

УДК 621

П. Н. Желтов¹, В. И. Дюков², Л. П. Семенов³, В. В. Харченко¹

¹ Публічне акціонерне товариство «Український науково-дослідний інститут технології машинобудування», Дніпропетровськ

² Державне підприємство «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод ім. О. М. Макарова», Дніпропетровськ

³ Державне космічне агентство України, Київ

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Изложены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию технологий и оборудования для производства ракетно-космической техники. Работы направлены на повышение технологичности конструкций, обеспечение надежности изделий, снижение себестоимости производства.

Имея значительный опыт в разработке и внедрении комплексных и специализированных технологий и оборудования, ПАО «Украинский НИИ технологии машиностроения» (УкрНИИТМ) за последние годы совместно с ГП «Производственное объединение Южный машиностроительный завод им. А. М. Макарова» (ГП ПО ЮМЗ) и Государственным конструкторским бюро «Южное» им. М. К. Янгеля (ГП КБ «Южное») выполнял ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на технологическое обеспечение проектирования и изготовления изделий, совершенствование производственной базы РКТ.

В первую очередь работа института была направлена на решение проблемных вопросов по технологии изготовления РН «Циклон-4», повышение технологичности конструкций, обеспечение надежности изделий, снижение себестоимости производств.

Одной из принципиальных особенностей конструкции РН «Циклон-4» является сварной вафельной конструкции головной аэродинами-

ческий обтекатель с продольным раскрытием створок, который до настоящего времени не имел аналогов. Большие габариты обтекателя (диаметр 4000 мм, длина 10000 мм), малая толщина обшивки ($\delta \approx 1.5$ мм), наличие операций с различными видами сварки, механической обработки, высокие требования по обеспечению выходных геометрических параметров определяют создание технологического процесса изготовления обтекателя как сложную научно-производственную задачу.

Изучив заложенные в конструкторской документации (КД) конструкторские решения, ПАО УкрНИИТМ с привлечением ведущих специалистов ГП ПО ЮМЗ, Днепропетровского национального университета, Днепропетровского горного университета разработали директивную технологию изготовления головного обтекателя (ГО), которая была принята ГП КБ «Южное» и ГП ПО ЮМЗ. В результате проведенной работы ГП КБ «Южное» откорректировало конструкторскую документацию на головной обтекатель. После этого была проведена подготовка производства.

Для обеспечения выполнения требований КД по геометрическим параметрам и обеспечению

© П. Н. ЖЕЛТОВ, В. И. ДЮКОВ, Л. П. СЕМЕНОВ,
В. В. ХАРЧЕНКО, 2014



Рис. 1. Оснастка для отжига заготовок

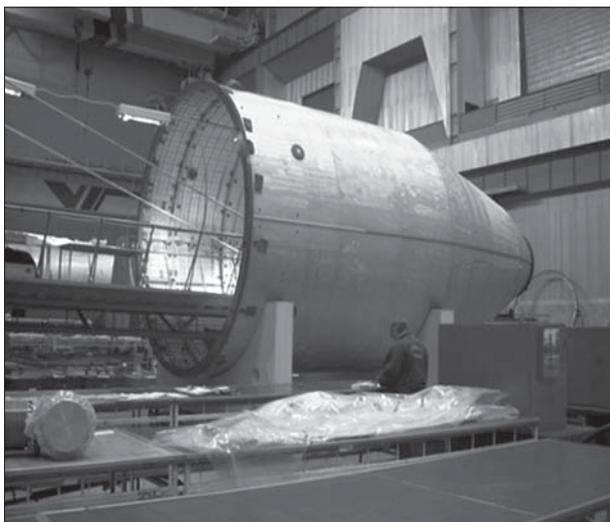


Рис. 2. Головной обтекатель

работоспособности ГО при раскрытии створок, разработана конструкторская документация и изготовлена крупногабаритная уникальная оснастка для термокалибровки и отжига заготовок конических и цилиндрических обечаек головного обтекателя, проведена последующая отработка технологии (рис. 1).

