Патон Б. Е., Кубасов В. Н.* Эксперимент по сварке металлов в космосе // Автомат. сварка. — 1970. — № 5. — С. 7—12.
6. *Патон Б. Е., Лапчинский В. Ф.* Сварка и родственные технологии в космосе. — Киев: Наук. думка, 1998. — 182 с.
7. *Патон Б. Е., Назаренко О. К., Чалов В. И. и др.* Особенности аппаратуры и процессов электронно-лучевой сварки и резки в условиях космоса // Автомат. сварка. — 1971. — № 3. — С. 3—8.
8. *Суэдзава Э.* Космические станции и колонии. Сварка в космосе // Техника сборки и соединения. — 1989. — № 9. — С. 66—75.
9. *Терновой Е. Г., Шульм В. Ф., Ланкин Ю. Н.* Ремонт фрагментов корпуса международной космической станции с применением электронно-лучевой сварки // Сварка и родственные технологии — настоящее и будущее: тез. докл. — Киев: Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, 2013. — С. 208.

Стаття надійшла до редакції 28.08.17

#### REFERENCES

1. *Belyakov I. T., Borisov U. D.* Tekhnolohiya v kosmose, p. 7—29 (Mashinostroenie, Moskva, 1974) [in Russian].

2. *SPACE: Technologii, materialovedenie, konstruktsii: sbor. nauch. trud / Pod. red. B. E. Patona*, 528 p. (IES im. E. O. Patona NAN Ukrainy, Kiev, 2000) [in Russian].
3. *Mukhaylovskay E. S., Shulum V. F., Zagrebelnuy A. A. Rezultatu experimentov po ruchnoy ELS v obitaemoy barokamere. Avtomaticheskaya svarka*, N 3, p. 3 — 8 (2002).
4. *Paton B. E., Dudko D. A., Lapchinskiy V. F. Primenenie svarki dlya remonta kosmicheskikh obektov. Kosmicheskie issledovaniya na Ukraine*, N 6, p. 18 — 21 (1975).
5. *Paton B. E., Kubasov V. N. Eksperiment po cvarke v kosmose. Avtomaticheskaya svarka*, N 2, p. 7—12 (1970).
6. *Paton B. E., Lapchinskiy V. F. Svarka i rodstvennye tekhnologii v kosmose*, 182 p. (Naukova dumka, Kiev, 1998).
7. *Paton B. E., Nazarenko O. K., Chalov V. I. Osobennosti apparatury i protsessov elektronno-luchevoy svarki i rezki v usloviyakh kosmosa. Avtomaticheskaya svarka*, N 3, p. 3—8 (1971).
8. *Suedzava E. Kosmicheskie stantsii i kolonii. Svarka v kosmose. Tekhnika sborki i soedineniya*, 9, p. 66—75 (1989).
9. *Ternovoy E. G., Shulum V. F., Lankin Y. N. Renont fragmentov korpusa mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii s primeneniem elektronno-luchevoy svarki. Svarka i rodstvennyy tekhnologii — nastoyashchee i budushchee. tez. dokl.*, 208 p. (Institut elektrosvarki im. E. O. Patona NAN Ukrainy, Kiev, 2013).

Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, Е. А. Аснис,  
Е. Г. Терновой, Ю. В. Зубченко

Институт электросварки им. Е. О. Патона  
Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

#### ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В КОСМОСЕ

В институте электросварки им. Е. О. Патона создано новое поколение ручного электронно-лучевого инструмента для сварки и родственных технологий при выполнении монтажных и ремонтно-восстановительных работ на пилотируемых космических аппаратах в открытом космосе. Предусмотрена возможность работы инс-

трумента не только в ручном, а также в автоматическом режиме с использованием робототехнических устройств. Разработанная аппаратура и технологии могут также применяться при выполнении работ, связанных с освоением Луны и при полете на Марс. Проведены работы по отработке технологии сварки алюминиевых и титановых сплавов, а также нержавеющей стали с помощью ручного электронно-лучевого инструмента нового поколения. Полученные результаты исследований сварных соединений подтвердили высокую работоспособность и надежность созданного оборудования.

**Ключевые слова:** электронно-лучевая сварка, родственные технологии, ручной электронно-лучевой инструмент нового поколения, технология сварки, алюминиевые и титановые сплавы, нержавеющие стали, исследования, сварные соединения.

Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, Ю. А. Аснис,  
Е. Г. Терновой, Ю. В. Зубченко

E.O. Paton electric welding institute  
of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### EQUIPMENT AND TECHNOLOGY FOR ELECTRON-BEAM WELDING IN SPACE

In the Ye. O. Paton Electric Welding Institute a new generation of electron-beam hand tools was created for welding and related technologies. This equipment is used during assembling and repair-restoration work on manned spacecrafts in outer space. It is possible to use the tools not only in a manual but also in automatic mode using robotic devices. The developed equipment and technologies can also be applied during the operations related to the exploration of the Moon and missions to Mars. The new generation tools were used in works on optimization of welding technology for aluminium and titanium alloys as well as stainless steels. The results obtained in investigations of welded joints confirmed the higher efficiency and reliability of the developed equipment.

**Keywords:** electron-beam welding and related technologies, new generation electron-beam hand tool, welding technology, aluminium and titanium alloys, stainless steels, welded joints.

---

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.033>

УДК 669.295; 621.01; 621.762. 07

**А. Ф. Ильющенко, В. В. Савич**

Государственный национальный университет «Институт порошковой металлургии»,  
Минск, Республика Беларусь

## **ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БЕЛАРУСИ, ПОРОШКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ДЛЯ НИХ**

---

*Представлено собственное видение авторов места аддитивных технологий в современном производстве, их отношение к методам и технологиям традиционной порошковой металлургии, к возможностям их совместного использования. Приведены результаты оригинальных разработок в Республике Беларусь в начале 21 века установок селективного лазерного спекания порошков металлов и технологий получения из них пористых и композиционных материалов из порошков титана и титановых сплавов. Описаны особенности установки селективного лазерного плавления и установки получения порошков индукционной плавкой в вакууме с распылением струи расплава инертным газом, введенные в эксплуатацию в ГНУ «Институт порошковой металлургии». Предложены перспективные направления НИР и ОТР на новом оборудовании.*

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, селективное лазерное спекание, селективное лазерное плавление, горячее изостатическое прессование, индукционная плавка в вакууме, распыление струи расплава инертным газом.

---

### **ВВЕДЕНИЕ**

В стандарте ASTM F2792.15493231 приведено определение аддитивных технологий: Additive Manufacturing — the process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing technologies — процесс объединения материала для создания объекта на базе данных 3D-модели, как правило, слой за слоем, в отличие от «вычитающих» производственных технологий. В данном определении три ключевых момента: соединение материала; компьютерная 3D-модель; отличие от технологий обработки металлов резанием, под которыми понимаются «вычитающие» технологии. Послойное формование использовано с определением «как правило», т. е. может быть и не обязательным. Таким образом,

технологии соединения дисперсных компонентов в готовое изделие в одном процессе являются по определению аддитивными.

Тенденции развития современной промышленности в передовых странах мира показывают ее три главных опоры [9]: новые специальные материалы с заданными свойствами; технологии их обработки, прежде всего аддитивные; неразрушающие методы контроля. Промышленные роботы, станки с ЧПУ, АСУ ТП, АСУП и даже микроэлектроника, представляющие основу пятого технологического уклада, фактически уступают место принципиально новым технологиям — аддитивным, которые вместе с нанoeлектроникой, оптоинформатикой, фотоникой, био-, CALS-технологиями, системами искусственного интеллекта и др. составят ядро шестого технологического уклада, определяют будущее науки и промышленности во всем мире [9].

---

© А. Ф. ИЛЬЮЩЕНКО, В. В. САВИЧ, 2017

Целью данной работы является оценка места аддитивных технологий в современном производстве и роли ученых и специалистов в процессе разработки и освоения данных технологий, в том числе и в Беларуси.

**ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Аддитивные технологии (или в общепринятой мировой транскрипции Additive Manufacturing – AM) — понятие очень широкое, которое охватывает и многие традиционные промышленные технологии, история которых насчитывает не одно десятилетие [1, 3–5, 10, 11]. К ним можно отнести: получение полупроводниковых гетероструктур методами молекулярно-лучевой эпи-

таксии и CVD — химического осаждения из газовой фазы (1960-е годы); офсетная печать (известна с XVIII века); нанесение многослойных покрытий на изделия газотермическими методами, PVD, CVD; возведение каменных и кирпичных стен; получение сварных трехмерных конструкций и др.

В современных аддитивных технологиях главная роль отведена компьютерному моделированию трехмерных деталей любой сложности и их формированию слой за слоем с помощью автоматических систем.

У истоков современного аддитивного производства стояла стереолитография. Она использовала подход, который придумал Отто Джон Мюнц в 1951 г. В установке Мюнца поршень в цилиндре смещался на маленькое расстояние и освобождал пространство для слоя, которое заполняли светочувствительным полимером. Затем полимер облучали светом так, что он застывал только на определенном участке. Следующее движение поршня — еще один слой, еще один цикл отверждения. В результате из многих слоев получалась объемная полимерная модель. Это был ключевой принцип, который лег в основу современной стереолитографии (SL). В 1984 г. Чарльз Халл запатентовал технологию и основал компанию 3D Systems, которая в 1986 г. начала промышленное использование стереолитографии. В 1985 г. появляется технология ламинирования LOM (Laminated Object Manufacturing), в 1986 г. — технология послойного наплавления FDM (Fused Deposition Modeling). Уже в 1990-х аддитивные технологии с использованием нагрева лазерным и электронным лучом частиц порошков металлов для получения трехмерных объектов — металлургические AM стали частью мирового производства.

Первые технологии создания трехмерных объектов называли «быстрым прототипированием». В 1995 г. Массачусетским технологическим институтом был предложен термин «3D-Printing». Однако 3D-печать — лишь часть аддитивных технологий.

В табл. 1 [1, 7] представлен доработанный нами перечень технологий аддитивного производства и материалы, которые они используют.

Таблица 1. Основные виды аддитивных технологий

Состояние сырья	Вид материала	Процесс
Жидкое	Полимеры	Стереолитография (SL) Послойная наплавка (FDM) Струйная печать (IJP)
Дисперсное	Полимеры, металлы, керамика и их комбинация	Селективное лазерное спекание (SLS) Прямое лазерное спекание металлов (DMLS) Селективное лазерное сплавление (SLM) 3D-принтинг (3DP)
	Металлы	Электронно-лучевое сплавление (EBM) Прямое нанесение (DMD) Точное лазерное формование (LENS) Газотермическое напыление (SS)
Твердое	Полимеры, металлы, композиты	Послойное соединение листового материала (LOM)
		Экструзионное формование (EFF)

## ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Металлургические АМ можно разделить по методу формирования слоя на два основных направления:

1. Технология «Bed Deposition», которую реализуют компании-производители АМ-машин: 3D Systems (SLS, SLA), EOS (DMLS), Envisiontec (DLP), SLM Solutions (SLM), Realizer (SLM), ExOne (Ink-Jet), Renishaw (SLM), Voxeljet (Ink-Jet), Concept Laser (Laser CUSING) [6, 11].

В данной технологии сначала насыпают слой порошкового материала на поверхность рабочей платформы и разравнивают порошок с помощью ролика или «ножа», формируя ровный слой материала определенной толщины. Затем выборочно обрабатывают порошок в сформированном слое лазерным лучом («селективное лазерное спекание» (SLS — Selective Laser Sintering), или иным способом, скрепляя частички порошка. Кроме SLS- и SLA-технологий, к Bed Deposition относят такие известные технологии, как: SLM — Selective Laser Melting (компания SLM Solutions, Германия); DMLS — Direct Metal Laser Sintering (компания EOS, Германия); EBM — Electron Beam Melting (компания Arcam, Швеция); Laser Cusing (компания Concept Laser, Германия); SPLS — Solid Phase Laser Sintering.

2. Технология «Direct Deposition» (DED) — прямой энергетический метод наплавки, которую реализуют компании-производители машин: Optomec (LENS), POM Group (DMD), Trumpf (DLF), Objet (Poly-Jet), Stratasys (FDM, DoD), 3D Systems (MultiJet) [6, 11].

Этот процесс для металлических порошков обозначается как (Direct Metal Deposition (DMD) — прямое (непосредственное) нанесение металлов. Через сопло в зону плавления подается порошковый материал, который расплавляется лучом лазера, а металл после охлаждения формирует слой детали. При данной технологии происходит направление энергии и осаждение материала в конкретной локальной области. Эта технология характеризуется более высокой производительностью, чем селективное лазерное плавление, а также возможностью изготовления крупных

изделий, однако этим методом невозможно создать сетчатые структуры и внутренние каналы в деталях.

Металлургические АМ имеют следующие достоинства:

- практически неограниченный дизайн конечного изделия по сравнению с традиционными технологиями литья, обработки давлением и механической обработки;
- малый вес конечного изделия благодаря доступной каркасной структуре или ячеистой дизайну отдельных частей изделия с наличием материала только в наиболее нагруженных местах;
- наличие новых функций изделия благодаря сложной системе внутренних каналов, используемых для функционирования изделия, его охлаждения или объединения множества отдельных частей в одно цельное изделие, замещающее ранее сборную конструкцию цельной;
- минимальное использование сырья (в разы меньше по сравнению с механической обработкой заготовок из проката, поковок или отливок), что особенно важно в случае использования дорогостоящих или труднообрабатываемых металлов и сплавов, а также позволяет создавать сложные по конструкции детали в один этап, сокращая количество сборочных операций, таких как сварка, пайка, запрессовка и т. п.;
- отсутствие специальных формообразующих инструментов, свойственных традиционным процессам металлургии и обработки давлением — пресс-форм, литейных форм, кузнечных штампов и т. п.;
- относительно краткое время производственного цикла: изделия сложной формы и точных размеров могут быть изготовлены из порошков металлов и сплавов слой за слоем в течение нескольких часов с помощью оборудования АМ (полное время цикла может достигать нескольких часов или суток, но это в любом случае намного короче, чем при традиционных процессах, производственный цикл которых — заготовительные операции, литейные, кузнечные, термообработка, механическая обработка и т. п. — часто достигает нескольких недель и даже месяцев);
- относительно малая энергоемкость процесса — несмотря на большую установленную мощность

металлургических установок АМ, системы лазерного сплавления частиц порошка локализуют энергию в малой зоне, и такие установки в целом потребляют фактически меньше, чем линейка литейного или кузнечно-прессового оборудования с металлорежущими станками, необходимыми для получения изделия традиционным путем.

Металлургические АМ позволяют применять новые высокоэффективные материалы, новые методы управления и, таким образом, обуславливают новое функциональное и интеллектуальное содержание готового продукта. АМ являются не только современными и высокоэффективными, но инновационными по своей сути, поскольку сами позволяют генерировать новые технологии и несут в себе новое качество. Их с полным основанием относят к технологиям XXI века. Кроме указанных выше преимуществ, эти технологии имеют важное достоинство с точки зрения охраны окружающей среды.

Металлургические АМ имеют и некоторые ограничения. Это в первую очередь габариты детали. При использовании АМ-технологии они ограничены размером платформы оборудования. Например, для большинства платформ характерны размеры  $250 \times 250 \times 250$  или  $300 \times 250 \times 250$  мм. Появились сведения о создании фирмой Concept Laser установки Xline 1000R с размерами рабочей зоны  $630 \times 400 \times 500$  мм, а фирмой SLM Solution — установки SLM 500 с размерами рабочей зоны  $500 \times 280 \times 350$  мм [10]. Однако такое оборудование пока еще исключение. Размеры детали могут быть увеличены при использовании, например, лазерной наплавки металлических порошков, но этот процесс характеризуется низкой скоростью нанесения материала из-за необходимости нанесения тонких слоев порошков и оказывается недопустимо длительным и дорогостоящим при изготовлении крупногабаритных изделий. Изначально АМ-технологии применяли для изготовления одной либо нескольких деталей для индивидуального или мелкосерийного производства. В настоящее время повышение производительности и надежности оборудования, возможность параллельной работы нескольких и даже десятков единиц установок обеспечило выход на годовой объем произ-

водства до 25000 мелких деталей. Для деталей сложной формы, с тонкими стенками и габаритов в плане, превышающих 8–10 мм, необходимо в процессе построения для избежания коробления и разрушения изделия формировать специальные вспомогательные элементы — так называемые поддержки, которые затем необходимо удалять механически от готовой детали. Несвариваемые металлы не могут быть использованы в АМ-технологии, трудно свариваемые металлы требуют определенных технологических подходов. Детали, полученные металлургическими АМ имеют тенденцию проявления анизотропии в оси Z (вертикальное направление построения детали). На прочность изделия, полученного АМ-технологией, существенно влияет остаточная пористость, которая может достигать одного процента и выше.

#### **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ**

Технологии порошковой металлургии, которые используются в промышленном производстве уже более ста лет, обоснованно можно отнести к промышленным аддитивным технологиям. Основания для такого утверждения следующие:

- сырье порошковой металлургии, как и в металлургических аддитивных технологиях — в дисперсной форме,
- результат воздействия на дисперсное сырье давлением (формование) и температурой (спекание, ТО, ХТО) — готовое 3D-изделие конечных размеров и формы,
- повышение свойств порошкового изделия, как и продуктов аддитивных технологий, достигается за счет его доуплотнения.

Есть, тем не менее, особенности, характерные для аддитивных технологий на уровне исходного сырья — порошков. Во-первых, все литературные источники [1, 3, 4, 9–11] упоминают о сферичности или округлости частиц. Это необходимо для равномерного и быстрого заполнения порошком платформы построения в методе Bed Deposition и, соответственно, равномерной подачи порошка в методе прямого построения Direct Deposition. Требование округлости или сферичности частиц в определенной степени

напоминает технологию горячего изостатического прессования (HIP), в которой только такая форма частиц обеспечивает полное заполнение формы и получение качественной прессовки. По поводу среднего размера частиц требования расходятся и зависят от производителя соответствующего оборудования. Так, фирма Phenix Systems использует порошок с  $d_{ч\text{cp}} = 10$  мкм; Concept Laser — 25...52 мкм при  $d_{50} = 26.9$  мкм; Arcam рекомендует 45...100 мкм, SLM Solutions —  $d_{50} = 10...30$  мкм.

В табл. 2 приведены составы и нормативные документы, определяющие основные свойства промышленных порошков для аддитивных технологий. Как видно из табл. 2, для аддитивных технологий выпускается широкая номенклатура порошков, из которых можно получать изделия различного назначения: детали авиационных и ракетных двигателей, медицинские имплантаты, конструкционные и легкие элементы машин и механизмов.

На рис. 1 представлены СЭМ-фотографии частиц порошков разных составов, используемых в аддитивных технологиях.

Специфические требования к порошкам для аддитивных технологий требуют дополнительных операций: отсева и откатки, сфероидизации в плазме и т. п., что приводит к уменьшению выхода годного, росту отходов и стоимости таких порошков.

Наблюдается дефицит порошков, связанный с бурным ростом производства и продажи машин для аддитивных технологий, который по всему миру превышает рост производства порошков для них. Для потребителей из СНГ расходные порошки для аддитивных технологий составляют еще более серьезную проблему — в основном их приходится закупать за рубежом.

В табл. 3 представлены цены на порошки для конкретной установки сплавления металлических порошков EOSINT M280, которые рекомендует производитель этой установки для гаранти-

Таблица 2. Марки, составы и нормативные документы на промышленные порошки для аддитивных технологий

Наименование	Обозначение	Стандарты ЕС	Стандарты США
Коррозионно-стойкая сталь	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L, UNS S 31603
	X5CrNiCuNb16.4	1.4542	Grade 630, UNSS17400
	X4CrNiCuNb164	1.4540	UNS S15500
Жаропрочная сталь	4Cr5MoSiV1	1.2344	AISI H13
Мартенситостареющая сталь	X3NiCoMoTi18-9-5	1.2709	18 % Ni Maraging 300 AISI H13
Инконель 625	NiCr22Mo9Nb		UNS N06625
Инконель 718	NiCr19Fe19NbMo3	ISO 6208	AMS 5662, AMS 5664
Коммерчески чистый титан	CP Ti	ISO 5832-2	UNS R50400
Титановый сплав Ti6Al4V	Ti6Al4V	ISO 5832-3	ASTM F136, ASTM F1472
Титановый сплав TiAl6Nb7	TiAl6Nb7	ISO 5832-11	ASTM F1295
Сплав кобальт-хром	CoCrMo	ISO 5832-4	ASTM F75, ASTM F1537
		ISO 5832-12	ASTM F75, ASTM F1537
Алюминиевые сплавы	AlSi12		ASTM AA4047, ASTM A04130
	AlSi10Mg		A03600
	AlSi7Mg		ASTM Al3560
	AlSi9Cu3		
	AlMg4,5Mn0,4		

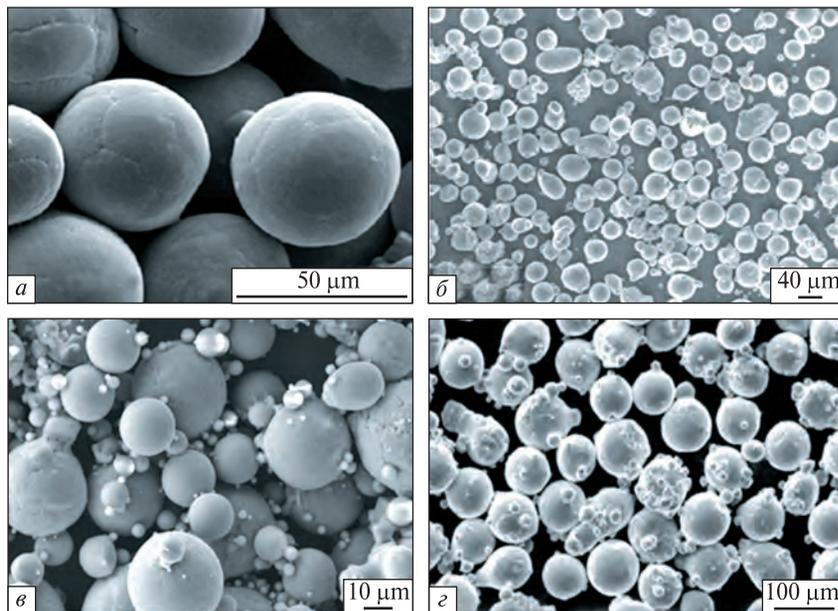


Рис. 1. СЭМ-изображения частиц порошков, применяемых в аддитивных технологиях: а — Ti-48Al-2Cr-2Nb, б — Hastelloy X, в — AlSi10Mg, з — Ni718

рованного качества получаемых на ней изделий. Цены в табл. 3 приведены на европейском рынке. Цена порошков за его пределами будет еще выше с учетом НДС, таможенных, транспортных и других платежей. Поэтому задача разработки отечественных технологий получения и доработки порошков металлов и сплавов, пригодных для использования на установках аддитивных технологий разных типов, организация производства этих порошков на территории стран, активно занимающихся освоением металлургических АМ является весьма актуальной и экономически целесообразной.

