

УДК 629.7.036.001.2(082)

DOI: 10.18698/0536-1044-2015-11-106-113

Стабильность параметров созданных из комбинированных пористых сетчатых металлов длинномерных капиллярных устройств для забора компонентов топлива

Ю.М. Новиков¹, В.А. Большаков¹, И.С. Партола²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
² КБ «Салют» ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», 121087, Москва, Российская Федерация, Новозаводская ул., д. 18

Stability of Parameters of Long Capillary Fuel Intake Devices Made of Combined Porous Mesh Metals

Y.M. Novikov¹, V.A. Bolshakov¹, I.S. Partola²

¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1
² Khronichev State Research and Production Space Centre, 121087, Moscow, Russian Federation, Novozavodskaya St., Bldg. 18

@ e-mail: jum.nov@yandex.ru

i Рассмотрена стабильность основных параметров длинномерного капиллярного заборного устройства (КЗУ) из комбинированного пористого сетчатого металла (КПСМ), впервые примененного для уменьшения остатков жидкого топлива в дополнительном топливном баке разгонного блока «Бриз-М». Проанализированы диапазоны изменения структурных параметров КПСМ: максимального размера пор, определяющего основной функциональный параметр — капиллярную удерживающую способность (КУС), и среднего размера пор, характеризующего расходные возможности КПСМ и КЗУ в целом. Приведены результаты контрольных испытаний более 6 500 поставленных изделий (99 комплектов), подтверждающие полученные расчетом значения параметров КПСМ. Показана высокая стабильность параметров фазоразделителей из КПСМ, определяемых как структурой пористого проницаемого материала, так и применяемыми технологиями. Представлено высокое качество соединения КПСМ лазерным лучом, выполняемого на разработанной технологической сварочной установке, которая обеспечивает стабильное повторение сварного шва. Достигнутое качество соединения КПСМ наблюдается в единичных изделиях и партиях изделий, изготовленных при постоянной загрузке технологического оборудования. Высокое качество изделий из КПСМ позволяет активнее внедрять в промышленность достижения научной школы профессора В.М. Поляева.

Ключевые слова: пористые материалы, пористые металлы, фазоразделители, капиллярное заборное устройство, дополнительный топливный бак, технологическая сварочная установка, максимальный размер пор, капиллярная удерживающая способность.

i The article deals with the issue of stability of the basic parameters of a long capillary intake device (CID) made of combined porous mesh metal (CPMM), which was first used to reduce residual liquid fuel in the additional fuel tank of the Briz-M upper stage. The authors analyze the variation range of the CPMM structural parameters, namely the maxi-

mal pore size that defines the main functional parameter — capillary holding capacity (CHC), and the medium pore size that characterizes the fuel flow capacity of CPMM and CID as a whole. The results of routine tests performed on more than 6500 delivered components (99 sets) agree with the calculated values of the CPMM parameters. The high stability of the CPMM phase separator parameters is determined by the structure of the porous permeable material as well as the applied technologies. The high quality of connections within the CPMM is achieved by the use of the engineered laser beam welding machine that guarantees consistent repetition of the weld seam. The achieved quality of the CPMM connections is demonstrated both in single products and in batches when the manufacturing equipment is used at continuous workload. The high quality of CPMM products promotes wide industrial application of the achievements by Professor V.M. Polyayev scientific school.

Keywords: porous materials, porous metals, phase separator, capillary intake device, additional fuel tank, technological welding machine, maximum pore size, capillary holding capacity.

В течение всего времени эксплуатации разгонного блока «Бриз-М» с дополнительным топливным баком (ДТБ) в составе ракетно-космического комплекса «Протон-М»/«Бриз-М» накапливаются данные о поставках опытно-промышленных партий комплектов фазоразделителей штатного исполнения из комбинированного пористого сетчатого металла (КПСМ) для комплектования заказчиком капиллярного заборного устройства (КЗУ), установленного в ДТБ. Проследим, какие качественные и количественные показатели достигнуты к настоящему времени по этой наукоемкой разработке в рамках многолетнего и плодотворного научно-производственного контакта между организациями космической отрасли и высшей школы.