Надо отметить, что внедрение технологии калибровки узлов таких габаритов проведено впервые. Изготовленные головные обтекатели соответствуют требованиям КД (рис. 2).

Разработка конструкции топливных отсеков III ступени РН «Циклон-4» потребовала новых технических решений с учетом многократного запуска двигателя РД861К. В топливных отсеках применена сложная система обеспечения сплошности компонентов топлива в составе сетчатых разделений, сотовых наполнителей и других узлов, что исключает применение жидкостных методов определения полных объемов баков.

ПАО УкрНИИТМ совместно с ГП ПО ЮМЗ разработали оборудование и методику измерения объемов газовым методом (рис. 3), сущность которого заключается в перепуске газа из эталонной емкости в измеряемую с замером начальных и конечных параметров газа и последующим аналитическим вычислением искомого объема по формулам, устанавливающим связь между давлением, температурой в замкнутой системе и ее объемом. Для обеих измеряемых полостей топливного отсека предусмотрены индивидуальные эталонные емкости. Объемы эталонных емкостей рассчитаны таким образом, чтобы предварительный наддув емкостей осуществлялся до равного давления, а после перепуска газа в обеих полостях устанавливалось также равное (атмосферное) давление. Разработанное оборудование и методика измерения объемов газовым методом, совмещенные с испытаниями отсека на

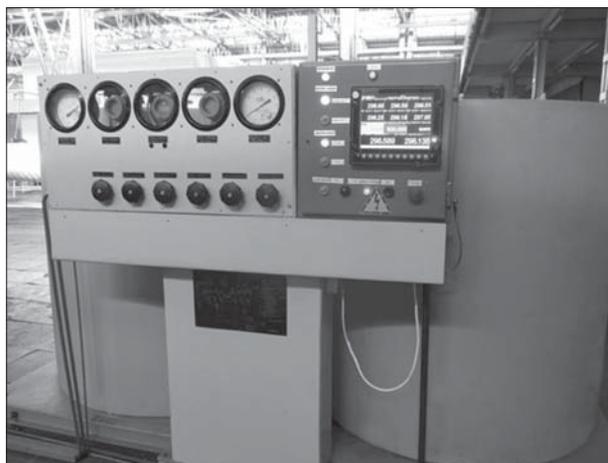


Рис. 3. Установка для измерения объемов газовым методом

герметичность, позволяют обеспечить заданную КД точность (рис. 4).

С целью обеспечения работоспособности двигателя РД861К проведено дооснащение оборудования и внедрение в цехе 23 ГП ПО ЮМЗ технологического процесса автоматизированного нанесения жаропрочного никель-хромового покрытия на критическое сечение камеры сгорания (рис. 5).

Надежность изделий РКТ в значительной мере определяется степенью чистоты узлов и агрегатов, особенно внутренних полостей топливных баков и отсеков, трактов пневмогидросистем, обтекателей. Известно, что для очистки баков и топливных отсеков изделий РКТ на ГП ПО ЮМЗ применяется струйная очистка водными растворами.

Учитывая конструктивные особенности топливных отсеков РН «Циклон-4», а именно расположение люков-лаза, высокая насыщенность конструктивных элементов и затруднительный доступ к очищаемым поверхностям, ПАО УкрНИИТМ проведен комплекс конструкторских и технологических работ по повышению эффективности очистки топливных отсеков.

Разработан и изготовлен ряд усовершенствованных моющих головок, которые являются основным узлом моечного оборудования (рис. 6). Модернизированные моечные головки с реактивными соплами обеспечивают вращение в двух плоскостях, что дает возможность проводить надежную мойку поверхностей элементов конструкции топливных отсеков. Для обеспечения подачи моющих головок в топливные отсеки спроектировано устройство подвода и позиционирования.

