

УДК 677.017

Т.А. Нестерова<sup>1</sup>, И.А. Назаров<sup>1</sup>, С.Л. Барботько<sup>1</sup>,  
О.С. Вольный<sup>1</sup>, М.М. Платонов<sup>2</sup>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА ДЛЯ БАЛЛОНЕТА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАПА ДЛЯ АВАРИЙНОГО ПОКИДАНИЯ КАБИНЫ ВЕРТОЛЕТА

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-11-11

*Исследован комплекс свойств тканепленочного материала, состоящего из полиэфирной ткани (арт. 208) с двухсторонним полиуретановым покрытием на основе каучука SKU-8TB с функциональными добавками, предназначенного для изготовления баллонета пневматического трапа для аварийного покидания кабины вертолета.*

*Результаты исследования свойств данного материала в исходном состоянии и после воздействия эксплуатационно-климатических факторов (повышенная температура, влажность, плесневые грибы, воздействие влажного тропического климата и др.) показали незначительное изменение свойств (в сравнении с исходными значениями), что подтверждает работоспособность тканепленочного материала при температурах от -60 до +80°C.*

**Ключевые слова:** многослойный материал, трап-баллонет, газопроницаемость, полимерное покрытие, технические ткани, старение, воздействие факторов климата, срок службы.

*The complex of properties of the fabric film material consisting of polyester fabric (art. 208) with the double-sided polyurethane covering on the basis of SKU-8TB rubber with functional additives, intended for manufacturing ballonet pneumatic ladder for emergency evacuation of cabin of the helicopter is investigated.*

*Results of research of properties of this material in initial condition and after the operational and climatic factors carried out after influence (elevated temperature, humidity, mold fungi, influence of humid tropical climate, etc.) have shown that properties change slightly from reference values that confirms its working capacity at temperatures from -60 to +80°C.*

**Keywords:** multi-layer material, slider-ballonet, gas permeability, polymer coating, textile materials, aging, influence of climatic factor, service life.

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Химпродукт» [Limited Liability Company «Himprodukt»]; e-mail: plmm@chemprodukt.ru

### Введение

Развитие авиационной техники невозможно без разработки и внедрения новых материалов, отвечающих современным требованиям. Материалы всегда были основой для создания тех или иных конструктивных инженерных решений.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят все большее применение не только в авиации, но и в других отраслях экономики. По объемам использования в мире они существенно опередили многие материалы [1]. Особенно широко и эффективно ПКМ используются в высокотехнологичных отраслях. В настоящее время нет ни

одного летательного аппарата, в конструкции которого не были бы использованы композиты. В некоторых конструкциях планера современных летательных аппаратов объем использования ПКМ достигает 60%.

Расширяется применение ПКМ и в гражданских секторах экономики. К наиболее перспективным рынкам ПКМ в России в настоящее время можно отнести строительную отрасль, нефтегазовую промышленность, железнодорожный и автомобильный транспорт, судостроение. В этих отраслях реализуются главные преимущества ПКМ, такие как высокая устойчивость к воздействию агрессивных сред и неблагоприятных условий эксплуатации, а также сравнительно низкая плотность самих материалов [2].

Обеспечение безопасности эксплуатации авиационной техники предъявляет жесткие требования к надежности применяемых материалов. Для применения ПКМ в особо ответственных конструкциях изделий авиационной техники требуются новые подходы к разработке, исследованию свойств и квалификации композитов. Особое внимание уделяется исследованию свойств материалов после воздействия различных климатических факторов, что позволяет прогнозировать их ресурс [3, 4].

Необходимость учета воздействия климатических факторов на характеристики материалов отражена и в Авиационных правилах [5, 6].

Полимерные материалы под воздействием комплекса климатических факторов (температуры, влажности, циклического воздействия температуры, солнечного излучения и др.) могут существенно изменять свои характеристики, что необходимо учитывать при эксплуатации данных материалов в изделиях авиационной техники.

Проблема сохранения характеристик материалов особенно остро стоит при эксплуатации авиационной техники в районах с воздействием жестких климатических условий – всеклиматических, а также тропического и морского климата. Поэтому материалы проходят комплексные климатические испытания в лабораторных условиях и натурные испытания в различных климатических зонах России и мира. Особенно сильное воздействие климатические факторы оказывают на прочностные свойства материала [7].