Таблица 3. Стоимость порошков для установки сплавления металлических порошков EOSINT M280

Тип порошка	Стоимость, евро за кг
Титан (BT 4)	690
Maraging Steel MS1 (мартенситно-старееющая сталь)	235
Aluminium AlSi10Mg (алюминий)	183
Stainless Steel PH1 (коррозионно-стойкая сталь)	117
Stainless Steel GP1 (коррозионно-стойкая сталь)	107

Фактически на наших глазах рождается новое высокотехнологичное направление в порошковой металлургии, и тот, кто правильно оценит ситуацию и сможет сориентироваться и найти свое место в этом процессе, просто обречен на успех.

Металлургические АМ иногда выделяют особой аббревиатурой DMF — Direct Metal Fabrication прямое «выращивание» из металлических порошков. Эту группу технологий рассматривают в качестве одной из стратегических для освоения в первую очередь в аэрокосмической и оборонной отраслях.

Ожидается, что наибольший эффект может быть получен в следующих отраслях:

- в космической индустрии — сопла, детали и узлы жидкостных ракетных двигателей,
- в самолетостроении — сложнопольные детали ГТД, компрессоров,
- в энергетическом машиностроении — фасонные изделия из высоколегированных сталей,
- в медицине, особенно в хирургии и стоматологии (создание протезов и имплантатов),
- в изготовлении инструментов для обработки пластиковых изделий и деталей, получаемых инъекционным формованием,
- в автомобильной и транспортной промышленности — детали ДВС, конструкционные детали,

• в производстве товаров народного потребления.

Перспективность АМ-технологий основывается на ряде преимуществ и дает возможность сократить на 30 % затраты, связанные с приобретением исходных материалов, но также повысить производительность труда на 25—30 %, снизить себестоимость выпуска продукции на 30 % по сравнению с ранее используемыми традиционными технологиями, например производстве форсунок газотурбинных двигателей для авиации и ракетостроения международной корпорации «Boeing» [5].

### ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БЕЛАРУСИ

Первый опыт в области селективного лазерного сплавления был получен совместно ИПМ НАНБ (Минск) и ИТА НАНБ (Витебск) в 2001—2003 гг. (рис. 2) [12].

Особенностью данной технологии являлась расфокусировка луча лазера и перемещение платформы с порошком только по оси Z. За счет этого по периферии частицы порошка припекались друг к другу, образуя пористую оболочку, а в центре — сплавливались, формируя компактный стержень. Таким образом, были получены прототипы деталей имплантатов, тем не менее, прошедшие успешную апробацию на лабораторных животных [12].

В 2002—2005 гг. ИПМ и ИФ НАНБ была создана установка селективного лазерного спекания металлических порошков, которая в большей мере напоминает современные машины (рис. 3) [2].

В данной установке процесс происходит на вертикально перемещающейся технологической платформе с порошком, размещенной в рабочей камере с защитной атмосферой аргона. Оптическая система позволяет осуществлять сканирование лазерным лучом в горизонтальной плоскости по заданной траектории, наблюдение за зоной спекания с помощью видеокамеры, контроль температуры в зоне лазерного воздействия с помощью системы контроля процесса спекания.

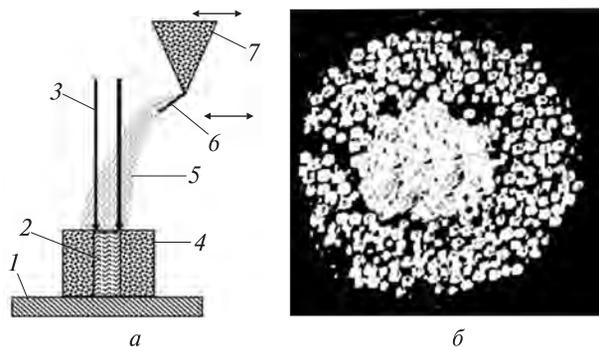


Рис. 2. Схема установки SLS, созданной в ИТА НАНБ совместно с ИПМ НАНБ (а) и микроструктура образца, полученного методом СЛС из сферического порошка титана марки ВТ1-0 на этой установке (б): 1 — опускающаяся платформа, 2 — оплавленный стержень, 3 — луч лазера, 4 — пористая оболочка, 5 — поток частиц, 6 — заслонка, 7 — бункер с порошком

Подготовка виртуальной модели изделия осуществляется в системах CAD CAM PDM, поддерживающих режим твердотельного (3D-solid) моделирования. Программное управление работой установки, задание технологических режимов и их контроль в режиме реального времени осуществляется с помощью управляющего компьютера.

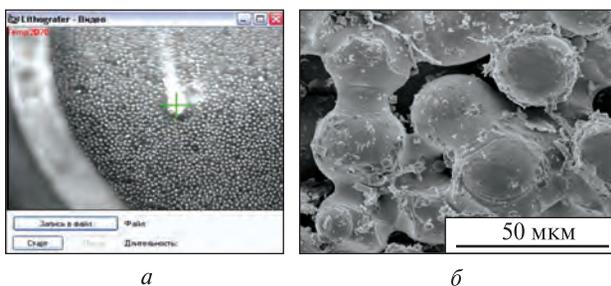
#### Технические характеристики установки селективного лазерного спекания

Длина волны лазерного излучения, мкм	1.06
Частота следования лазерных импульсов, Гц	50
Средняя мощность лазерного импульса, Вт	50
Длительность лазерного импульса, мс	3—6
Максимальные габариты изделия, мм	200 × 200 × 50
Скорость перемещения оптической системы, мм/мин	100—1000
Точность позиционирования, мкм	20
Фокусное расстояние объектива, мм	250
Диаметр фокусного пятна, мкм	200—500

В настоящее время установка, хоть и морально устарела, находится в работоспособном состоянии и позволяет демонстрировать спекание с помощью импульсно-периодического лазерного излучения единичных слоев частиц порошка по площади заданной конфигурации (рис. 4) и последующего припекания таких слоев друг к другу, а также осуществлять гравировку штам-



**Рис. 3.** Установка селективного лазерного спекания металлических порошков, созданная ИПМ и ИФ НАНБ: *а* — общий вид, *б* — рабочая камера, *в* — технологическая платформа



**Рис. 4.** Режим контроля процессом спекания порошка титана ВТ1-0 (*а*) и топограмма поверхности спекенного методом СЛС пористого проницаемого материала из порошка титана ВТ1-0 (*б*)

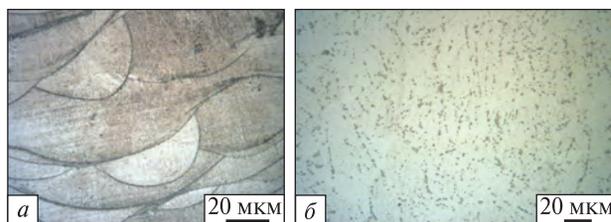
пов и памятных знаков, маркировку, микросварку, перфорацию и фигурную раскройку листовых материалов.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГНУ «ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»

На протяжении последних трех лет ГНУ ИПМ участвует в проекте 7-й Европейской рамочной программы, где активно решается ряд важных вопросов по аддитивным металлургическим технологиям 3D печати металлических и металло-керамических порошков.

Сегодня в институте создан Научный центр специальных порошков и 3D-печати.

Учитывая имеющийся научный задел и потребности промышленности РБ можно сформулировать научные направления центра:



**Рис. 5.** Структура СЛС-образцов из порошков жаропрочного сплава IN718 до (*а*) и после (*б*) термобарической обработки

- освоение производства методом 3D-печати изделий для аэрокосмической и специальной техники;
- разработка технологий изготовления композиционных порошков заданного химического и гранулометрического состава различными методами плавки в вакууме и распыления инертным газом, механоактивированного самораспространяющегося синтеза (МАСВС), механического легирования, технологий размола и классификации порошков;
- расширение номенклатуры используемых материалов за счет разработки материалов на основе металлокерамики;
- исследование режимов спекания порошковых материалов, управления конечными свойствами и геометрией изделия с учетом размерных изменений происходящих на всех этапах технологии;
- исследование процессов последующей термической, термомеханической и термохимической

кой обработки порошковых заготовок с целью придания им требуемых эксплуатационных характеристик.

В результате исследований установлена принципиальная возможность достижение 100 % плотности для образцов из жаропрочного сплава IN718, полученных методом селективного лазерного спекания (СЛС) [8].

Важным эффектом пост-обработки, включающей горячее изостатическое прессование (ГИП) образцов, предварительно полученных методом

Таблица 4. Рабочие характеристики и программное обеспечение 3D-принтера ProX DMP 300

Характеристики	Показатели
<i>Аппаратные средства</i>	
Оптоволоконный лазер	$P = 500$ Вт, $\lambda = 1070$ нм, система управления и контроля микропроцессорная
Система наложения слоев	Регулируемая, система регулировки микропроцессорная
Объем печати	$250 \times 250 \times 300$ мм
Минимальная зона построения детали	$x = 100$ мкм, $y = 100$ мкм, $z = 20$ мкм
Повторяемость	$x = 20$ мкм, $y = 20$ мкм, $z = 20$ мкм
Система загрузки	Автоматическая, пневмомеханическая с микропроцессорной системой контроля
Система сбора и возврата порошка	То же
Расходные материалы	Нержавеющая сталь, инструментальная сталь, сплавы цветных металлов, жаропрочные сплавы, окись алюминия и титана, металлокерамика
<i>Программное обеспечение</i>	
Программные средства автоматического проектирования CAD/CAM	ProX® DMP Manufacturing
Программа управления	PX Control V2
Форматы чтения CAD	STL



Рис. 6. Установка вакуумно-индукционной плавки и распыления расплава инертным газом марки JT-QWH-25KG

селективного лазерного спекания (СЛС) является исправление характерной для СЛС структуры. В процессе ГИП из слоистой структуры (рис. 5, а) формируются зерна близкие по форме к равноосным (рис. 5, б). При этом наблюдается увеличение плотности на 3.5 %, т. е. плотность после СЛС обработки составляет  $7.92$  г/см<sup>3</sup>, или 96.7 %, а после дополнительной обработки ГИП плотность составляет  $8.19$  г/см<sup>3</sup>, или 100 %. Это немаловажно, так как подобные сплавы предназначены для работы при повышенных температурах и растягивающих нагрузках.

В институте имеется исследовательское оборудование для изучения процессов и получения порошков методом распыления, методом МАСВС (смесители, аппараты-активаторы (атриторы, планетарные, струйные и вибрмельницы), СВС-реакторы, пневмо-классификаторы различной производительности, предназначенные для выделения порошков узкой фракции.

Для исследования процессов обработки сформованных СЛС образцов имеются высокотемпературная вакуумная печь Т-22Х24-ГГ-2900-VM-G и установка горячего изостатического прессования AIR6-30 HOT AMERICAN ISOSTATIC PRESSEN.

В институте имеется научно-исследовательская база, необходимая для решения поставленных задач. Разработаны методики исследования и в наличии новейшее оборудование для исследований свойств порошковых композиционных материалов и изделий из них.

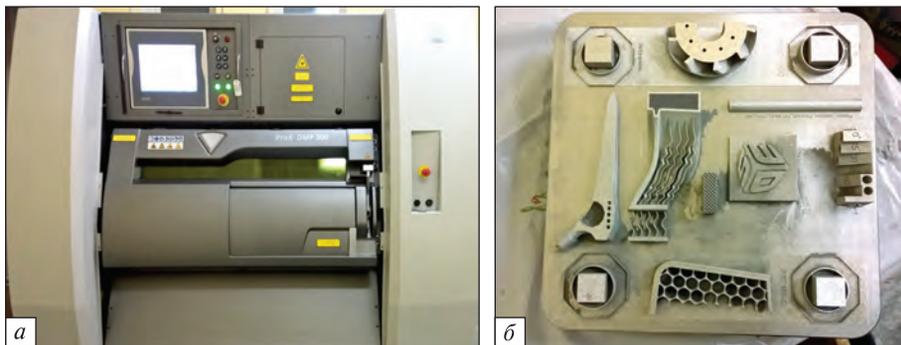


Рис. 7. Внешний вид 3D-принтера ProX DMP 300 (а), рабочая платформа принтера с образцами деталей построенных деталей (б)

Для разработки и исследования процессов получения порошков для 3D-печати в институте смонтирована и запущена в эксплуатацию установка вакуумно-индукционной плавки и распыления расплава инертным газом JT-QWH-25KG (рис. 6).

**Основные технические характеристики установки JT-QWH-25KG**

Объем загрузки .....	25 кг (для стали)
Мощность среднечастотного	
Индукционного нагревателя .....	100 кВт, 4 кГц
Температура в раздаточном тигле .....	1200—1700 °С
Рабочее давление вакуума, не более ....	0.66 Па
Максимальное давление	
в распылительной камере .....	6 МПа
Температура в плавильном тигле .....	≤2200 °С
Газы, используемые для распыления ...	Ar, N <sub>2</sub>

Для разработки и технологий изготовления и организации производства методом 3D-печати изделий для аэрокосмической и специальной техники в институте смонтирован и запущен в эксплуатацию металлургический 3D-принтер, работающий по принципу избирательного лазерного сплавления металлических порошков (рис. 7). В табл. 4 приведены основные характеристики 3D-принтера ProX DMP 300.

В результате комплекса работ планируется установить новые научные закономерности:

- формирования физико-химических свойств и гранулометрических показателей порошковых композиционных материалов для 3D-печати в процессе их получения,
- структурно-фазовых изменений в материалах в результате термомеханического воздействия на них,

- формирования геометрических параметров изделий с учетом фазовых превращений, происходящих при воздействии на них лазерным лучом,
- формирования пространственных структур и конструкций на их основе с высокими показателями удельной прочности и жесткости и с заданной внутренней 3D-архитектурой.

В результате выполнения работ будут разработаны:

- научные основы выбора технологических параметров, обеспечивающих сохранение наследственной структуры;
- технологии изготовления композиционных порошков заданного химического и гранулометрического состава методами распыления в вакууме, СВС, механического легирования;
- технологии размола, классификации и обработки порошковых материалов с целью получения узких фракций и максимально приближенных к сферической форме;
- методики исследования фазового и структурного состояния материалов на всех технологических этапах 3D-печати методами сканирующей электронной микроскопии, рентгенофлуоресцентного и атомно-эмиссионного анализа;
- технологии 3D-печати изделий сложной геометрической формы из металлических, керамических и металлокерамических порошков;
- технологии термической, термомеханической и термохимической обработки предварительно полученных порошковых 3D-заготовок с целью придания им требуемых структурных и физико-механических характеристик;
- технологические рекомендации для организации промышленного производства изделий методом 3D-печати.

## ВЫВОДЫ

Металлургические аддитивные технологии бурно развиваются и перешли из стадии прототипирования, выпуска экспериментальных образцов и единичных изделий к полноценному серийному промышленному производству изделий аэрокосмической и медицинской техники, автомобильного транспорта, судостроения, огнестрельного оружия и др. По мнению отдельных ученых и специалистов, в обозримом будущем эти технологии заменят традиционные технологии литья, обработки давлением и резанием. В пользу этого свидетельствует успешное применение продуктов аддитивных технологий в реальных объектах техники и организме человека, а также высокая эффективность новой технологии в конструировании — возможность замены десятков деталей, собираемых у сборочную единицу, на цельное изделие, полученное в одном производственном цикле.

Металлургические аддитивные технологии являются неразрывной частью технологий общей порошковой металлургии. В то же время к порошкам металлов и сплавов для применения в установках формирования из них трехмерных изделий производители оборудования предъявляют специфические требования, что обуславливает необходимость организации специализированных производств порошков для аддитивных технологий. В настоящее время объемы производства таких порошков не обеспечивают потребности производства изделий, что ведет к завышенной стоимости порошков, а также затягиванию сроков их поставки.

Ученые и специалисты Беларуси имеют опыт собственной разработки установок и технологий селективного лазерного спекания порошков титана и титановых сплавов, позволяющим им успешно осваивать передовое зарубежное оборудование и приступить не только к выпуску изделий, но и порошков металлов и сплавов для аддитивных технологий, разрабатывать технологические приемы повышения плотности и прочности формовок, модификации их микроструктуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Аддитивные технологии*. Информация. [Электронный ресурс]. — TorTec Ltd, 2015. — Режим доступа: <http://tornado.co.com/>

2. *Белявин К. Е., Минько Д. В., Быков Р. П., Кузнецик О. О.* Исследование влияния мощности импульсно-периодического лазерного излучения на устойчивость жидкометаллических контактов между частицами порошка при селективном лазерном спекании // *Порошковая металлургия*. — 2006. — № 29. — С. 268—272.
3. *Довбыш В. М., Забеднов П. В., Зленко М. А.* Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс] ФГУП «НАМИ», ФГУП «Внештехника», СПбГПУ — Режим доступа: [http://nami.ru/uploads/docs/centr\\_technology\\_docs/55a62fc89524bAT\\_metall.pdf](http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf).
4. *Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М.* Аддитивные технологии в машиностроении: Пособ. для инж. — М: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. — 220 с.
5. *Ильющенко А. Ф.* Эффективный инструмент современного машиностроения // *Наука и инновации*. — 2016. — № 2. — С. 16—21.
6. *Ильющенко А. Ф.* Аддитивные технологии и перспективы их развития в ГНУ «Институт порошковой металлургии» // *Сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп. (Минск, 24 мая 2017 г.)*. — Минск: Беларуская навука, 2017. — С. 51—65.
7. *Ильющенко А. Ф., Савич В. В.* Порошковая металлургия — одна из первых аддитивных технологий // *Аддитивные технологии, материалы и конструкции: Матер. науч.-техн. конф. (Гродно, 5—6 октября 2016 г.)*. — Гродно: ГрГУ, 2016. — С. 20—30.
8. *Разработка и исследование процессов уплотнения порошковых дисперсно-упрочненных композиционных материалов в условиях горячего изостатического прессования (Отчет о научно-исслед. работе) / ГНУ «Институт порошковой металлургии»; Руководитель темы А. Ф. Ильющенко, исполнитель О. А. Прохоров*. — Минск, 2015.
9. *Степанова Е. Ю.* Аддитивные технологии как прорывные инновации ресурсосбережения 21 века [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://oreluniver.ru/file/science/confs/2015/ee/publ/s\\_7\\_Stepanova\\_E\\_YU.doc](http://oreluniver.ru/file/science/confs/2015/ee/publ/s_7_Stepanova_E_YU.doc).
10. *Стрельникова Л.* Складываем, а не вычитаем. О тонкостях аддитивных технологий. (По материалам «Публичного аналитического доклада по развитию новых производственных технологий», выпущенного Сколковским институтом науки и технологий 22 октября 2014 года) [Электронный ресурс] // *Химия и жизнь*. — 2014. — № 12. — Режим доступа: <https://www.hij.ru/read/articles/technologies-and-materials/5202>
11. *Introduction to additive manufacturing technology. A guide for Designers and Engineers.* Retrieved from <http://www.epma.com/additive-manufacturing>.
12. *Tolochko N. K, Laoui T, Froyen L., et al.* Dental root implants produced by the combined selective laser sintering/melting of titanium powders // *J. Mater.: Design and Applications*. —

2002. — 216, N 4. — P. 267—270. — (Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L).

