

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА МАСТЕР–МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ЕДИНИЧНОГО И ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ИЗДЕЛИЯХ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Изготовление оснастки является важнейшим этапом подготовки производства при изготовлении деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ), который определяет качество будущей конструкции. Увеличение объемов применения композитных деталей в конструкциях самолетов повлекло за собой и необходимость создания соответствующего высокотехнологичного и высококачественного оснащения [1]. В настоящее время разработано достаточно много решений для создания оснастки в зависимости от конструктивных особенностей будущего агрегата, серийности его изготовления, экономических факторов и др.

Для получения качественного оснащения необходимо учесть ряд факторов: подбор оптимальных свойств материала формообразующей поверхности (ФОП), соблюдение геометрических параметров и допустимых отклонений, продолжительность цикла жизнеспособности в зависимости от типа конструкции и заданной программы выпуска изделий. Часто эксплуатационные и экономические параметры изделий противоречат друг другу, например, улучшение качества оснастки влечет за собой резкое увеличение себестоимости получаемых изделий. Задача инженера – выбрать оптимальное конструктивно-технологическое решение (КТР) для решения конкретной задачи [2].

Требования, которые предъявляются к оснастке, показаны на рис. 1.

В серийном производстве наиболее широко применяется оснастка из стали и алюминия, т.к. она способна выдерживать большое количество циклов формования без существенных отклонений от заданных геометрических параметров и качества формообразующей поверхности в процессе ее эксплуатации. Однако по результатам практического опыта и проведенного анализа выясняется, что металлическая оснастка обладает рядом существенных недостатков, таких как большая масса, значительная трудоемкость механической обработки при ее изготовлении, сложность доводки поверхности, «деградация» металла и потеря герметичности стальной оснастки для азота, который в ходе формования попадает в деталь через сварные швы формы, разница между коэффициентами линейного термического расширения (КЛТР) формуемой детали и оснастки.



Рисунок 1 – Основные группы требований, предъявляемых к оснастке

В связи с этим все большее распространение получает полимерная оснастка, ФОРМОВОЙ КОМПОНЕНТ которой изготавливается из стекло-, или углепластика. Широкий спектр материалов – от полимерных плит до препрегов на основе углеродных и стеклянных материалов обуславливает возможность изготовления полимерной оснастки любой сложности и габаритов с минимальными трудовыми и финансовыми затратами. Основными преимуществами полимерной оснастки являются:

- а) близкий КЛТР формируемой детали и оснастки;
- б) возможность получения оснастки сложной кривизны больших габаритов;
- в) меньшую массу по сравнению с металлической оснасткой;
- г) быстрый и равномерный нагрев при термообработке.

Одним из недостатков такого типа оснастки является быстрый износ ее рабочей поверхности и деформация в процессе эксплуатации, а также уменьшение ресурса работы вследствие накопления остаточных термических напряжений, которые могут вызывать расслоение и растрескивание материала оснастки [2]. Однако несмотря на указанные недостатки применение композитов для изготовления оснастки растет.

Существует ряд технологических методов изготовления полимерной оснастки:

- препреговый метод, являющийся наиболее распространенным в отечественном производстве;
- «мокрый» метод, т.е. нанесение связующего кистью или валиком на предварительно уложенные слои армирующего материала;
- безавтоклавные методы формования, такие, как VaRTM (Vacuum Resin Transfer Molding), VAP (Vacuum Assisted Process), LRTM (Light Resin Transfer Molding), RFI (Resin Film Infusion). Успешное применение этих процессов объясняется их преимуществами в сравнении с автоклавными

ми технологиями. В первую очередь это отсутствие необходимости использования автоклавов (для связующих, не требующих избыточного давления при формовании, достаточно проводить режим формования под действием вакуума в печи), что ведет к уменьшению энергетических затрат, а также уменьшению влияния вредных веществ (смола и отвердителей) на организм рабочего персонала [3];

- метод фрезеровки оснастки из предварительно отформованного угле-, стеклопластика большой толщины (более 50 мм).