В большинстве случаев процессы старения зависят от состава материала: типа наполнителя, химического состава связующего, технологии изготовления и др., а также от влияния климатических факторов.

Длительная работа материалов в конструкции связана с накоплением в них необратимых повреждений. Процессы старения ПКМ развиваются в двух направлениях: с одной стороны, это процессы, которые приводят к деградации свойств материала, а с другой – к их стабилизации. Преобладание того или иного процесса предопределяет работоспособность материалов на определенных этапах старения [8].

В зависимости от области применения материала в изделии определяют вид и режим климатического воздействия и исследуемые показатели свойств (характеристики) после климатического старения.

Для тканепленочных материалов, используемых при изготовлении аварийно-спасательного оборудования: надувных трапов, надувных трапов-плотов, надувных рамп-трапов, – сохранение основных характеристик после старения имеет большое значение. За рубежом на данные материалы распространяются требования международного технического стандарта TSO-C69с, который регламентирует определяющие характеристики свойств и их допустимые значения как в исходном состоянии, так и после старения.

В период с 2007 по 2012 г. во ФГУП «ВИАМ» для аварийно-спасательного оборудования разработаны тканепленочные материалы следующих марок: ВРТ-9 – с теплоотражающим покрытием для надувной оболочки трапа, ВРТ-10 – для дорожки скольжения, ВРТ-11 – для баллонета. Исследования свойств тканепленочных материалов ВРТ-9 и ВРТ-10 в исходном состоянии и после климатических воздействий приведены в ряде статей [9–11].

Баллонеты пневматического трапа на вертолете Ми-28 хранятся в сложенном состоянии в ящике из стеклопластика за бортом вертолета. При возникновении внештатных ситуаций баллонет используется один раз. Вертолеты Ми-28 эксплуатируются в различных климатических зонах, в том числе и в субтропиках, где наблюдаются большие перепады дневной и ночной температуры, поэтому баллонеты подвергаются воздействию солнечных лучей и конденсата. Условия эксплуатации баллонета предполагают необходимость проведения эксплуатационных и климатических испытаний тканепленочного материала, применяемого для их изготовления.

Большое внимание уделяется исследованию свойств авиационных материалов после воздействия климатических факторов: исследованы прочностные и пожаробезопасные свойства конструкционного термопластичного углепластика на полифениленсульфидной матрице после натуральных испытаний [12, 13], определена температура стеклования нагруженных образцов углепластика КМУ-11тр после натуральных и ускоренных воздействий [14]. Проведенные лабораторные тепловлажностные и натурные испытания углепластика и стеклопластика на основе эпоксидного связующего ВСЭ-20 позволили установить, что процессы протекающие при данных воздействиях в исследуемых ПКМ различны [15]. Большое значение придается сохранению характеристик после старения текстильных материалов [16], акустических полимерных материалов [17], резин [18] и др.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 17.6. «Тканепленочные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [19].

### Материалы и методы

Цель данной работы – определение оценки сохраняемости основных свойств после имитации воздействия климатических факторов для тканепленочного материала для баллонета пневматического трапа для аварийного покидания кабины вертолета.

Для проведения исследований изготовлен тканепленочный материал, состоящий из полиэфирной ткани (арт. 208) с двухсторонним полиуретановым покрытием на основе каучука СКУ-8ТБ с функциональными добавками [18], обладающий следующими исходными показателями свойств:

Масса 1 м <sup>2</sup>	394–397 г
Толщина	0,33 мм
Газопроницаемость по водороду	2,3 л/(м <sup>2</sup> ·сут)
Разрывная нагрузка по основе/утку	2412/1782 Н
Удлинение при разрыве по основе/утку	23,8/20,3%
Сопrotивление раздиранию по основе/утку	59,4/67,9 Н

В соответствии с условиями эксплуатации вертолетов Ми-28, а также существующими стандартами и техническими требованиями для данных изделий выбраны следующие эксплуатационные факторы: повышенная температура (тепловое старение), тропический влажный климат, циклический перепад температур и микологическая среда (грибостойкость).

Испытания на тепловое старение (тепловой ресурс, ОСТ 6-10-422–78) материала проводили при температурах: 80°C – в течение 200 ч и 100°C – в течение 100 и 200 ч.

