

DOI: 10.18698/0236-3941-2015-6-130-142

УДК 629.7.036.001.2 (082)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ КАПИЛЛЯРНЫХ ТОПЛИВОЗАБОРНЫХ УСТРОЙСТВ ИЗ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОРИСТО-СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

А.А. Александров<sup>1</sup>, В.В. Хартов<sup>2</sup>, Ю.М. Новиков<sup>1</sup>,  
В.И. Крылов<sup>1</sup>, Д.А. Ягодников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация  
e-mail: rector@bmstu.ru

<sup>2</sup>ФГУП “ЦНИИмаш”, г. Королёв, Московская обл., Российская Федерация

*Одной из проблем, возникающих при разработке космических аппаратов с длительным сроком активного функционирования, является обеспечение надежности внутрибаковых заборных систем жидкого ракетного топлива. Рассмотрены внутрибаковые устройства капиллярного типа из пористых проницаемых материалов. Проведенный анализ показал определенные преимущества устройств капиллярного типа из комбинированного пористо-сетчатого металла по сравнению с сеточными разделителями на основе отдельных металлических тканых сеток. Работы этого направления, проводимые в течение длительного времени в МГТУ им. Н.Э. Баумана, показали, что переход на новые конструкции внутрибаковых устройств капиллярного типа может быть выполнен в сокращенные сроки при тесном взаимодействии с промышленными предприятиями, что подтверждается итогами сотрудничества с ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина” по разработке внутрибакового устройства капиллярного типа и топливных фильтров из пористо-сетчатых металлических материалов для космического аппарата “Спектр-М”. Изготовленные опытные образцы внутрибаковых устройств капиллярного типа и топливного фильтра из комбинированного пористо-сетчатого металла на спроектированных и изготовленных модулях опытной технологической сварочной установки позволили перейти к этапу формирования производственного участка для тиражирования таких устройств в соответствии с требованиями системы менеджмента качества. Полученные результаты позволяют планировать научно-исследовательские работы по созданию производственного, испытательного и контрольного оборудования для разработки и изготовления заборных устройств из комбинированного пористо-сетчатого материала для топливных систем космических аппаратов с длительным сроком активного существования, а также обеспечить подготовку специалистов соответствующего профиля.*

**Ключевые слова:** пористые проницаемые материалы, внутрибаковые заборные устройства капиллярного типа, космический аппарат, комбинированный пористо-сетчатый материал, технологический лазерный сварочный пост, фильтры, технологическая сварочная установка.

## CURRENT STATE AND PROSPECTS OF CAPILLARY FUEL-INTAKE UNITS MADE OF COMBINED POROUS METALS-MESH FOR LONG LIFETIME SPACECRAFT

A.A. Aleksandrov<sup>1</sup>, V.V. Khartov<sup>2</sup>, Yu.M. Novikov<sup>1</sup>,  
V.I. Krylov<sup>1</sup>, D.A. Yagodnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation  
e-mail: rector@bmstu.ru

<sup>2</sup>Central Research Institute for Machine Building, Korolev,  
Moscow Region, Russian Federation

*Development of the long lifetime spacecraft defines a number of problems. One of them is reliability assurance of inertant capillary type devices. The paper considers inertant capillary type devices. The research results demonstrate certain advantages of inertant capillary type devices made of combined porous metal-mesh over those made of metal-mesh based on separate metal woven wires. The research having been conducted at BMSTU for a long time shows that the adoption of a new design of inertant capillary type devices can be performed fast-track in case of close cooperation with industrial enterprises. It is proved by a successful cooperation of BMSTU and FSUE Research and Production Association n.a. S.A. Lavochkin resulted in the development of both inertant capillary type devices and capillary-porous fuel filters for Spektr-M spacecraft. The industrial prototypes of both inertant capillary type devices and fuel filters made of combined porous metal-mesh were manufactured on the designed and assembled prototype modules of the technological laser welding station. This allows organizing a production sector for duplication of these devices with the required quality which is predetermined by quality management systems. The obtained results allow planning research into development of industrial, testing, and check-out facilities for designing and manufacturing inertant capillary type devices made of combined porous metal-mesh for propellant system of long lifetime spacecraft, as well as training specialists in the appropriate field.*

**Keywords:** porous permeable materials, inertant capillary type devices, spacecraft, combined porous metal-mesh, technological laser welding station, filters, technology welding machine.