Стаття надійшла до редакції 28.08.17

## REFERENCES

1. *Additivnye tekhnologii*. Informatsiya [ADDITIVE TECHNOLOGIES. Information]. — TorTec Ltd, 2015. Retrieved from <http://tornado.co.com/> [in Russian].
2. *Beliavin K. E., Minko D. V., Bykov R. P., Kuznechik O. O.* Issledovanie vliyaniya moshchnosti impulsno-periodicheskogo lazera na ustoychivost zhidkometallicheskih kontaktov mezhdou chastitsami poroschka pri selektivnom lazernom spekanii [Investigation of the effect of pulsed-periodic laser radiation on the stability of liquid metal contacts between powder particles under selective laser sintering]. *Poroschkovaya metallurgia* — Powder metallurgy, N 29, 268–272 (2006) [in Russian].
3. *Dovysh V. M., Zabednov P. V., Zlenko M. A.* Additivnye tekhnologii i izdeliya iz metalla [Additive technologies and metal products]. FGUP NAMI, FGUP Vneshtekhnika, SPbGPU. — Retrieved from [http://nami.ru/uploads/docs/centr\\_technology\\_docs/55a62fc89524bAT\\_metall.pdf](http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf) [in Russian].
4. *Zlenko M. A., Nagaicev M. V., Dovysh V. M.* (2015). Additivnye tekhnologii v mashinostroenii: posobie dlya inzhenerov [Additive technologies in mechanical engineering: a manual for engineers] — M: FGUP NAMI. [in Russian].
5. *Ilyushenko A. Ph.* Effektivnyi instrument sovremennogo mashinostroenia [Effective tool of modern engineering]. Nauka i innovatsii — *Science and Innovation*, N 2, 16—21 (2016) [in Russian].
6. *Ilyushenko A. Ph.* Additivnye tekhnologii i perspektivy ikh razvitiya v Respublike Belarus [Additive technologies and prospects for their development in the State Institution "Powder Metallurgy Institute"] Proceedings from Prospects for development of additive technologies in the Republic of Belarus `17 *Mezhdunarodny nauchno-prakticheski simposium (Minsk, 24 maya 2017 hoda) - International Scientific-practical Symposium, 51—65* (Belaruskaya navuka, Minsk, 2017) [in Russian].
7. *Ilyushenko A. Ph., Savich V. V.* (Poroshkovaia metallurgia — odna iz pervykh additivnykh tekhnologii [Powder metallurgy is one of the first additive technologies]. Proceedings from Additive technologies, materials and constructions *Mezhdunarodnaia nauchno-technicheskaia konferentsia (Grodno, 5-6 oktyabrya 2016 hoda) — International Scientific and Technical Conference, 20—30* (GrGU, Grodno 2016) [in Russian].
8. *Ilyushenko A. Ph., Prochorov O. A.* Razrabotka i issledovanie protsessov uplotneniya poroskovykh dispersno-uprochnennykh materialov v usloviyakh goriachego izostaticheskogo pressovaniya [Development and research of the processes of compaction of powder dispersibly hardened composite materials under conditions of hot isostatic pressing]: Report on research work: GNU IPM — 2015.
9. *Stepanova E. Yu.* Additivnye tekhnologii kak proryvnye innovatsii resursosberezheniya 21 veka [Additive technologies as breakthrough innovations in resource saving of the 21st century]. — Retrieved from [http://oreluniver.ru/file/science/confs/2015/ee/publ/s\\_7\\_Stepanova\\_E\\_YU.doc](http://oreluniver.ru/file/science/confs/2015/ee/publ/s_7_Stepanova_E_YU.doc). [in Russian].
10. *Strelnikova L.* Skladyvaem, a ne vychitaem. O tonkostyakh additivnykh tekhnologii. (Po materialam «Publichного analiticheskogo doklada po razvitiyu novykh proizvodstvennykh tekhnologii», vypushchennogo Skolkovskim institutom nauki i tekhnoljgiyi 22 oktiabria 2014 goda) [Fold, but not subtract. On the subtleties of additive technologies. (Based on the materials of the "Public analytical report on the development of new production technologies", issued by the Skolkovo Institute of Science and Technology on October 22, 2014)]. *Chimia i jizn — Chemistry and Life*. — 2014 — №12. — Retrieved from <https://www.hij.ru/read/articles/technologies-and-materials/5202/> [in Russian].
11. *Introduction to additive manufacturing technology. A guide for Designers and Engineers.* Retrieved from <http://www.epma.com/additive-manufacturing>.
12. *Tolochko N. K., Laoui T, Froyen L., et al.* Dental root implants produced by the combined selective laser sintering/melting of titanium powders. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L. *J. Mater.: Design and Applications*, 216 (N 4) 267—270 (2002).

О. Ф. Ільющенко, В. В. Савич

Державний національний університет «Інститут порошкової металургії», Мінск, Республіка Білорусь

## ІСТОРІЯ І СУЧАСНИЙ СТАН АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БІЛОРУСІ, ПОРОШКИ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ ДЛЯ НИХ

Представлено власне бачення авторів місця адитивних технологій в сучасному виробництві, їхнє ставлення до методів і технологій традиційної порошкової металургії, до можливостей їхнього спільного використання. Наведено результати оригінальних розробок в Республіці Білорусь на початку 21 століття установок селективного лазерного спікання порошків металів і технологій отримання з них пористих і композиційних матеріалів з порошків титану і титанових сплавів. Описано особливості установки селективного лазерного плавлення і установки отримання порошків індукційним плавленням у вакуумі з розпиленням струменя розплаву інертним газом, введені в експлуатацію в ДНУ «Інститут порошкової металургії». Запропоновано перспективні напрямки НДР і ОТР на новому обладнанні.

**Ключові слова:** адитивні технології, селективне лазерне спікання, селективне лазерне плавлення, гаряче ізостатичне пресування, індукційна плавка у вакуумі, розпилення струменя розплаву інертним газом.

*O. F. Iliushchenko, V. V. Savich*

State Scientific Institution «Powder Metallurgy Institute»,  
Minsk, Belarus

#### ADDITIVE TECHNOLOGIES, POWDERS OF METALS AND ALLOYS FOR THEM. HISTORY AND CURRENT PRODUCTION STATE IN BELARUS

We review and discuss the place of additive technologies in modern production, their relation to the methods and technologies of traditional powder metallurgy, and the opportunities for their joint use. The design of units for selective laser sintering of metal powders and developments of technologies for the production of porous and composite materials from

titanium and titanium alloy powders have been conducted in the Republic of Belarus since the beginning of the 21st century. The results of the original developments are discussed. Features of a the unit for selective laser melting and the plant for powder production by vacuum induction melting with spraying of a melt jet with an inert gas are described. The units were put into operation at the Institute of Powder Metallurgy. We describe prospective directions of research and development of this equipment.

**Keywords:** additive technologies, selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM), hot isostatic pressing (HIP), induction melting in vacuum, spraying of a melt jet with an inert gas.

---

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.046>

УДК 536.483, 621.565.93/95

**И. В. Селезнёва, Р. А. Мочёнов, Я. В. Семененко, М. П. Сало, Г. М. Иваницкий**

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»,  
Днепро, Украина

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА В КРИОГЕННОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ**

---

*Для отработки процесса охлаждения газа, заправляемого в шаробаллоны ракеты-носителя, на стендовой базе ГП «КБ «Южное» создана экспериментальная установка. Выполнена проверка технологии охлаждения гелия в змеевиковом теплообменнике, погружённом в жидкий азот. По результатам испытаний выработаны рекомендации по практическому применению технологии охлаждения гелия, заправляемого в шаробаллоны ракеты-носителя.*

**Ключевые слова:** криогенный теплообменник, охлаждение газа, гелий, жидкий кислород, керосин, жидкий азот, шаробаллон, испытания, наддув.

---

### **ВВЕДЕНИЕ**

Система питания двигательной установки компонентами топлива во многом определяет облик, массовые и эксплуатационные характеристики всего ракетного комплекса [1, 4–6].

В настоящее время для ракет-носителей (РН) в качестве топлива жидкостных ракетных двигателей широкое применение нашел жидкий кислород и керосин. Эта топливная пара применяется в современных РН «Зенит», «Falcon-9», а также в перспективных разработках ГП «КБ «Южное» семейства РН «Маяк» и РН «Циклон-4М». В качестве рабочего тела наддува баков РН используется гелий из погруженных в жидкий кислород шаробаллонов.

Для заправки шаробаллонов на вход в РН должен подаваться охлажденный гелий с температурой, близкой к температуре жидкого кислорода. Данное требование обусловлено необходимостью

исключения негативных факторов, возникающих при попадании теплой фазы в криогенную среду: дополнительный тепловой поток, возможные тепловые удары в системе подачи гелия, предотвращения интенсивного кипения и испарения кислорода и т.д.

С целью реализации данного требования в составе стартового комплекса необходимо иметь оборудование для охлаждения гелия.

Обзор в работе [2] показал, что вопрос охлаждения гелия в наземном технологическом оборудовании освещен недостаточно, и имеются только отдельные сведения по проектному построению криогенных теплообменников.

Учитывая данное обстоятельство, а также то, что условия работы криогенного теплообменника отличаются от условий работы стандартного их ряда, ввиду множества механизмов теплообмена: плёночное и пузырьковое кипение, конвекция, а также переходные процессы, вопрос охлаждения гелия перед подачей его в РН является актуальным и требующим дополнительной проработки.

---

© И. В. СЕЛЕЗНЁВА, Р. А. МОЧЁНОВ, Я. В. СЕМЕНЕНКО,  
М. П. САЛО, Г. М. ИВАНИЦКИЙ, 2017

## ОПИСАНИЕ СТЕНДОВОЙ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ РАБОТ

Для отработки процесса охлаждения газа криогенным теплоносителем на стендовой базе ГП «КБ «Южное» была создана стендовая установка (рис. 1) и проведены исследовательские испытания.

Задача испытаний заключалась в проверке технологии охлаждения гелия при различных расходах до температур от  $-172$  до  $-183$  °С с использованием теплообменника змеевикового типа, погруженного в жидкий азот.

Внешний вид змеевикового теплообменника, устанавливаемого в емкость Е1 объемом 150 л, показан на рис. 2–3.

Змеевиковый теплообменник обладал следующими характеристиками:

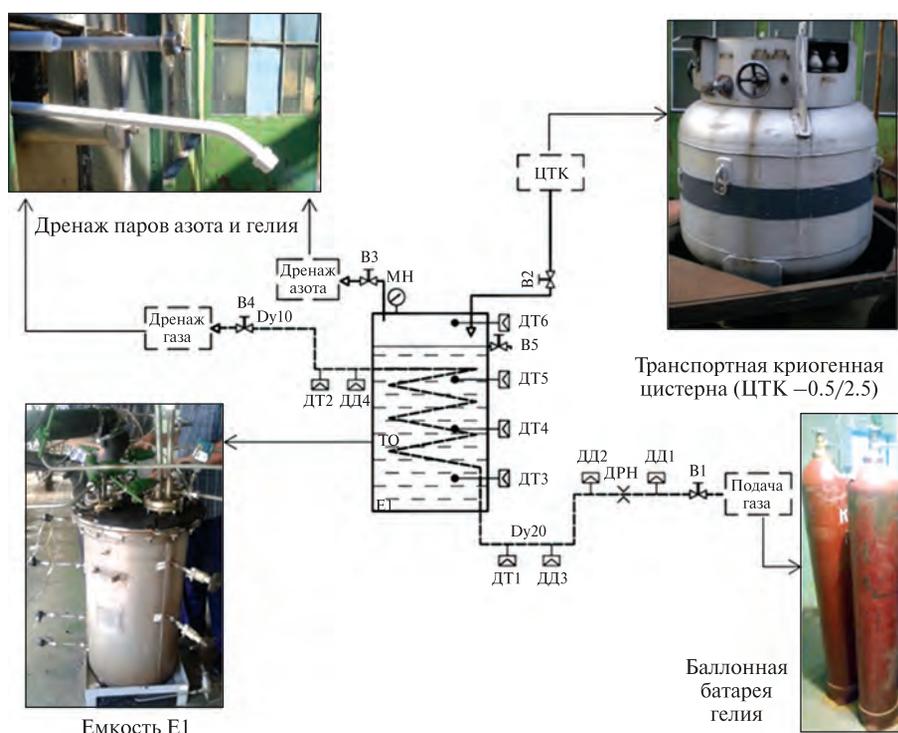
материал .....	сталь 12Х18Н10Т
трубопровод, мм .....	25 × 2.5
длина трубопровода, м .....	13
внешняя площадь контакта теплообмена, м <sup>2</sup> .....	1.2
количество витков, шт. ....	17
зазор между витками, мм .....	5–10

В качестве источника подачи газа использовалось два баллона гелия по 40 л каждый с исходным давлением 140 кгс/см<sup>2</sup>. Баллоны были объединены одной магистралью, на выходе из которой стоял понижающий редуктор с возможностью регулирования давления на выходе от 0 до 30 кгс/см<sup>2</sup>.

Для измерения параметров в стендовой установке использовались следующие контрольно-измерительные приборы:

- датчики температуры ДТ1, ДТ2 – ТСП Метран – 206 02 100П/В3,
- датчики температуры ДТ3 – ДТ6 – РеМик ТСП – 02,
- датчики давления ДД1 – ДД2 – Метран 100 – ДД1440,
- датчики давления ДД3 – ДД4 – Метран – 55 ДИ 515.

Датчики температуры имеют диапазон измерения от  $-196$  до  $+40$  °С. Датчики давления имеют диапазон измерения от 0 до 30 кгс/см<sup>2</sup>. Допустимая погрешность измерений  $\pm 2.5$  %.



**Рис. 1.** Схема стендовой установки: ДД1–ДД4 – датчики давления, ДТ1–ДТ6 – датчики температуры, ДРН – расходная шайба, В1–В3 – вентили, Е1 – емкость, ЦТК – транспортная криогенная цистерна, МН – манометр, ТО – теплообменник



← Рис. 2. 3D-модель



Рис. 3. Внешний вид теплообменника, смонтированного на крышке ёмкости

Для обеспечения требуемого расхода газа, поступающего в теплообменник, применялись жиклёрные узлы, в состав которых входили расходные шайбы. Внешний вид жиклёров с различным диаметром проходного сечения представлен на рис. 4. Расходная характеристика шайб проверялась путем их предварительной продувки с наддувом емкости Е1.

Технология работ заключалась в следующем.

Перед началом проведения испытаний емкость Е1 заполнялась жидким азотом от ЦТК —0.5/2.5 до перелива через вентиль В5, что соответствовало 80 % заполнения и полному погружению теплообменника в жидкий азот. Дренаж паров жидкого азота осуществлялся в окружающую атмосферу по дренажному трубопроводу за пределы помещения, в котором была смонтирована стендовая установка.

После заполнения емкости Е1 на вход в теплообменник одновременно из двух баллонов подавался гелий. Для контроля параметров газа на входе и выходе из теплообменника были установлены датчики давления ДД3, ДД4 и температуры ДТ1, ДТ2.

Перед теплообменником на линии подачи газа устанавливалась расходная шайба ДРН, обеспечивающая необходимый расход гелия путем заданной величины перепада давления на ней. Определение расходной характеристики шайбы осуществлялось расчетным путем по показаниям датчиков давления ДД1, ДД2.

## АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных испытаний по охлаждению газообразного гелия в криогенном теплообменнике получены графические зависимости изменения температуры газа на входе и выходе из теплообменника змеевикового типа (рис. 5), которые являются обобщением экспериментальных данных, полученных при расходах гелия 3.8 и 6.4 г/с.

Проведенный в работе [3] анализ изменения температуры на выходе из теплообменника выявил несоответствия разработанной методики расчета процесса тепло- и массообмена с результатами экспериментальных данных, которые заключаются в следующем:

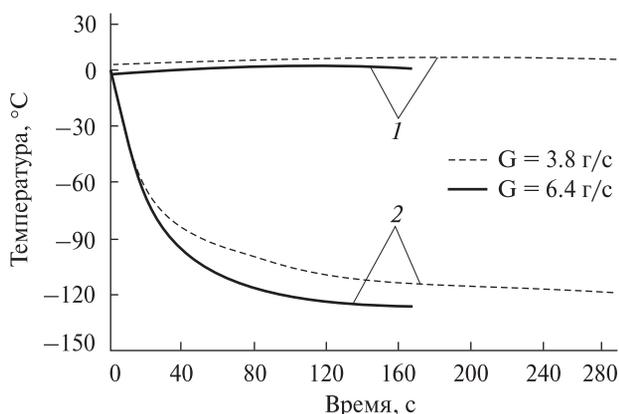
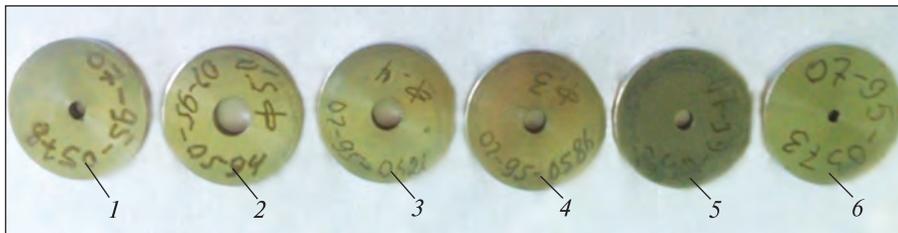
- по результатам испытаний на теплообменнике змеевикового типа не удалось добиться охлаждения гелия до требуемых значений температуры;
- при постепенном увеличении расхода гелия его температура на выходе из теплообменника принимает всё более низкие значения. Но обязательно наступает момент, когда снижение температуры газа прекращается, т. е. уже не зависит от величины расхода.

На рис. 6 приведена расчетная зависимость изменения температуры газообразного гелия на выходе из теплообменника в зависимости от скорости потока, с учётом погрешности определения коэффициента теплоотдачи на внешней границе стенки с жидким азотом. Погрешность коэффициента теплоотдачи в зависимости от механизмов теплообмена: плёночное и пузырьковое кипения, конвекция, а также переходных процессов может достигать величины  $\epsilon = \pm 35\%$  [3].

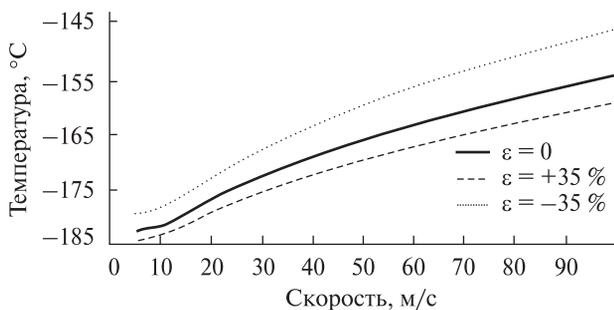
Таким образом, кривые температур, с положительной и отрицательной погрешностью определения коэффициента теплоотдачи на границе стенки с жидким азотом образуют коридор действительных значений, достигаемых газообразным гелием на выходе из теплообменника.

Значения скоростей потока соответствующих экспериментальным расходам гелия с учетом давления на входе и выходе из теплообменника находились в диапазоне от 40 до 55 м/с. При этом расчетные значения температур от  $-168$  до  $-164$  °С не сопоставляются с экспери-

**Рис. 4.** Внешний вид расходных шайб мм: 1 —  $dy = 1.5$ , 2 —  $dy = 5$ , 3 —  $dy = 4$ , 4 —  $dy = 3$ , 5 —  $dy = 2$ , 6 —  $dy = 1$



**Рис. 5.** Обобщенные экспериментальные зависимости изменения температуры от времени на входе и выходе из теплообменника: 1 — показания датчиков температуры на входе в теплообменник, 2 — показания датчиков температуры на выходе из теплообменника



**Рис. 6.** Расчетная зависимость минимальной температуры газообразного гелия на выходе из теплообменника от скорости потока в трубе теплообменника

ментальными значениями  $-128\text{ }^{\circ}\text{C}$  при расходе гелия  $6.4\text{ г/с}$  и  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  при расходе гелия  $3.8\text{ г/с}$ . Это было обусловлено конструктивной особенностью экспериментальной установки и тем, что чувствительный элемент датчика тем-



**Рис. 7.** 3D-модель теплообменника пакетного типа

**Рис. 8.** Внешний вид изготовленного теплообменника пакетного типа для экспериментальной обработки

пературы ДТ2 соприкасался с металлом трубопровода из-за того, что он имел малый диаметр внутреннего сечения —  $10\text{ мм}$ . Место установки ДТ2 — на расстоянии примерно  $0.3\text{ м}$  от выхода из теплообменника. Таким образом, на выходе из теплообменника осуществлялось измерение температуры стенки трубопровода, а не потока гелия.

Для учета конструктивных особенностей и места установки датчика, разработанная методика расчета процесса тепло- и массообмена в криогенном теплообменнике была доработана. Введены дополнительные расчетные зависимости учитывающие наличие внешнего теплового потока подводимого к металлу трубопровода и время стабилизации температуры в месте установки датчика [3]. Проведенные расчеты с использованием доработанной методики показали удовлет-

ворительную сходимость с измерением температуры, зафиксированным при экспериментах.

Однако даже с учетом данного эффекта температура газообразного гелия на выходе из теплообменника не достигает требуемого диапазона от  $-172$  до  $-183$  °С. Для более глубокого охлаждения гелия необходимо, чтобы скорость потока не превышала 5 м/с.

Это может быть реализовано за счет применения других конфигураций теплообменников. В этом плане наиболее эффективным может быть теплообменник пакетного типа, состоящий из большого числа тонких труб (рис. 7, 8). В подобном теплообменнике за счёт деления потока газа скорость течения в отдельной трубке не будет превышать 5 м/с, что соответствует условию наибольшего охлаждения газа. В то же время суммарная площадь поверхности теплообмена с жидким азотом (даже при малом диаметре трубок) будет больше, чем в теплообменнике змеевикового типа.

#### Характеристики теплообменника пакетного типа:

Материал .....	сталь 12Х18Н10Т
Количество секций, шт. ....	8
Количество трубок в одной секции, шт. ....	7
Трубопровод, мм .....	14 × 2
Высота трубопровода в секции, м. . . .	0.6
Диаметр трубок в основаниях, мм . . .	25–2.5
Внешняя площадь контакта теплообмена, м <sup>2</sup> .....	1.7

Сравнительный анализ конструктивного исполнения двух видов теплообменников показывает, что суммарная площадь проходного сечения трубок в пакетном теплообменнике составляет  $4.39 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, что на порядок превышает площадь проходного сечения змеевикового теплообменника  $3.14 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Это в свою очередь приводит к уменьшению скорости потока газа до 3 м/с. Теплообменник пакетного типа, который был изготовлен взамен змеевикового теплообменника, согласно проведенным расчётам по методике [3] удовлетворяет необходимым требованиям по скорости потока и значениям температуры гелия на выходе из него (от  $-172$  до  $-183$  °С).

#### ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ

1. В ходе экспериментальной отработки проверена технология охлаждения газообразного гелия жидким азотом при использовании теплообменника змеевикового типа.

2. В ходе экспериментальной отработки определено время стабилизации температуры на выходе из теплообменника в зависимости от расхода газообразного гелия. Установлено, что время стабилизации температуры имеет обратно пропорциональную зависимость от величины расхода.

3. Установлено, что измеряемая температура на выходе из теплообменника в значительной мере зависит от конструктивных особенностей и технологии монтажа стендовой установки. Это привело к несоответствию измеряемого параметра по сравнению с разработанной методикой расчета процессов тепло- и массообмена в криогенном теплообменнике. Доработанная методика расчета позволила достоверно определить этот факт.

4. Определена степень охлаждения газообразного гелия в криогенном теплообменнике в зависимости от скорости потока. Установлено, что наибольшая степень охлаждения газа достигается при малых значениях, до 5 м/с.

5. Уточнены конструктивные параметры теплообменника. Конструкция теплообменника змеевикового типа недостаточно эффективна. Поэтому для охлаждения газов рекомендуется применять теплообменники других конфигураций, в частности пакетного типа, состоящего из большого числа отдельных трубок.