На Всероссийской научно-технической конференции в честь 65-летия кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана в октябре 2013 г. авторы представили длинномерную конструкцию КЗУ из КПСМ в сравнении с традиционными сеточными разделителями [1]. Работоспособность представленных конструкций при прочих равных условиях зависит от стабильности структуры не только проникаемого поля, но и всего устройства [2–4]. Появление негерметичности в местах крепления или соединения деталей КЗУ, изменение геометрии ячеек проникаемого поля в процессе сборки или эксплуатации, деформация проникаемой поверхности — сопутствующие факторы риска, которые могут привести к тому, что значения основных функциональных параметров таких устройств [5–8] отклонятся от требуемых.

В настоящее время имеется достаточное число прошедших контрольные испытания фазоразделителей из КПСМ для КЗУ, чтобы про-

демонстрировать стабильность их основных функциональных параметров. К этим параметрам отнесены: капиллярная удерживающая способность (КУС), определяемая максимальным размером пор $d_{п\max}$ не только основного поля КПСМ, но и всей конструкции фазоразделителя в сборе и являющаяся важнейшим параметром устройства, разделяющего газовую и жидкостную среды (при прочих равных условиях), и средним размером пор $d_{п\text{ср}}$, которым обусловлены расходные характеристики КПСМ и фазоразделителя (КЗУ) как устройства также при прочих равных условиях.

Важным свойством проникаемого материала, из которого изготавливают отдельные фазоразделители для длинномерных КЗУ, является стабильность основных функциональных параметров на всех этапах жизненного цикла. Для КЗУ ДТБ разгонного блока «Бриз-М», длина которых по средней линии конструкции составляет около 10 м, а при сборке КЗУ используют 32 фазоразделителя для бака горючего и 36 фазоразделителей для бака окислителя, стабильность основных функциональных параметров становится критичной. Заметим, что у аналогичного КЗУ, собранного из фрагментов, основой которых является один слой сетки (обычный сеточный разделитель), стабильность значений $d_{п\max}$ и $d_{п\text{ср}}$ на всех этапах жизненного цикла практически недостижима. Это происходит не по технологическим причинам, а вследствие особенностей структуры исходного материала. Система менеджмента качества в этом случае не может обеспечить надлежащее качество продукции, поскольку постоянно и случайным образом изменяющиеся значения основных функциональных параметров выходят за допустимые пределы.



Рис. 1. Комплект фазоразделителей из КПСМ для КЗУ ДТБ разгонного блока «Бриз-М» (подготовка к ПСИ и отправке потребителю)

Высокая стабильность основных структурных параметров КПСМ ($d_{п\ max}$ и $d_{п\ ср}$) обусловила его применение в качестве пронцаемого поля конструкции КЗУ [5, 9–11]. Учитывалась также стабильность структурных параметров КПСМ в процессе изготовления и эксплуатации изделий. Выпуск фазоразделителей из КПСМ в объемах опытно-промышленных партий был налажен по просьбе потребителя (на период освоения им технологии изготовления фазоразделителей из КПСМ) в рамках проекта «КПСМ». Головной организацией, осуществляющей авторское сопровождение и проведение приемосдаточных испытаний (ПСИ) комплектов фазоразделителей, стал МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 1).

При проведении ПСИ структурные параметры стабильны как в комплекте фазоразделителей, состоящем из 68 (реже 64) изделий, так и в разных комплектах.

Поскольку конструктивно комплект фазоразделителей формируется из четырех типоразмеров по диаметру, а для каждого типоразмера отдельно готовят партию исходного сырья по своей технологии, со своей оснасткой, то получают четыре партии КПСМ. В каждой партии наблюдается высокая стабильность структурных параметров.