Одним из обязательных требований при изготовлении полимерной оснастки является наличие мастер-модели (макета поверхности), от качества изготовления которой зависит качество получаемой формообразующей поверхности оснастки. В зависимости от температуры полимеризации мастер-модели изготавливаются из гипса, пенопласта, оклеенного стеклотканью, древесины и др. При изготовлении оснастки препреговым методом в основном применялись деревянные болванки, заготовки которых набираются вручную и обрабатываются на станках с ЧПУ для получения нужного теоретического контура поверхности. Из практического опыта известно, что деревянные болванки обладают гигроскопичностью, неравномерностью структуры, плохой герметичностью ФОП, непостоянством размеров при хранении и после термообработки [4, 5]. Поэтому при повторном использовании существует необходимость постоянного контроля геометрических размеров и доводки поверхности. В связи с этим появилась необходимость в поиске новых типов материалов, которые могли заменить деревянные мастер-модели.

Ведущие мировые производители материалов для полимерной оснастки «Airtech Europe S.A.», «Hexcel Composites», «Hunsman», «RAMPF» предлагают ряд решений для получения мастер-моделей различными методами:

- использование полимерных плит на основе эпоксидных связующих, что позволяет получить высокое качество формообразующей поверхности оснастки (рис. 2, б);

- close contour casting - нанесение специальной пасты на поверхность заготовки с ее последующим отверждением и фрезеровкой до нужного контура поверхности; такой метод позволяет значительно экономить материал мастер-модели, т.к. в качестве заготовки используется более дешевый материал, однако этот метод требует специализированного оборудования для нанесения пасты, кроме этого пасты имеют невысокую рабочую температуру (рис. 2, а);

- использование набора плит МДФ (прессованная древесная пыль на клеевой основе), который имеет более равномерную структуру в сравнении с древесиной.

Указанные методы обладают рядом преимуществ по сравнению с деревянными болванками: хорошая обрабатываемость, низкая гигро-

скопичность, высокое качество поверхности после нескольких режимов термообработки и хорошая герметичность.



а



б

Рисунок 2 – Полимерные плиты для мастер-моделей:
а – метод close contour casting; б – полимерная плита на станке с ЧПУ

Существующие методы и материалы предоставляют возможность выбора инженеру, исходя из заданных условий, сроков их выполнения, а также требуемого качества. Ниже представлена таблица с преимуществами и недостатками методов изготовления мастер-моделей с применением различных материалов для получения полимерной оснастки с указанием их ориентировочной стоимости.

Таблица 1 – Материалы для изготовления мастер-моделей

№ п/п	Материал мастер-модели	Преимущества эксплуатации	Недостатки эксплуатации	Цена материала
1	Древесина	Низкая стоимость, отработанная технология применения, безвредна, широкая доступность материала	Длительный цикл изготовления заготовки, после фрезеровки поверхность требует ручной доводки, нестабильность геометрических размеров после длительного хранения, гигроскопичность	1500 грн/м ³
2	Плита МДФ	Хорошее качество поверхности после фрезеровки, стабильность геометрических размеров, хорошо обрабатывается на станках ЧПУ	Необходима сборка-склейка перед обработкой под прессом, большой вес заготовок, гигроскопичность	7000 грн/м ³

