

УДК 678.8

*Р.А. Сатдинов<sup>1</sup>, Е.А. Вешкин<sup>1</sup>, В.И. Постнов<sup>1</sup>, П.А. Абрамов<sup>1</sup>***РОЛЬ АНТИАДГЕЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ  
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ФОРМОВАНИЯ ПКМ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-10-10

*Рост объема производства деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) обуславливает развитие отрасли вспомогательных материалов для их изготовления. Смазки для создания антиадгезионных покрытий являются одними из важнейших среди них. В данной статье исследованы антиадгезионные смазки различных марок, применяющиеся для защиты формирующей поверхности оснастки при изготовлении деталей из ПКМ. Проведена работа по оценке антиадгезионных покрытий по стойкости и переносу на изготавливаемые детали, а так же усилия съема детали и остатков связующего с оснастки. Выбрано покрытие для изготовления деталей с гелькоутным слоем. Проведена работа по замеру краевого угла смачивания воды на поверхности антиадгезионных покрытий. Исследовано влияние антиадгезионных покрытий на основные свойства ПКМ.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].*

**Ключевые слова:** *препрег, стеклопластик, антиадгезионное покрытие, свойства, смазка, оснастка, краевой угол смачивания.*

*Growth of production volume of parts from polymeric composite materials (PCM) causes development of the industry of supporting materials for their manufacturing. Lubricants for creation of anti-adhesive coatings are among the most important of them. Anti-adhesive coatings of different types using for protection of molding surface of tooling when manufacturing parts from polymeric composition materials are studied in this article. Work is conducted on estimations of anti-adhesive coatings for stability and transferring ability on manufactured parts as well as efforts of the removal of parts and binding residue from tooling. Coating is chosen for manufacturing parts with a gel-coat layer. Work is conducted on measuring interfacial angle on the surface of anti-adhesive coatings. Influence of the anti-adhesive coatings on basic properties of polymeric composition materials is investigated*

*Work is executed within implementation of the complex scientific direction 13.2. «Structural PCM» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].*

**Keywords:** *prepreg, fiberglass, anti-adhesive coating, properties, greasing, tooling, interfacial angle.*

---

<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

**Введение**

Совершенствование материалов и технологий их переработки является основой эволюции авиационной техники [1]. Прогнозы развития мирового рынка гражданской авиации предполагают увеличение спроса на летательные аппараты [2, 3], однако ужесточаются требования, предъявляемые к ним. В процессе хранения и эксплуатации изделия подвергаются воздействию различных факторов – повышенных и пониженных

температур, повышенной влажности, солнечной радиации – в результате чего происходит изменение их свойств [4, 5]. В связи с этим конструкторами ведется постоянная работа по модернизации и созданию новых образцов летательных аппаратов. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) [6, 7] благодаря целому комплексу уникальных свойств, основные из которых – удельная прочность и жесткость, а также возможности изготовления интегральных конструкций, постепенно вытесняют металлы из конструкции летательных аппаратов. В настоящее время ПКМ заняли определенную нишу в производстве товаров народного потребления. Объем их производства из года в год увеличивается, что объясняется их сервисными свойствами. Однако для этого производства требуется большое количество вспомогательных материалов. Многообразие производителей вспомогательных материалов приводит к проблеме выбора того или иного материала. Одним из ключевых вспомогательных материалов являются антиадгезионные смазки.

Явление адгезии известно физикам давно [8]. Под этим термином подразумевают сцепление поверхностей разнородных предметов и веществ как твердых, так и жидких. В основе этого процесса, как было установлено ранее [9], лежит межмолекулярное взаимодействие. Так, в процессе склеивания, пайки, сварки, при нанесении покрытий возникает адгезионное взаимодействие между разными материалами, а при формовании изделий из ПКМ [10] на формообразующих оснастках необходимо обеспечить отделение детали от ее (оснастки) поверхности без больших усилий и повреждений [11]. Для уменьшения взаимодействия применяют антиадгезионные смазки, препятствующие сцеплению поверхностей.

Оптимальными считаются антиадгезионные смазки, которые обеспечивают отделение деталей из ПКМ, предотвращая повреждения их поверхности и оснастки, при этом имеют минимальный перенос агента на поверхность детали и обеспечивают многократный съем формуемых деталей. В результате производственные процессы становятся более технологичными и экономичными.

### Материалы и методы

Действие разделительного покрытия в большой степени зависит от того, насколько хорошо подготовлена формующая поверхность оснастки. Использование для подготовки поверхности порозаполнителя (или грунта) обеспечивает высокое качество сцепления антиадгезионных агентов с поверхностью оснастки, благодаря чему становится возможным многократный съем готовых изделий.

Несмотря на разнообразие антиадгезионных составов, существует проблема выбора его марки для подготовки поверхности формообразующей оснастки из разных видов материалов [12]. В данной статье сравнивают три марки антиадгезионных покрытий, применяющихся для производства ПКМ, такие как Chemlease 41-90 (фирма Chem-Trend, США), Loctite 770 NC (фирма Frekote, Германия), Safelease #30 (фирма Airtech, Люксембург).

Цель данной работы – исследование свойств антиадгезионных смазок нескольких производителей и оценка их работоспособности при изготовлении образцов ПКМ.

Для испытаний на подготовленную поверхность оснастки из алюминиевого сплава Д16ч.-АТ с шероховатостью поверхности  $R_a \leq 4$ , углепластика с  $R_a \leq 1,6$ , имеющего невысокую пористость (<1%), и углепластика  $R_a \geq 12,5$  (с зашкуренной поверхностью – для имитации поверхностной пористости оснастки из композита) были нанесены выбранные антиадгезионные покрытия. Антиадгезионные покрытия наносили при помощи салфетки в 4 слоя в перпендикулярном направлении относительно друг друга, с промежуточной сушкой на воздухе в течение 30 мин, затем проводили термообработку

в термошкафу при температуре  $150\pm 5^\circ\text{C}$  в течение 1 ч. После термообработки поверхность полировали безворсовыми салфетками.