Отклонения значений КУС $d_{п\ max}$ от среднего значения $d_{п\ ср}$ лежат в пределах $\pm 10\ %$ внутри комплекта фазоразделителей. Диапазон изменения этого параметра внутри партии (изделия одного типоразмера по диаметру) еще более узкий — $\pm 5\ %$ (отклонение до $\pm 10\ %$ наблюдалось не более чем у 1 % изделий). К настоящему вре-

мени поставлена первая сотня комплектов фазоразделителей (более 6 500 изделий).

При проведении контрольных испытаний фазоразделителей в рамках входного контроля у потребителя (заказчика), а также после соединения сваркой в торовую конструкцию КЗУ и испытаний КЗУ в сборе изменения структурных параметров фазоразделителей из КПСМ в сборе, которое привело бы к выбраковке фазоразделителя и его замене, не наблюдалось. Рекламаций от потребителя по этой причине не поступало. Два случая: смятие фазоразделителя и прямой прожог поверхности КПСМ фазоразделителя при сборке КЗУ с последующей заменой фазоразделителя — не связаны со стабильностью структурных параметров при штатных процессах сборки и эксплуатации КЗУ.

На рис. 2 показаны (слева направо) четыре фазоразделителя:

- два фазоразделителя одного типоразмера с условным диаметром d_{42} : один — линейный, образующий в КЗУ сектор одного условного диаметра d_{42} ; второй — переходной, входящий в образованный сектор одного условного диаметра d_{42} и соединяющий секторы КЗУ разного условного диаметра (d_{42} и d_{50}) при сохранении одинакового минимально достижимого расстояния между нижними точками поверхности КПСМ фазоразделителя и поверхностью днища ДТБ;

- третий фазоразделитель типоразмера с условным диаметром d_{64} , являющийся переходным, входит в образованный сектор одного условного диаметра d_{64} и соединяет секторы КЗУ разного условного диаметра (d_{64} и d_{80}) при



Рис. 2. Фазоразделители одного комплекта из трех партий КПСМ трех типоразмеров по условному диаметру фазоразделителя: слева направо — d_{42} (2 шт.), d_{64} , d_{80}

сохранении одинакового конструктивно минимально достижимого расстояния между нижними точками поверхности КПСМ фазоразделителя и поверхностью днища ДТБ;

- четвертый фазоразделитель типоразмера с условным диаметром d_{80} является линейным и образует в КЗУ сектор одного условного диаметра d_{80} .

Стабильные значения параметров, определяемые пузырьковым методом на прорыв первого пузырька через смоченную контрольной жидкостью (этанол) поверхность КПСМ или другие зоны конструкции фазоразделителя (например, через зоны сварных швов по образующей цилиндрической части фазоразделителя из КПСМ и кольцевым швам присоединения втулок фазоразделителя к цилиндрической части из КПСМ), гарантируются высококачественным процессом изготовления фазоразделителей с применением лазерных технологий резки КПСМ и сварки плоских разверток КПСМ в изделие (рис. 3).

Разработанный и подготовленный в рамках проекта «КПСМ» пост сборки-сварки изделий из КПСМ позволяет обеспечить высокое качество сварного соединения благодаря применению изготовленной технологической сварочной установки, оснащенной продольным вращателем-подавателем [11]. На рис. 3 показан фрагмент оборудования для получения сварного шва по образующей цилиндра КПСМ и кольцевых сварных швов. Сварной шов визуализируется на мониторе.