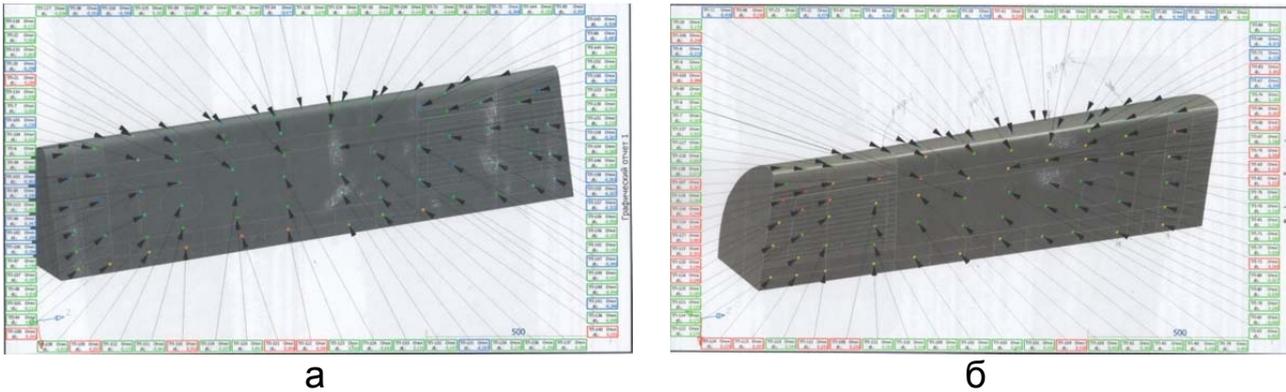
Продолжение таблицы 1

№ п/п	Материал мастер-модели	Преимущества эксплуатации	Недостатки эксплуатации	Цена материала
3	Полимерные плиты иностранного производства	Высокое качество поверхности, не требующее ручной доработки, возможность многократного использования для изготовления других мастер-моделей, легко обрабатывается на станках ЧПУ	Высокая цена, требует специальных паст для ремонта, порозаполнителей и разделителей, хрупкая структура плиты	10000\$/м ³
4	Close contour casting	Позволяет экономить дорогостоящий материал, возможность быстрого получения требуемой геометрии, высокое качество получаемой поверхности, легко обрабатывается на станках ЧПУ	Требует дополнительного оборудования для нанесения пасты	-

Анализ экономической целесообразности применения вышеуказанных методов и материалов позволяет заключить, что деревянные мастер-модели являются наиболее распространенным и наименее затратным средством для получения формообразующей поверхности полимерной оснастки, однако их применение не дает такого высокого качества формующей поверхности, как, например, использование полимерных плит или плит МДФ.

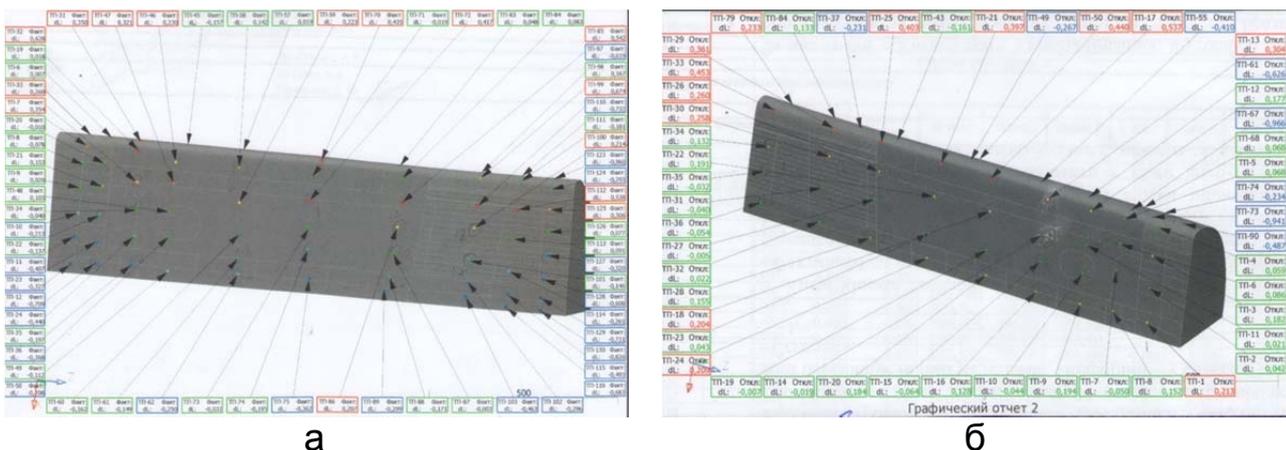
Как было сказано ранее, при изготовлении мастер-моделей для полимерной оснастки необходимо учитывать многие факторы, которые влияют на качество получаемой оснастки. Одним из таких факторов является высокая температура формования ($\approx 150^{\circ}\text{C}$) полимерной ФОП на мастер-модели в автоклавах для связующих горячего отверждения. Разность КЛТР материала мастер-модели и материала оснастки вызывает коробление обшивки оснастки, в результате можно получить не только отклонения от заданного контура, но и деталь с короблением.