В процессе нанесения выявлены некоторые особенности антиадгезионных покрытий:

– Chemlease 41-90 – сворачивается в капли на поверхности оснастки, но при дальнейшей полировке образует ровный слой;

– Loctite 770 NC – наносится на поверхность ровным слоем, располировка не требуется;

– Safelease #30 (фторопластовая эмульсия [13]) – очень быстро сохнет при  $20^\circ\text{C}$ , на поверхности оснастки образуется липкий слой с разводами, которые после полировки поверхности безворсовыми салфетками остаются в виде разнотонности покрытия.

Для оценки количества технологических съёмов (после того как на поверхность оснасток нанесены антиадгезионные покрытия) на всех типах оснасток формовали заготовки, состоящие из трех слоев препрега. Заготовки были из двух видов препрега – на основе эпоксидного (стеклотекстолит СТ-69Н) [14] и фенолформальдегидного (стеклотекстолит СТ-520) связующих. Каждый вид препрега имеет свои технологические свойства [15]. Формование осуществляли прессовым методом при температуре  $143\pm 2^\circ\text{C}$  и давлении 0,6 МПа в течение 30 мин.

По окончании формования образца ПКМ оснастка с отвержденной заготовкой извлекалась из пресса и охлаждалась до  $40^\circ\text{C}$  на воздухе, после чего образец отделяли от поверхности оснастки и проводили оценку антиадгезионных свойств покрытий.



Рис. 1. Пример следа от маркера:  
*а* – не сворачивается; *б* – сворачивается

Оценку антиадгезионных свойств смазки проводили по следующим критериям:

- качественная оценка усилия отслаивания образца от поверхности оснастки;
- сворачиваемость следа от маркера на поверхностях оснастки (наличие покрытия) и отформованного образца (перенос покрытия на образец) – рис. 1;
- удалению остатков связующего с поверхности оснастки;
- измерению краевого угла смачивания воды к обработанной антиадгезионными покрытиями поверхности оснастки, который определяли методом растекающейся капли [16].

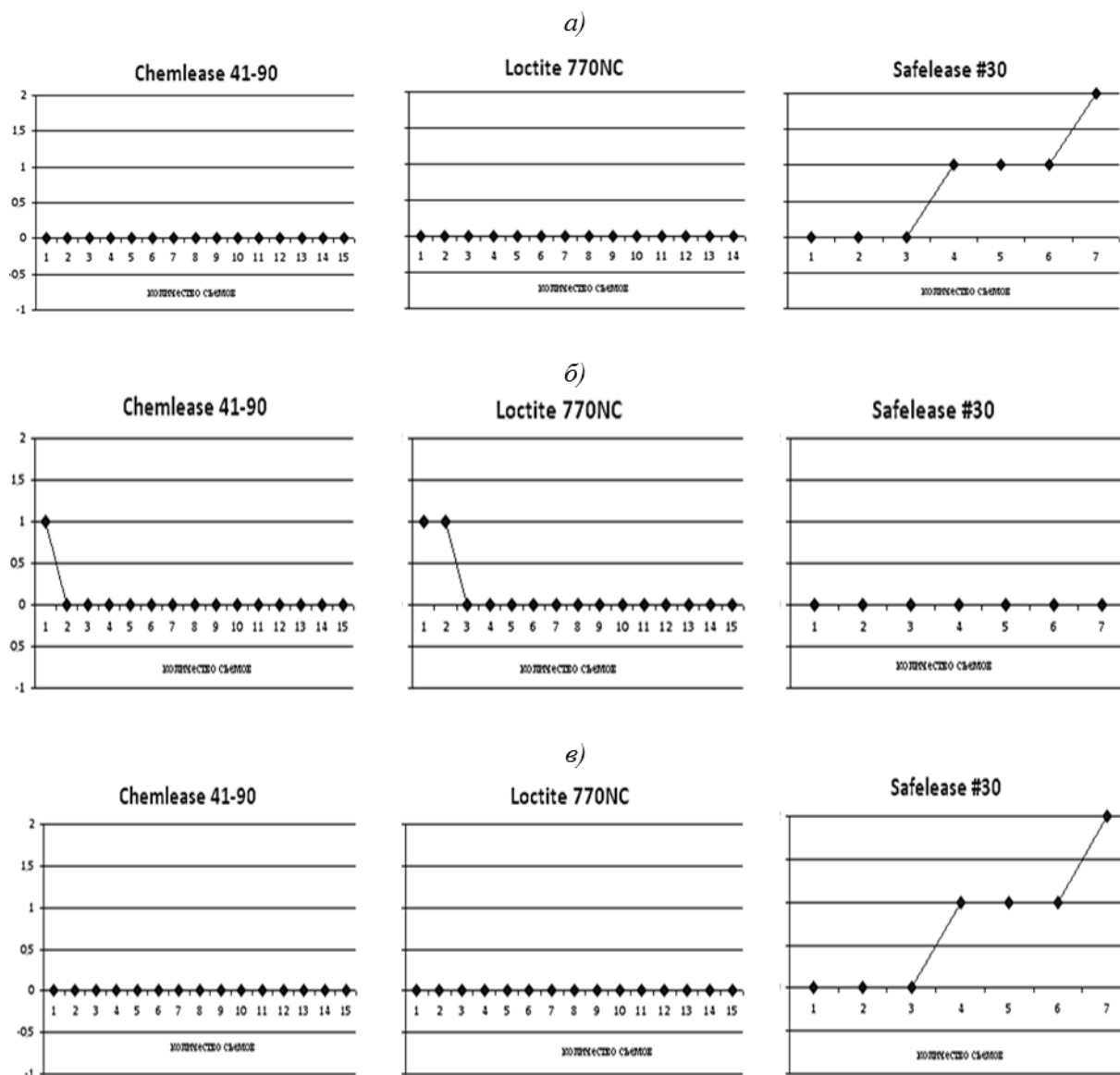
### Результаты

Результаты формования заготовок из препрега стеклотекстолита марки СТ-69Н, на оснастке из алюминиевого сплава Д16ч.-АТ представлены на рис. 2.