Проблема многократного запуска жидкостных ракетных двигателей, используемых в системах навигации и ориентации космических летательных аппаратов (КЛА), особенно актуальна для аппаратов с длительным сроком активной работы, определяемым в 10 лет для перспективных КЛА [1]. Решение этой проблемы обеспечивается различными системами забора топливных компонентов из баков жидкостных ракетных двигательных установок (ЖРДУ) верхних ступеней ракет-носителей, разгонных блоков (РБ) и КЛА. Среди общих требований к этим системам, которые определяют их эксплуатационные характеристики и техническое совершенство, результирующим является разделение жидкой и газовой фаз, которые формируются в условиях отсутствия тяготения (микрогравитации), а конечная задача — это обеспечение подачи из топливного бака в топливную магистраль ЖРДУ только жидкой фазы. Для этого применяются как некапиллярные системы, использующие эластичные мешки, металлические диафрагмы

переменной жесткости и другие устройства, так и капиллярные системы отбора жидкости из баков [1]. Для топливных баков больших объемов применимы сеточные разделители (СР) на основе отдельных металлических тканых сеток [2].

Обобщение результатов исследований, условий и режимов работы СР в качестве внутрибаковых устройств капиллярного типа (ВБУ КТ) выполнено в монографии [1], выпущенной под редакцией основателя ведущей научной школы “Гидродинамика и тепломассообмен в структурно сложных средах” профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана В.М. Поляева. Впервые обобщены результаты научных исследований (до 1990 г.) отечественных и зарубежных авторов. Приведенные результаты стали сравнительной базой всех последующих исследований СР, а исследования СР на виброустойчивость с рекомендациями выбора типа плетения сеток [3] — заметной составляющей научной школы профессора В.М. Поляева [4].

Современный этап решения рассматриваемой проблемы связан с появлением новых проницаемых пористых структур. Одним из наиболее эффективных материалов для ВБУ КТ является комбинированный пористо-сетчатый материал (КПСМ) [5, 6]. Экспериментальные исследования, основанные на визуализации физического процесса отбора жидкости из бака, показали работоспособность такого ВБУ КТ в отличие от теряющего работоспособность СР при прорыве газовой фазы [2, 6, 7]. Расчетные модели, справедливые для СР, для материалов такого типа не применимы, поэтому потребовались разработка и создание нового подхода к математическому моделированию с расчетом функциональной способности ВБУ КТ из КПСМ [2, 7]. Появление КПСМ для новых ВБУ КТ стало результатом работ в области нового научно-прикладного направления профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана С.В. Белова, в развитие работ научной школы профессора Поляева В.М., много и плодотворно исследовавшего процессы тепломассообмена в теплонапряженных устройствах из пористых сетчатых металлов (ПСМ) [4].

Новый проницаемый материал КПСМ [5, 6, 8–10] сочетает в себе высокую равномерность структуры и высокие, относительно предыдущих ПСМ, расходные характеристики, близкие к пропускной способности функциональных сеток в конструкции изделия. Структура материала КПСМ, определяющая основной параметр ВБУ КТ — капиллярную удерживающую способность (КУС), обладала еще и новым качеством, которое в рамках работ по проекту КПСМ было определено как “самозарашивание”, “самовосстановление”. Это качество ВБУ КТ из КПСМ, в отличие от СР, при попадании газовой фазы за разделитель не приводит к нарушению его работоспособности [8, 9], что подтверждено при отработке ВБУ КТ на предприятиях отрасли [2, 8].

Такие свойства нового КПСМ позволили в короткий срок (7–9 месяцев) подготовить опытные образцы штатного исполнения ВБУ КТ из КПСМ на основе кооперации организаций, выполняющих работы по проекту КПСМ [8, 9]. Однако внедрение ВБУ КТ из КПСМ потребовало создания принципиально новой инфраструктуры по разработке, изготовлению и испытаниям этих изделий, а также соответствующей системы подготовки кадров.

Первая обобщенная формулировка комплексного подхода по наземной отработке капиллярных фазоразделителей на основе КПСМ изложена в работе [12]. За разработкой и созданием образцов новой техники, потребность в которых измеряется в отраслевой промышленности единицами и /или малыми партиями изделий, неизбежно должен идти этап подготовки соответствующего профильного производства или расширения возможностей близкого по технологиям существующего производства. Именно такая задача обозначилась при выполнении совместных работ МГТУ им. Н.Э. Баумана и ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина”, при которых вузовские разработки по пористым изделиям воспроизводятся в условиях опытного производства кооперации организаций как опытные изделия, имеющие характеристики штатного (летного) исполнения. Последующая полная отработка таких изделий проводится на производственной базе заказчика на соответствие штатным (летным) изделиям. Один из вариантов жизненного цикла создания высококачественных пористых проницаемых изделий единичного производства для задач космической промышленности и реализуется в настоящее время.