Для сравнения величин отклонений, которые появляются после одного цикла формования оснастки, проведена экспериментальная работа. Были изготовлены мастер-модели идентичного контура из разного материала: из сосны и полимерной плиты W0070, производства фирмы «RAMPF», Германия. После изготовления на каждой из них была отформована формообразующая оснастка для изготовления носовой части агрегата механизации крыла транспортного самолета. Предварительно были проведены измерения отклонений геометрических размеров изготовленных мастер-моделей от математической модели в различных зонах (рис. 3).



а
б
Рисунок 3 – Результаты замеров отклонений мастер-моделей:
а – мастер-модель из древесины; б – мастер-модель из полимерной
плиты

После формования оснастки были проведены повторные измерения отклонений (рис. 4) и сравнительный анализ полученных данных (рис. 5 – 6).



а
б
Рисунок 4 – Результаты замеров отклонений мастер-моделей после
формования оснастки:
а – мастер-модель из древесины; б – мастер-модель из полимерной
плиты

Анализ полученных данных позволяют сделать некоторые выводы:

а) качество мастер-модели, изготовленной из полимерной плиты до и после проведения режима термообработки, лучше в сравнении с мастер-моделью, изготовленной из древесины;

б) однородность поля отклонений от теоретической поверхности в большей мере наблюдается на мастер-модели, изготовленной из полимерной плиты (рис. 5), на мастер-модели из древесины можно наблюдать резкие скачки отклонений в некоторых точках (рис. 6).