С целью изготовления топливных отсеков III ступени РН «Циклон-4» необходимо было решить вопрос приварки магистрального трубопровода окислителя к днищу отсека горючего в труднодоступном ограниченном пространстве. Для решения этой задачи разработана технология и оборудование для автоматизированной сварки замыкающих швов. Установка для сварки замыкающих швов оснащена оригинальной сварочной головкой, обеспечивающей сварку кромок толщиной 3 мм из сплава АМгб со скоростью 5...25 м/ч (рис. 7).



Рис. 4. Топливные отсеки III и IV ступени РН «Циклон-4»

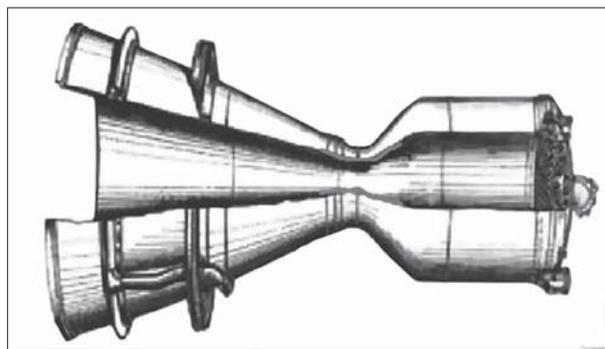


Рис. 5. Никель-хромовое покрытие в камере сгорания

В рамках Общегосударственной целевой научно-технической программы Украины ПАО УкрНИИТМ выполнен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ практически по всем технологическим направлениям производства РКТ.