Однако вопрос разработки и производства капиллярных фазоразделителей на основе КПСМ может быть поставлен более широко и обобщенно, поскольку задача должна решаться не только в интересах ряда предприятий, но и в отраслевом масштабе. Если основной объем работ по разработке новых проницаемых структур, изготовлению опытных образцов с заданными параметрами, их испытания и методическая отработка — это прерогатива вузов, то комплекс работ по обеспечению функционирования создаваемого изделия в составе узла или системы в условиях, близких к эксплуатационным, должен реализовываться на отраслевом предприятии. Там же должен выполняться и основной объем работ по изготовлению штатных изделий с проведением необходимых контрольных и приемо-сдаточных испытаний.

Для сокращения временных потерь для решения поставленных задач должны привлекаться кафедры, наиболее близкие по тематике работ. Для них такая ориентированная на прикладное значение задача станет новым витком развития, поскольку основной целью в своей деятельности МГТУ им. Н.Э. Баумана считает создание научно-инженерных школ мирового уровня в наиболее наукоемких напри-

влениях техники и технологий. В МГТУ им. Н.Э. Баумана научно-практическое направление по изучению процессов тепломассообмена в проницаемых структурах было сформировано на кафедре “Ракетные двигатели”, возглавляемой профессором В.М. Кудрявцевым в 1961–1994 гг. [4], в рамках которого получен ряд практически значимых результатов [10, 11].

Безусловным критерием правильности работ в этом направлении является способность оперативно реагировать на запросы предприятий промышленности развитием высокотехнологичных направлений, что означает получение положительного результата за срок не более года. Такими предприятиями для рассматриваемых проблем являются предприятия космической промышленности, наиболее оперативно использующие результаты высоких технологий и способствующие их развитию [13], а одним из наиболее близких к работам в области пористых материалов в МГТУ им. Н.Э. Баумана является научно-прикладное направление по созданию фильтров (Ф), фильтроэлементов (ФЭ), внутривакуумных устройств капиллярного типа, других капиллярных заборных устройств (КЗУ) из КПСМ. Усилиями ученых и инженеров МГТУ им. Н.Э. Баумана [5, 6] разработаны технологии производства конкретных изделий из КПСМ для предприятий космической отрасли, совокупные эксплуатационные параметры которых превышают лучшие зарубежные аналоги,

Выполненные совместные работы по созданию модели ВБУ КТ из КПСМ для КА длительного срока активного существования показали перспективность работ этого направления и на рабочем совещании руководителей МГТУ им. Н.Э. Баумана и ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина” намечена программа, служащая системной основой комплексного взаимодействия организаций, для выполнения которой необходимо:

1) наращивать конкретные наработки по системной продукции из КПСМ, необходимой для предприятий ракетно-космической отрасли;

2) разработать план создания на площадях предприятия-заказчика комплексного технологического поста на основе технологической сварочной установки (ТСУ) для изготовления опытных и серийных изделий из КПСМ по требованиям системы менеджмента качества отрасли;

3) оценить возможность изготовления опытных образцов ВБУ КТ из КПСМ и фильтроэлементов топливного фильтра из КПСМ с параметрами, удовлетворяющими требованиям двигательной установки космического аппарата (ДУ КА) “Спектр-М”;

4) детально рассмотреть вопросы привлечения профильных рассматриваемой проблеме кафедр МГТУ им. Н.Э. Баумана в части использования, а в случае необходимости и дооснащения их экспериментальной базы, для изготовления и исследований изделий из КПСМ;

5) предусмотреть целевую подготовку специалистов по этому направлению для промышленных предприятий-заказчиков.

Такое решение связано с тем, что МГТУ им. Н.Э. Баумана — головной исполнитель кооперации организаций по проекту “Проект КПСМ” — фактически был организатором пионерских работ по внедрению изделий из КПСМ на предприятиях страны [6–9, 13, 14].

Фактически за срок не более полутора лет с мая 2013 года в соответствии с намеченной программой:

1) разработаны и изготовлены полномасштабные опытные образцы летных ВБУ КТ и фильтроэлементы из КПСМ топливного фильтра;

2) разработаны и изготовлены модули опытной технологической сварочной установки для изготовления изделий из КПСМ для производственного участка предприятия-заказчика, удовлетворяющие требованиям системы менеджмента качества;

3) разработан план создания на площадях предприятия-заказчика комплексного технологического поста и общая схема производственного и испытательного участков.