Испытания на циклический перепад температур (ГОСТ 9.707–81) проводили при температурах -60 и +100°C в течение 8 циклов. Режим одного цикла: выдержка при температуре -60°C в течение 1 ч, выдержка при комнатной температуре 0,5 ч, выдержка при температуре +100°C в течение 1 ч, выдержка при комнатной температуре 0,5 ч.

Имитацию влажного тропического климата проводили в тропической камере (СТП 1-595-20-100–2002), образцы выдерживали в течение 1 и 3 мес. Режим испытания суточного цикла: температура 50°C,  $\phi=98\%$  в течение 8 ч; температура 20°C,  $\phi=98\%$  в течение 12 ч; температура 20°C,  $\phi=65\%$  в течение 4 ч.

После воздействия эксплуатационных факторов определены следующие свойства материала:

- разрывная нагрузка (ГОСТ 173160);
- сопротивление раздиранию (ГОСТ 17074);
- водородонепроницаемость (М38 Заг 405629–86);
- сохранение герметичности (ММ 1-595-20-363–2008).

Температура испытания образцов после эксплуатационных воздействий составляла  $23\pm 3^\circ\text{C}$ . Испытания на водородонепроницаемость проводили в ОАО «НИИРП». Сущность методов испытаний – определение водородонепроницаемости и сохранение герметичности – описана в ранее опубликованной работе [20].

Испытания на влияние воздействия микологической среды (грибостойкость) проводили в течение 3 мес по ГОСТ 9.048; после воздействия определяли разрывную нагрузку материала. Исследованы также прочностные свойства материала после непосредственного воздействия температур +80, +100, +120 и  $-60^\circ\text{C}$  в течение 15 мин.

Климатические испытания материала (естественное старение) проводили в условиях неотопляемого склада в Геленджикском центре климатических испытаний им. Г.В. Акимова (ГЦКИ ВИАМ) – зона сухих субтропиков и в г. Москве – зона умеренного климата. Продолжительность экспозиции образцов составляла 1 год. После экспозиции образцов определена разрывная нагрузка (ГОСТ 173160).

### Результаты и обсуждение

Результаты исследования физико-механических свойств и газопроницаемости по водороду образцов из тканепленочного материала для баллонета после воздействия эксплуатационных факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Результаты исследования физико-механических свойств тканепленочного материала для баллонета после воздействия эксплуатационных факторов

Фактор воздействия	Сопротивление раздиранию, Н	Разрывная нагрузка, Н	Удлинение при разрыве, %	Газопроницаемость по водороду $\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$
	в продольном/поперечном направлении			
В исходном состоянии	59,4/67,9	2412/1782	23,8/20,3	2,30
После теплового старения при $80^\circ\text{C}$ в течение 200 ч	59,9/48,7	2542/1812	28,9/23,6	1,89
После теплового старения при $100^\circ\text{C}$ в течение, ч:				
100	62,8/68,4	2492/1626	32/21,8	0,78
200	113,9/69,9	2526/1666	31,8/21,9	2,11
После воздействия циклического перепада температур $-60\pm+100^\circ\text{C}$ в течение 8 циклов	59,4/67,9	2616/1620	30,6/21,8	1,17
После испытания в тропической камере в течение, мес:				
1	56,9/47,9	2430/1414	29,6/24,1	0,76
3	52,8/69,7	2466/1686	31,6/21,4	1,97

Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что наибольшее снижение прочностных свойств тканепленочного материала происходит в поперечном направлении после его выдержки в течение 1 мес в тропической камере: разрывной нагрузки – на 20,6%, сопротивления раздиранию – на 29,5%. Однако испытания образцов после выдержки в тропической камере в течение 3 мес показали, что прочностные свойства материала возрастают. Можно предположить, что в процессе выдержки материала происходит довулканизация полиуретанового покрытия. Газопроницаемость по водороду изменяется (уменьшается) незначительно.

Результаты сохранения герметичности тканепленочного материала для баллона-та после воздействия эксплуатационных факторов представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты определения герметичности гибких герметичных материалов при имитации эксплуатационных испытаний**