После проведения испытаний с заготовками из препрега стеклопластика марки СТ-69Н поверхность оснастки из алюминиевого сплава Д16ч.-АТ зачищали при помо-

щи шлифовальной шкурки (№800), затем ее обезжировали ацетоном и нефрасом. После нанесения антиадгезионного покрытия по вышеуказанной схеме проводили формование заготовок из препрега стеклопластика марки СТ-520. Полученные результаты приведены на рис. 3.

Аналогичные испытания выполнены на углепластиковой оснастке с шероховатостью поверхности  $R_a \leq 1,6$  (рис. 4 и 5).

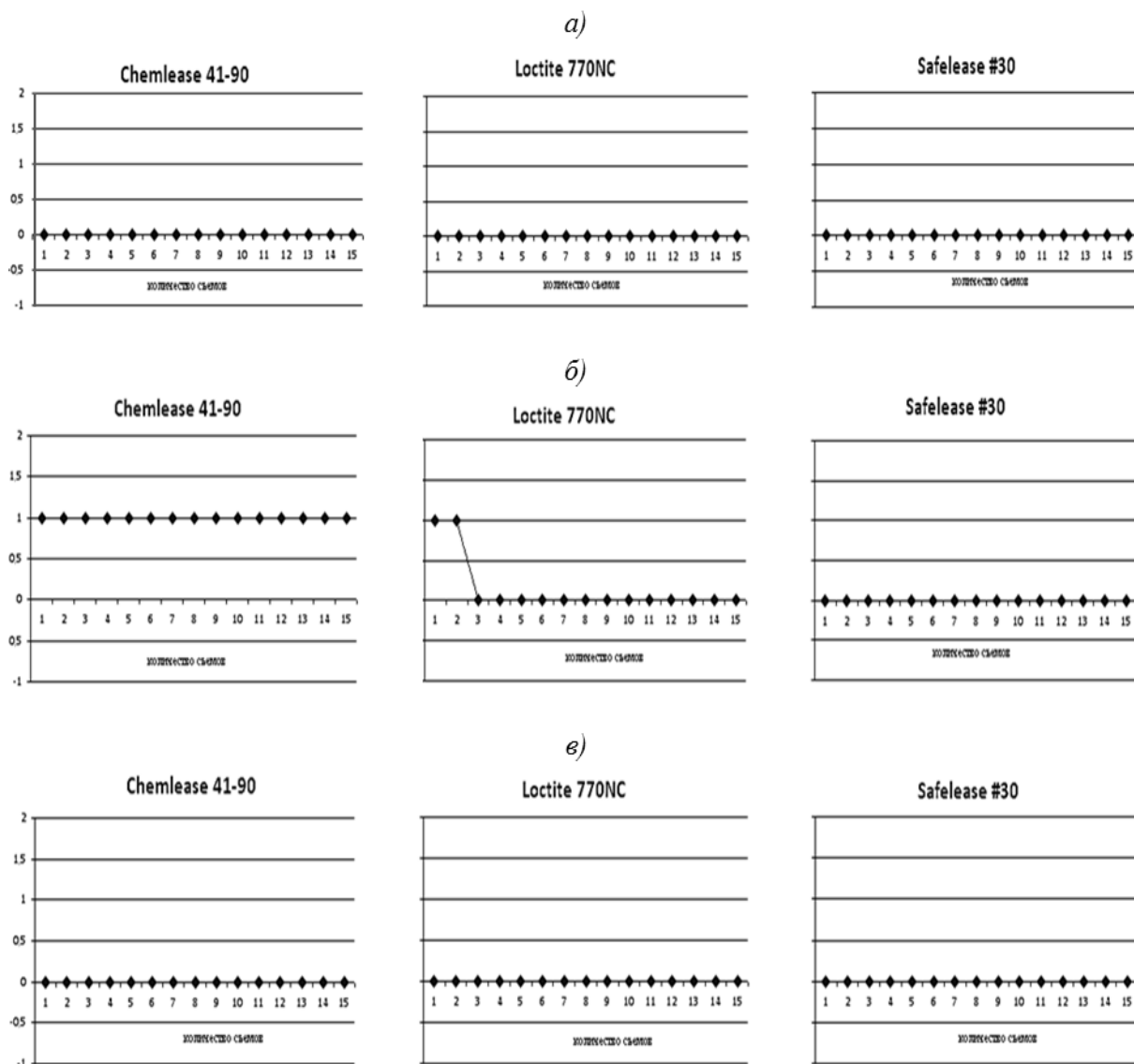


Усилие отслаивания и удаление натека связующего: 0 – легко; 1 – средне; 2 – плохо.