В развитие перспективного направления по изготовлению полномасштабных образцов ВБУ КТ и фильтроэлементов из КПСМ топливного фильтра для КЛА на ближайшие три года согласована программа, в соответствии с которой проводятся:

1) разработка методологии и методик исследования и контроля качества функционирования ВБУ КТ и фильтров из КПСМ;

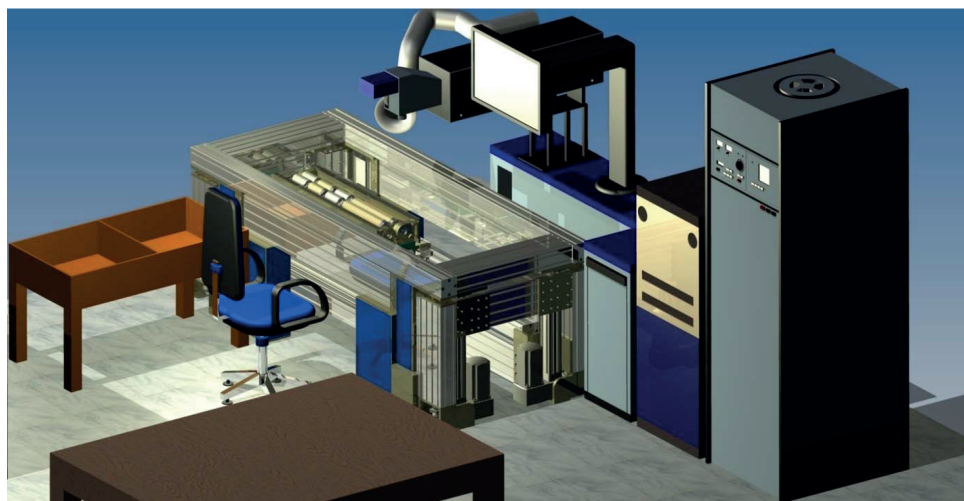
2) разработка и изготовление лабораторных испытательных стендов для отработки и контроля качества изделий из КПСМ в процессе их изготовления и сертификации.

3) усовершенствование опытной технологической сварочной установки (ТСУ) для обеспечения изготовления модификаций конструкций ВБУ КТ с учетом требований к ДУ КА “Спектр-М”.

Комплекс указанных работ базируется на аналогичных классических мероприятиях по отработке СР [1].

На рис. 1 приведен разработанный макет ТСУ, который будет введен в эксплуатацию на предприятии заказчика, два блока уже изготовлены в рамках предыдущих совместных работ в рамках кооперации организаций “Проект КПСМ”. В конечном итоге предприятия космической отрасли получат научно-технический продукт самого высокого качества для аналогичных задач всей отрасли.

Задачами, направленными на достижение опережающих прикладных разработок, являются те, которые связаны с непосредственным изучением разнообразных физических процессов, позволяющих разобраться в их природе. В отношении рассматриваемых вопросов это относится к сложным процессам капиллярной пропитки и переноса за счет капиллярных сил жидких рабочих сред внутри пористых



**Рис. 1.** Общий вид опытной технологической сварочной установки для изготовления модификаций конструкций ВБУ КТ с учетом требований к ДУ КА “Спектр-М”

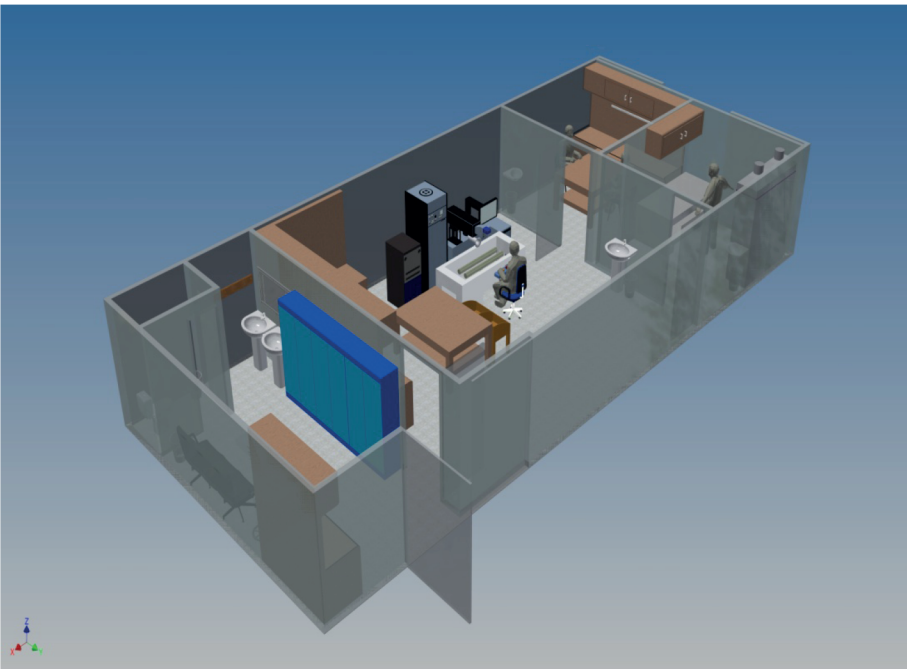


**Рис. 2.** Первая конструкция ВБУ КТ из КПСМ — конический фильтр-фазоразделитель

структур, к вопросам разделения газовой и жидкой сред, которыми занимаются на ряде профильных кафедр МГТУ им. Н.Э.Баумана [15]; их изучение позволило выйти на работоспособные, первые в своем роде, конструкции ВБУ КТ из КПСМ.