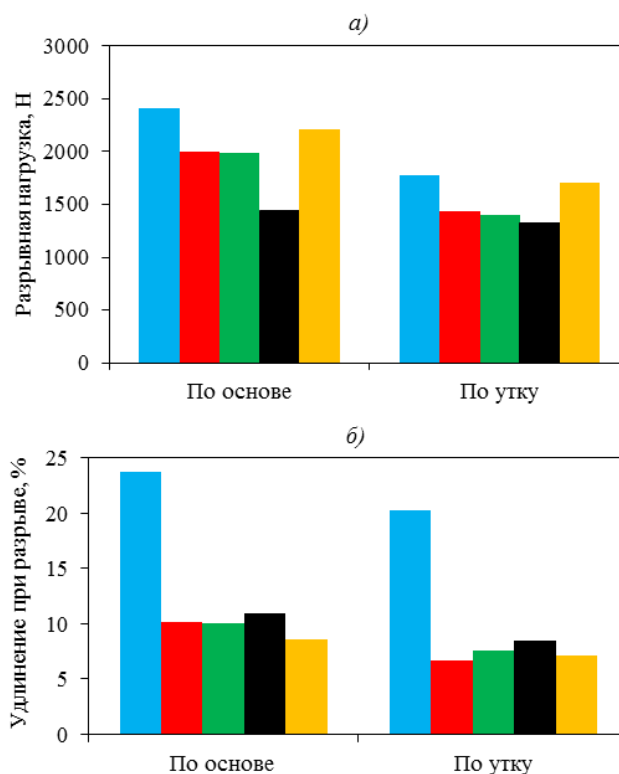
Вид испытания	Давление, кПа/сохранение герметичности, %, при продолжительности воздействия, мин			
	0	5	10	15
В исходном состоянии	212/100	211/99,53	210/99,06	209/98,73
После теплового старения при 80°C в течение 200 ч	230/100	230/99,86	229/99,57	229/99,42
После теплового старения при 100°C в течение, ч:				
100	212/100	211/99,38	209/98,75	209/98,43
200	208/100	207/99,20	206/98,89	205/98,56
После воздействия циклического перепада температур -60±+100°C в течение 8 циклов	218/100	216/99,23	215/98,62	214/98,46
После испытания в тропической камере в течение, мес:				
1	216/100	214/98,93	214/98,78	213/98,30
3	219/100	219/98,87	218/99,68	218/99,68

Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что наибольшее снижение перепада давления при определении сохранения герметичности в течение 15 мин составляет в среднем 4 кПа, при сохранении герметичности 98,56% после воздействия теплового старения при температуре 100°C в течение 200 ч. В остальных случаях падения давления не происходит или оно возрастает при сохранении герметичности в пределах от 98,43 до 99,68%. Согласно данной методике испытаний, можно сделать вывод, что у испытанных образцов тканепленочного материала наблюдается сохранение герметичности при воздействии избыточного давления 0,02 МПа.

Исследование грибостойкости материала показало, что материал является грибостойким – балл обрастания грибами 2 в соответствии с шестибальной шкалой (ГОСТ 9.048).

Величина разрывной нагрузки после выдержки в течение 3 мес при  $\phi=98\%$  и  $\phi=98\%$ +микологическая среда по основе/утку соответственно составляет 2438/1784 Н и 2502/1712 Н, т. е. фактически осталась на прежнем уровне.

Результаты испытаний прочностных свойств тканепленочного материала при непосредственном воздействии температур +80, +100, +120 и -60°C (продолжительность воздействия 15 мин) приведены на рисунке, а, а удлинения при разрыве – на рисунке, б.



Изменение разрывной нагрузки (а) и удлинения при разрыве (б) при непосредственном воздействии температуры +20 (■), +80 (■), +100 (■), +120 (■) и -60°С (■)

Из приведенных данных видно, что с увеличением температуры происходит более значительное снижение прочности материала, что объясняется использованием в качестве текстильной основы полиэфирной ткани. Известно, что полиэфирные ткани обладают высокой термостойкостью – температура плавления полиэфирных волокон составляет 218°С, существенное падение прочности у полиэфира начинается после 180°С. При воздействии повышенных температур (в данном случае: 80, 100 и 120°С) происходит размягчение волокон и, соответственно, снижение прочности ткани. Однако данному виду волокна свойственно после охлаждения до 20°С восстанавливать прочность, что и наблюдается после длительного воздействия температуры при испытании материала на тепловое старение и циклический перепад температур (табл. 1). Хотя при непосредственном воздействии температуры и происходит снижение прочности материала, однако значение прочности остается на высоком уровне. Удлинение при разрыве также снижается.

При действии отрицательной температуры прочность материала снижается незначительно, а удлинение уменьшается, при этом материал не становится хрупким.