След от фломастера: 0 – нигде; 1 – на детали или оснастке; 2 – и на детали, и на оснастке

Рис. 2. Результаты испытаний антиадгезионных покрытий на оснастке из алюминиевого сплава Д16ч.-АТ и заготовок из препрега стеклопластика марки СТ-69Н:

а – усилие съема образца с оснастки; б – сворачиваемость маркера; в – удаление натеков связующего с оснастки

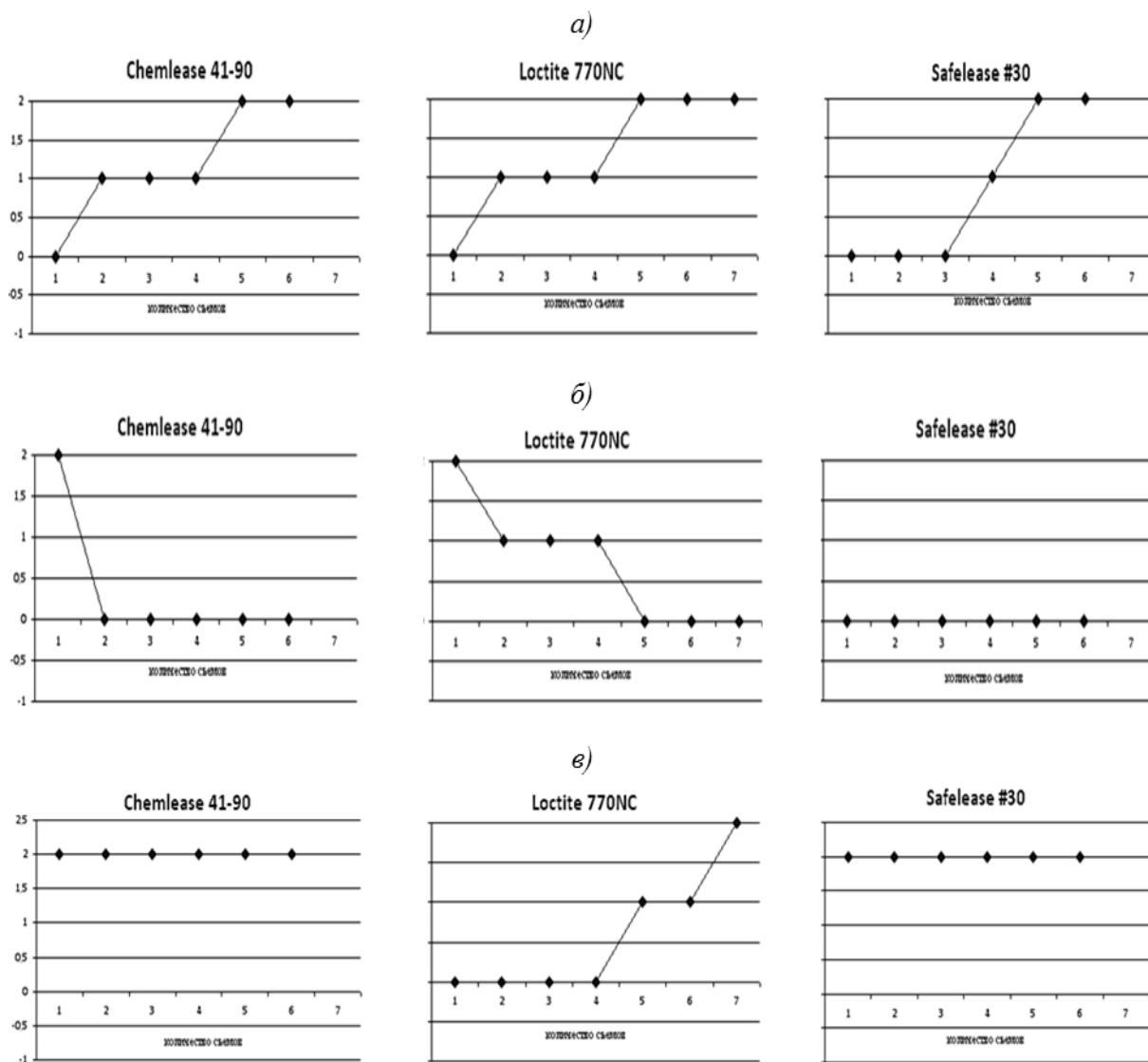


Усилие отслаивания и удаление натека связующего: 0 – легко; 1 – средне; 2 – плохо.

След от фломастера: 0 – нигде; 1 – на детали или оснастке; 2 – и на детали, и на оснастке

Рис. 3. Результаты испытаний антиадгезионных покрытий на оснастке из алюминиевого сплава Д16ч.-АТ и заготовок из препрега стеклопластика марки СТ-520:

*а* – усилие съема образца с оснастки; *б* – сворачиваемость маркера; *в* – удаление натеков связующего с оснастки