6. При разработке полномасштабных объектов установка датчика температуры должна осуществляться максимально близко к выходу из теплообменника, а контакт чувствительного элемента датчика с трубопроводом должен быть исключен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев Н. М.* Расчет пневмогидравлических систем ракет. — М.: Машиностроение, 1983.—219 с.
2. Разработка эффективной технологии охлаждения газов в криогенном теплообменнике: LTC YZH PRT 002 00. — Днепр, 2017. — 130 с.
3. *Технический отчёт по результатам экспериментальной отработки технологии охлаждения газов в кри-*

огенном теплообменнике: LTC YZH PRT 005 00. — Днепр, 2017. — 274 с.

4. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: Инж. пособ. / Под ред. И. В. Бармина. — М.: Полиграфис РПК, 2005. — Кн. 1. — 417 с
5. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: Инж. пособ. / Под ред. И. В. Бармина. — М.: Полиграфис РПК, 2006. — Кн. 2. — 376 с.
6. Челомей В. Н. Пневмогидравлические системы двигателных установок с жидкостными ракетными двигателями. — М.: Машиностроение, 1978.—240 с.

Стаття надійшла до редакції 28.08.17

## REFERENCES

1. Belyaev N. M. Raschet pnevmogidravlicheskih sistem raket [Calculation of pneumohydraulic missile systems], 219 p. (Mashinostroenie, M., 1983) [in Russian].
2. Development of an effective technology for cooling gases in a cryogenic heat exchanger: LTC YZH PRT 002 00, 130 p. (Dnepr, 2017) [in Russian].
3. Technical report on the results of experimental testing of the gas cooling technology in a cryogenic heat exchanger: LTC YZH PRT 005 00, 274 p. (Dnepr, 2017) [in Russian].
4. Barmin I. V. (Eds.) Technological objects of ground infrastructure of rocket and space technology: Engineering assistance. Book 1, 417 p. (Poligrafis RPK, M., 2005) [in Russian].
5. Barmin I. V. (Eds.) Technological objects of the ground infrastructure of rocket and space technology: Engineering assistance. Book 2, 376 p. (Poligrafis RPK, M., 2006) [in Russian].
6. Chelomey V. N. Pnevmoгidравлические системы двигателных установок с жидкостными ракетными двигателями [Pneumohydraulic systems of propulsion systems with liquid rocket engines], 240 p. (Mashinostroenie, M., 1978) [in Russian].

I. V. Selezniova, P. O. Mochionov,  
Ya. V. Semenenko, M. P. Salo, G. M. Ivaniцкий

Державне підприємство «Конструкторське бюро  
«Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗУ В КРИОГЕННОМУ ТЕПЛОБМІННИКУ

Для відпрацювання процесу охолодження газу, що заправляється в кулебалони ракети-носія на стендовій базі ДП «КБ «Південне» створено експериментальну установку. Виконано перевірку технології охолодження гелію в змієвиковому теплообміннику, зануреного в рідкий азот. За результатами випробувань наведені рекомендації щодо практичного застосування технологій охолодження гелію, який заправляють у кулебалони ракети-носія.

**Ключові слова:** криогенний теплообмінник, охолодження газу, гелій, рідкий кисень, газ, рідкий азот, кулебалон, випробування, наддув.

I. V. Selezniova, R. A. Mochionov,  
Ya. V. Semenenko, M. P. Salo, G. M. Ivanitsky

Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GAS COOLING IN CRYOGENIC HEAT EXCHANGER

The paper deals with an experimental setup for testing the process of cooling the gas fueled up to the launch vehicle gas bottle, which was created at the test stand of the Yangel Yuzhnoye State Design Office. The technology of helium cooling in a coil-type heat exchanger, immersed in liquid nitrogen was verified. The results of tests to elaborate the recommendations for practical application of this technology have permitted.

**Keywords:** cryogenic heat exchanger, gas cooling, helium, liquid oxygen, kerosene, liquid nitrogen, gas bottle, supercharging.

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.052>

УДК 658.149.3:629.7

**И. Н. Жариков, В. А. Воротников, Т. А. Кукушкина**

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепро, Украина

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ КАК ИНСТРУМЕНТА КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ РАЗРАБОТЧИКОВ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИННОВАЦИЙ

---

*Статья посвящена вопросам коммерциализации нематериальной составляющей результатов НИР и ОКР с использованием механизма трансфера технологий с целью совершенствования стратегии работы с интеллектуальной собственностью предприятия-разработчика высокотехнологичных инноваций. Возможности трансфера технологий рассматриваются применительно к специфике ракетно-космической отрасли Украины с учетом зарубежного опыта. Проанализированы практические аспекты заключения договоров трансфера космических технологий и предложены возможные варианты передачи технологий, включающие передачу прав на интеллектуальную собственность.*

**Ключевые слова:** трансфер технологий, стратегическое планирование, инновационный продукт, интеллектуальная собственность, коммерциализация.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Результаты инновационной деятельности разработчика новой техники определяются как способностью создать конкурентоспособный инновационный продукт (ИП), так и способностью эффективно вывести на рынок результаты научно-технической деятельности (РНТД). Трансфер технологий (ТТ) является одним из эффективных инструментов инновационного развития фирм-разработчиков и активно применяется в западном высокотехнологичном бизнесе в качестве средства распространения новшеств путем коммерческой реализации комплексного ИП, включающего интеллектуальную собственность (ИС). В то же время в Украине использование механизма ТТ в ракетно-космической отрасли (РКО) только начинает развиваться.

Вопросы трансфера технологий в рамках инновационного процесса рассматривали многие ученые, среди которых О. Андросова, О. Бедюх, О. Винник, Ю. Капица, Б. Падучак, С. Брэдли, Г. Буллен, С. Слотер и другие. Значительное внимание уделялось институциональным основам и договорному регулированию механизма ТТ, однако проблема коммерциализации ИС при передаче технологий исследована не в полной мере.

В частности, перспективным направлением является рациональная увязка стратегических задач инновационной деятельности предприятия-разработчика с ресурсами учреждений инновационной инфраструктуры и возможностями институциональных инструментов поддержки инновационного развития. В этом аспекте существенную роль играет способность эффективно использовать договорные механизмы для выбора рациональной схемы коммерциализации

---

© И. Н. ЖАРИКОВ, В. А. ВОРОТНИКОВ,  
Т. А. КУКУШКИНА, 2017

высокотехнологичного ИП с учетом значительной роли, которую играет ИС.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Целью статьи является анализ путей совершенствования инновационной стратегии предприятия-разработчика ракетно-космической техники (РКТ) с учетом возможностей механизма ТТ в аспектах обеспечения выведения на рынок комплексного ИП, включающего ИС.

Реализуя системный подход к решению исследуемой проблемы, предлагаем последовательно рассмотреть четыре аналитических блока. Первый блок включает вопросы формирования понятийного аппарата, нормативно-законодательной базы и построенного на их основании теоретико-методологического обоснования реализации инновационной деятельности предприятия-разработчика новой техники. Второй блок позволяет наметить направления формирования отечественной инновационной инфраструктуры в РКО на основе анализа соответствующих инфраструктурных решений в ведущих космических государствах. Третий блок характеризует организационно-управленческое обеспечение работы с ИС при решении стратегических задач инновационного развития предприятия-разработчика высокотехнологичного ИП. Четвертый блок направлен на решение прикладных задач договорно-юридического обеспечения и экономического обоснования совершенствования коммерциализации высокотехнологичного ИП с учетом значимости ИС.

Основное исходное положение данного исследования заключается в том, что, по мнению авторов, наиболее перспективным направлением комплексного совершенствования инновационного развития предприятий украинских высокотехнологичных отраслей и, в частности, РКО является рациональное использование договорного механизма ТТ с одновременным формированием эффективной инновационной инфраструктуры.

В вопросах ТТ, на наш взгляд, значительную роль играет понимание границ и связей между категориями «РНТД», «технология» (как результат творческой деятельности), «информация» и

«ИС». Во-первых, в этом аспекте необходимо обратить внимание на расхождения в содержании понятий, приведенных в различных нормативных документах, что усложняет задачи юридической практики. Во-вторых, критического отношения заслуживает стремление ряда исследователей установить иерархическую последовательность или соподчиненность указанных понятий, даже когда это не имеет смысла.

В качестве примера можно привести такие попытки для категорий ИС и «информация». Как отмечает А. Кодинец, сфера правового регулирования информационных отношений намного шире института ИС, поскольку информация не всегда является результатом творчества, который охраняется как ОПИС, потому в юриспруденции продолжается процесс формирования целостной системы понятий и категорий касательно информации как объекта правовой охраны [5, с. 17]. Со своей стороны подчеркнем, что формализованная специальным образом совокупность данных, охраняемых в виде ОПИС, не только имеет особый юридический статус, но и представляет собой обособленную (специфическую и локализованную) экономическую категорию, что лишает практического смысла рассуждения о первичности или главенстве этих категорий. Поэтому логично, что в договорной практике регулирование взаимоотношений сторон в части информации и ОПИС четко разделено.

Как считает О. Винник, зарубежный опыт подтверждает необходимость установить базовые основания договорных отношений государственно-частного партнерства в законе, который отразит особые признаки, обуславливающие актуальность специального регулирования этих договорных отношений [3, с.15].

Причем, как полагает Б. Падучак, в договорных моделях, которые не предусмотрены Гражданским кодексом Украины (ГКУ) или специальными законами, регулируемыми соответствующий вид договоров, существенными условиями должны признаваться только предмет, необходимые условия для договоров данного вида и те условия, которые должны быть согласованы в соответствии с заявлением хотя бы одной из сторон договора [6, с. 68].

С начала столетия под эгидой влиятельных международных организаций (структуры ООН, ЕС, мирового банка и т. д.) выпущены различные документы нормативно-методического характера, которые рассматривают все важные аспекты реализации ТТ, как, например, аспекты ИС в Рекомендациях Еврокомиссии по трансферу знаний [9]. Кроме того, с сентября 2012 г. украинские инноваторы располагают существенно доработанной версией Закона о трансфере технологий. Тем не менее, многие важные аспекты коммерциализации результатов НИР и ОКР при помощи этого механизма остаются неясными для отечественных разработчиков. Особенно это касается высокотехнологичных отраслей, в которых нематериальная составляющая ИП в виде ИС может оказать значительное влияние на формирование договорной цены. Причем, подход, согласно которому предмет договора о ТТ можно отождествить с объектом права интеллектуальной собственности (ОПИС), должен применяться с соблюдением ряда условий и уточняющих оговорок. В частности, отмечается, что продажа незапатентованной разработки, как правило, снижает ставку роялти, поскольку, учитывая возможности реинжиниринга, сохранить монополию на незащищенную информацию сложно, поэтому лицензии на «ноу-хау» в мировой практике рассматривают в качестве дополнения к лицензии на изобретения или другие ОПИС, защищаемые охранным документом [4, с. 57–58].

Подчеркнем, что принятие решений по использованию механизма ТТ основано на учете особенностей предмета сделки, которые сказываются на выборе конкретной договорной схемы. Механизм ТТ в отечественном законодательстве в основном формируется в соответствии с международной юридической и бизнес-практикой, что позволяет говорить о непротиворечивой интеграции в международные процессы ТТ. В то же время ряд западных исследователей аргументированно критикует сложившиеся подходы к формированию механизма ТТ и предлагают пути его совершенствования [7, 10]. Тем не менее, система институциональной поддержки ТТ в ведущих космических державах построена и дает положительные результаты.

В связи с последним аспектом, применительно к отечественной практике рекомендуется обратить внимание на широкие возможности инфраструктурных учреждений по оказанию услуг в области содействия инновационного развития предприятий-разработчиков новшеств, начиная от решения различных задач поддержки в создании инноваций и заканчивая задачами коммерциализации разработок [1, 2].

Государственная поддержка коммерциализации разработок РКО активно действует в международной практике. Американское космическое агентство NASA, и другие федеральные органы, регулирующие космическую деятельность, руководствуются принципом необходимости активного внедрения инноваций в высокотехнологичных отраслях. Этому способствует действующее законодательство США, детально регламентирующее финансовые, налоговые, антимонопольные и другие механизмы инновационной деятельности. Кроме того, законодательством США также определены приоритеты в коммерциализации технологий РКО [11]. Предусматривается использование следующих институциональных механизмов и учреждений инновационной инфраструктуры:

- государственная программа партнёрства в сфере инноваций,
- совместные проекты с частными организациями,
- работа государственного «Офиса коммерциализации космоса» в соответствии с Законом США «О коммерческой космической деятельности»,
- информирование общественности о коммерческих возможностях в сфере исследования и освоения космоса,
- создание в NASA базы данных технологий, которые предложены для использования в частном секторе. При этом применяют упрощённый подход к предоставлению неисключительной лицензии, который предусматривает стандартные условия предоставления, цену и размер ежегодных роялти, а заявки подаются по упрощённой форме в онлайн режиме,
- использование возможностей сети «бизнес-инкубаторов» под руководством «Национальной

ассоциации бизнес-инкубаторов», которая действует в США с целью поддержки малого и среднего бизнеса.

Американская программа ТТ в рамках NASA возложена на специальное подразделение — «Офис главного технолога» (Office of the chief technologist). Одним из инструментов информационной системы ТТ является специальный портал, на котором размещается информация о технологических достижениях агентства и всех предприятий отрасли. База данных NASA Spinoff демонстрирует успешный пример сотрудничества NASA и частного сектора.

В отличие от США, где разработка и реализация космических проектов осуществляется не только под эгидой государственных структур, но и частными компаниями, космическая деятельность в ЕС реализуется в рамках программ Европейского космического агентства (ESA) как межгосударственного учреждения. Такая организационная форма продиктована соображениями рационального использования финансовых, производственных и кадровых ресурсов стран ЕС. Деятельность осуществляется согласно единой «Европейской космической политике», которая учитывает целесообразность активного применения схемы государственно-частного партнёрства. Согласно европейской технологической программе вопросы ТТ возложены на «Офис трансфера технологий» (Office of Technology Transfer).

Инструменты коммерциализации результатов работы ESA включают:

- создание под эгидой ESA венчурного «Фонда технологий открытого космоса» для поддержки организаций, использующих космические технологии,
- осуществление программ исследований и реализация инновационных проектов с коммерциализацией результатов космической деятельности в программах исследования ЕС, в первую очередь «Горизонт-2020»,
  - внедрение программ по ТТ,
  - внедрение инициатив по созданию «бизнес-инкубаторов»,
  - реализацию схем государственно-частного партнёрства с целью коммерциализации результатов космической деятельности,

- формирование портфеля продукции и услуг с высокой степенью востребованности на рынке.

Что касается Украины, в настоящее время нет государственной программы по развитию и поддержке промышленности в целом и РКО в частности, институциональных механизмов коммерциализации разработок РКО и учреждения инфраструктуры для реализации интеллектуального продукта, основанного на космических технологиях. Причем, в соответствии с украинским законодательством, решение о возможности международного ТТ в РКО принимает уполномоченный государственный орган, а это значит, что получение разрешения становится дополнительным препятствием.

Учитывая, что мировой опыт показывает разнообразие институциональных механизмов в РКО, для успешной коммерциализации ОПИС в РКО Украины необходимо задействовать все возможные механизмы инновационного развития, для чего:

- создать систему государственной поддержки по внедрению технологий РКО в другие отрасли;
- организовать вовлечение в выполнение Государственной космической программы государственных корпораций, акционерных обществ с государственным участием, общественных, научных и иных организаций, а также внебюджетных фондов с целью расширения государственно-частного партнёрства;
- привлечь ресурсы национальных организаций инновационной инфраструктуры (биржи, базы данных и специализированные площадки для реализации проектов РКО);
- реализовать поддержку университетов и учебных центров как одного из источников инновационных разработок РКО;
- использовать программы международных организаций инновационной инфраструктуры (программы ЕС, международного научно-технического сотрудничества).

В то же время, исходя из анализа организации инновационной деятельности РКО в США и ЕС, представляется целесообразным акцентировать внимание на следующих двух основных направлениях коммерциализации РНТД применительно к РКО Украины:

- использование возможностей национального космического агентства на примере NASA и ESA для реализации проектов в собственных интересах и по договорам с ведомствами других государств, а также с частными фирмами;

- осуществление программ по передаче технологий, разработанных в рамках космической деятельности, частным фирмам для использования как в космической сфере, так и, в случае двойного назначения, для использования в других отраслях.

Резюмируя основные положения развития теоретической и нормативной баз ТТ с учетом роли инфраструктуры, можно заключить, что использование прав на ОПИС в договорах ТТ требует соответствующего обоснования в стратегии инновационного развития предприятия-разработчика.

Формирование эффективной стратегии создания и использования ОПИС необходимо рассматривать как важное условие обеспечения конкурентоспособности отдельных ИП и предприятия-разработчика в целом. Одной из основных задач при этом является непротиворечивая интеграция этой стратегии в общую стратегию инновационного развития предприятия. В рамках выработки этой стратегии должны быть всесторонне проанализированы возможные пути использования нематериальных РНТД в виде ОПИС. Таким образом, при построении аналитического аппарата методы системного и факторного анализа конкурентоспособности ИП необходимо объединить со специализированными методами оценки рыночных свойств ИС и методами исследования правовых механизмов и договорной практики.

Комплекс стратегического планирования, являясь частью системы управления предприятия, должен строиться с учетом задач обеспечения работы с ИС. Исходя из такой постановки, под управлением ИС следует понимать совокупность построенных на инновационных принципах политики, стратегии и организационно-управленческих механизмов, процедур принятия и выполнения управленческих решений в обеспечение наиболее рационального создания и использования основанного на ОПИС интеллектуального продукта предприятия.

Методология комплексного обоснования создания и использования ОПИС включает выбор вариантов их коммерциализации, как показано на рисунке. В наиболее общем случае речь идет об идентификации, юридическом оформлении и коммерциализации ОПИС. Выработка стратегических решений основывается на анализе вариантов полной передачи прав (отчуждения) или предоставление прав на использование ОПИС на условиях лицензии.

Таким образом, построение стратегии и системы работы с ИС на отечественном предприятии-разработчике ИП должно учитывать особенности существующей государственной системы инновационного развития, в частности слабое развитие инновационной инфраструктуры, а также отсутствие мер монетарной и немонетарной поддержки и стимулирования инноваторов.

В силу специфики высокотехнологичных отраслей, в том числе РКО, в западной коммерческой практике широко применяется механизм ТТ, который включает лицензионные договоры на использование изобретений, договоры на передачу ноу-хау и другие ОПИС [8]. В числе основных актов, которые определяют требования к заключению договоров о ТТ в США и ЕС являются: «Антимонопольные правила в сфере лицензирования интеллектуальной собственности» (США), Регламент Комиссии ЕС № 316/2014 от 21.03.2014 г. о применении ст. 81 (3) Договора о создании ЕЭС к договорам о передаче технологий и ряд других.

Договорная практика в РКО свидетельствует, что в случаях разработки РКТ обычно заключаются не самостоятельные договоры о передаче исключительных прав на ОПИС, а договоры смешанного типа, содержащие условия договоров о предоставлении услуг, поставки, подряда (в т. ч. проведения проектных работ), совместной деятельности, ТТ, о выполнении НИР и ОКР.

Если NASA и ESA осуществляют коммерциализацию разработок РКО по договорам НИР и ОКР или ТТ, то они сопровождаются лицензионными договорами на предоставление права пользования ОПИС и передачей прав на информацию. Кроме того, использование ОПИС регулируется международными и национальными норматив-

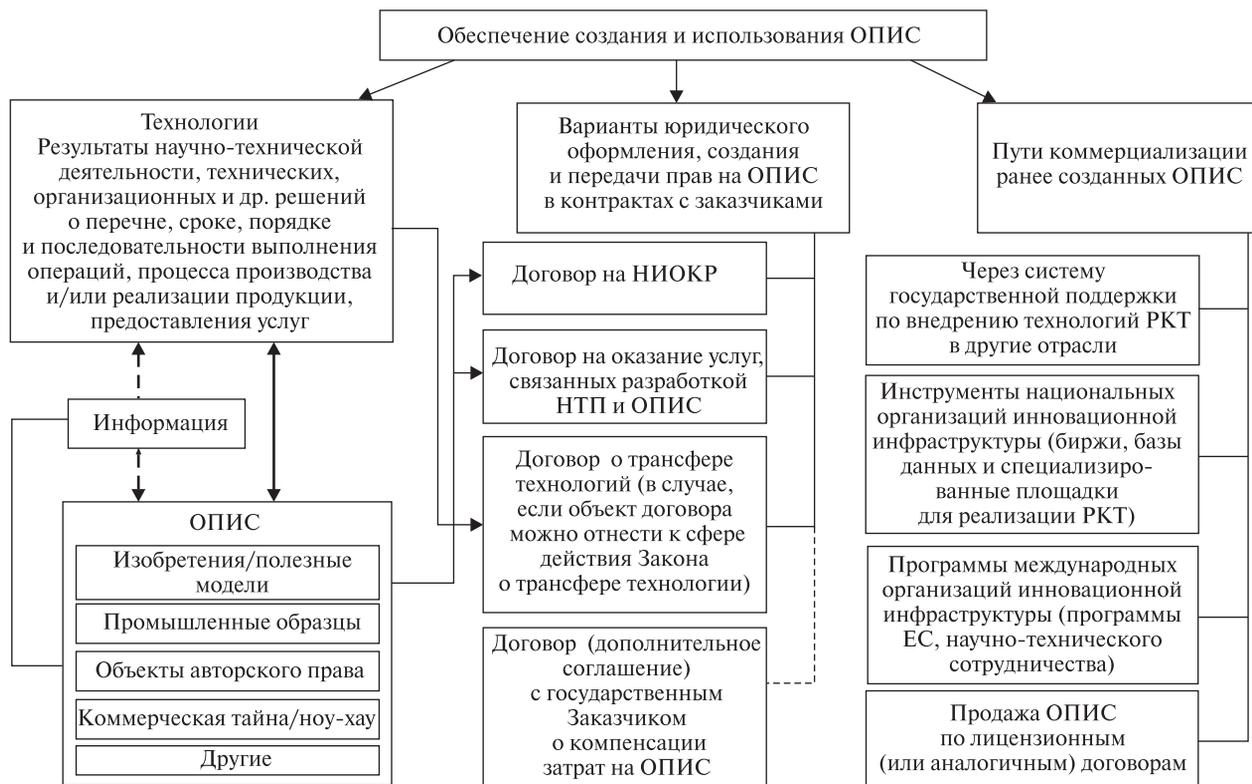


Схема исходных положений формирования стратегии работы с ОПИС

ными актами в области ИС. При этом не применяются договоры о передаче прав на информацию, если она защищается в виде ОПИС.