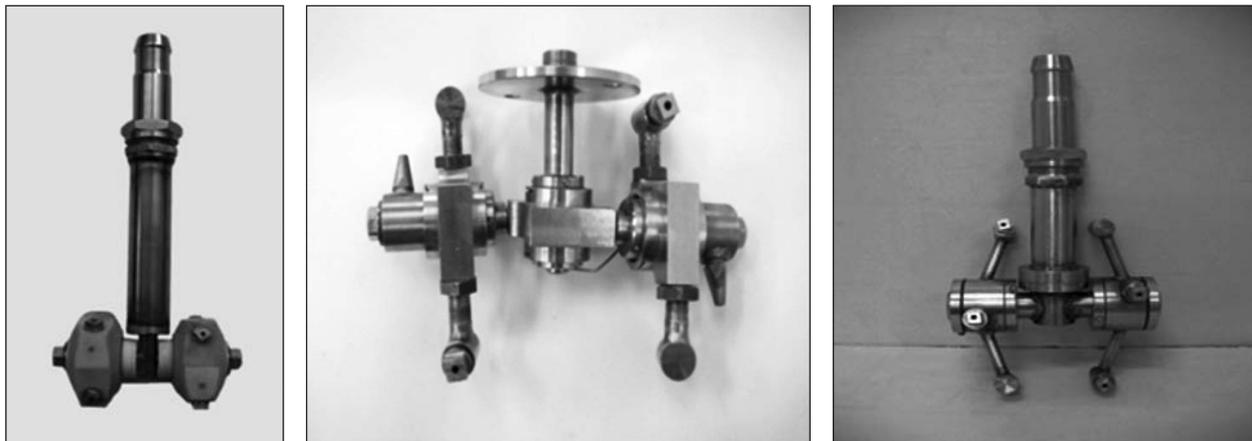


Рис. 6. Моющие головки

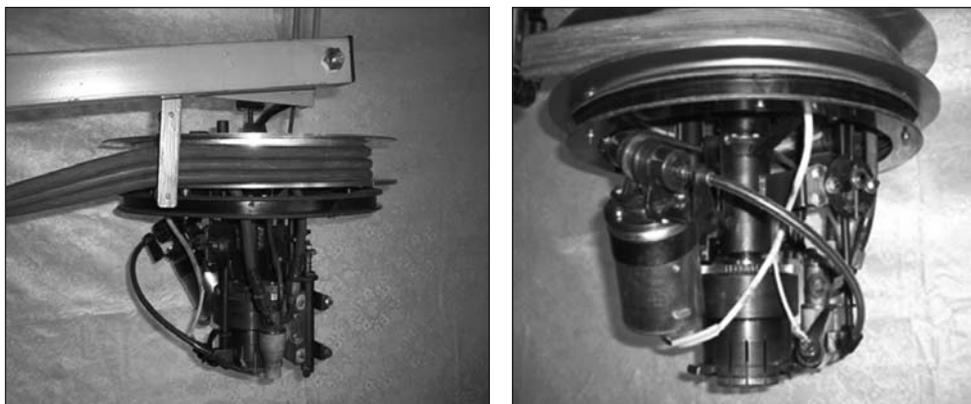


Рис. 7. Сварочная головка

За последние годы институтом разработано 19 новых технологий, 20 комплектов конструкторской документации опытных образцов и технологического оборудования для реализации новых технологий.

По направлению композиционных материалов:

Спроектирован специализированный высокопроизводительный станок для изготовления сферических баллонов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) методом намотки (рис. 8). Станок предназначен для нанесения упрочняющей оболочки из ПКМ путем геодезической намотки угле-, органо-, базальто-, стекложгутами на металлические или полимерные лейнеры сферической формы, а также баллонов формы «кокон» диаметром 250—750 мм.

Этот станок позволяет:

- заменить устаревшие тяжелые станки;
- снизить металлоемкость станка в 20...25 раз;
- снизить расход электроэнергии на одно изделие — в 10 раз;
- повысить производительность в 1.6 раза;
- повысить качество и надежность изделия.

Также спроектированы намоточные станки СПН-7, СПН-7М в различном исполнении (одношпиндельный, двухшпиндельный) для изготовления корпусов ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), сосудов высокого давления, других изделий из ПКМ, имеющих форму тел вращения (рис. 9).

Габариты изделий:

- диаметр до 1000 мм;
- длина до 3000 мм.

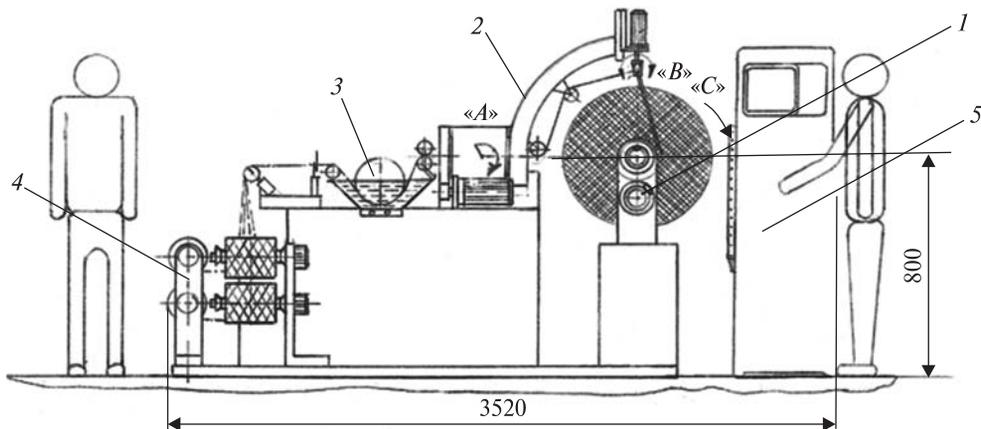


Рис. 8. Станок для изготовления сферических баллонов из полимерных композиционных материалов методом намотки