На рис. 2 приведена первая конструкция ВБУ КТ из КПСМ — конический фильтр-разделитель, который был установлен в топливном баке двигательной установки КА по программе “КУПОН”. Замена нетехнологичного варианта такого разделителя на основе отдельных металлических тканых сеток изделием из КПСМ сразу же дала положительный результат по стабильности капиллярной удерживающей способности (КУС), весовым параметрам, по вопросам качества мест соединения проницаемого материала и корпусных деталей устройства.

Очевидно, что необходимо расширять дальнейшие исследования ряда физических явлений для пористых структур на таких КПСМ. В частности, выявленный процесс “самозаравнивания” места прорыва газовой фазы через пористую стенку без лавинообразного процесса прорыва газа, наблюдаемого для сеточных разделителей, показал в то же время, что при медленном снижении значений перепада давления ниже значения КУС в условиях



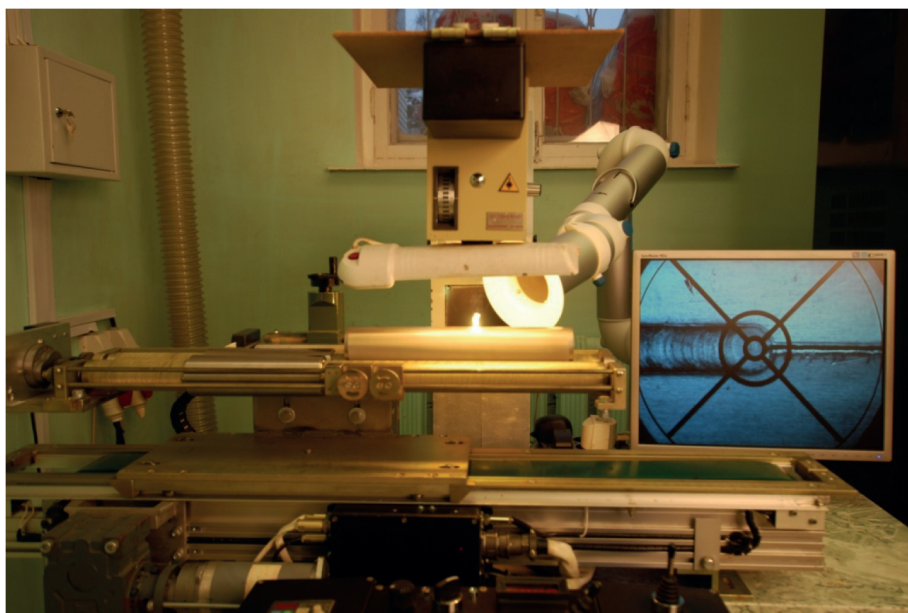
**Рис. 3. План-схема производственного участка с технологической сварочной установкой**

отсутствия вибрационных и динамических возмущений наблюдаются процессы истечения пузырьков газовой среды. Изучение этих процессов требует более глубоких исследований процессов в пористых структурах, что позволит получить более полную картину работоспособности устройств из КПСМ и других проницаемых материалов.

В настоящее время производство различных изделий из пористых материалов типа КПСМ, используемых в космической технике, таких как фильтры, фильтроэлементы, ВБУ КТ, может быть организовано на производственном участке, разработанном для ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина” (рис. 3). Его центральным объектом является технологический сварочный лазерный пост на основе разрабатываемой ТСУ, действующий базовый вариант которой показан на рис. 4. На этой установке, спроектированной и изготовленной в рамках работ по программе “Проект КПСМ”, выполняются практически все существующие заказы по изделиям из КПСМ с высоким качеством соединений [10].

Сегодняшние достижения по научно-прикладному направлению применения в ракетно-космической технике пористых материалов демонстрируют продуктивность идей, сформулированных в работах научной школы профессора В.М. Поляева в 1970–1990 гг. на кафедре “Ракетные двигатели” МГТУ им. Н.Э. Баумана, в те годы возглавляемой профессором В.М. Кудрявцевым. И в год 90-летия со дня рождения





**Рис. 4. Базовая модификация технологической сварочной установки**

этим выдающихся ученых и организаторов науки следует отдать им дань почтения и по праву гордиться достигнутыми результатами.