Анализ результатов контрольных испытаний на КУС показывает, что на сварном шве при перепадах давления, характерных для процесса испытаний, пузырьки не появляются. На зоны вблизи сварного шва температурного воздей-

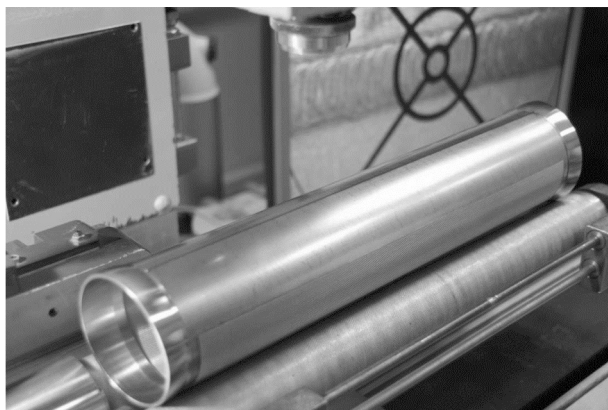


Рис. 3. Получение и визуальный контроль продольного и кольцевых сварных швов на фазоразделителе с условным диаметром d_{64}

ствия не оказывается, поэтому операции сварки проводят в воздушной среде, без обдува инертными газами. Ширина сварного шва составляет 250...800 мкм (допустимо 1,0...1,5 мм). При этом сварной шов визуально совпадает с температурно-возмущенной зоной КПСМ и не выходит на проницаемую поверхность КПСМ. Значения $d_{п\max}$ и $d_{п\text{ср}}$ в проницаемых зонах, близких к сварным швам, статистически соответствуют аналогичным значениям площади КПСМ и находятся в пределах среднестатистических отклонений от $(d_{п\max})_{\text{ср}}$.

За время работ по созданию длинномерного КЗУ на основе фазоразделителей, изготовленных из КПСМ, с 1996 г. проведена поставка опытно-промышленных партий 99 комплектов фазоразделителей в штатном исполнении в рамках проекта «КПСМ» (рис. 4). Из графика ясно, что число комплектов изменялось от одного до 11 в год. Такой разброс никак не сказался на качестве поставляемой продукции, хотя при поставке даже 11 комплектов в год эта продукция относится к категории единичной.

В 1996–1999 гг. комплект фазоразделителей состоял из фазоразделителей одного типоразмера по диаметру d_{42} , поставлено девять комплектов (комплекты 1–9). В 2002 г. комплект фазоразделителей состоял из фазоразделителей симметричного исполнения четырех типоразмеров по диаметрам: d_{42} , d_{50} , d_{64} и d_{80} . Для фазоразделителей в конструкции торового КЗУ требовалась доработка симметричных втулок (комплекты 10–14). С 2004 г. предыдущая конструкция фазоразделителя дорабатывается. Имеются «левое» и «правое» исполнения, что значительно упростило работы с фазоразде-

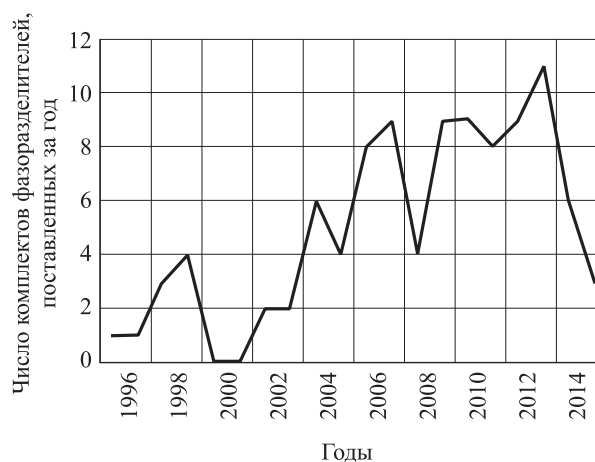


Рис. 4. Динамика поставок опытно-промышленных партий комплектов фазоразделителей штатного исполнения