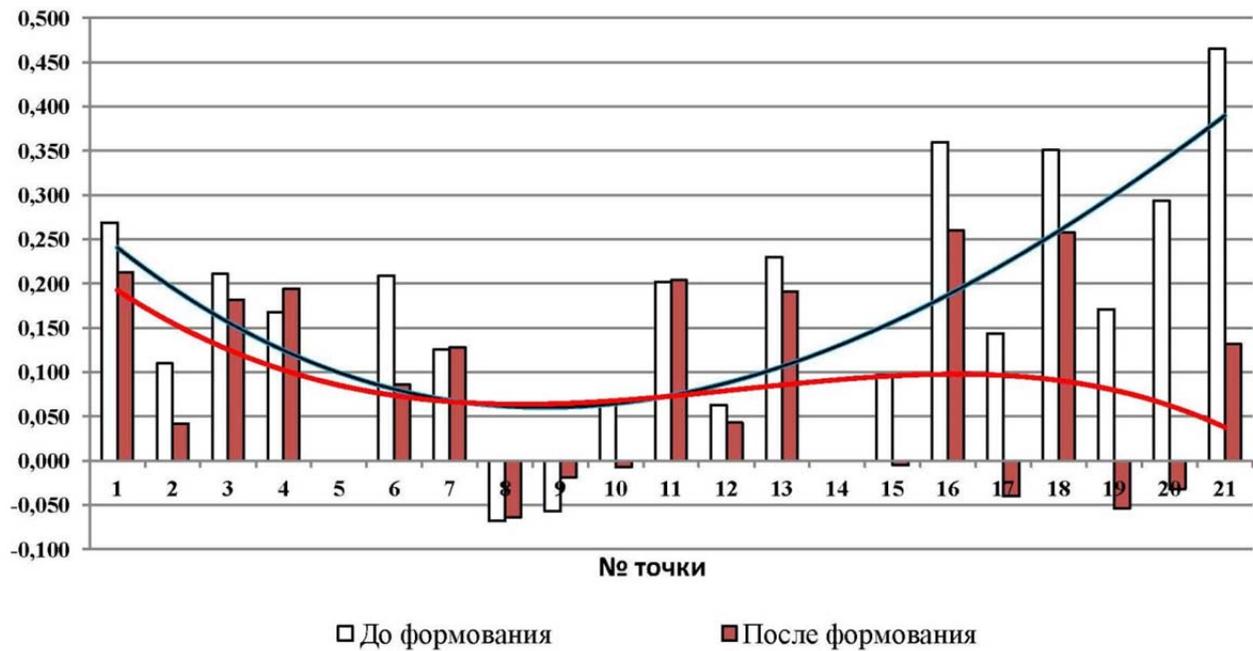


Рисунок 5 – Отклонения поверхности мастер-модели из полимерной плиты до и после формования оснастки

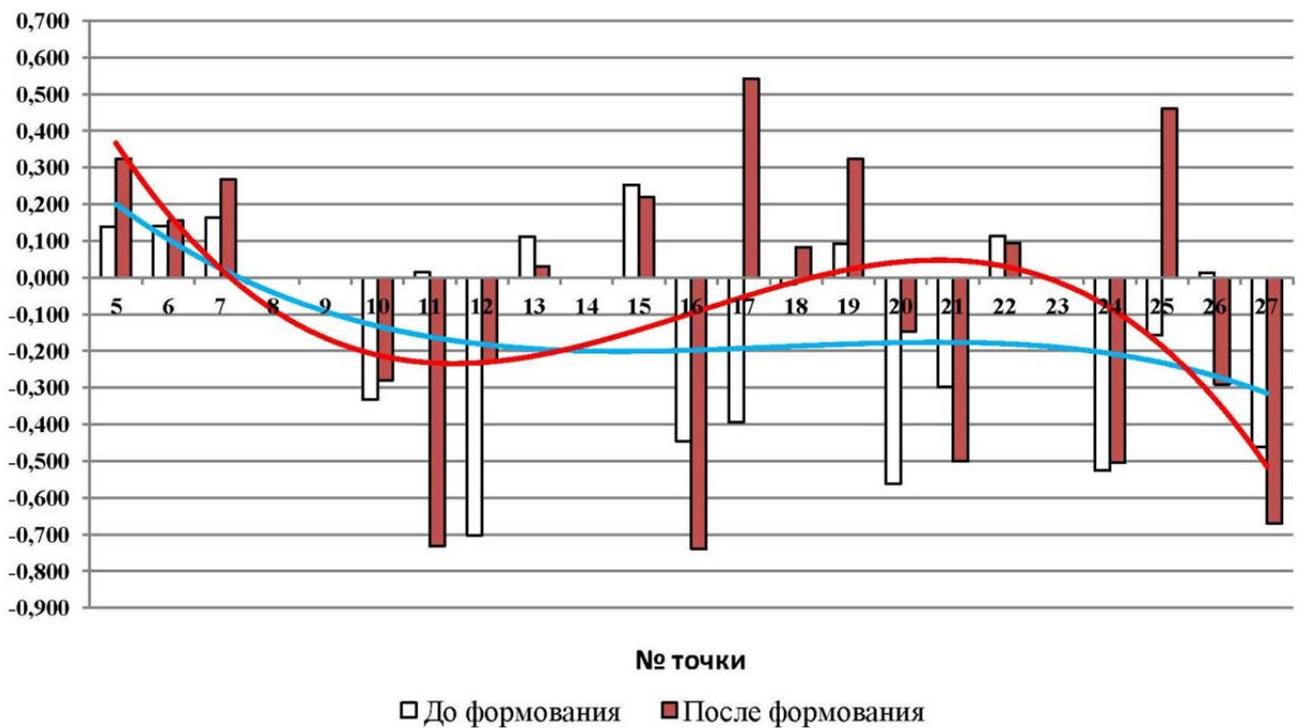


Рисунок 6 – Отклонения поверхности мастер-модели из древесины до и после формования оснастки