Таблица 3

**Прочностные характеристики материала после климатического воздействия в условиях неотапливаемого склада**

Фактор воздействия	Разрывная нагрузка, Н		Удлинение при разрыве, %	
	по основе	по утку	по основе	по утку
В исходном состоянии	2412	1782	23,8	20,3
Естественное старение в течение 1 года:				
в ГЦКИ ВИАМ	2546	1668	26,1	19,4
в Москве	2586	1655	26,6	18,9

Результаты определения прочностных свойств материала после климатического воздействия приведены в табл. 3.

Из приведенных данных видно, что значения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве по основе после климатического воздействия в течение 1 года в условиях неотапливаемого склада в ГЦКИ ВИАМ и в г. Москве незначительно повышаются, по утку – незначительно снижаются.

### Заключения

Исследован комплекс свойств тканепленочного материала, состоящего из полиэфирной ткани (арт. 208) с двухсторонним полиуретановым покрытием на основе каучука СКУ-8ТБ с функциональными добавками, предназначенного для изготовления баллонета пневматического трапа для аварийного покидания кабины вертолета.

Результаты исследования свойств данного материала в исходном состоянии и после воздействий эксплуатационно-климатических факторов (повышенная температура, влажность, плесневые грибы, воздействие влажного тропического климата и др.) показали, что свойства материала изменяются незначительно, что подтверждает его работоспособность при температурах от  $-60$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук, 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
2. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36–39.
3. Каблов Е.Н. Ключевая проблема – материалы // Тенденции и ориентиры инновационного развития России: сб. информ. матер. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ВИАМ, 2015. С. 458–464.
4. Каблов Е.Н. Создание национальной сети климатических станций – необходимое условие надежности и ресурса авиационной техники // Крылья Родины. 2010. №8. С. 3–6.
5. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25. 5-е изд., с поправками 1–8. М.: Авиаиздат, 2015. 278 с.
6. Нормы летной годности гражданских легких самолетов: АП-23. 4-е изд., с поправками 1–5. М.: Авиаиздат, 2014. 207 с.
7. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 412–423.
8. Кириллов В.Н., Вапиров Ю.М., Дрозд Е.А. Исследование атмосферной стойкости полимерных композиционных материалов в условиях атмосферы теплого влажного и умеренно теплого климата // Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 31–38.
9. Платонов М.М., Назаров И.А., Нестерова Т.А. Тканепленочные материалы для надувных авиационных средств спасения // Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №2. Ст. 06. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 20.02.2017).
10. Платонов М.М., Назаров И.А., Нестерова Т.А. Тканепленочные материалы для надувных авиационных средств спасения // Сб. докл. конф. «Теплоизоляционные и текстильные материалы авиационного назначения». М.: ВИАМ, 2013. С. 7.
11. Нестерова Т.А., Платонов М.М., Шаракина Л.А. Оценка свойств пожаробезопасного тканепленочного материала для дорожки скольжения спасательного трапа // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №10. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-10-9-9.
12. Сорокин А.Е., Бейдер Э.Я., Изотова Т.Ф., Николаев Е.В., Шведкова А.К. Исследование свойств углепластика на полифениленсульфидном связующем после ускоренных и натуральных климатических испытаний // Авиационные материалы и технологии. 2016. №3 (42). С. 66–72. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-3-66-72.

13. Сорокин А.Е., Бейдер Э.Я., Перфилова Д.Н. Влияние климатических факторов на свойства углепластика на полифениленсульфидном связующем // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №1. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-10-10.
14. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К., Николаев Е.В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 41–45.
15. Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренкова Т.Г., Кириллов В.Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях // Авиационные материалы и технологии. 2013. №S2. С. 68–73.
16. Барботько С.Л., Нестерова Т.А., Кириенко О.А., Вольный О.С. Исследование влияния эксплуатационных и климатических факторов на горючесть текстильных материалов авиационного назначения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №3. Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-3-12-12.
17. Платонов М.М., Шульдешов Е.М., Нестерова Т.А., Сагомонова В.А. Акустические полимерные материалы нового поколения (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №4. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-9-9.
18. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., Венедиктова М.А., Наумов И.С. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35). С. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-51-55.
19. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
20. Нестерова Т.А., Платонов М.М., Назаров И.А., Барботько С.Л. Исследования по разработке нового материала для баллонета пневматического трапа для аварийного покидания кабины вертолета // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №12 (48). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-12-7-7.