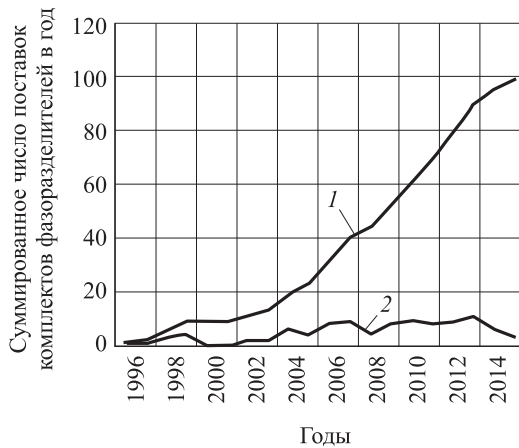


Рис. 5. Нарастание динамики поставок опытно-промышленных партий комплектов фазоразделителей из КПСМ штатного исполнения: 1 — поставки комплектов фазоразделителей за весь период; 2 — число комплектов фазоразделителей, поставленных за год

лителями при сборке КЗУ. Разработаны два варианта исполнения комплекта: 1) 20 типоразмеров фазоразделителей (68 изделий); 2) 16 типоразмеров фазоразделителей (64 изделия); это комплекты 16–99.

На рис. 5 приведена диаграмма суммированных поставок фазоразделителей для комплектования заказчиком КЗУ, установленного в ДТБ разгонного блока «Бриз-М». Суммарная

цифра поставок комплектов фазоразделителей в рамках проекта «КПСМ» в 2015 г. должна достичь 100.

Для равномерности загрузки производственных и испытательных площадок при изготовлении изделий из КПСМ и их контрольных испытаниях требуется объединение усилий не только предприятия-заказчика, но, возможно, разных предприятий отрасли, для которых указанная продукция является «типовой». Своеобразный «штаб», объединяющий организации в рамках проекта «КПСМ» с головным исполнителем — МГТУ им. Н.Э. Баумана уже успешно функционирует.

Выводы

1. Представленные в статье результаты многолетнего труда по созданию высокоэффективных устройств капиллярного типа из КПСМ стали возможны благодаря достижениям научной школы профессора В.М. Поляева [12, 13].

2. Создание КПСМ — вклад МГТУ им. Н.Э. Баумана в отечественную космическую отрасль. Дальнейшие научно-исследовательские разработки должны быть нацелены на усиление практической составляющей в отраслевом масштабе.

Литература

- [1] 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 Всерос. науч.-техн. конф.*, Москва, МГОУ, ноябрь, 2013, с. 17–19.
- [2] Большаков В.А., Новиков Ю.М., Партола И.С. Средства обеспечения сплошности жидких компонентов топлива в системе питания РБ «Бриз-М» с дополнительным (сбрасываемым) топливным баком. *XXXIV Научные чтения, посвященные научному наследию и развитию идей К.Э. Циолковского. Сб. докл. РАН, Государственный музей истории космонавтики им. К.Э. Циолковского*, Калуга, 1999, с. 78–86.
- [3] Корольков А.В., Меньшиков В.А., Партола И.С., Сапожников В.Б. Математическая модель капиллярного заборного устройства торового бака. *Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник*, 2007, № 2, с. 35–39.
- [4] Корольков А.В., Партола И.С., Сапожников В.Б. Теоретические основы разработки и экспериментальной отработки капиллярных заборных устройств с минимальными остатками топлива. *Научно-технические разработки ОКБ-23 — КБ «Салют»*. Москва, Воздушный транспорт, 2006, с. 313–319.
- [5] Новиков Ю.М., Большаков В.А. Концепция создания высоконадежных фильтров для объектов повышенной опасности. *Экология и промышленность России*, 2001, ноябрь, с. 27–31.
- [6] Новиков Ю.М., Большаков В.А. Первые итоги реализации концепции созданию высоконадежных фильтров из КПСМ для объектов повышенной опасности и других объ-