Таким образом, в соответствии с практикой деятельности NASA и ESA коммерциализация технологий осуществляется в основном по договорам двух типов. Первый тип – это договора об осуществлении партнёрских проектов государственных структур с частным сектором, включающие вопросы лицензирования в обеспечение использования РНТД в виде ОПИС, права на которые принадлежат космическим ведомствам. Второй тип договоров предусматривает предоставление лицензий на использование прав на ОПИС в составе передаваемой технологии, в том числе ноу-хау, касающихся процессов (технологий), устройств, веществ. При этом необходимо подчеркнуть, что единых типовых условий коммерциализации ОПИС нет.

В Украине договоры, предметом которых является передача технологии и соответствующее

предоставление прав на ОПИС, подпадают под действие Закона Украины «О государственном регулировании деятельности в сфере трансфера технологий» № 5407-VI от 02.10.2012 г. (далее – Закон о ТТ).

Согласно ст. 20 Закона о ТТ, заключение договора о ТТ подразумевает передачу прав на использование ОПИС. Рекомендуются вместе с договором о ТТ заключать один из договоров о распоряжении имущественными правами на ИС, который в соответствии с гл. 75 ГКУ определяется как лицензия на использование ОПИС.

Одновременно с договором о ТТ могут заключаться договоры о:

- гарантии для приобретателей технологий относительно возможности достижения экономических выгод в результате промышленного применения технологии,
- гарантии конфиденциальности и неразглашения информации для лиц, которые передают технологию,

- проведении инжиниринговых, экологических или других работ, необходимых для применения технологий;

- авторском сопровождении и обслуживании оборудования.

Таким образом, в соответствии с Законом о ТТ коммерциализация ОПИС возможна как по лицензионным договорам, так и непосредственно по договору о ТТ.

Кроме того, заключение в Украине договоров, предмет которых подразумевает использование результатов НИР и ОКР, регулируется ГКУ, законом Украины «О научной и научно-технической деятельности», а также законами по вопросам ИС. Передача прав на информацию возможна в рамках договоров, в которых даётся определение научно-технической продукции как научного и (или) научно-прикладного результата, предназначенного для реализации. В случае идентификации информации как ОПИС (документация, изобретения, полезные модели, ноу-хау и др.) применяются положения ГКУ о заключении договоров на распоряжение имущественными правами на ИС.

Для ГП «КБ «Южное», как ведущего предприятия-разработчика РКО Украины, наиболее типичным конечным ИП является проектно-конструкторская документация, причем в тех случаях, когда речь идет о предоставлении инновационных услуг в области космической деятельности. Исходя из международного и национального законодательства в сфере ИС, такой ИП или сам является ОПИС, или создан на основе ИС. Поэтому при коммерциализации такого ИП в рамках любых договорных схем целесообразно отождествлять стоимость создания объекта разработки со стоимостью ОПИС и вносить соответствующие пункты в договор на выполнение работ.

В результате совместной работы ГП «КБ «Южное» и Центра исследования интеллектуальной собственности и передачи технологий НАН Украины проанализированы возможности передачи РНТД по договору о ТТ. В частности, при заключении договора, предметом которого является передача имущественных прав на технологию, рекомендуется определить вид договора по рас-

поряжению имущественными правами на ОПИС в составе имущественных прав на технологию, предусмотреть существенные и обязательные условия договора в соответствии со ст. 19 Закона о ТТ, а также исключить условия, которые не допускаются статьей 21.

При заключении договора на проведение НИР и ОКР с иностранным заказчиком в случае, если имущественные права на нематериальные результаты выполнения договора принадлежат ГП «КБ «Южное» и передаются заказчику, необходимо указать, что предприятие имеет права на такие результаты (включая исключительные права на ОПИС и права на информацию), указать, что такие данные сохраняются предприятием в режиме конфиденциальности, а также указать срок охраны таких данных в конфиденциальном режиме.

В случае, если ранее созданные РНТД-ОПИС в обеспечение выполнения задач по договору передаются иностранному заказчику на лицензионной основе, необходимо обозначить условия лицензии (вид, территорию, способ использования, срок, условия оплаты).

Если права на ОПИС остаются за исполнителем — ГП «КБ «Южное», целесообразно указать срок, на который заказчику предоставляется право использования ОПИС, как срок действия договора или другой срок, а также определить ответственность заказчика за использование ОПИС после окончания срока действия договора.

В случае заключения внешнеэкономических договоров о ТТ, необходимо учесть требования, утвержденные приказом Министерства экономики по вопросам экономической интеграции Украины № 201 от 06.09.2001 г.

Во всех рассмотренных договорах могут быть отражены вопросы прав на информацию, причём использование положений о её сохранении в режиме конфиденциальности позволяет применить механизм правовой охраны РНТД в виде секретов производства (ноу-хау) как разновидности коммерческой тайны. При этом идентифицируют права использования этих объектов и срока сохранения их в режиме конфиденциальности.

## ВЫВОДЫ

Анализ инновационной инфраструктуры в ведущих космических державах показал, что уровень ее развития оказывает значительное влияние на возможности и результаты коммерциализации РНТД предприятий-разработчиков РКТ. В случае слабого развития инновационной среды, приоритетным становится повышение эффективности стратегии обеспечения коммерциализации ИС, включая вопросы рационального использования ТТ и распределения прав на ОПИС.

Новизна предлагаемого подхода для отечественных предприятий-разработчиков РКТ заключается в использовании преимуществ механизма ТТ в аспектах коммерциализации ИС. Во-первых, это регламентирование оформления договоров о ТТ в отдельном организационном документе, например положении о ТТ предприятия, учитывающем порядок передачи имущественных прав как на технологии, так и на ОПИС. Во-вторых, идентификация объекта технологии с уточнением его составных частей при одновременном согласовании и фиксации обязательных и существенных условий согласно ст. 19 Закона о ТТ, которые вытекают из предмета обязательств.

Практическую ценность представляет предлагаемый системный подход к коммерциализации ОПИС как нематериальной составляющей комплексного ИП, что позволяет получить более выгодную договорную цену на реализацию РНТД в целом. Показано, что в настоящее время наиболее предпочтительной схемой распределения прав на ОПИС, не только в договорах на НИР и ОКР, но и в договорах ТТ, для украинского высокотехнологического предприятия является такая схема, по которой все имущественные права на ОПИС в результате работ по договору принадлежат ему как исполнителю, а права пользования ОПИС передаются заказчику на основании лицензионного договора.

В дальнейших исследованиях актуален детальный анализ специфических преимуществ использования отечественными предприятиями-разработчиками РКТ договоров о ТТ с целью коммерциализации совокупности ОПИС, определяющих выводимую на рынок технологию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андросова О. Ф., Череп А. В. Трансфер технологій як інструмент реалізації інноваційної діяльності: Монографія. — К.: Кондор, 2007. — 356 с.
2. Бедюх О. Р., Новікова І. Е., Зенова М. В. Напрями інфраструктурної підтримки системи трансферу технологій в Україні у контексті імплементації європейських принципів управління [Електронний ресурс] // Економічний простір. — 2016. — № 111. — С. 61–72. — Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecpros\\_2016\\_111\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecpros_2016_111_8)
3. Винник О. М. Средства саморегулирования в отношениях государственно-частного партнерства: проблемы усовершенствования правового регулирования [Электронный ресурс] // Право и инвестиции. — 2014. — № 1–2. — С. 12–20. — Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apir\\_2014\\_1-2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apir_2014_1-2_4).
4. Каница Ю. М., Аралова Н. І. Визначення ставок роялті у міжнародних договорах про передачу технологій // Наука та інновації. — 2015. — 11, № 2. — С. 55–74. — Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/scinn\\_2015\\_11\\_2\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/scinn_2015_11_2_7)
5. Кодинець А. Інтелектуальна власність та інформаційні відносини: теоретичні засади правового регулювання // Підприємництво, господарство і право. — 2016. — № 8. — С. 16–20. — Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pgip\\_2016\\_8\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pgip_2016_8_4)
6. Падучак Б. М. Некоторые аспекты существенных условий договоров о трансфере технологий [Электронный ресурс] // Теоретические и практические аспекты экономики и интеллектуальной собственности. — 2013. — Вып. 2 (1). — С. 154–159. — Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpaeiv\\_2013\\_2%281%29\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpaeiv_2013_2%281%29_25)
7. Bradley S., Hayter C., Link A. Models and Methods of University Technology Transfer [Electronic resource]. — 2013. — 73 p. — Mode of access: <http://bae.uncg.edu/assets/research/econwp/2013/13-10.pdf>
8. Bullen G. N. Successful Composites Technology Transfer: Applying NASA Innovations to Industry. — Society of Manufacturing Engineers (SME), 2015. — 350 p.
9. Commission Recommendation of 10 April 2008 on the management of intellectual property in knowledge transfer activities and Code of Practice for universities and other public research organisations [Electronic resource]. — Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008H0416>
10. Slaughter S. Academic Capitalism in the Age of Globalization Paperback. — Baltimore, 2014. — 296 p.
11. US National Space Policy, National Security Presidential Directives (NSPD) 49, Office of Science and Technology Policy [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.space.commerce.gov>

Стаття надійшла до редакції 28.08.17

REFERENCES

1. *Androsova O. F., Cherep A.V.* Transfer tehnologiy ak instrument realizatsii innovatsiyanoi dialnosti: Monografiya, 356 p. (Kondor, K., 2007).
2. *Bedyuh O. R., Novikova I. E., Zenova M. V.* Napryami infrastrukturnoi pidtrimki sistemi transferu tehnologiy v Ukraine v konteksti implementatsii evropeyskikh printsipiv upravlinna [Electronic resource]. *Economic Space*, N 111, 61–72 (2016). — Mode of access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecpros\\_2016\\_111\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecpros_2016_111_8)
3. *Vinnik O. M.* Sredstva samoregulirovaniya v otnosheniah gosudarstvenno-chastnogo partnerstva: problemy usovershenstvovsniya pravovogo regulirovaniya (Means of self-regulation in the relations of public-private partnership: problems of improvement of legal regulation) [Electronic resource]. *Law and Investments*, N 1–2, 12–20 (2014). — Mode of access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apir\\_2014\\_1-2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apir_2014_1-2_4) [in Russian].
4. *Kapitsa Yu. M., Aralova N. I.* Vznachenna stavok roalti u mizhnarodnih dogovorah pro peredachu tehnologiy. [Electronic resource]. *Science and Innovation*, 11 (N 2), 55–74 (2015). — Mode of access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/scinn\\_2015\\_11\\_2\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/scinn_2015_11_2_7)
5. *Kodynets A.* Intel'ektualna vlasnist ta informatsiyni vidnosyny: teoretichni zasady pravovogo reguluyuvannya. *Entrepreneurship, economy and law*, N 8, 16–20 (2016). — Mode of access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pgip\\_2016\\_8\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pgip_2016_8_4)
6. *Paduchak B. M.* Nekotore aspekty syshchestvennykh usloviy dogovorov o transporte tehnologiy (Some Aspects of the Essential Terms of the Technology Transfer Agreements) [Electronic resource]. Theoretical and practical aspects of economics and intellectual property, N 2 (1), 154–159 (2013). — Mode of access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpaeiv\\_2013\\_2%281%29\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpaeiv_2013_2%281%29_25) [in Russian]
7. *Bradley S., Hayter C., Link A.* Models and Methods of University Technology Transfer [Electronic resource], 73 p. (2013). — Mode of access: <http://bae.uncg.edu/assets/research/econwp/2013/13-10.pdf>
8. *Bullen G. N.* Successful Composites Technology Transfer: Applying NASA Innovations to Industry, 350 p. (Society of Manufacturing Engineers (SME), 2015).
9. *Commission* Recommendation of 10 April 2008 on the management of intellectual property in knowledge transfer activities and Code of Practice for universities and other public research organisations [Electronic resource]. — Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008H0416>
10. *Slaughter S.* Academic Capitalism in the Age of Globalization Paperback, 296 p. (Baltimore, 2014).
11. *US National Space Policy*, National Security Presidential Directives (NSPD) 49, Office of Science and Technology Policy [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.space.commerce.gov>

*I. M. Жариков, В. А. Воротников, Т. О. Кукушкина*  
Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСФЕРУ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ІНСТРУМЕНТУ КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ РОЗРОБНИКІВ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ

Статтю присвячено питанням комерціалізації нематеріальної складової результатів НДР і ДКР з використанням механізму трансферу технологій з метою вдосконалення стратегії роботи з інтелектуальною власністю підприємства-розробника високотехнологічних інновацій. Можливості трансферу технологій розглядаються стосовно специфіки ракетно-космічної галузі України з урахуванням зарубіжного досвіду. Проаналізовано практичні аспекти укладення договорів трансферу космічних технологій і запропоновані можливі варіанти передачі технологій, що включають передачу прав на інтелектуальну власність.

**Ключові слова:** трансфер технологій, стратегічне планування, інноваційний продукт, інтелектуальна власність, комерціалізація.

*I. N. Zharikov, V. A. Vorotnikov, T. A. Kukushkina*

Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine

TECHNOLOGY TRANSFER AS A TOOL FOR THE INTELLECTUAL PROPERTY COMMERCIALIZATION BY DEVELOPERS OF HIGH-TECH INNOVATIONS

The article discusses the commercialization issues of the intangible component of research and development results using the technology transfer mechanism. The aim of the technology transfer application is to improve the strategy of approach to the intellectual property for the enterprise that develops high-tech innovations. The possibilities for technology transfer are considered in relation to the specifics of the space industry in Ukraine, taking into account foreign experience. Practical aspects of several contracts for the transfer of space technologies are analyzed and possible options for technology transfer, including the transfer of intellectual property rights, are proposed.

**Keywords:** technology transfer, strategic planning, innovative product, intellectual property, commercialization.

---

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.061>

УДК 330.4

**П. Я. Калига**

Украинская ассоциация совершенства и качества, Киев, Украина

## **СОВРЕМЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЯМ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ — СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА**

---

*Предложена комплексная модель современной целостной системы менеджмента, основанная на концепциях совершенства, стандартах на целевые системы менеджмента и лучших деловых практиках. Предложенная модель способствует предприятиям в освоении принципов ООН по социальной ответственности и ориентирует их на достижение целей ООН по устойчивому развитию. Эффективность предложенного подхода подтверждена практикой многих ведущих компаний Европы и мира. Применение предприятиями космической отрасли системы менеджмента с учетом предложенной модели будет способствовать повышению их совершенства и конкурентоспособности на глобальном насыщенном рынке.*

**Ключевые слова:** системы менеджмента (СМ), концепции и модель совершенства EFQM, стандарты на целевые системы менеджмента, совершенство, конкурентоспособность, социальная ответственность, устойчивое развитие.

---

### **ВВЕДЕНИЕ**

В украинской промышленности особое место занимают предприятия (организации) космической отрасли. Создавая на протяжении длительного времени уникальные образцы сложнейшей высокоточной продукции, они завоевали признание далеко за пределами Украины. В то же время, в условиях современного развития мировой науки и технологий, в период колоссальных изменений, порождаемых четвертой промышленной революцией, конкурентоспособность предприятий определяется уже не столько продукцией, сколько применяемыми ими моделями и системами управления, системами менеджмента. И в этой части для удержания лидирующих позиций и впредь, украинским предприятиям космической отрасли весьма желательно внедрить в свою практику самый современный мировой опыт системного управления. И не только качеством, где

они уже и сами достигли значительных результатов, но и эффективностью функционирования этих предприятий в целом.

В этой связи заслуживает внимания опыт ведущих компаний Европы и мира по созданию у себя целостных систем менеджмента, базирующихся на современных подходах к проектированию таких систем и лучших деловых практиках.

### **РАЗМЫШЛЕНИЕ ПО ПОВОДУ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МЕНЕДЖМЕНТА**

В последние годы все острее встает вопрос: «Почему большинство компаний Украины, впрочем, как и других стран СНГ, после внедрения системы менеджмента по ISO 9001 и подобным стандартам не получает ожидаемого эффекта? Почему эти компании не становятся такими же успешными, как продвинутые европейские? Почему в обществе формируется недоверие к стандартам на целевые системы менеджмента и к

---

© П. Я. КАЛИГА, 2017

системам менеджмента?». В поисках ответа посмотрим, как создаются сложные технические системы.

Созданию новых сложных технических систем предшествуют новые идеи. Далее — общие эскизы и схемы. Расчеты. Модели. Общая компоновка. Только после этого Генеральный конструктор выдает задания главным конструкторам на проектирование различных сборочных единиц. Этим обеспечивается их совместимость, целостность и гармоничность в дальнейшем.

Если же в действующей технической системе заменяют какой-либо блок на модернизированный, то обязательно обеспечивают, чтобы новый блок «вписался» в отведенное ему место, был совместим со всеми стыковочными узлами и по параметрам соответствовал условиям системы. Либо систему «подгоняют» под новые возможности модернизированного блока.

А теперь представьте, что вы пытаетесь установить двигатель современного гоночного автомобиля на свои старенькие Жигули (без их изменения). Не трудно вообразить, каким будет результат. Так почему же мы хотим современную и весьма непростую систему управления качеством по ISO 9001 «встроить» в, как правило, неразвитую систему менеджмента предприятия без усовершенствования последней? При этом, не затрудняя себя изучением «сборочных чертежей» системы менеджмента и осмыслением, что и с чем нужно состыковать для совместной согласованной работы. Более того, внедряя ISO 9001, мы зачастую даже не удосуживаемся выполнить диагностику и оценку состояния существующей системы менеджмента в целях ее последующей модернизации.

Как появляются стандарты на целевые системы менеджмента? Они не «срисовываются с потолка». И прототипами для их разработки служат не отстающие предприятия, а наиболее успешные компании с современными целостными системами менеджмента, отличающимися, прежде всего, органическим сочетанием развитой корпоративной культуры, продвинутых целевых подсистем управления и хороших деловых практик. А мы упрощенно читаем стандарты и пытаемся «внедрить» их требования в своих организациях

без учета уже сложившихся у нас систем менеджмента и корпоративной культуры. Это бесперспективно. Разве что надежда на позитивный результат может быть в случаях, когда предприятия, внедряющие целевые системы в соответствии со стандартами, уже имеют системы менеджмента (с учетом внутренней культуры), отвечающие современным требованиям. Но таких предприятий у нас, к сожалению, очень мало.

Закономерно напрашивается вывод: необходимо в корне изменить подход к проектированию и совершенствованию систем менеджмента. Нужно относиться к ним с достойным уважением, как к весьма сложным интеллектуальным системам, понимая, что от их совершенства в самой большой мере зависит успешность наших организаций. И, если говорить образно, обеспечить, наконец, переход от «аналоговых» систем управления к «цифровым».

### **ТРИ ПОДХОДА К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОМПАНИЙ**

В мире уже много десятилетий обобщается опыт организаций-лидеров и формируются методы его распространения. Это делается преимущественно по трем основным направлениям: выделение лучших деловых практик, принятие стандартов на целевые системы менеджмента, формирование концепций совершенства организаций с последующим их «переводом» на язык моделей идеальных организаций. Длительное время среди специалистов стран СНГ ведутся дискуссии, что для них является более приоритетным: применять международные стандарты на целевые системы менеджмента, руководствоваться концепциями и моделями совершенства либо сконцентрироваться на освоении лучших практик ведения бизнеса. Забегая вперед, скажу: для обеспечения максимальной эффективности и одни, и другие, и третьи подходы нужно применять совместно, комплексно. Дополняя и усиливая друг друга, они могут принести для организации наивысший эффект. Также как у человека: душа, тело и знания, в том числе приобретенные на практике, нераздельны и определяют его место и конкурентоспособность в этом мире.

## КОНЦЕПЦИИ СОВЕРШЕНСТВА КАК ОСНОВА КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРЫ УСПЕШНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Комплексное исследование успешных организаций уже десятилетия осуществляется на всех континентах с целью выделения фундаментальных концепций их совершенства. В сконцентрированном виде здесь кодируются самые общие сведения об организационной (корпоративной, деловой) культуре, иными словами — «духовном мире» успешных организаций. Использование концепций позволяет сотням тысяч организаций на всей планете лучше понять законы успешности, сформировать соответствующий им кодекс поведения и на этой основе быстрее, эффективнее и надежнее совершенствоваться.

Ниже приведены концепции совершенства (КС), отображающие деловую (организационную) культуру в версии EFQM (Европейского фонда менеджмента качества) — «законодателя мод» в части совершенных организаций на континенте [5]. Это: лидерство через видение, вдохновение и честность (КС1); достижение успеха через таланты людей (КС2); добавление ценности для потребителей (КС3); построение устойчивого будущего (КС4); развитие организационных способностей (КС5); использование творчества и инноваций (КС6); адаптивное управление (КС7); устойчивое достижение выдающихся результатов (КС8). В качестве иллюстрации коротко рассмотрим некоторые из них.

**Лидерство через видение, вдохновение и честность (КС1).** Лидеры совершенных организаций имеют видение будущего организации достаточно яркое и четкое, чтобы вдохновить весь персонал на творческую работу по его достижению. Сотрудники вовлекаются в работу по достижению этого видения не через механизмы приказа и принуждения, а через увлечение и вдохновение. При этом у сотрудников на всех уровнях управления есть механизмы, полномочия и ресурсы, чтобы инициировать и реализовывать инициативы, направленные на достижение такого видения. Лидеры совершенных организаций ведут себя честно и этично; они определяют ценности и принципы, в которые организация верит

и которые она соблюдает в своей деятельности. Лидеры всех уровней не только лично соблюдают их, но и демонстрируют это остальному персоналу, являясь для него примером поведения, соответствующего ценностям.