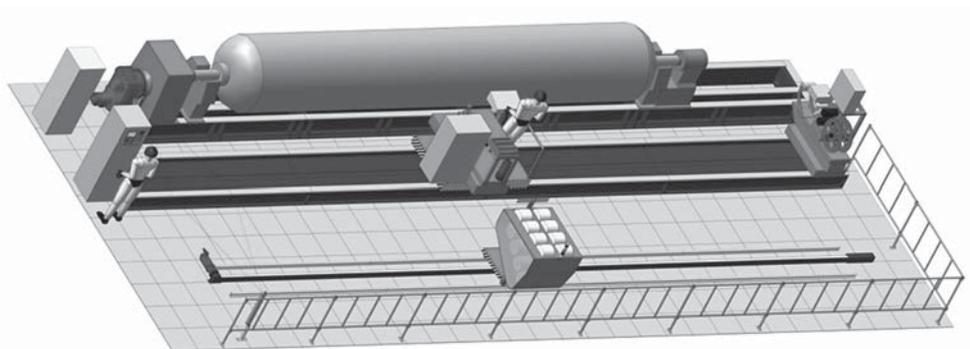


Рис. 9. Намоточные станки для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов

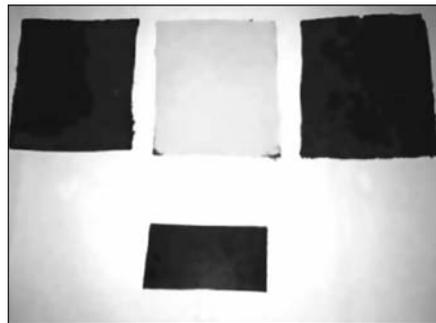


Рис. 10. Образцы полимерных композиционных материалов

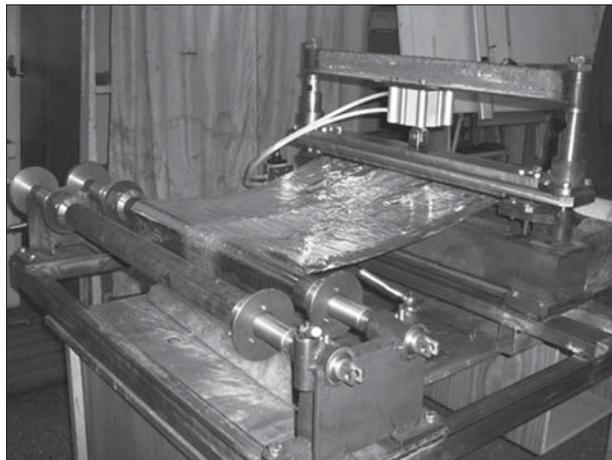


Рис. 11. Установка для автоматизированной обработки материалов

Разработана технология и опытное оборудование для изготовления слоистых пластиков (текстолитов, стекло -, угле-, базальтопластиков) на основе порошкообразных (твердых) связующих.

Технология позволяет:

- снизить себестоимость продукции;
- удалить на 100 % из производства токсичные, взрывоопасные и вредные для организма человека и окружающей среды органические растворители;
- снизить энергозатраты, необходимые для удаления летучих веществ из пропитанной ткани.

Кроме того, данная технология позволяет повысить физико-механические свойства полимерного композиционного материала на 25...40 % (рис. 10).

Технология изготовления слоистых пластиков защищена патентами Украины на изобретение.

В настоящее время в Украине на ГП ПО ЮМЗ при изготовлении экранно-вакуумной теплоизоляции применяется ручная технология. ПАО УкрНИИТМ разработана усовершенствованная экранно-вакуумная теплоизоляция, технологии и оборудование для ее производства.

Установка автоматизированной перфорации полимерной пленки и установка гофрирования и дублирования пленки предназначены для автоматизированной обработки материалов (рис. 11).

Внедрение установок позволит:

- увеличить производительность труда в два раза;
- повысить качество продукции.

С целью повышения физико-механических характеристик ПКМ проведены научно-исследовательские работы по созданию технологии изготовления нового класса наномодифицированных ПКМ аэрокосмического назначения.

Проведены опытные работы по модифицированию полимерной матрицы детонационными наноалмазами и нанотрубками.

Предварительные исследования показали, что модифицирование полимерной матрицы детонационными наноалмазами позволило достичь увеличение разрушающего напряжения стеклопластика при одноосном растяжении на 25 % и при изгибе — на 28 % (при нормальных температурах).