- ектов различных отраслей экономики РФ. *Безопасность жизнедеятельности*, 2002, № 12, с. 7–10.
- [7] Новиков Ю.М., Большаков В.А. Высоконадежные регенерируемые фильтры и фильтро-элементы из комбинированного пористого сетчатого металла (КПСМ) для сложных технических объектов. *Безопасность жизнедеятельности*, 2001, №7, с. 13–18.
- [8] 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.
- [9] Партола И.С. Результаты проектирования и отработки капиллярных заборных устройств торового топливного бака РБ «Бриз-М». *Первая Международная науч.-техн. конф. «Аэрокосмические технологии», посвященная 90-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея. Сб. Докл.*, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НПО «Машиностроение». 2004, с. 19–22.
- [10] Сапожников В.Б., Гришко Я.П., Корольков А.В., Большаков В.А., Новиков Ю.М., Константинов С.Б., Мартынов М.Б. Применение комбинированных пористо-сетчатых материалов в конструкции внутрибаковых устройств двигательных установок космических аппаратов, верхних ступеней ракет-носителей и разгонных блоков. *Решетневские чтения: мат. XIV Междунар. науч. конф., посвященной памяти Генерального конструктора ракетно-космических систем акад. М.Ф. Решетнева*. (10–12 ноября 2010 г., г. Красноярск), Ч. 1., Красноярск, Сибирский гос. аэрокосм. университет, 2010, с. 126–127.
- [11] Новиков Ю.М., Богданов А.А., Большаков В.А., Галаганов В.Н., Дашунин Н.В., Крылов В.И. Инженерная школа МГТУ им. Н.Э.Баумана: проект «Комбинированные пористые сетчатые металлы (КПСМ)» 20 лет: инновационные достижения и ближайшие задачи. *Вооружение и экономика*, 2011, № 1 (13), с. 194–205. Электронный научный журнал. <http://www.vvt-eco.ru> (дата обращения 15 августа 2015).
- [12] Корольков А.В., Меньшиков В.А., Партола И.С., Сапожников В.Б. Развитие идей профессора В.М. Поляева по применению пористо-сетчатых материалов для внутрибаковых устройств, обеспечивающих многократный запуск ЖРД космических аппаратов и разгонных блоков в условиях свободного и возмущенного орбитального и суборбитального полета. *Ракетно-космические двигательные установки. Тр. Всерос. науч.-техн. конф., посвященной 80-летию со дня рождения заслуженных деятелей науки и техники РФ, лауреатов Государственной премии СССР, д-ров техн. наук, профессоров Кудрявцева В.М. и Поляева В.М.* Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, с. 17–18.
- [13] Корольков А.В., Меньшиков В.А., Партола И.С., Сапожников В.Б. 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, вып. 2(63), с. 78–88.

References

- [1] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A., Partola I.S. Pervaia dlinnomernaia konstruktsiia kapillarnogo zaborного ustroistva iz KPSM: podtverzhdenie nadezhnosti i vysokoi effektivnosti po rezul'tatam ekspluatatsii v sostave dopolnitel'nogo toplivnogo baka razgonnogo bloka «Briz-M» raketnogo kosmicheskogo kompleksa «Proton-M/Briz-M» [First lengthy capillary structure of the intake device KPSM: confirmation of reliability and high efficiency of operation results in additional fuel tank upper stage «Breeze-M» rocket space complex «Proton-M/Breeze-M»]. *Raketno-kosmicheskie dvigatel'nye ustanovki. Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Rocket and space propulsion systems. Materials of All-Russian Scientific and Technical Conference]. Moscow, MGOU publ., 2013, pp. 17–19.
- [2] Bol'shakov V.A., Novikov Iu.M., Partola I.S. Sredstva obespecheniia sploshnosti zhidkikh komponentov topliva v sisteme pitaniia RB «Briz-M» s dopolnitel'nym (sbrasyvaemym) toplivnym bakom [Means ensuring the continuity of the liquid components in the fuel supply system RB «Breeze-M» with the additional (resets) the fuel tank]. *34 nauchnye chteniia, posviashcheny nauchnogo nasledii i razvitiuu idei K.E. Tsiolkovskogo: sbornik dokla-*