**Достижение успеха через таланты людей (КС2).** Совершенная организация рассматривает каждого сотрудника как человека, обладающего уникальными талантами, которые могут помочь усовершенствовать деятельность организации. Задача организации — понять эти таланты, создать условия для их развития и применения для общей пользы. Для этого сотрудники получают необходимые полномочия, ресурсы, среду, возможности для развития. Совершенные организации рассматривают талантливых сотрудников не как ресурс, а как равноправных партнеров в совершенствовании деятельности. Они стремятся обеспечить сбалансированное удовлетворение целей организации и личных целей каждого сотрудника. Это означает внимание к личным целям, ценностям и мечтам сотрудников, их системное обсуждение, готовность индивидуализировать систему мотивации, развития, оценивания персонала.

**Устойчивое достижение выдающихся результатов (КС8).** Любая деятельность или инициатива организации может быть высоко оценена, только если она обеспечивает достижение запланированных результатов, а достижение этих результатов, в свою очередь, способствует реализации миссии и видения. Совершенная организация умеет оценивать все направления своей деятельности, спроектировав для этого единую систему показателей деятельности — от глобальных показателей реализации миссии, до операционных показателей на нижних уровнях управления. Она использует эти показатели для анализа своей деятельности и выделения областей для совершенствования. Важно, чтобы эти показатели относились не только к финансовым аспектам деятельности или удовлетворенности потребителей, а позволяли оценить организацию с позиции всех заинтересованных сторон, сбалансировать их потребности и ожидания.

Как видим, концепции совершенства являются социально ориентированными. И это естественно,

потому что в условиях насыщенного рынка успешными могли стать только те организации, которые применяли подходы и методы, обеспечившие им лояльность всех заинтересованных сторон. Исходя из этого, каждая организация, положившая в основу своего развития концепции совершенства, шаг за шагом повышает также уровень своей социальной ответственности с учетом интересов всех заинтересованных сторон.

Для практического применения концепций в целях совершенствования используются специальные средства: модели совершенства; логика RADAR; шкала, уровни и лестница совершенства.

**Модели совершенства.** Модели совершенства — это конкретизированные концепции, изложенные «на другом языке». В мире известны семь основных моделей: австралийская, иберо-американская, индийская, сингапурская, США, японская и европейская (модель EFQM). Сравнение конкретной организации с моделью позволяет определить ее сильные и слабые стороны (области для совершенствования). Получение и анализ информации о лучшей практике позволяет организации разработать конкретную целенаправленную инновационную программу совершенствования на определенный период. После выполнения мероприятий программы организация вновь оценивается, т. е. сравнивается с моделью. И опять: сильные и слабые стороны — знания — программа... Виток за витком, по спирали, все выше и выше.

Одной из наиболее популярных является Модель совершенства EFQM, которая детально описывает современное мировое (в первую очередь европейское) восприятие совершенной организации, ее духовного мира. Использование этой Модели позволяет понять, где организация находится на пути к совершенству и определить дальнейшие шаги для повышения своего совершенства. Модель EFQM состоит из девяти критериев и 32 подкритериев [5].

**Логика RADAR.** В рамках каждого подкритерия Модели организации, исходя из своей специфики, стратегии и т.д., могут использовать самые разные деловые практики. Определить их

эффективность помогает логика RADAR, описывающая схему управления любой деятельностью. RADAR — это аббревиатура, расшифровываемая как Results (результаты), Approach (подходы), Deployment (распространение), Assessment (оценивание), Refinement (улучшение). Эта логика является циклом совершенствования, который применим ко всей организации.

**Шкала, уровни и лестница совершенства.** Для оценивания организационной культуры компаний на основе моделей совершенства в мире применяется 1000-бальная шкала. Если условная идеальная организация по этой шкале соответствует 1000 баллам, а самые лучшие европейские организации — 700—800 баллам, то лидеры стран СНГ сегодня достигают 550—650 баллов. Это высокий уровень, хотя до общеевропейских лидеров им еще далеко. Но такие предприятия можно, как говорится, пересчитать по пальцам. А важнейшим интегральным показателем, которым можно охарактеризовать любую страну, является соотношение уровней совершенства основных масс ее предприятий и предприятий развитых стран. На сегодня в странах СНГ — это 150—250 баллов, а в развитых европейских странах — 300—450 баллов. Это большой разрыв. И это фактор, определяющий отсталость наших экономик, их низкие уровни организационной культуры, конкурентоспособности, валового национального дохода на душу населения, качества жизни в целом.

EFQM в рамках шкалы ввел Схему уровней совершенства, что позволило отмечать лучшие компании Европы, а также те, которые еще не достигли этого уровня, однако показали высокие результаты. Подспорьем для целенаправленного и последовательного совершенствования компаний в странах Восточной Европы стала Лестница совершенства, разработанная в 2006 г. ведущими специалистами Украины в сфере качества. Вписанная в шкалу и интегрировавшая в себя Схему уровней совершенства EFQM, эта Лестница способствует любым организациям с любым начальным уровнем целенаправленно и последовательно совершенствоваться и продвигаться к уровню, достигнутому лучшими компаниями Европы.

## ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ И СТАНДАРТЫ НА ЦЕЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА

Исходя из уровня зрелости и развития, каждая организация принимает для себя базовые ценности, цели и соответствующие им целевые функции, которые в самой большой мере определяют «лицо» организации и являются основой для проектирования организационных и производственных процессов. Ниже, в качестве примера, приведены некоторые базовые целевые функции (ЦФ) современной организации: обеспечение высокого качества продукции (ЦФ1); обеспечение сохранности окружающей среды (ЦФ2); обеспечение профессиональной безопасности (ЦФ3); обеспечение энергосбережения (ЦФ4); обеспечение защиты информации (ЦФ5); обеспечение минимальной себестоимости продукции (ЦФ6); обеспечение максимальной производительности труда (ЦФ7); другие целевые функции (ЦФп).

Набор целевых функций и их приоритетность у разных компаний могут быть разными. Более того, у одних и тех же организаций могут наблюдаться изменения по мере их «взросления». При тотальном дефиците такая целевая функция, как достижение высокого качества продукции, не была достаточно актуальной. Актуальность целевой функции сохранения природной среды начала расти только в последние десятилетия. То же можно сказать об энергосбережении, защите информации, принятии решений на основе рисков и др.

На протяжении последних десятилетий в мире активно принимаются международные стандарты на целевые системы менеджмента, направленные на повышение эффективности реализации целевых функций организации, наиболее актуальных для нынешнего этапа развития общества. Так, например, стандарт ISO 9000 (для аэрокосмической отрасли AS/EN 9100) на системы менеджмента качества [7] в целях совершенствования используют уже более миллиона организаций на всех континентах. Среди других широко распространенных стандартов такие, как: ISO 14 000 (экологический менеджмент); OHSAS 18 000 (менеджмент профессиональной безопасности) и др.

## ДЕЛОВЫЕ ПРАКТИКИ

Еще одно направление совершенствования связано с «переносом» из одних организаций в другие апробированных деловых практик. Особой популярностью пользуется «бенчмаркинг» — процесс изучения и обмена лучшими практиками.

Из числа наиболее известных «комплексных подходов» к совершенствованию организаций, представляющих лучшую деловую практику (в ряде случаев уже сочетающих в себе также и некоторые целевые функции, и культуру) можно отметить такие, как: «6 сигма»; «бережливое производство»; «20 ключей», «5S» и др. Этот опыт широко описан в литературе. Его изучают на семинарах и мастер-классах, непосредственно на предприятиях и начинают применять у себя сотни и тысячи организаций в разных странах.

Кроме того, для совершенствования широко используются различные универсальные методические разработки и инструменты, такие, например, как: контрольные карты, диаграмма причин и результатов, анализ видов и последствий отказов (FMEA), планирование экспериментов, мозговой штурм, диаграмма Парето и многие другие.

## 3D-МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ЕЁ УСПЕШНОСТЬ

Сегодня уже можно уверенно сказать, что системе менеджмента организации нужно рассматривать, как совокупность трех компонентов: организационной культуры, деловых практик и целевых функций.

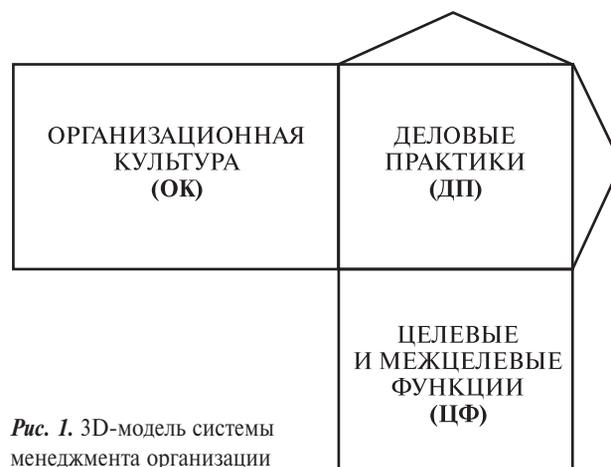


Рис. 1. 3D-модель системы менеджмента организации

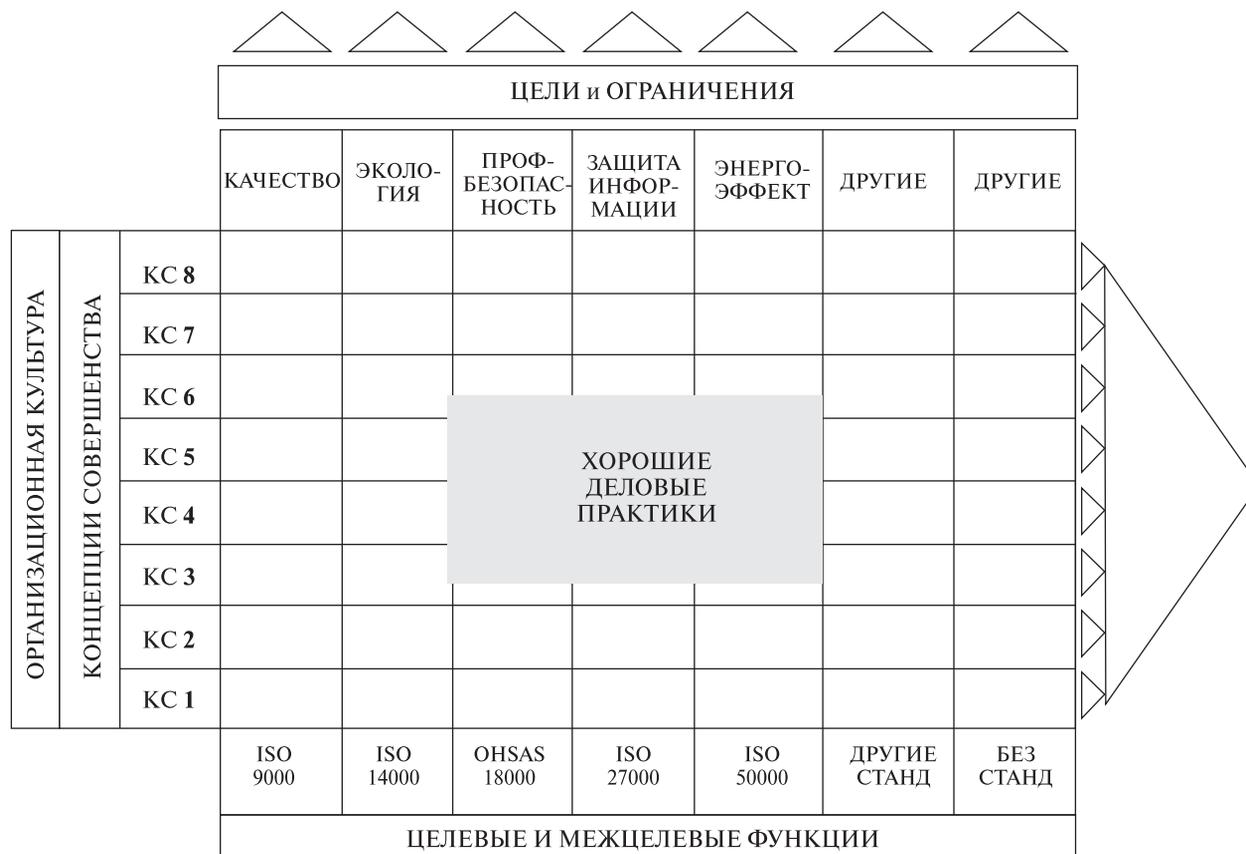


Рис. 2. . 3D-модель системы менеджмента успешной организации

ловых практик [2]. При этом каждый сотрудник должен обладать информацией, необходимой для его функционирования, развития и совершенствования, согласно стратегии функционирования, развития и совершенствования всей организации: об организационной культуре, целевых функциях и деловых практиках. По своей природе эта информация в системах менеджмента является триединой.

**Организационная культура.** Здесь, по сути, в виде некоторого свода правил отражен духовный мир организации, ее «душа». Организационная культура должна соответствовать миссии и развиваться в соответствии с видением организации. Она пронизывает все «клетки» организации, побуждая сотрудников гармонично взаимодействовать между собой для достижения желаемых результатов (при необходимости изме-

няясь). Организационная культура является фундаментом совершенства.

**Целевые функции.** Это, если можно так выразиться, основа материальной составляющей организации. Именно целевые функции определяют проектирование реальных процессов, способных обеспечивать систематическое достижение целей организации. При этом все целевые функции принимаются, реализуются и видоизменяются с учетом организационной культуры.

**Деловые практики.** Они обеспечивают осуществление всех процессов, имеющих место в организации. Для более эффективной реализации процессов используется соответствующее технологическое оборудование. Деловые практики совершенствуются совместно с совершенствованием организационной культуры.

Универсальная базовая 3D-модель системы менеджмента, объединяющая все три упомянутые составляющие, представлена на рис. 1. Здесь на пересечении организационной культуры и целевых функций указаны деловые практики, используемые для реализации управленческих процессов.

В некоторых международных стандартах на целевые системы менеджмента информация об организационной культуре уже содержится. Так, «восемь принципов менеджмента качества» в стандарте ISO 9000 являются не чем иным, как установками в части организационной культуры.

Отличительной особенностью успешных организаций являются высокий уровень деловой культуры и развитые процессы, базирующиеся на хороших практиках, в разрезе всех целевых функций. Они хорошо координируются, а каждый сотрудник нацелен на выполнение работы с оптимальными: качеством, производительностью и себестоимостью (затратами). 3D-модель системы менеджмента организации, стремящейся быть успешной, представлена на рис. 2.

#### КОММЕНТАРИИ К 3D-МОДЕЛИ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

**Преимущества совместного использования модели и стандартов.** К числу основных преимуществ можно отнести следующие.

1. Концепции совершенства и модель EFQM превосходят требования стандартов на целевые системы менеджмента по прогрессивности, что позволяет повысить эффективность системы менеджмента в целом:

- модель EFQM в части требований более «насыщена», чем стандарты;
- модель EFQM ориентирует организации на стремление к недостижимому идеалу, в то время, как в стандартах фиксируется уровень совершенства, уже достигнутый многими;
- в модели EFQM применяется 1000-бальная шкала, позволяющая организациям систематически и целенаправленно повышать уровень своего совершенства, в то время, как для оценивания соответствия системы менеджмента требованиям стандарта предусмотрена бинарная шкала («соответствует» или «не соответствует»);

- модель EFQM ориентирует организации на применение у себя «хороших практик», в то время, как в стандартах приведены фиксированные «требования».

2. Концепции и модель совершенства EFQM распространяются на организационную культуру всей организации, а не только на какую-либо ее часть. Поэтому они в большей мере способствуют обеспечению **полноты** и **гармоничности** системы менеджмента организации [3], в том числе при использовании для совершенствования положений стандартов на целевые системы менеджмента, которые сами по себе являются хорошими дополнительными ориентирами для выполнения конкретных целевых функций и достижения конкретных целей.

3. Наряду с пятью критериями возможностей, модель EFQM содержит также четыре критерия результатов, использование которых позволяет периодически оценивать эффективность применяемой системы менеджмента и планировать мероприятия по ее целенаправленному совершенствованию и развитию.

Уже на начальном этапе проектирования (перепроектирования) системы менеджмента желательно определить исчерпывающий состав базовых ценностей (свойственных успешным компаниям), которыми организация намерена руководствоваться, а также соответствующий им состав целей организации. Это важно для формирования полного набора целевых функций и последующей разработки процессов их реализации.

Следует заметить, что вместо концепций и модели совершенства EFQM можно принять за основу международный стандарт ISO 9004:2009 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации». Подход на основе менеджмента качества». Возможно, это даже более естественно, если мы говорим об «интеграции» стандартов ISO на целевые системы менеджмента. Однако, на наш взгляд, концепции и модель совершенства EFQM являются в большей мере продвинутыми и перспективными, что позволит организации в процессе совершенствования получать дополнительные преимущества.

**Целостность и технологичность процессов управления.** Любая система менеджмента характе-

ризуется, прежде всего, наличием объекта, субъекта и механизмов управления. Однако ее основу всегда составляет управленческая деятельность, которую субъект управления осуществляет относительно объекта. Управленческая деятельность связана, прежде всего, с реагированием на ситуации и их изменения путем восприятия и преобразования информации в целях формирования и организации исполнения соответствующих управленческих решений. Как отмечено в работе [4], процессы управления реализуются в рамках целевых функций и направлены на установление и достижение целей организации, которые представляются в виде оценочных показателей, отображающих с разных сторон функционирование всей организации или ее отдельных частей. Но, что здесь важно понимать — информация для принятия управленческих решений в разрезе всех целей организации формируется, а принимаемые решения реализуются в единой производственной среде, ее реальных материальных потоках. В процессе изготовления продукции одновременно формируются и ее качество (ISO 9001), и воздействие на природную среду (ISO 14001), и риски в части профессиональной безопасности (OHSAS 18001); здесь же расходуются ресурсы, в том числе энергетические (ISO 50001) и т. п. С другой стороны, если мы принимаем решение, направленное на улучшение качества продукции, это может привести к ухудшениям в части загрязнения окружающей среды или безопасности персонала, либо расходования ресурсов, например, энергетических. Или наоборот, снижение расхода ресурсов может вылиться в ухудшение качества продукции. В этой связи информационные процессы в управлении должны проектироваться таким образом, чтобы обеспечивать сбалансированное целевое управление всей совокупностью оценочных показателей, принятых в организации.

При проектировании системы управления особое внимание следует уделить также обратным связям, что является основой и цикла Деминга (стандарт ISO 9001), и логики RADAR (модель EFQM). Применение организацией развитых обратных связей способствует ее целенаправленному совершенствованию, снижению ва-

риабельности процессов и соблюдению установленных требований, в том числе к качеству продукции. Помимо этого, обратные связи способствуют принятию обоснованных решений по незначительным «сверхнормативным» улучшениям деятельности организации или ее кардинальному изменению.

#### **УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИЯМИ С УЧЕТОМ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ, ПРОВОЗГЛАШЕННЫХ ООН**

В последние десятилетия мировая общественность крайне озабочена множеством глобальных системных проблем, охвативших нашу планету. Реакцией на них стали инициативы международных организаций, и прежде всего Организации Объединенных Наций. Особое место здесь занимает установление ООН 17 целей устойчивого развития (ЦУР) и 10 принципов социальной ответственности (ПСО), содержащихся в Глобальном Договоре ООН [1, 6].

Если цели устойчивого развития ООН определяют направления, куда нужно двигаться организациям, а также чего им следует достигать, то принципы ГД ООН в части социальной ответственности определяют каким должно быть поведение организаций, как они должны поступать в отношениях с заинтересованными сторонами.

Как для достижения ЦУР, так и для соблюдения ПСО необходимы совместные усилия правительств, частного сектора, гражданского общества и жителей Земли. Но как довести их реализацию от скупых сконцентрированных деклараций до уровня системных технологий? Как «имплементировать» эти цели и принципы для их достижения (соблюдения) в повседневную деятельность предприятий, организаций и учреждений?

Здесь важно понимать, что цели устойчивого развития и принципы социальной ответственности относятся, прежде всего, к деловой (организационной) культуре предприятий, организаций и учреждений. А отсюда можно сделать вывод, что вопросы их имплементации могут быть рассмотрены в контексте концепций и модели совершенства EFQM, которые эту самую культуру отображают.

Из этого следует, что при использовании 3D-модели появляется возможность и ЦУР, и ПСО имплементировать в систему менеджмента организации. А это, в свою очередь, может повысить эффективность работы организаций и заметно увеличить их вклад в достижение целей устойчивого развития, провозглашенных ООН.

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

Система менеджмента организации — это по сути ее мозг. Даже малозаметные нарушения в системе могут привести к чрезвычайно серьезным последствиям. В этой связи к разработке и модернизации системы менеджмента нужно относиться со всей серьезностью. Понимая, что все ее «составляющие» должны быть взаимосвязаны и находиться в гармонии между собой. Уместно также вспомнить, что говорят специалисты по надежности: «Самая надежная система не надежнее своего самого ненадежного элемента». Поэтому нужно стремиться, чтобы все составляющие (или подсистемы) системы менеджмента были в одинаковой степени надежными.

Но вернемся к космической отрасли. Совершенствование здесь систем менеджмента предприятий (организаций) с использованием 3D-модели может заметно сократить период их «организационного созревания» и значительно повысить эффективность и конкурентоспособность, как самих предприятий, так и отрасли в целом.