Модифицирование полимерной матрицы углеродными нанотрубками обеспечило увеличение разрушающего напряжения стеклопластика при одноосном растяжении на 22 %, при температуре +150 °С и на 15 % при температуре –196 °С.

Работы по созданию современных материалов целесообразно продолжать совместно с институтами Национальной академии наук Украины.

Внедрение таких материалов позволит снизить массу изделий на 20 %, повысить надежность и эксплуатационный ресурс, что является важным для изделий аэрокосмического назначения.

Институтом проведен комплекс работ по совершенствованию технологии нанесения жаростойких и защитных гальванохимических покрытий. Примером может служить разработка усовершенствованной технологии нанесения жаростойкого никель-хромового покрытия на камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) в зоне критического сечения с использованием платинированных титановых анодов взамен применяемых свинцовых анодов, а также разработанного электролита с наноалмазным синтетическим порошком.

Применяемые в настоящее время технологии обеспечивают недостающую равномерность покрытия порядка 40...50 % из-за пассивации свинцовых анодов и малого межэлектродного расстояния.

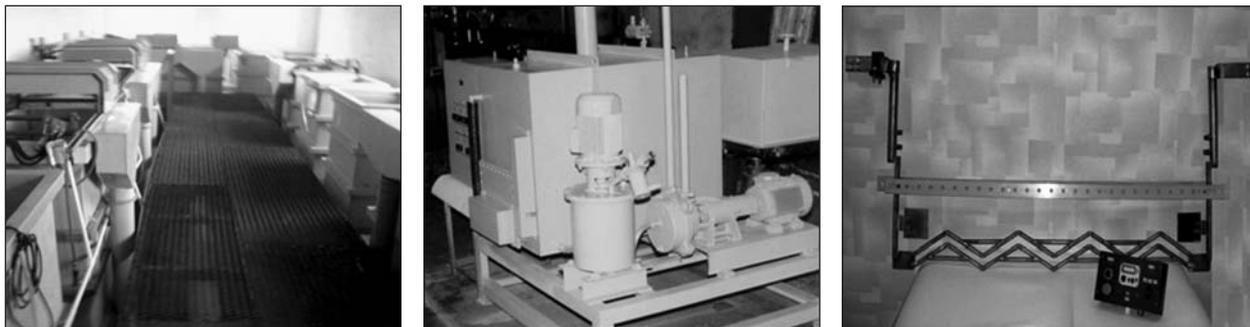


Рис. 12. Малогабаритные установки регенерации электролитов хромирования, универсальные безопасные титановые электронагревательные системы для гальванических ванн

Внедрение разработанной технологии позволяет обеспечить равномерность покрытия более 85 %, увеличение ресурса в 1.5 раза и более за счет увеличения толщины и жаростойкости кластерных покрытий, повысить надежность работы ЖРД, особенно при многократном включении.

До настоящего времени гальванические производства являются экологически вредными за счет наличия гальванических отходов и стоков, которые требуют наличия дорогостоящих очистных сооружений.

Институтом выполнен комплекс работ по созданию экологически чистых энергосберегающих технологий гальванических производств нанесения цинковых, никелевых, хромовых и других покрытий. Разработаны малогабаритные безотходные гальванические комплексы, автоматизированные малогабаритные установки регенерации электролитов хромирования, универсальные безопасные титановые электронагревательные системы для гальванических ванн (рис 12). Внедрение данных технологий позволит сократить потребление воды в 100 раз, исключить сброс загрязненных сточных вод, сократить удельные производственные площади в 1.5...2 раза.

За последние годы значительно повысились требования к качеству и надежности производимой продукции, особенно ракетно-космической техники. В связи с этим стоит задача более широкого внедрения контроля качества узлов и агрегатов, в первую очередь внедрения оборудо-

вания и методов комплексного неразрушающего контроля качества от заготовительного производства до диагностики элементов конструкции в процессе эксплуатации.