- dov [34th scientific readings dedicated to scientific heritage and the development of ideas of K.E. Tsiolkovsky: a collection of papers]. Kaluga, RAN, Gosudarstvennyi muzei istorii kosmonavтики im. K.E. Tsiolkovskogo publ., 1999, pp. 78–86.
- [3] Korol'kov A.V., Men'shikov V.A., Partola I.S., Sapozhnikov V.B. Matematicheskaya model' kapillarnogo zabornogo ustroystva torovogo baka [The Mathematical Model Capillary Zabornyyh Device Torovogo Fuel Tank]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoi vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik]. 2007, no. 2, pp. 35–39.
- [4] Sapozhnikov V.B., Partola I.S., Korol'kov A.V. Teoreticheskie osnovy razrabotki i eksperimental'noi otrabotki kapilliarnyykh zabornyykh ustroystv s minimal'nymi ostatkami topliva v dvigatel'nykh ustanovkakh RN, RB i KA [Theoretical Foundations of development and experimental testing of capillary sampling devices with minimal remnants of fuel in rocket propulsion, RB and SC]. *V knige Nauchno-tekhnicheskoye razrabotki OKB-23-KB «Saliut»* [Book Scientific and technical development OKB-23-KB «Salyut»]. Moscow, Vozdushnyi transport publ., 2006, pp. 313–319.
- [5] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Kontseptsii sozdaniya vysokonadezhnykh fil'trov dlia ob"ektov povyshennoi opasnosti [The concept of creating high-reliability filters for high-risk facilities]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2001, November, pp. 27–31.
- [6] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Pervye itogi realizatsii kontseptsii sozdaniya vysokonadezhnykh fil'trov iz KPSM dlia ob"ektov povyshennoi opasnosti i drugikh ob"ektov razlichnykh otraslei ekonomiki RF [First results of the implementation of the concept of creating a highly reliable filter KPSM for high-risk facilities and other objects of various branches of the Russian economy]. *Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti* [Life Safety]. 2002, no. 12, pp. 7–10.
- [7] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Vysokonadezhnye regeneriruemyye fil'try i fil'troelementy iz kombinirovannogo poristogo setchatogo metalla (KPSM) dlia slozhnykh tekhnicheskikh ob"ektov [Highly cleanable filters and filter combination of a porous metal mesh (KPSM) for complex technical objects]. *Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti* [Life Safety]. 2001, no. 7, pp. 13–18.
- [8] Novikov Iu.M., Bol'shakov V.A. Inzhenernaya shkola MGTU im. N.E.Baumana: Kombinirovannyye poristy setchatyye metally. Effektivnyye, bezopasnyye i ekologichnyye izdeliya na ikh osnove [School of Engineering BMSTU Combined porous metal mesh. Efficient, safe and environmentally friendly products based on them]. *Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti* [Life Safety]. 2005, no. 11, pp. 53–56.
- [9] Partola I.S. Rezul'taty proektirovaniya i otrabotki kapilliarnyykh zabornyykh ustroystv torovogo toplivnogo baka RB «Briz-M» [The results of the design and testing of capillary sampling devices toroidal fuel tank RB «Breeze-M»]. *Pervaia mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Aerokosmicheskie tekhnologii», posviashchennaya 90-letiiu so dnya rozhdeniya akademika V.N. Chelomeya: sb. dokladov* [First International Scientific Conference «Space Technology», dedicated to the 90th anniversary of academician V.N. Chelomeya: collection of reports]. Moscow, Publishing house of BMSTU, NPO «Mashinostroenie», 2004, pp. 19–22.
- [10] Sapozhnikov V.B., Grishko Ia.P., Korol'kov A.V., Bol'shakov V.A., Novikov Iu.M., Konstantinov S.B., Martynov M.B. Primenenie kombinirovannykh poristo-setchatykh materialov v konstruksii vnutribakovykh ustroystv dvigatel'nykh ustanovok kosmicheskikh apparatov, verkhnykh stupenei raket-nositelei i razgonnykh blokov [Use of combined porous-mesh materials in the construction inert tank device propulsion of spacecraft, upper stages of launch vehicles and boosters]. *Reshetnevskie chteniya: materialy 14 Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posviashchennoi pamiati General'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M.F. Reshetneva (10-12 noiabria 2010)* [Reshetnev readings: Proceedings of the 14th International Scientific Conference dedicated to the memory of General Designer of rocket and space systems academician M.F. Reshetnev]. Pt 1, Krasnoyarsk, SIBSAU publ., 2010, pp. 126–127.
- [11] Novikov Iu.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 poristy setchatyye metally (KPSM)» 20 let: innovatsionnyye dostizheniya i blizhaishie zadachi [School