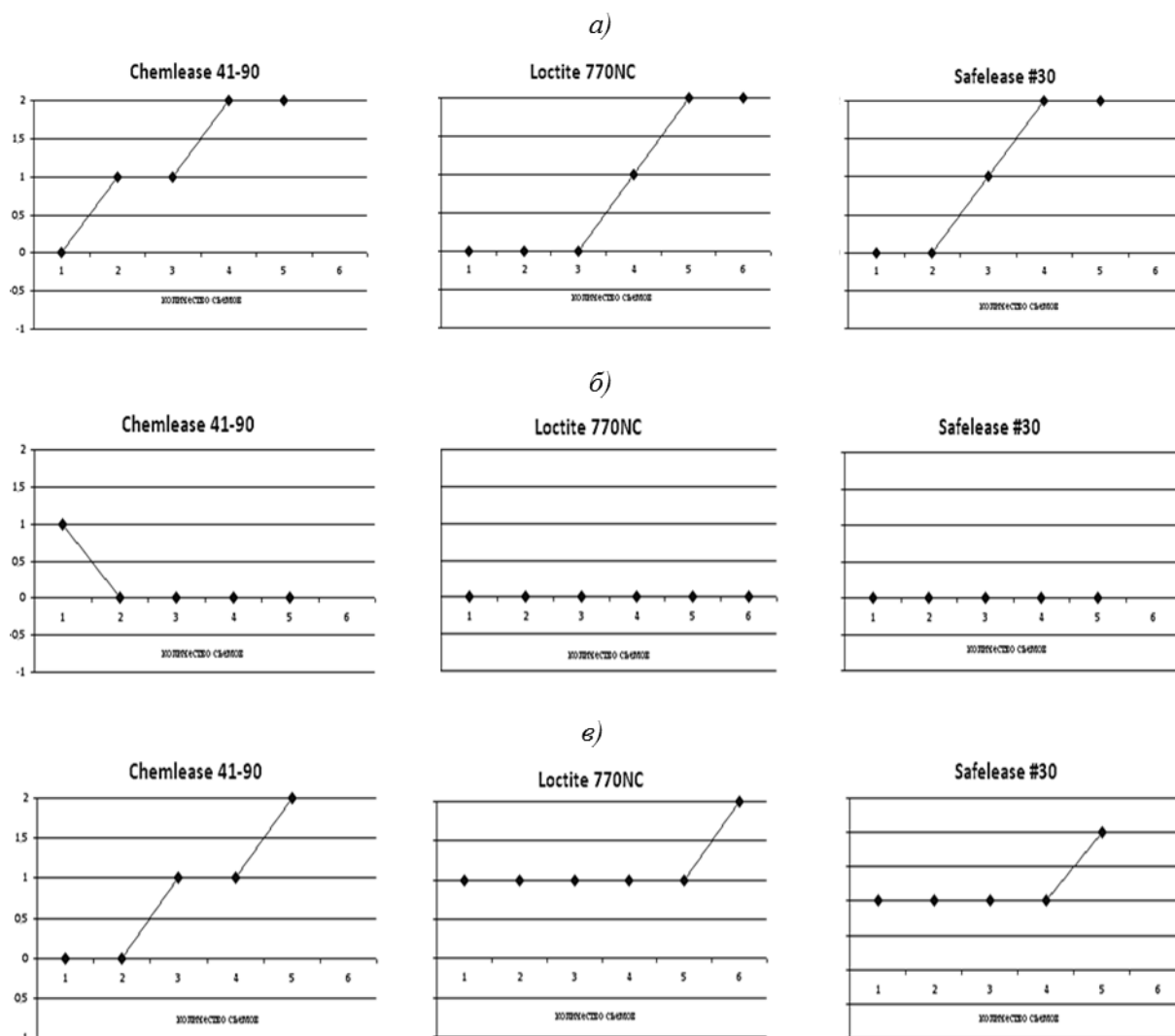


Усилие отслаивания и удаление натека связующего: 0 – легко; 1 – средне; 2 – плохо.

След от фломастера: 0 – нигде; 1 – на детали или оснастке; 2 – и на детали, и на оснастке

Рис 4. Результаты испытаний антиадгезионных покрытий на углепластиковой оснастке и заготовок из препрега стеклопластика марки СТ-69Н:

а – усилие съема образца с оснастки; б – сворачиваемость маркера; в – удаление натеков связующего с оснастки



Усилие отслаивания и удаление натека связующего: 0 – легко; 1 – средне; 2 – плохо.  
 След от фломастера: 0 – нигде; 1 – на детали или оснастке; 2 – и на детали, и на оснастке

Рис. 5. Результаты испытаний антиадгезионных покрытий на углепластиковой оснастке и заготовок из препрега стеклопластика марки СТ-520:

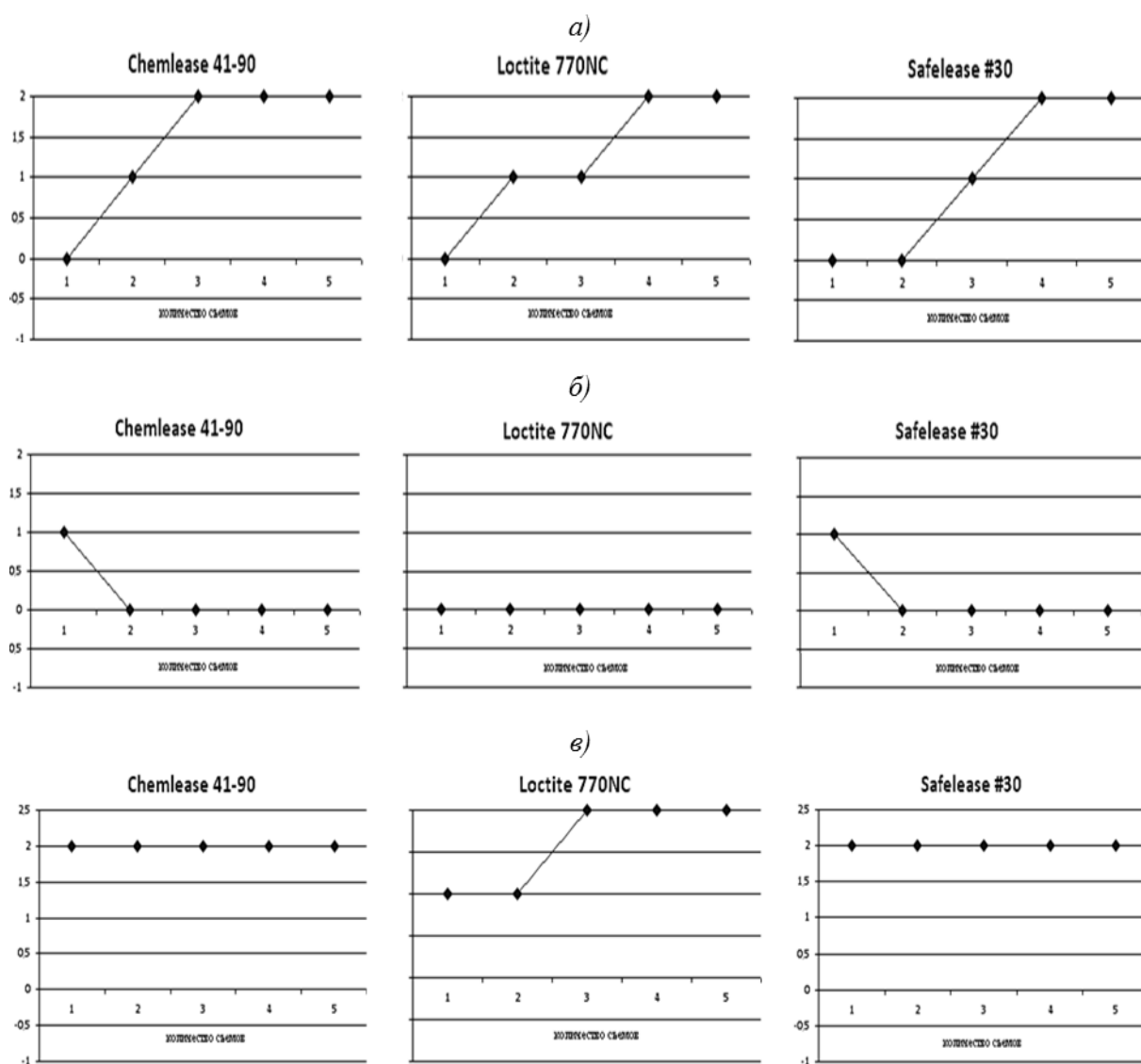
*a* – усилие съема образца с оснастки; *б* – сворачиваемость маркера; *в* – удаление натеков связующего с оснастки