Институтом проведены научно-исследовательские работы по разработке новых приборов неразрушающего контроля, совершенствованию методов контроля, в том числе применению бесконтактного метода ультразвукового контроля, разработка современных автоматизированных установок контроля качества металлов и композиционных и материалов. Разработан ультразвуковой дефектоскоп УД 923-АП1 для неразрушающего контроля качества армированных пластиков, углепластика, органо-, стеклопластика, трехслойных конструкций с сотовым наполнителем, неметаллических покрытий на металлическом и неметаллическом основании. Дефектоскоп позволяет выявлять неприклеи, расслоения, инородные включения (рис. 13).

С целью обеспечения входного контроля крупногабаритных алюминиевых плит, исключения дефектов на последующих технологических операциях разработана опытная методика неразрушающего контроля качества и технический проект автоматизированной установки бесконтактной ультразвуковой дефектоскопии алюминиевых плит.

Разработанные технические решения позволяют автоматизировать процесс контроля, исключить использование контактной жидкости, проводить контроль без расконсервации плит,



Рис. 13. Ультразвуковой дефектоскоп УД 923-АП1

регистрировать дефекты на поверхности плиты в электронном и бумажном виде.

В данной обзорной статье не представляется возможным рассмотреть весь объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию технологии и оборудования для производства РКТ, раскрыть особенности и новизну выполненных работ.

Созданный научно-технический задел по совершенствованию технологий и технологического оборудования позволит в будущем гарантировать повышение характеристик разрабатываемой и производимой ракетно-космической техники, внести вклад в обеспечение ее конкурентоспособности на мировом рынке.

1. *Висновок* про видачу деклараційного патенту на винахід за результатами формальної експертизи на заявку 20031212682. Верстат для спірального намотування виробів з композиційних матеріалів. — Заявл. 29.12.2003 р.
2. *Пат.* 80218 С2 UA, МПК, В32В 17/12, В29В 15/10. Спосіб виробництва шаруватого матеріалу / І. Є. За-

- ворітько, М. А. Малий, В. В. Шелухін та ін. — Опубл. 27.08.2007 р., Бюл. № 13.
3. *Пат.* 86703 С2 UA, МПК, В32В 27/00. Спосіб виготовлення виробу з полімерних композиційних матеріалів / І. Є. Заворітько, М. А. Малий, П. М. Желтов, В. В. Луговський. — Опубл. 12.05.2009 р., Бюл. № 9.
4. *Пат.* 89089 С2 UA, МПК, G01F 11/00, G01F 13/00. Дозатор для порошкоподібних матеріалів / І. Є. Заворітько, С. О. Засуха, П. М. Желтов та ін. — Опубл. 25.12.2009 р., Бюл. № 24.
5. *Пат.* 66462 U UA, МПК, В29С 51/10, В29С 51/18. Установка гофрування та дублювання плівки / П. М. Желтов, С.О. Засуха, Л. П. Семенов та ін. — Опубл. 10.01.2012 р., Бюл. № 1.
6. *Пат.* 71723 U UA, МПК, G01N 29/04. Спосіб ультразвукового контролю великогабаритних алюмінієвих плит / О. Л. Серебренніков, П. М. Желтов, А. Б. Заркало та ін. — Опубл. 25.07.2012 р., Бюл. № 14.

Стаття надійшла до редакції 20.10.14

П. М. Желтов, В. І. Дюков, Л. П. Семенов, В. В. Харченко

РОЗРОБКА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Викладено результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт із удосконалення технології та устаткування для виробництва ракетно-космічної техніки. Роботи направлено на підвищення технологічності конструкцій, забезпечення надійності виробів, зменшення собівартості виробництва.

P. N. Zheltov, V. I. Diukov, L. P. Semenov, V. V. Kharchenko

DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR PRODUCTION OF ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY

The article presents the results of research and development work to improve the technology and equipment for production of rocket and space technology. Work aimed at improving the manufacturability of designs, ensuring the reliability of the products, lowering production costs.