Мы понимаем, что для реализации 3D-подхода необходимо затратить больше и времени, и ресурсов. Но ведь и при проектировании автоматизированных систем управления расходуется существенно больше времени и ресурсов, чем при внедрении стандартов на целевые системы менеджмента одними организационными методами. Однако это не стало поводом для отмены автоматизации процессов управления. С другой стороны, практикуемое в настоящее время внедрение стандартов на системы менеджмента не принесло заметного эффекта — это известный факт. А, следовательно, такая практика совершенствования не является достаточно эффективной, и сама нуждается в совершенствовании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Глобальный договор ООН* [Официальный сайт ЕЭК ООН]. — Режим доступа: <http://tfig.unece.org/RUS/contents/un-global-compact.htm>
2. *Калита П. Я.* Очерк о геноме успешности организаций и государства. Часть 1 // Стандартизация, сертификация, качество. — 2014. — № 1. — С. 33—38.
3. *Калита П. Я.* Очерк о геноме успешности организаций и государства. Часть 2 // Стандартизация, сертификация, качество. — 2014. — № 2. — С. 33—38.
4. *Калита П. Я.* Очерк о геноме успешности организаций и государства. Часть 3 // Стандартизация, сертификация, качество. — 2014. — № 3. — С. 33—38.
5. *Модель совершенства EFQM*. EFQM — Брюссель. — 2011. [Официальный сайт EFQM]. — Режим доступа: <http://www.efqm.org/the-efqm-excellence-model>
6. *ООН*. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 г. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. [Официальный сайт ООН]. — Режим доступа: [http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1\\_ru.pdf](http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf)
7. *Системы управления качеством*. Требования (ISO 9001:2015, ИДТ): ДСТУ ISO 9001:2015. — Введ. 2016-07-01. — К.: ГП «УкрНДНЦ», 2016. — 22 с. — (Нац. стандарт Украины).

*Статья надійшла до редакції 03.08.17*

## REFERENCES

1. *UN Global Compact*. [Site of the UNECE]. [http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1\\_ru.pdf](http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf) Retrieved from <http://tfig.unece.org/RUS/contents/un-global-compact.htm> [in Russian].
2. *Kalyta P. Y.* Ocherk o genome uspeshnoy organizatsii i gosudarstva [Essay about the genome of successfulness of organizations and the state]. *Standartizatsiya, sertifikatsiya, kachestvo — Standardization, certification, quality*, N 1, 33—38 (2014) [in Russian].
3. *Kalyta P. Y.* Ocherk o genome uspeshnoy organizatsii i gosudarstva [Essay about the genome of successfulness of organizations and the state]. *Standartizatsiya, sertifikatsiya, kachestvo — Standardization, certification, quality*, N 2, 33—38 (2014) [in Russian].
4. *Kalyta P. Y.* Ocherk o genome uspeshnoy organizatsii i gosudarstva [Essay about the genome of successfulness of organizations and the state]. *Standartizatsiya, sertifikatsiya, kachestvo — Standardization, certification, quality*, N 3, 33—38 (2014) [in Russian].
5. *Model sovershenstva EFQM* [EFQM Excellence Model. EFQM]. Brussels, 2011. — Retrieved from <http://www.efqm.org/the-efqm-excellence-model> [in English].
6. *ООН*. Rezolutsiya, prinyataya Generalnoi Assambleey 25 sentyabrya 2015 goda. Preobrazovanie nashego mira:

Povestka dnya v oblasti ustoychivogo razvitiya na period do 2030 goda [United Nations. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development]. [http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1\\_ru.pdf](http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf) Retrieved from [http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1\\_ru.pdf](http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf) [in Russian].

7. *Sistemy upravleniya kachestvom. Trbovania. [Quality management systems – Requirements]. DSTU ISO 9001:2015 from 01st July 2016. Kiev: Natsionalny Standart Ukrainy (2016) [in Ukrainian]*

П. Я. Калита

Українська асоціація досконалості та якості,  
Київ, Україна

#### СУЧАСНИМ ПІДПРИЄМСТВАМ КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ — СУЧАСНІ СИСТЕМИ МЕНЕДЖМЕНТУ

Запропоновано комплексну модель сучасної цілісної системи менеджменту, що базується на концепціях досконалості, стандартах на цільові системи менеджменту та найкращих ділових практиках. Запропонована модель сприяє підприємствам в опануванні принципів ООН щодо соціальної відповідальності та орієнтує їх на досягнення цілей ООН щодо сталого розвитку. Ефективність запропонованого підходу підтверджена практикою багатьох провідних компаній Європи і світу. Застосування підприємствами космічної галузі системи менеджменту з урахуванням запропонованої моделі сприятиме підви-

щенню їхньої досконалості і конкурентоспроможності на глобальному насиченому ринку.

**Ключові слова:** системи менеджменту (СМ), концепції та модель досконалості EFQM, стандарти на цільові системи менеджменту, досконалість; конкурентоспроможність, соціальна відповідальність, сталий розвиток.

Р. Я. Калита

Ukrainian Association for Quality,  
Kyiv, Ukraine

#### MODERN MANAGEMENT SYSTEMS — TO THE MODERN SPACE INDUSTRY

A comprehensive model of a modern holistic management system (MS) is proposed. It is based on the concepts of excellence, standards for targeted MS and best business practices. The proposed model promotes enterprises in the development of United Nations (UN) principles on social responsibility and focuses them on achieving the UN's goals for sustainable development. The effectiveness of the proposed approach is confirmed by the practice of many leading companies in Europe and the world. Implementation of MS by space industry enterprises, taking into account the proposed model, will help to improve their perfection and competitiveness in the global saturated market.

**Keywords:** management system (MS), concepts and model of excellence EFQM, standards for targeted MS, excellence, competitiveness, social responsibility, sustainable development

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.071>

УДК 520.88

Е. С. Козырев<sup>1</sup>, А. М. Кожухов<sup>2</sup>, Е. С. Сибирякова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория», Николаев, Украина

<sup>2</sup> Центр приема и обработки специальной информации и контроля навигационного поля, с. Залесцы, Дунаевецкий р-н, Хмельницкая обл., Украина

## МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА НЕПОДВИЖНОМ ТЕЛЕСКОПЕ

---

*Предложен эвристический метод автоматического планирования наблюдений низкоорбитальных космических объектов на автоматизированном или автоматическом телескопе. Метод основан на решении динамической задачи теории расписаний по критерию максимума взвешенной суммы витков, на которых проведены наблюдения (проводок). В качестве веса проводки используется значение приоритета наблюдений объекта, которому принадлежит данный виток. Показаны результаты применения метода в Научно-исследовательском институте «Николаевская астрономическая обсерватория».*

**Ключевые слова:** низкоорбитальные космические объекты, позиционные оптические наблюдения, планирование наблюдений.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие оптики, электроники и вычислительной техники привело к качественным изменениям в наблюдательной астрономии. Появились новые светосильные оптические схемы и высокочувствительная светоприемная аппаратура, что позволило снизить время экспозиции при наблюдениях. Кроме того, новые «быстрые» компьютеризованные монтировки, управляемые специальным программным обеспечением, позволили снизить время перехода между наблюдениями двух последовательных объектов. Современные автоматические или автоматизированные телескопы, созданные с учетом вышеперечисленного, могут проводить отдельные наблюдения значительно быстрее, чем это было возможно раньше.

В связи с этим все большее значение приобретает тщательное планирование наблюдений, позволяющее максимально эффективно использовать возможности современной наблюдательной техники, в том числе и за счет исключения «человеческого фактора» при принятии решений о следующем наблюдаемом объекте. Не является в данном случае исключением и наблюдение низкоорбитальных космических объектов (НОКО).

В последние 15 лет в Украине ведутся работы в направлении создания системы ведения каталога орбит (под ведением каталога орбит подразумевается периодическое уточнение элементов орбит) НОКО оптическими средствами наблюдения. В последние несколько лет данные работы ведутся в рамках Украинской сети оптических станций (Українська мережа оптичних станцій — УМОС) [6]. Предлагаемый в данной работе алгоритм планирования наблюдений НОКО является

---

© Е. С. КОЗЫРЕВ, А. М. КОЖУХОВ, Е. С. СИБИРЯКОВА, 2017

составной частью этой системы и основан на многолетнем опыте наблюдений НОКО на различных телескопах Научно-исследовательского института «Николаевская астрономическая обсерватория» (НИИ НАО).

Имеется достаточно большое количество работ, посвященных планированию наблюдений, в том числе на удаленно управляемых телескопах или телескопах-роботах. В работах [8, 9, 14, 16] основное внимание уделяется оптимизации планирования разнородных наблюдений объектов, разбросанных по всей небесной сфере, за одну ночь, в том числе и алертных наблюдений гамма-всплесков [13]. Все данные типы наблюдений проводятся в режиме суточного ведения, а большая часть наблюдаемых объектов находится в зоне видимости телескопа значительную часть ночи. Данные условия также значительно отличаются от условий наблюдения НОКО.

Известные зарубежные работы [10, 11, 15] посвящены в основном планированию наблюдений объектов на геостационарной орбите, условия наблюдения которых также серьезно отличаются от условий наблюдения НОКО.

В докладах, посвященных российской Наземной сети оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (НСОИАФН), неоднократно упоминалось об использовании специально разработанных алгоритмов планирования наблюдений объектов на геостационарной и высокоэллиптических орбитах [3, 4, 7]. Однако работ с описанием данных алгоритмов найдено не было. Также не было найдено описаний методов планирования наблюдений НОКО для автоматических или автоматизированных телескопов. Таким образом, целью данной работы является разработка вычислительного метода планирования наблюдений НОКО для автоматизированного или автоматического телескопа является актуальной.

## ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Низкоорбитальные космические объекты обладают чрезвычайно высокой скоростью видимого движения по небесной сфере (до  $2^\circ/\text{с}$ ), и находятся в зоне видимости телескопа в основном не более 10 мин. Наблюдения НОКО обычно ведутся

по заранее известному списку объектов, количество которых может достигать нескольких сотен. Следует отметить, что наблюдаемые НОКО могут обладать различным приоритетом, и это также следует учитывать при планировании наблюдений.

Позиционные наблюдения околоземных космических объектов в УМОС производятся следующими методами [6]: суточным ведением, сопровождением по видимой траектории, накоплением кадров со смещением и в режиме синхронного переноса заряда. Суточное ведение практически не применяется при наблюдениях НОКО. При сопровождении телескоп движется вместе с наблюдаемым НОКО, постоянно удерживая его в поле зрения. Последние два метода используются при наблюдениях на неподвижном телескопе [1, 12]. При наблюдениях на неподвижном телескопе инструмент выводится в заранее рассчитанную точку встречи, а наблюдения НОКО проводятся при пролете его через поле зрения. Таких точек встречи для одного НОКО на витке может быть несколько, разделенных достаточно значительным интервалом.

Таким образом, при наблюдении НОКО на неподвижном телескопе производится следующая последовательность действий:

- наведение телескопа в точку встречи,
- включение светоприемной аппаратуры в заданное время на заданный интервал,
- наведение телескопа на следующую точку встречи.

Далее в данной работе рассматривается только случай наблюдений на неподвижном телескопе.

Опыт позиционных наблюдений НОКО показал, что для уточнения орбиты по наблюдениям на данном прохождении НОКО достаточно 4 — 6 точек, равномерно распределенных вдоль видимого участка орбиты. В таком случае между точками наблюдений одного прохождения остается достаточно времени для наведения в выбранные точки наблюдения других НОКО, находящихся в зоне обзора телескопа. Эта особенность наблюдений НОКО легла в основу разрабатываемого вычислительного метода.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для телескопа имеется список  $N$  прохождений (витков) НОКО ( $i = 1, i, \dots, N$ ), доступных для на-

блюдения в данную ночь. Для каждого витка известны начальные условия, позволяющие определить время  $t_i^{\text{BX}}$  входа НОКО на  $i$ -м витке в зону видимости телескопа, время  $t_i^{\text{ВЫХ}}$  выхода НОКО на  $i$ -м витке из зоны видимости, а также координаты  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$   $j$ -й точки встречи  $i$ -го витка на заданное время наблюдения  $t_{ij}^{\text{H}}$ . Координаты точки встречи могут задаваться в экваториальной или горизонтальной системе координат, в зависимости от монтировки телескопа.

Прохождения пересекаются между собой, т. е. в зоне видимости телескопа может одновременно находиться несколько НОКО. Кроме того, для каждого НОКО известен его приоритет (вес)  $w_i$ , изменяющийся от 0 до 999 (больше — выше). Необходимо спланировать наблюдения таким образом, чтобы взвешенная сумма витков, на которых были проведены наблюдения НОКО (проводок [6]), была максимальной:

$$\sum_{i=1}^N w_i u_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

где

$$u_i = \begin{cases} 1 & \text{при } n_i \geq n_{\min}, \\ 0 & \text{в ином случае,} \end{cases}$$

$n_i$  — количество точек наблюдений НОКО на  $i$ -м витке,  $n_{\min}$  — минимально необходимое количество точек наблюдений на витке.

Следует также заметить, что определение приоритета (веса) НОКО — весьма сложная задача сама по себе, выходящая за рамки данной работы.

Приоритет объекта должен обновляться на каждую ночь; он складывается из нескольких составляющих: важность объекта с точки зрения потребителя орбитальной информации; возраст элементов орбиты; имеющиеся наблюдения за последние несколько суток; условия наблюдения на следующую ночь на разных наблюдательных пунктах (для координации наблюдений сети телескопов при наличии таковой).

Метод определения приоритетов безусловно должен зависеть от того, как этот приоритет будет использоваться в конкретном методе планирования наблюдений.

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

Исходя из постановки задачи, необходимо составить последовательность точек встречи, привязанных ко времени, которое будет удовлетворять выражению (1). Представляется целесообразным принимать решение о следующей точке встречи после проведения наблюдений в текущей точке встречи. Сравнительно небольшой объем списка витков и возможности современной вычислительной техники позволяют провести данную операцию достаточно быстро, сведя потери времени на расчет к минимуму. Также представляется целесообразным выбор на каждом шаге для наблюдений того НОКО, находящегося в поле зрения, который имеет наибольший вес. Таким образом, разрабатываемый вычислительный метод является решением частного случая динамической задачей теории расписаний [2] с использованием так называемого «жадного» алгоритма.

Стратегия предлагаемого вычислительного метода заключается в следующем.

1. Если в зоне видимости только один НОКО, то он наблюдается непрерывно.

2. Если в зоне видимости несколько НОКО, то по очереди наблюдаются все, упрощенно задача планирования состоит в том, чтобы определить, какие объекты нужно наблюдать чаще.

3. На относительную частоту наблюдения конкретного НОКО влияет длительность видимого витка и его приоритет.

4. Чтобы полностью переключить наблюдения на какой-либо объект (группу объектов) используется понятие уровень приоритета: пока в зоне видимости есть объект с большим уровнем приоритета, и количество наблюдений по нему недостаточно, объекты с меньшим уровнем приоритета не наблюдаются совсем.

5. Если нет возможности получить оптимальное количество точек наблюдения для объекта, он все равно наблюдается (считается, что лучше получить по двум объектам по две точки, чем пять точек по одному объекту).

Перед описанием вычислительного метода следует дополнительно ввести несколько понятий. Пусть  $\Delta t_{ij}^{\text{HAB}}$  — время наведения в  $j$ -ю точку встречи  $i$ -го витка, а  $\Delta t_{ij}^{\text{H}}$  — время наблюдения до

момента прохождения НОКО  $j$ -й точки встречи  $i$ -го витка.  $\Delta t_{ij}^H$  соответствует промежутку времени, которое НОКО на  $i$ -м витке находится в поле зрения телескопа, наведенного на  $j$ -ю точку встречи, до прохождения им данной точки.

Сам вычислительный метод представляет собой следующую последовательность действий.

1. Для всех витков производится расчет исходных данных.

1.1. Вычисляется оптимальный период между наблюдениями  $\Delta t_i^{opt}$ :

$$\Delta t_i^{opt} = \begin{cases} \frac{t_i^{BXX} - t_i^{BX}}{c}, \\ \Delta t_{min}^{opt} \text{ при } \frac{t_i^{BXX} - t_i^{BX}}{c} < \Delta t_{min}^{opt}, \\ \Delta t_{max}^{opt} \text{ при } \frac{t_i^{BXX} - t_i^{BX}}{c} > \Delta t_{max}^{opt}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $c$ ,  $\Delta t_{min}^{opt}$ ,  $\Delta t_{max}^{opt}$  — заданные константы.

1.2. Определяется уровень приоритета витка  $W_i$ :

$$W_i = \begin{cases} 0 \text{ при } w_i \in [0, \dots, 9], \\ 1 \text{ при } w_i \in [10, \dots, 99], \\ 2 \text{ при } w_i \in [100, \dots, 999]. \end{cases}$$

2. Отбор витков, на которые может быть осуществлено наведение. Перед началом наблюдений или после проведения наблюдений в каждой последующей точке встречи для всех витков производится следующая последовательность действий.

2.1. Итерационный расчет  $t_{ij}^H$ .

2.1.1.  $l = 0$ ,  $t_{ij}^H = t_0$ ,  $\Delta t_{ij}^{HAB} = 0$ ,  $\Delta t_{ij}^H = 0$ ,

где  $t_0$  — текущий момент времени.

2.1.2. Если  $t_{ij}^H < t_i^{BX}$ , то  $t_{ij}^H = t_i^{BX}$ .

2.1.3. Если  $t_{ij}^H > t_i^{BXX}$ , то переход на п. 2.6.

2.1.4. Расчет координат точки встречи, времени наведения и времени до момента прохождения:

$$\begin{aligned} \alpha_{ij} &= f(t_{ij}^H), \quad \beta_{ij} = f(t_{ij}^H), \\ \Delta t_{ij}^{HAB} &= f(\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \alpha_0, \beta_0), \\ \Delta t_{ij}^H &= f(V_{ij}^{НОКО}), \end{aligned}$$

где  $\alpha_{ij}$ ,  $\beta_{ij}$  — координаты точки встречи,  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  — текущее положение телескопа,  $V_{ij}^{НОКО}$  — расчетная видимая скорость движения НОКО в  $j$ -й точке встречи  $i$ -го витка.

2.1.5.  $t_{ij}^H = t_0 + \Delta t_{ij}^{HAB} + \Delta t_{ij}^H$ .

2.1.6.  $l = l + 1$ .

2.1.7. Если  $l < m$  ( $m \geq 2$ ), то переход на п. 2.1.2.

2.2. Расчет запаса времени  $\Delta t_{ij}^3$ :

$$\Delta t_{ij}^3 = t_{ij}^H - t_0 - \Delta t_{ij}^{HAB} - \Delta t_{ij}^H.$$

2.3. Если  $\Delta t_{ij}^3 \geq \Delta t_{max}^3$ , то переход на п. 2.7.

2.4. Расчет оптимального времени следующего наблюдения на данном витке  $t_{ij}^{Hopt}$ :

если  $j = 1$ , то  $t_{ij}^{Hopt} = t_i^{BX}$ , иначе  $t_{ij}^{Hopt} = t_{i(j-1)}^H + \Delta t_i^{opt}$ .

2.5. Расчет коэффициента «упущенного времени»  $\Delta t_{ij}^y$ :

$$\Delta t_{ij}^y = \frac{t_{ij}^H - t_{ij}^{Hopt}}{\Delta t_i^{opt}}.$$

Переход на п. 2.7.

2.6. Виток отбрасывается, и в цикле планирования больше участия не принимает.

2.7. Следующий виток.

2.8. Если ни один виток не был отобран, то выбирается такой  $i$ -й виток, для которого  $t_i^{BX} - t_0 = \min$  и производится переход на п. 4.

2.9. Каждый отобранный виток представляется в виде набора параметров  $\Theta_{ij} = \{W_i, w_i, \Delta t_{ij}^3, \Delta t_{ij}^y\}$ .

3. Выбор следующей точки встречи. Для всех витков, отобранных в п. 2, в порядке возрастания  $t_i^{BX}$  производится следующая последовательность действий.

3.1. При отсутствии «выбранного» витка им становится текущий «виток-кандидат»: если  $\Theta^B = 0$ , то  $\Theta^B = \Theta^K$ .

Примечание: так как в дальнейшем в сравнении участвуют только два набора параметров — «выбранного» витка  $\Theta^B$  и «витка-кандидата»  $\Theta^K$ , то в дальнейшем изложении нижние индексы отдельных параметров витков опущены.

3.2. Если  $W^B < W^K$ , то  $\Delta t^{3K} = \Delta t^{3K} - \Delta t^{\Phi}$ ,

где  $\Delta t^{3K}$  — запас времени «кандидата»,  $\Delta t^{\Phi}$  — заданное значение запаса по времени.

3.3. Если  $(\Delta t^{3B} > 0) \wedge (\Delta t^{3K} < \Delta t^{3B})$ , то  $\Theta^B = \Theta^K$ .

3.4. Если  $(\Delta t^{3B} > 0) \vee (\Delta t^{3K} > 0)$ , то переход на п. 3.11.

3.5. Если  $W^B < W^K$ , то  $\Theta^B = \Theta^K$ .

3.6. Если  $W^B > W^K$ , то переход на п. 3.11.

3.7. Если  $w^B > w^K$ , то переход на п. 3.10.

3.8. Если  $(w^B = w^K) \wedge (\Delta t^{yK} > \Delta t^{yB})$ , то  $\Theta^B = \Theta^K$ .

3.9. Если  $(\Delta t^{yK} > \Delta t^{yB}) \vee (\Delta t^{yK} > 0)$ , то  $\Theta^B = \Theta^K$ .

3.10. Если  $(\Delta t^{yK} > \Delta t^{yB}) \wedge (\Delta t^{yB} < \Delta t_{min}^y)$ , где  $\Delta t_{min}^y$  — заданный минимальный коэффициент «упущенного времени», то  $\Theta^B = \Theta^K$ .

3.11. Выбор следующего витка.

3.12. Переход на п. 3.2.

4. Наведение телескопа в точку встречи для выбранного витка.

Константы  $c$ ,  $\Delta t_{\min}^{opt}$ ,  $\Delta t_{\max}^{opt}$ ,  $\Delta t_{\max}^3$ ,  $\Delta t^{\phi}$ ,  $\Delta t_{\min}^y$  определяются индивидуально для каждого телескопа.