Результаты испытаний углепластиковой оснастки с шероховатостью поверхности  $R_a \geq 12,5$  показаны на рис. 6 и 7.

Краевой угол смачивания  $\theta$  или  $\cos\theta$  является характеристикой гидрофильности (гидрофобности) поверхности мембран [17, 18] и определяется как угол между касательной *AB*, проведенной к поверхности смачивающей жидкости, и смачиваемой поверхностью твердого тела *AA*, при этом угол  $\theta$  всегда отсчитывается от касательной в сторону жидкой фазы (рис. 8). Касательную проводят через точку соприкосновения трех фаз: твердой фазы, жидкости (дистиллированная вода) и газа (воздух).

В соответствии с теорией Юнга–Лапласа краевой угол смачивания определяется при конкуренции двух сил, действующих на линию трехфазного контакта.

Согласно стандартной методике, разработанной для непористых объектов, при исследовании смачивания поверхности водой измерения краевых углов смачивания можно начинать через 20–25 мин после нанесения капли [19].

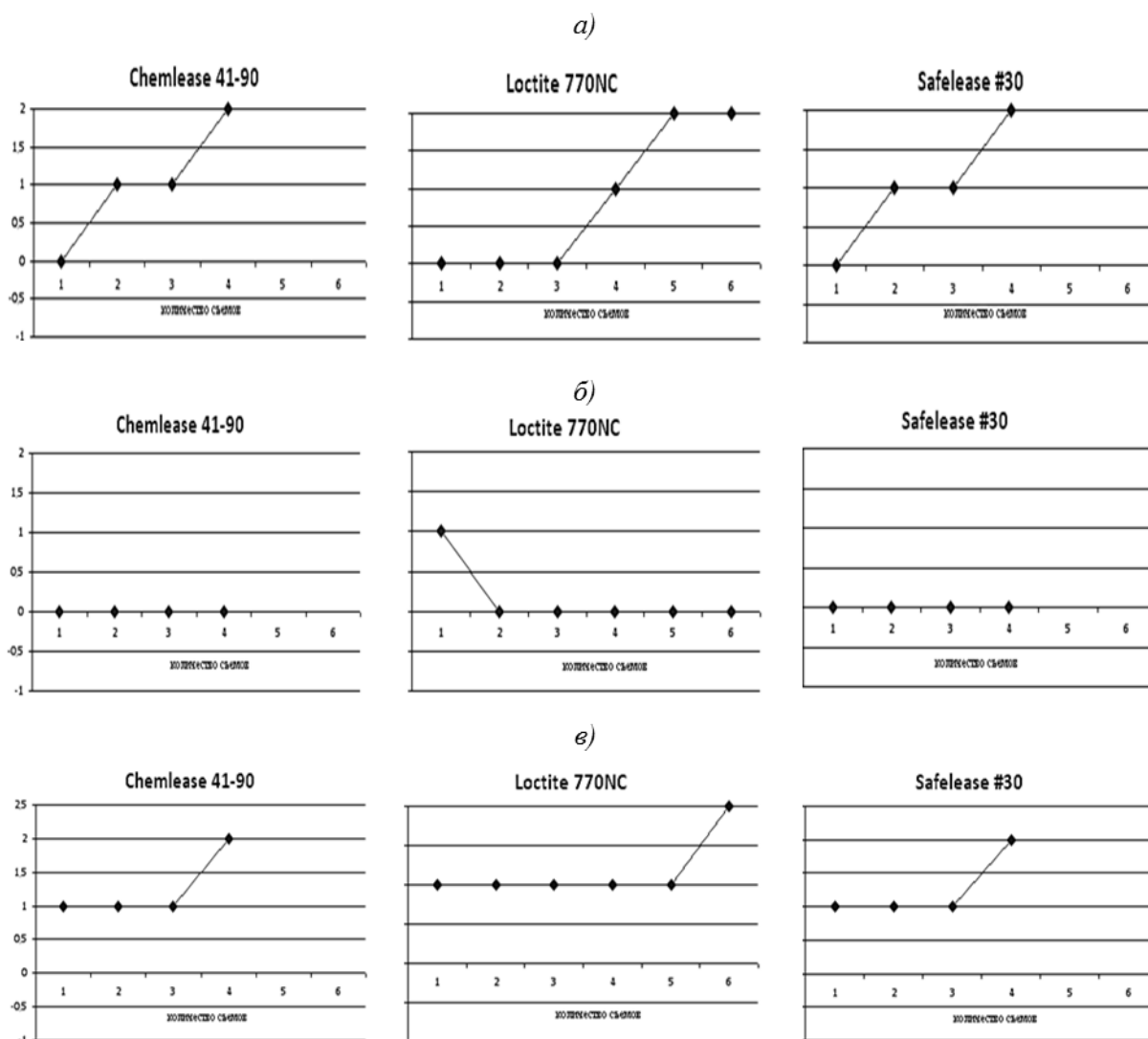


Усилие отслаивания и удаление натека связующего: 0 – легко; 1 – средне; 2 – плохо.

След от фломастера: 0 – нигде; 1 – на детали или оснастке; 2 – и на детали, и на оснастке

Рис. 6. Результаты испытаний антиадгезионных покрытий на углепластиковой оснастке с зашкуренной поверхностью и образцов из препрега стеклопластика марки СТ-69Н:

а – усилие съема образца с оснастки; б – сворачиваемость маркера; в – удаление натеков связующего с оснастки



Усилие отслаивания и удаление натека связующего: 0 – легко; 1 – средне; 2 – плохо.  
 След от фломастера: 0 – нигде; 1 – на детали или оснастке; 2 – и на детали, и на оснастке

Рис. 7. Результаты испытаний антиадгезионных покрытий на углепластиковой оснастке с зашкуренной поверхностью и заготовок из препрега стеклопластика марки СТ-520:

а – усилие съема образца с оснастки; б – сворачиваемость маркера; в – удаление натеков связующего с оснастки



Рис. 8. Определение краевого угла смачивания

Измерение краевого угла смачивания проводили на поверхности следующих материалов: МДФ (мастер-блок) с нанесенным на него лаком, металле (сплав Д16ч.-АТ), ПКМ (углепластик), полимере Niguron (мастер-блок полимерный). На поверхность указанных материалов наносили исследуемые антиадгезионные составы по указанной выше схеме.