- of Engineering BMSTU: project «Combined porous metal mesh (KPSM)» 20 years: innovative achievements and the next task]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and economics]. 2011, no. 1(13), pp. 194–205. Available at: http://www.viek.ru/vie_11_1.pdf.
- [12] Korol'kov A.V., Men'shikov V.A., Partola I.S., Sapozhnikov V.B. Razvitie idei professora V.M. Poliaeva po primeneniiu poristo-setchatykh materialov dlia vnutribakovykh ustroystv, obespechivaiushchikh mnogokratnyi zapusk ZhRD kosmicheskikh apparatov i razgonnykh blokov v usloviakh svobodnogo i vozmushchennogo orbital'nogo i suborbital'nogo poleta [Development of ideas of Professor V.M. Polyaeva on the application of porous materials for the mesh-innertank device providing multiple rocket engine launch of spacecraft and boosters in a free and perturbed orbital and sub-orbital flight.]. *Raketno-kosmicheskie dvigatel'nye ustanovki: trudy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posviashchennoi 80-letiiu so dnia rozhdeniia Zasluzhennykh deiatelei nauki i tekhniki RF, Laureatov Gosudarstvennoi premii SSSR, d.t.n., professorov Kudryavtseva V.M. i Poliaeva V.M.* [Rocket and space propulsion systems: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 80th anniversary of Honored Science and Technology of Russia, laureate of the State Prize of the USSR, Professor Kudryavtsev V.M. and Polyaev V.M.]. Moscow, Publishing house of BMSTU, 2005, pp. 17–18.
- [13] Korol'kov A.V., Men'shikov V.A., Partola I.S., Sapozhnikov V.B. Razvitie idei professora V.M. Poliaeva po primeneniiu poristo-setchatykh materialov dlia vnutribakovykh ustroystv, obespechivaiushchikh mnogokratnyi zapusk ZhRD [Development of Ideas of Professor V.M. Polyaev on Application of Porous-meshed Materials for Internal Tank Devices Providing Repeated Many Times Start-up of Liquid Propellant Engines]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Mechanical Engineering]. 2006, no. 2(63), pp. 78–88.

Статья поступила в редакцию 31.08.2015

Информация об авторах

НОВИКОВ Юрий Михайлович (Москва) — кандидат технических наук, заведующий отделом НИИ ЭМ. МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: jum.nov@yandex.ru).

БОЛЬШАКОВ Владимир Александрович (Москва) — заведующий лабораторией НИИ ЭМ. МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

ПАРТОЛА Игорь Станиславович (Москва) — заместитель Генерального конструктора КБ «Салют» ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева». (121087, Москва, Российская Федерация, Новозаводская ул., д. 18).

Information about the authors

NOVIKOV Yuri Mikhailovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Head of Department, Scientific and Research Institute of Power Engineering. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: jum.nov@yandex.ru).

BOLSHAKOV Vladimir Aleksandrovich (Moscow) — Head of Laboratory, Scientific and Research Institute of Power Engineering. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).

PARTOLA Igor Stanislavovich (Moscow) — Deputy Chief Designer, Design Bureaux Salut. Khruichev State Research and Production Space Centre (121087, Moscow, Russian Federation, Novozavodskaya St., Bldg. 18).