Следует отметить, что применяемые в данном методе подходы могут быть также использованы и при планировании наблюдений НОКО методом сопровождения по видимой траектории после некоторой модификации. Однако рассмотрение этого вопроса выходит за рамки данной статьи.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТОДА

Описанный выше алгоритм реализован в программном комплексе управления автоматическим телескопом разработанном в НИИ НАО. Данный программный комплекс применяется для регулярных наблюдений НОКО на комплексе телескопов МОБИТЕЛ НИИ НАО [5], телескопе «Celestron» Главной астрономической обсерватории Национальной академии наук Украины. Также он применяется на телескопе «Celestron» Выгорлатской астрономической обсерватории (Словакия) и телескопе КТС Научно-исследовательского института «Астрономическая обсерватория» при Одесском национальном университете им. И. И. Мечникова. Особенностью программного комплекса является применение комбинированного метода наблюдений с использованием приборов с зарядовой связью (ПЗС) [5], наблюдения осуществляются в автоматическом режиме.

В НИИ НАО основным телескопом для координатных наблюдений НОКО является телевизионный телескоп ТВТ ( $D = 48$  мм,  $F = 135$  мм), оснащенный телевизионной ПЗС-камерой «Watec 902H», поле зрения составляет  $2.8 \times 2.1^\circ$ . Наблюдения НОКО ведутся комбинированным методом ПЗС-наблюдений с использованием способа накопления кадров со смещением [1]. При наблюдении НОКО за время его пролета через поле зрения одновременно накапливается один кадр с изображением НОКО с экспозицией 2–6 с и кадр со звездами с экспозицией 6 с. Благодаря небольшим размерам телескопа и применению про-

мышленных шаговых двигателей, скорость наведения телескопа составляет  $20^\circ/\text{с}$ . Цикл наблюдения (наведение + экспозиция) составляет 11–14 с, что позволяет эффективно наблюдать одновременно несколько объектов, поэтому особо важным является эффективность автоматического планирования наблюдений. С учетом технических характеристик телескопа ТВТ используются следующие константы автоматического планирования наблюдений:  $c = 6$ ,  $\Delta t_{\min}^{opt} = 30$  с,  $\Delta t_{\max}^{opt} = 120$  с,  $\Delta t_{\max}^3 = 60$  с,  $\Delta t^{\phi} = 30$  с,  $\Delta t_{\min}^y = -0.33$ .

Списки НОКО для наблюдения на телескопе ТВТ формируются с учетом научных задач в рамках выполнения работ Украинской сетью оптических станций (УМОС) [6]. В течение ночи телескоп осуществляет наблюдения в среднем около 40 объектов в 70–80 проводках. До введения рассматриваемого метода данные значения составляли около 15 объектов в 20–25 проводках. Всего за 2014–2016 гг. на телескопе ТВТ получен массив 41 тыс. положений НОКО.

### ВЫВОДЫ

1. Разработан эвристический метод автоматического планирования наблюдений НОКО оптическими инструментами в режиме «неподвижный телескоп». Выбор последующей точки встречи производится после каждого наблюдения по критерию максимума взвешенной суммы проводок. В качестве веса используется значение приоритета наблюдаемых НОКО.

2. Разработанный метод успешно применяется для регулярных наблюдений НОКО в Николаевской астрономической обсерватории, а также в Главной астрономической обсерватории Национальной академии наук Украины. Его использование позволяет значительно увеличить количество проводок НОКО, наблюдаемых в среднем за ночь.

3. Результаты, полученные при разработке метода, могут быть полезны другим исследователям или группам исследователей, работающим над подобной тематикой.

4. Дальнейшие исследования могут быть направлены как на усовершенствование данного метода планирования наблюдений, так и для его обобщения на случай наблюдений НОКО в режиме сопровождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев Е. С., Сибирякова Е. С., Шульга А. В. Телевизионные наблюдения низкоорбитальных космических объектов с использованием способа накопления кадров со смещением // Космічна наука і технологія. — 2011. — 17, № 3. — С. 71—76.
2. Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Миллер Л. В. Теория расписаний. — М.: Наука, 1975. — 359 с.
3. Молотов И. Е., Воронаев В. А., Боровин Г. К. Работы ИПМ им. М. В. Келдыша РАН в области мониторинга опасных космических объектов и событий. Возможности повышения эффективности работы сегмента АСПОС ОКП по высоким орбитам [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://astronomer.ru/data/0231/IPM\\_Works.pptx](http://astronomer.ru/data/0231/IPM_Works.pptx).
4. Четверушкин Б. Н. Система РАН для сбора, обработки и анализа информации о техногенной обстановке в околоземном космическом пространстве [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://astronomer.ru/data/0120/HTC.ppt>.
5. Шульга А. В., Козырев Е. С., Сибирякова Е. С. и др. Мобильный комплекс телескопов НИИ НАО для наблюдений объектов околоземного космического пространства // Космічна наука і технологія. — 2012. — 18, № 4. — С. 52—58.
6. Шульга О. В., Кравчук С. Г., Сибирякова Е. С. та ін. Розвиток української мережі оптичних станцій УМОС як складового елементу системи контролю навколоземного космічного простору // Космічна наука і технологія. — 2015. — 21, № 3. — С. 74—82.
7. Agapov V., Molotov I., Stepanyants V., Lapshin A. Tools used in KIAM space debris data center for processing and analysis of information on space debris objects obtained by the ISON network [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://astronomer.ru/data/0179/AGAPOV\\_Software\\_tools.pptx](http://astronomer.ru/data/0179/AGAPOV_Software_tools.pptx).
8. Denny R. B. Dispatch scheduling of automated telescopes // The Society for Astronomical Sciences 23rd Annual Symposium on Telescope Science. Published by the Society for Astronomical Sciences. — 2004. — P. 35—50.
9. Duncan A. R. Observation scheduling for a network of small-aperture telescopes // Publ. Astron. Soc. Australia. — 2007. — 24, N 2. — P. 53—60.
10. Frueh C. Sensor tasking for multi-sensor space object surveillance [Электронный ресурс] // Proc. 7th European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 18—21 April 2017, published by the ESA Space Debris Office / Ed. by T. Flohrer & F. Schmitz, SDC7-paper533. — Режим доступа: <http://spacedebris2017.sdo.esoc.esa.int>.
11. Hinze A., Fiedler H., Schildknecht T. Optimal Scheduling for Geosynchronous Space Object Follow-up Observations Using a Genetic Algorithm [Электронный ресурс] / Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference (AMOS), September 2016. — Режим доступа: <https://amostech.com/TechnicalPapers/2016/Poster/Hinze.pdf>.
12. Kara I. V., Kozryyev Y. S., Sybiryakova Y. S., Shulga O. V. NAO catalog of geocentric state vectors of geosynchronous space objects // Bull. Crim. Astrophys. Observatory. — 2011. — 107. — P. 98—102.
13. Kubánek P., Jelínek M., Nekola M., et al. RTS2 — Remote Telescope System, 2nd version. // AIP Conf. Proc. — 2004. — 727. — P. 753—756. — (GAMMA-RAY BURSTS: 30 YEARS OF DISCOVERY: Gamma-Ray Burst Symposium).
14. Kubánek P., Jelínek M., Vitek S., et al. RTS2: a powerful robotic observatory manager // Adv. Proc. SPIE. Software and control for astronomy. — 2006. — 6274. — id 62741V.
15. Musci R., Schildknecht T., Ploner M., Beutler G. Orbit improvement for GTO Objects Using Follow-up Observations // Adv. Space Res. — 2005. — 35, N 7. — P. 1236—1242.
16. Steele I. A., Carter D. Control Software and Scheduling of the Liverpool Robotic Telescope // Proc. SPIE. Telescope Control Systems II. — 1997. — 3112. — P. 222—233.

Стаття надійшла до редакції 12.05.17

REFERENCES

1. Kozryyev Ye. S., Shulga O. V., Sybiryakova Ye. S. Televizionnye nabludeniia nizkoorbitalnykh kosmicheskikh ob'ektov s ispolzovaniem sposoba nakopleniia kadrov so smescheniem [TV observations of low Earth orbit objects using frame accumulation with shift]. *Kosm. nauka tehnol.*, 17 (3), 71—76 (2011) [in Russian].
2. Conway R. W., Maxwell W. L., Miller L. W. Teoriia raspisaniia [The scheduling theory], 359 p. (Nauka, M., 1975) [in Russian].
3. Molotov I. Ye., Voropaev V. A., Borovin G. K. Raboty IPM im. M. V. Keldysha RAN v oblasti monitoring opasnykh kosmicheskikh ob'ektov i sobytii. Vozmozhnosti povysheniia effektivnosti raboty segmenta ASPOS OKP po vysokim ob'ektam [Works of KIAM RAS in the field of monitoring of dangerous space objects and events. The opportunities to increase the ASPOS OKP's high orbits segment efficiency]. Retrieved from [http://astronomer.ru/data/0231/IPM\\_Works.pptx](http://astronomer.ru/data/0231/IPM_Works.pptx). [in Russian].
4. Chetverushkin B. N. Sistema RAN dlia sbora, obrabotki i analiza informatsii o tekhnogennoi obstanovke v okolozemnom kosmicheskom prostranstve [The RAS system for collecting, processing and analyzing information on the technogenic situation in near-Earth space]. Retrieved from <http://astronomer.ru/data/0120/HTC.ppt> [in Russian].
5. Shulga O. V., Kozryyev Ye. S., Sybiryakova Ye. S., et al. Mobilnyi kompleks teleskopov NII NAO dlia nablyudeniia ob'ektov okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva [The mobile telescope complex of RI MAO for observation of

- near-earth space objects]. *Kosm. nauka tehnol.*, **18** (4), 52—58 (2012) [in Russian].
6. *Shulga O. V., Kravchuk S. G., Sybiryakova Ye. S., et al.* Rozvytok ukrainskoi merezhi optychnykh stantsii UMOS iak skladovogo elementu systemy kontrolyu navkolozemnogo kosmichnogo prostoru [Development of Ukrainian network of optical stations UMOS as component of control systems for near-Earth space]. *Kosm. nauka tekhnol.*, **21** (3), 74—82 (2015) [in Ukrainian].
  7. *Agapov V., Molotov I., Stepanyants V., Lapshin A.* Tools used in KIAM space debris data center for processing and analysis of information on space debris objects obtained by the ISON network. Retrieved from [http://astronomer.ru/data/0179/AGAPOV\\_Software\\_tools.pptx](http://astronomer.ru/data/0179/AGAPOV_Software_tools.pptx).
  8. *Denny R. B.* Dispatch Scheduling of Automated Telescopes. *The Society for Astronomical Sciences 23rd Annual Symposium on Telescope Science. Publ. Soc. Astron. Sci.*, 35—50, (2004).
  9. *Duncan A. R.* Observation scheduling for a network of small-aperture telescopes. *Publ. Astron. Soc. Australia*, **24** (2), 53—60 (2007).
  10. *Frueh C.* Sensor tasking for multi-sensor space object surveillance. Proc. 7th European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 18—21 April 2017, publ. by the ESA Space Debris Office, Eds T. Flohrer, F. Schmitz, SDC7-paper533. Retrieved from <http://spacedebris2017.sdo.esoc.esa.int>.
  11. *Hinze A., Fiedler H., Schildknecht T.* Optimal Scheduling for Geosynchronous Space Object Follow-up Observations Using a Genetic Algorithm. *Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference (AMOS), September 2016*. — Retrieved from <https://amostech.com/TechnicalPapers/2016/Poster/Hinze.pdf>.
  12. *Kara I. V., Kozryrev Y. S., Sybiryakova Y. S., Shulga O. V.* NAO catalog of geocentric state vectors of geosynchronous space objects. *Bull. Crimean Astrophys. Observatory*, **107**, 98—102 (2011).
  13. *Kubánek P., Jelínek M., Nekola M., et al.* RTS2 — Remote Telescope System, 2nd version. *GAMMA-RAY BURSTS: 30 YEARS OF DISCOVERY: Gamma-Ray Burst Symposium. AIP Conf. Proc.*, **727**, 753—756. (2004).
  14. *Kubánek P., Jelínek M., Vitek S., et al.* RTS2: a powerful robotic observatory manager, Proc. SPIE. *Advanced Software and Control for Astronom.*, 6274, id 62741V (2006).
  15. *Musci R., Schildknecht T., Ploner M., Beutler G.* Orbit Improvement for GTO Objects Using Follow-up Observations. *Adv. Space Res.*, **35**(7), 1236—1242 (2005).
  16. *Steele I. A., Carter D.* Control software and scheduling of the liverpool robotic telescope, Proc. SPIE. *Telescope Control Systems II.*, **3112**, 222—233 (1997).

Є. С. Козирев<sup>1</sup>, О. М. Кожухов<sup>2</sup>, Є. С. Сибірякова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Миколаїв, Україна

<sup>2</sup> Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля, с. Залісці, Дунаєвецький р-н, Хмельницька обл., Україна

#### МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НИЗЬКООРБИТАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА НЕРУХОМОМУ ТЕЛЕСКОПІ

Запропоновано евристичний метод автоматичного планування спостережень низкоорбитальних космічних об'єктів на автоматизованому або автоматичному телескопі. Метод базується на розв'язуванні динамічної задачі теорії розкладів за критерієм максимуму зваженої суми обертів, на яких було проведено спостереження (проводок). За вагу проводки використовується значення пріоритету спостережень об'єкта, якому належить даний оберт. Показано результати застосування методу у Науково-дослідному інституті «Миколаївська астрономічна обсерваторія».

**Ключові слова:** низкоорбитальні космічні об'єкти, позиційні оптичні спостереження, планування спостережень.

Ye. S. Kozirev<sup>1</sup>, O. M. Kozhukhov<sup>2</sup>, Ye. S. Sybiryakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Institute Mykolaiv Astronomical Observatory, Mykolaiv, Ukraine

<sup>2</sup> Center of Special Information Receiving and Processing and Navigating Field Control, Zalitsi, Dunaivtsi District, Khmelnytsky Region, Ukraine

#### METHOD FOR AUTOMATIC SCHEDULING FOR LEO OBJECT'S OBSERVATIONS AT FIXED TELESCOPE

We propose a heuristic method for automatic scheduling for Low Earth Orbit (LEO) object's observations with the automatic telescope. The method is based on the solution of the dynamic problem of scheduling theory by the criterion of the maximum weighted sum of the revolutions being observed (tracks). The priority of observation of the object to which the given track belongs is used as the track's weight. We describe an effectiveness of this method applying it to the LEO objects observations at the Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory».

**Keywords:** LEO objects, positional optical observations, observations scheduling.

**АСНІС Юхим Аркадійович** — завідувач відділу космічних технологій, старший науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України, доктор технічних наук.

Напрямок науки — космічне матеріалознавство та зварювальні і споріднені технології в космічних умовах.

**ВОРОТНИКОВ Віталій Анатолійович** — начальник сектору патентно-дослідницького відділу Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», кандидат економічних наук.

Напрямок науки — патентні дослідження у ракетно-космічній галузі.

**ДЕГТЯРЬОВ Максим Олександрович** — головний конструктор напрямку Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», дійсний член Міжнародної академії астронавтики.

Напрямок науки — розробка і створення ракетно-космічної техніки.

**ДЕМЧЕНКО Анатолій Вадимович** — начальник відділення менеджменту якості та системного аналізу показників якості Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — розробка і створення ракетно-космічної техніки.

**ЄРОФЄЄВ Сергій Іванович** — начальник проектно-конструкторського відділу 177 з проектування і розробки технологічного обладнання наземних комплексів КРК, наземної інфраструктури РК і транспортних засобів спеціального призначення Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — наземні комплекси КРК, наземна інфраструктура РК, транспортні засоби спеціального призначення.

**ЖАРИКОВ Ігор Миколайович** — начальник патентно-дослідницького відділу Державного підприємства «Кон-

структорське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», кандидат технічних наук.

Напрямок науки — патентні дослідження у ракетно-космічній галузі.

**ЗУБЧЕНКО Юрій Васильович** — старший науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — зварювальні і споріднені технології в космічних умовах.

**ІВАНИЦЬКИЙ Геннадій Михайлович** — начальник відділу Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля». Має чотири винаходи та один патент на винахід.

Напрямок науки — розробка систем заправки та інших пневмогідролічних систем наземного технологічного обладнання ракетно-космічних комплексів.

**ІЛЬЮЩЕНКО Олександр Федорович** — Генеральний директор ГНПО — директор Інституту порошкової металургії, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук Білорусі, лауреат Державної премії Республіки Білорусь.

Напрямок науки — отримання порошків заданого хімічного і фазового складу методами розпилення розплаву, СВЧ, нанесення функціональних покриттів із цих порошків методами газотермічного напилення, порошкова металургія конструкційних і триботехнічних матеріалів; адитивні технології.

**КАЛИТА Петро Якович** — засновник і лідер руху за ділову довершеність і якість в Україні. Президент громадської організації «Українська асоціація якості» і громадського союзу «Українська асоціація досконалості і якості». Президент Клубу лідерів якості України. Член Ради підприємців при Кабінеті Міністрів України. Голова Комітету з питань якості, досконалості, конкурентоздатності і стійкого розвитку громадської ради при Мінекономрозвитку України. Віце-президент УСПП. Науковий

керівник ряду національних і міжнародних науково-технічних проектів у галузі ділової досконалості і якості. Академік Української академії наук і Російської академії проблем якості, віце-президент Міжнародної академії стандартизації. Має нагороди Президента України, Верховної Ради, Кабінету Міністрів, президії НАН України. Нагороджений знаком «За заслуги у стандартизації», Почесним дипломом ЕОQ, медаллю імені І. А. Ільїна «За видатні досягнення у галузі якості» (Росія) та ін. Член Національної спілки журналістів і Міжрегіональної спілки письменників України. Автор понад 450 публікацій.

Напрямок науки — наукові основи створення системних технологічних комплексів управління якістю продукції і виробництвом.

**КОЖУХОВ Олександр Михайлович** — начальник лабораторії Центру прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — методи спостережень природних та штучних тіл у навколосезонному космічному просторі.

**КОЗИРЄВ Євген Сергійович** — провідний інженер-програміст Науково-дослідного інституту «Миколаївська астрономічна обсерваторія» Міністерства освіти і науки України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — методи спостережень природних та штучних тіл у навколосезонному космічному просторі.

**КОРОЛЬКОВ Андрій Сергійович** — начальник групи проектно-конструкторського відділу 177 з проектування і розробки технологічного обладнання наземних комплексів КРК, наземної інфраструктури РК і транспортних засобів спеціального призначення Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — наземні комплекси КРК, наземна інфраструктура РК, транспортні засоби спеціального призначення.

**КУКУШКІНА Тетяна Олександрівна** — інженер патентно-дослідницького відділу Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — патентні дослідження у ракетно-космічній галузі.

**КУШНАРЬОВ Олександр Павлович** — перший заступник Генерального конструктора — Генерального директора з системного проектування Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», дійсний член Міжнародної академії астронавтики.

Напрямок науки — розробка і створення ракетно-космічної техніки.

**ЛОБАНОВ Леонід Михайлович** — заступник директора Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України, керівник відділу, академік-секретар відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України, доктор технічних наук, професор, академік НАН України. Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат премії Ради Міністрів СРСР, Державної премії України в галузі науки і техніки, премії ім. Є. О. Патона. Нагороджений орденами «Знак Пошани», орденом «За заслуги» III ступеня, медалями Ю. В. Кондратюка за участь в космічній діяльності, медаллю НАН України «За наукові досягнення».

Напрямок науки — дослідження поведінки матеріалів при зварюванні, розвиток теорії зварювальних напружень і деформацій, розробка методів дослідження і регулювання напружено-деформованих станів зварних з'єднань, створення високоефективних зварних конструкцій нової техніки та розробка методів і засобів їхньої діагностики, оцінки та продовження ресурсу.

**МОЧОНОВ Руслан Олександрович** — інженер-конструктор 3-ї категорії Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — тепло- та масообмін у наземному об'єкті заправки ракет-носіїв.

**ПАТОН Борис Євгенович** — Президент Національної академії наук України, директор Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України, генеральний директор Міжгалузевого науково-технічного комплексу «Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона», президент Міжнародної асоціації академії наук, член Ради з питань науки та науково-технічної політики при Президентові України, голова Комітету з Державної премії України в галузі науки і техніки, член Державної комісії з питань реформування, розвитку Збройних сил України, інших військових формувань, озброєння та військової техніки, перший заступник голови Національної ради зі сталого розвитку України, доктор технічних наук, професор, академік НАН України. Лауреат Ленінської і Державної премій СРСР, Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений діяч науки і техніки УРСР, двічі Герой Соціалістичної Праці, перший нагороджений званням Герой України.

Напрямок науки — зварювальні процеси, металургія і технологія металів.

**ПИШНЄВ Володимир Миколайович** — начальник відділу системного аналізу показників якості Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — розробка і створення ракетно-космічної техніки.

**САВИЧ Вадим Вікторович** — перший заступник директора Інституту порошкової металургії, кандидат технічних наук, доцент.

Напрямок науки — пористі порошкові матеріали, порошкова металургія титану, хірургічні і дентальні імплантати, адитивні технології.

**САЛО Максим Петрович** — начальник сектору Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля». Лауреат Державної премії президента України в галузі науки і техніки для молодих вчених. Має одну раціоналізаторську пропозицію.

Напрямок науки — тепло- та масообмін у наземному обладнанні заправки ракет-носіїв.

**СЕЛЕЗНЬОВА Ірина Вікторівна** — інженер Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — тепло- та масообмін у наземному обладнанні заправки ракет-носіїв.

**СЕМЕНЕНКО Ярослав Віталійович** — інженер-конструктор 2-ї категорії Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — конструкції засобів заправки ракет-носіїв.

**СИБІРЯКОВА Євгенія Сергіївна** — завідувач сектору Науково-дослідного інституту «Миколаївська астрономічна обсерваторія» Міністерства освіти і науки України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — методи спостережень природних та штучних тіл у навколоземному космічному просторі.

**ТЕРНОВИЙ Євген Георгійович** — заступник завідувача відділу космічних технологій Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України.

Напрямок науки — зварювальні і споріднені технології в космічних умовах.

**ЧАБАНЕНКО Світлана Анатоліївна** — інженер-конструктор 3 категорії проектно-конструкторського відділу 177 з проектування і розробки технологічного обладнання наземних комплексів КРК, наземної інфраструктури РК і транспортних засобів спеціального призначення Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — наземні комплекси КРК, наземна інфраструктура РК, транспортні засоби спеціального призначення.