Результаты по измерению краевых углов смачивания подготовленных поверхностей представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Краевые углы смачивания, измеренные на подготовленных поверхностях**

Антиадгезионное покрытие	Значения краевого угла смачивания, град, на материале			
	МДФ	ПКМ (углепластик)	металл	Niguron
Chemlease 41-90	79	67	59	69
Loctite 770NC	76	74	66	78
Safelease #30	47	45	43	54

Видно, что наименьший краевой угол смачивания капли воды определен на металлической оснастке на всех видах антиадгезионной смазки, наибольший – у антиадгезионных смазок марок Loctite 770NC и Chemlease 41-90 на полимерной плите марки Niguron. Однако на всех поверхностях материалов наименьший краевой угол смачивания имеет антиадгезионная смазка Safelease #30.

Из теории следует, что чем меньше краевой угол смачивания жидкости на поверхности материала, тем лучше смачивается данная поверхность. Для практической оценки свойств исследуемых антиадгезионных смазок проведено исследование смачиваемости подготовленных поверхностей полиэфирным гелькоутом марки ZELKOT TVE zielony P, используемым для формирования качественной поверхности ПКМ [20]. Гелькоут наносили на поверхности при помощи кисти в один слой. Внешний вид поверхности с нанесенным на оснастку гелькоутом представлен на рис. 9–11.



Рис. 9. Поверхность имитатора оснастки с антиадгезионной смазкой марки Safelease #30 из стеклопластика (а), полимерной плиты марки Niguron (б), алюминиевого сплава Д16ч.-АТ (е) и МДФ (з)

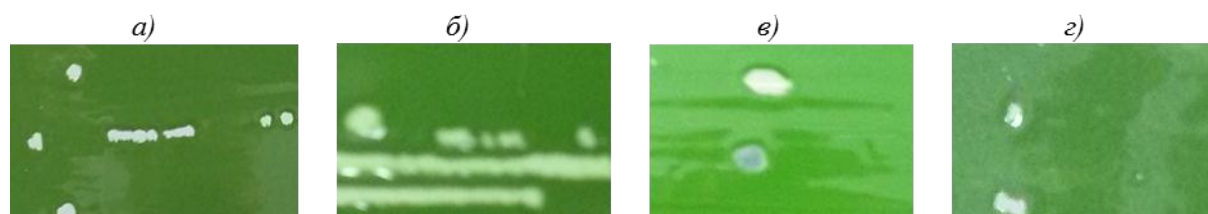


Рис. 10. Поверхность имитатора оснастки с антиадгезионной смазкой марки Loctite 770NC из стеклопластика (а), полимерной плиты марки Niguron (б), алюминиевого сплава Д16ч.-АТ (е) и МДФ (з)

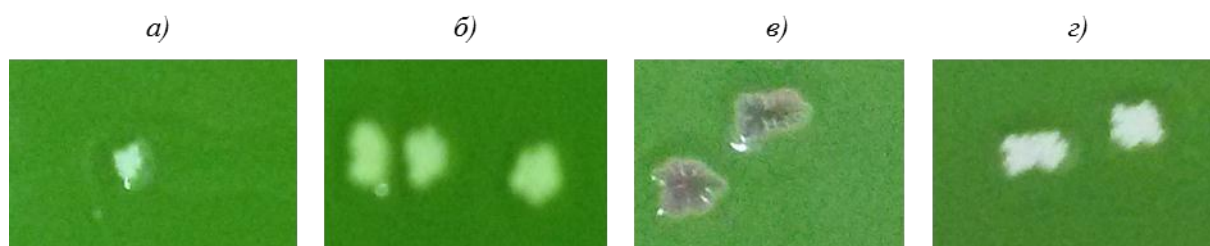


Рис. 11. Поверхность имитатора оснастки с антиадгезионной смазкой марки Chemlease 41-90 из стеклопластика (а), полимерной плиты марки Niguron (б), алюминиевого сплава Д16ч.-АТ (в) и МДФ (г)

Полученные результаты показывают, что наилучшие показатели смачиваемости имеют поверхности, обработанные антиадгезионной смазкой Safelease #30.