В заключение следует отметить, что в настоящее время сформировано комплексное представление двух технологических платформ — одной на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана для исследований, разработки и изготовления опытных проницаемых изделий из КПСМ с параметрами штатного летного изделия и другой на базе ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина” для изготовления, испытаний и сертификации штатных изделий КПСМ для агрегатов ракетно-космического назначения, что является основой долговременного плодотворного сотрудничества вуза и промышленных предприятий в области современных технологий и подготовки специалистов высшей квалификации.

*Результаты работ, выполненных МГТУ им. Н.Э. Баумана в кооперации организаций “Проект КПСМ” для ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина” по разработке внутрибакового устройства капиллярного типа и топливных фильтров из КПСМ для КА “Спектр-М”, нашли одобрение на заседании секции № 4 НТС Роскосмоса 2 апреля 2015 г. при защите эскизного проекта космического комплекса “Спектр-М”.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов* / В.В. Багров, А.В. Курпатенков, В.М. Поляев и др. / под ред. В.М. Поляева. М.: УНПЦ “Энергомаш”, 1997. 328 с.
2. *Сапожников В.Б., Меньшиков В.А., Партола И.С., Корольков А.В.* Развитие идей профессора В.М. Поляева по применению пористо-сетчатых материалов для внутрибаковых устройств, обеспечивающих многократный запуск ЖРД // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2006. № 2 (63). С. 78–88.

3. *Научные основы технологий XXI века*. М.: УНПЦ “Энергомаш”, 2000. 136 с.
4. *Научные школы Московского государственного технического университета имени Н.Э.Баумана. История развития* / под ред. И.Б.Федорова, К.С.Колесникова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. 464 с.
5. *Новиков Ю.М., Большаков В.А.* Концепция создания высоконадежных фильтров для объектов повышенной опасности // *Экология и промышленность России*. 2001. № 11. С. 27–31.
6. *Новиков Ю.М., Большаков В.А.* Первые итоги реализации концепции создания высоконадежных фильтров из КПСМ для объектов повышенной опасности и других объектов различных отраслей экономики РФ // *Безопасность жизнедеятельности*. 2002. № 12. С. 7–10.
7. *Корольков А.А., Партола И.С., Сапожников В.Б.* Теоретические основы разработки и экспериментальной отработки капиллярных заборных устройств с минимальными остатками топлива: Науч.-техн. разработки ОКБ-23–КБ “Салют”. М.: Воздушный транспорт, 2006. С. 313–320.
8. *Мартынов М.Б., Константинов С.Б., Новиков Ю.М., Большаков В.А.* Перспективы применения комбинированных пористых сетчатых металлов (КПСМ) для внутрибаковых устройств капиллярного типа топливных баков космических аппаратов дальнего космоса с учетом первого опыта их применения по программе “Купон” // *Ракетно-космические двигательные установки: сб. материалов Всеросс. науч.-техн. конф. / ООО “Диона”. М., 2010. С. 73–74.*
9. *Новиков Ю.М., Большаков В.А., Партола И.С.* Первая длинномерная конструкция капиллярного заборного устройства из КПСМ: подтверждение надежности и высокой эффективности по результатам эксплуатации в составе дополнительного топливного бака разгонного блока “Бриз-М” ракетного космического комплекса “Протон-М/Бриз-М” // *Ракетно-космические двигательные установки: материалы Всеросс. науч.-техн. конф. (Москва, октябрь, 2013) / Минобрнауки РФ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, Региональная общественная организация выпускников и друзей кафедры “Ракетные двигатели” МГТУ им. Н.Э.Баумана. М., 2013. С. 17–19.*
10. *Инженерная школа МГТУ им. Н.Э.Баумана: проекту “Комбинированные пористые сетчатые металлы (КПСМ)” 20 лет: инновационные достижения и ближайшие задачи / Ю.М.Новиков, А.А.Богданов, В.А.Большаков, В.Н.Галаганов, Н.В.Дашунин, В.И.Крылов // Вооружение и экономика. 2011. № 1 (13). С. 194–205. Электронный научный журнал. <http://www.vvt-eco.ru>*
11. *Новиков Ю.М., Большаков В.А.* Инженерная школа МГТУ им. Н.Э.Баумана: Комбинированные пористые сетчатые металлы. Эффективные, безопасные и экологичные изделия на их основе // *Безопасность жизнедеятельности*. 2005. № 11. С. 53–56.
12. *Сапожников В.Б., Крылов В.И., Новиков Ю.М., Ягодников Д.А.* Наземная отработка капиллярных фазоразделителей на основе комбинированных пористо-сетчатых материалов для топливных баков жидкостных ракетных двигателей верхних ступеней ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2013. Вып. 4 (16). URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/707.html>
13. *Партола И.С.* Результаты проектирования и отработки капиллярных заборных устройств торового топливного бака РБ “Бриз-М” // *Первая междунар. науч.-техн. конф. “Аэрокосмические технологии”, посвященная 90-летию со дня рождения академика В.Н.Челомея: Сб. докл. / МГТУ им. Н.Э.Баумана, НПО “Машиностроение”. М., 2004. С. 19–22.*
14. *Новиков Ю.М., Большаков В.А.* Высоконадежные регенерируемые фильтры и фильтроэлементы из комбинированного пористого сетчатого металла (КПСМ) для сложных технических объектов // *Безопасность жизнедеятельности (БЖД)*. 2001. № 7. С. 13–18.