Для исследования влияния поверхности оснастки из сплава Д16ч.-АТ, обработанной исследуемыми антиадгезионными смазками, на физико-химические и механические свойства стеклотекстолитов марок СТ-69Н и СТ-520 из них по нормативным режимам отверждены плиты методом вакуумного формования в термопечи. Из отформованных плит стеклопластиков изготовили стандартные образцы для проведения испытаний в соответствии с ГОСТ 11262–80 (предел прочности при растяжении), ГОСТ 4651–82 (предел прочности при сжатии) и ГОСТ 4648–71 (предел прочности при статическом изгибе). Испытания проводили на испытательной машине Zwick/Roell Z050. Результаты исследований свойств стеклопластика приведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Результаты испытаний

Стеклопластик	Антиадгезионное покрытие (разделитель)	Пористость, %	Предел прочности, МПа, при			$T_c^*$ , °С
			растяжении	сжатии	изгибе	
СТ-69Н	Loctite 770NC	3,3	595	505	860	119
	Chemlease 41-90	2,2	580	495	840	120
	Safelease #30	2,8	620	540	905	122
СТ-520	Loctite 770NC	10,2	255	190	330	194
	Chemlease 41-90	8,3	205	175	275	185
	Safelease #30	8,4	250	215	320	200

\* Температура стеклования.

Исследование влияния антиадгезионных покрытий на физико-химические и механические свойства не выявило явных отличий по физико-механическим свойствам стеклопластиков, отформованных на оснастках с различными типами разделителей. Однако стеклопластики на основе эпоксидных и фенолформальдегидных смол, отформованные на антиадгезионной смазке марки Safelease #30, показывают наибольшие результаты по значениям предела прочности при сжатии и температуры стеклования.

#### Обсуждения и заключения

Таким образом, при сравнении полученных результатов можно сделать вывод, что антиадгезионные смазки марок Loctite 770NC и Chemlease 41-90 позволяют добиться большего количества съёмов деталей с различных поверхностей оснасток. Для работы с эпоксидными и фенолформальдегидными связующими, а также для получения более качественной лицевой поверхности детали лучше использовать покрытие марки Loctite 770NC. При работе с гелькоутами больше всего подходит антиадгезионная смазка марки Safelease #30, так как при нанесении гелькоута на поверхность оснастки

образуется тонкий ровный слой (без разрывов), но данное покрытие имеет меньший показатель по количеству съёмов деталей из ПКМ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Прогнозы развития мирового рынка гражданской авиации // *ТИ ЦАГИ*. 2003. №3–4. С. 6.
3. Компания Airbus: [официальный сайт]. URL: <http://www.airbus.com> (дата обращения: 12.08.2015).
4. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жирнов А.Д., Старцев О.В., Вапиров Ю.М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ // *Авиационная промышленность*. 2009. №4. С. 36–46.
5. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э., Ильин В.В., Вальтер Р.С. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ / В сб. докл. IX Международ. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012». 2012. С. 122–123.
6. *Справочник по композиционным материалам* / под ред. Дж. Любина. М.: Машиностроение, 1988. 446 с.
7. *Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология* / под ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия, 2009. 556 с.
8. *Практикум по коллоидной химии и электронной микроскопии* / под ред. С.С. Воюцкого, Р.М. Панич. М.: Химия, 1974. 224 с.
9. Липатов Ю.С. *Коллоидная химия полимеров*. Киев: Наукова думка, 1984. 844 с.
10. Постнова М.В., Постнов В.И. Опыт развития безавтоклавных методов формования ПКМ // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №4. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.08.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-4-6-6.
11. Солнцев Ст.С., Розененкова В.А., Миронова Н.А., Соловьева Г.А. Высокотемпературные покрытия на основе золь-гель технологии // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №1. Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.09.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-1-3-3.
12. Постнов В.И., Петухов В.И., Макрушин К.В., Юдин А.А. Исследование антиадгезионных покрытий при формовании панелей интерьера с гелькоутным слоем // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. №3. С. 23–25.
13. Паншин Ю.А., Малкевич Л.Г., Дунаевская Д.С. *Фторопласты*. М.: Химия, 1978. 232 с.
14. Кузнецова В.А., Кузнецов Г.В., Шаповалов Г.Г. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидной смолы на адгезионные, физико-механические свойства и эрозионную стойкость покрытий // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №8. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 26.08.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-8-8.
15. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В., Абрамов П.А., Сатдинов Р.А. Опыт применения технологического контроля полуфабрикатов ПКМ // *Известия Самарского научного центра РАН*. Т. 16. №6 (2). 2014. С. 393–398.
16. Савельев И.В. *Курс общей физики*. М.: Физика, 1970. Т. 1. С. 263–265.
17. Адамсон А. *Физическая химия поверхностей*. М.: Мир, 1979. 568 с.
18. Сумм Б.Д. *Гистерезис смачивания*. М.: Академия, 2006. 239 с.
19. Фридрихсберг Д.А. *Курс коллоидной химии*. Л.: Химия, 1974. 352 с.
20. Зимон А.Д. *Адгезия пленок и покрытий*. М.: Химия, 1977. 352 с.