15. Романов А.С., Семиколонов А.В. Безнапорное заполнение капилляра частично смачивающей жидкостью // Ракетно-космические двигательные установки: материалы Всеросс. науч.-техн. конф. (Москва, октябрь, 2013). Минобрнауки РФ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Региональная общественная организация выпускников и друзей кафедры “Ракетные двигатели” МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2013. С. 49–53.

## REFERENCES

- [1] Bagrov V.V., Kurpatenkov A.V., Polyayev V.M. Kapillyarnye sistemy otbora zhidkosti iz bakov kosmicheskikh letatel'nykh apparatov [The Capillary System for Fluid Intake from the Spacecraft Tanks]. Moscow, UNPTs Energomash Publ., 1997. 328 p.
- [2] Sapozhnikov V.B., Men'shikov V.A., Partola I.S., Korol'kov A.V. Development of Ideas of Professor V.M. Polyayev on Application of Porous-meshed Materials for Internal Tank Devices Providing Repeated Many Times Start-up of Liquid Propellant Engines. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2006, no. 2 (63), pp. 78–88 (in Russ.).
- [3] Nauchnye osnovy tekhnologiy XXI veka [Scientific Bases of Technologies of the XXI Century]. Moscow, UNPTs Energomash Publ., 2000. 136 p.
- [4] Fedorov I.B., Kolesnikov K.S., eds. Nauchnye shkoly Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni N.E. Baumana. Istoriya razvitiya [Scientific Schools of the Bauman Moscow State Technical University. History of Development]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2005. 464 p.
- [5] Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A. The Concept of Creating Super-Reliable Filters for High-Risk Facilities. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii (EKiP)* [Ecology and Industry of Russia], 2001, no. 11, pp. 27–31 (in Russ.).
- [6] Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A. The First Results of Implementation of the Concept of Creating Super-Reliable CPMM Filter for High-Risk Facilities and Other Objects of Various Branches of the Russian Economy. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety], 2002, no. 12, pp. 7–10 (in Russ.).
- [7] Korol'kov A.A., Partola I.S., Sapozhnikov V.B. Teoreticheskie osnovy razrabotki i eksperimental'noy otrabotki kapillyarnykh zabornykh ustroystv s minimal'nymi ostatkami topliva [Principal Theory of Development and Experimental Testing Capillary Intake Devices with Minimal Fuel Residues]. *Nauch.-tekhn. razrabotki OKB-23. KB “Salyut”*. Moscow, Vozdushnyy transport Publ., 2006. 720 p., pp. 313–320.
- [8] Martynov M.B., Konstantinov S.B., Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A. Prospects for Using Combined Porous Meshed Metals (CPMM) in Capillary-Type Innertank Devices of Outer Space Spacecraft Fuel Tanks, Considering the Experience of Their First Application Under the “Coupon” Program. *Raketno-kosmicheskie dvigatel'nye ustanovki: Sb. Mat. Vseross. nauch.-tekhn. konf.* [Rocket and Space Propulsion Systems. Proc. All-Russ. Sci. and Tech. Conf.], Moscow, 2010. pp. 73–74 (in Russ.).
- [9] Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A., Partola I.S. The First Lengthy Capillary Structure of the CPMM Intake Device: Confirmation of the Reliability and High Efficiency based on the Results of Operation as part of Upper Stage “Breeze-M” Additional Fuel Tank of the Rocket Space Complex “Proton-M/Briz-M”. *Raketno-kosmicheskie dvigatel'nye ustanovki. Mat. Vseross. nauch.-tekhn. konf.* [Rocket and Space Propulsion Systems. Proc. All-Russ. Sci. and Tech. Conf.], Moscow, 2013, Nov., pp. 17–19 (in Russ.).

- [10] Novikov Yu.M., Bogdanov A.A., Bol'shakov V.A., Galaganov V.N., Dashunin N.V., Krylov V.I. Inzhenernaya shkola MGTU im. N.E. Baumana: proekt "Kombinirovannyye poristyye setchatyye metally (KPSM)" 20 let: innovatsionnyye dostizheniya i blizhayshie zadachi [Engineering School of BMSTU: Project "Combined Porous Meshed Metal (CPMM)" 20 Years: Innovative Achievements and Coming Challenges]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economy], 2011, no. 1 (13), 194–205. <http://www.vvt-eco.ru>
- [11] Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A. Engineering School Of BMSTU: Combined Porous Meshed Metals. Efficient, Safe and Environmentally Friendly Products Based on Them. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety], 2005, Nov., pp. 53–56 (in Russ.).
- [12] Sapozhnikov V.B., Krylov V.I., Novikov Yu.M., Yagodnikov D.A. Ground tests of capillary phase separators based on combined porous mesh material for fuel tanks of liquid propellant engine in propulsion installations of space crafts, top steps of carrier rockets and upper-stage rockets. *Jelektr. Nauchno-Tehn. Izd. "Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovacii"* [El. Sc.-Techn. Publ. "Eng. J.: Science and Innovation"], 2013, iss. 4 (16). URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/707.html>
- [13] Partola I.S. The Results of Design and Development of Capillary Intake Devices for US "Breeze-M" Toroidal Fuel Tank. *Pervaya mezhdunar. nauch.-tekh. konf. "Aerokosmicheskie tekhnologii", posv. 90-letiyu so dnya rozhdeniya akademika V.N. Chelomeya: sb. dokl.* [The First International Scientific Conference "Aerospace Technology", Dedicated to the 90th Anniversary of Academician V.N. Chelomey: Collection of Reports]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, NPO "Mashinostroenie", 2004, pp. 19–22 (in Russ.).
- [14] Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A. Super-Reliable Regenerative Filters and Filtering Elements Made from Combined Porous Meshed Metals (CPMM) for Complex Technical Facilities. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety], 2007, no. 7, pp. 13–18 (in Russ.).
- [15] Romanov A.S., Semikolenov A.V. Pressure-Free Filling Capillary Tube by Partially Wetting Liquid. *Raketno-kosmicheskie dvigatel'nye ustanovki. Sb. Mat. Vseross. nauch.-tekh. konf.* [Rocket and Space Propulsion Systems. Proc. All-Russ. Sci. and Tech. Conf.]. Moscow, 2013, Nov., pp. 49–53 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 23.07.2015

Александров Анатолий Александрович — д-р техн. наук, профессор, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий кафедрой "Экология и промышленная безопасность". МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Aleksandrov A.A. — D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Ecology and Industrial Safety department, Rector, Bauman Moscow State Technical University. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Хартов Виктор Владимирович — д-р техн. наук, профессор, заместитель генерального директора ЦНИИмаш. ФГУП "ЦНИИмаш", Российская Федерация, 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4.

Khartov V.V. — D.Sc. (Eng.), Professor, Deputy General Director of TsNIIMash, Chief Designer of Unmanned Spacecrafts. Central Research Institute of Machine Building TsNIIMash, ul. Pionerskaya 4, Korolev, Moscow Region, 141070 Russian Federation.

Новиков Юрий Михайлович — канд. техн. наук, заведующий отделом НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Novikov Yu.M. — Ph.D. (Eng.), Head of the Department, Power Engineering Institute, Bauman Moscow State Technical University.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Крылов Владимир Иванович — канд. техн. наук, доцент, директор НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Krylov V.I. — Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Director of Power Engineering Institute, Bauman Moscow State Technical University.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Ягодников Дмитрий Алексеевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Ракетные двигатели” МГТУ им. Н.Э. Баумана.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Yagodnikov D.A. — D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Rocket Engines department, Bauman Moscow State Technical University.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Александров А.А., Хартов В.В., Новиков Ю.М. Крылов В.И., Ягодников Д.А. Современное состояние и перспективы разработки капиллярных топливозаборных устройств из комбинированных пористо-сетчатых материалов для космических аппаратов с длительным сроком активного существования // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 6. С. 130–142.

**Please cite this article in English as:**

Aleksandrov A.A., Khartov V.V., Novikov Yu.M., Krylov V.I., Yagodnikov D.A. Current state and prospects of capillary fuel-intake units made of combined porous metals-mesh for long lifetime spacecraft. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2015, no. 6, pp. 130–142.