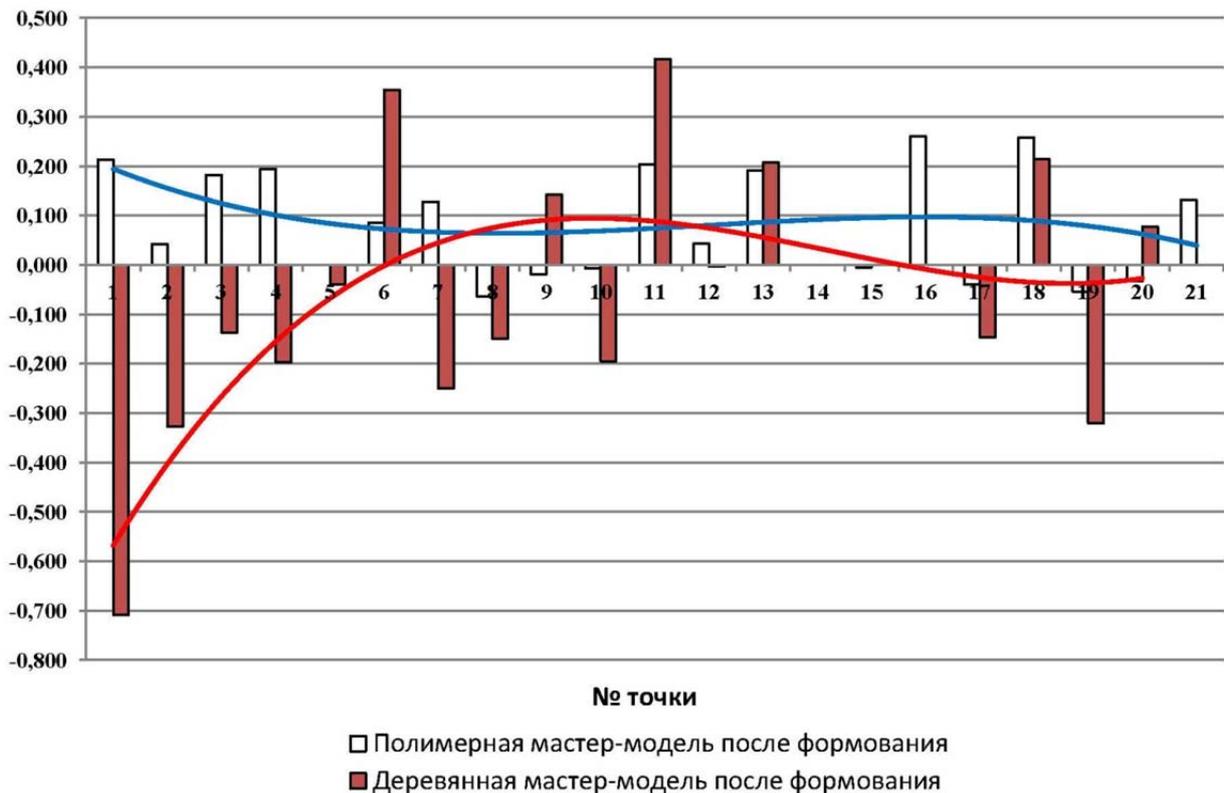


Рисунок 7 – Сравнение отклонений мастер-моделей после формования оснастки

Анализ проведенных исследований показывает, что деревянные мастер-модели обеспечивают точность изготовления полимерной оснастки в пределах 1,0...1,5 мм. При этом древесина значительно дешевле других материалов.

Полимерные материалы обеспечивают более высокую точность (до 0,5 мм) и стабильность размеров.

Выводы

1. При подготовке опытного и мелкосерийного производства изделий из ПКМ следует учитывать следующее:

- для изготовления оснастки агрегатов, требующих высокой точности изготовления, таких, как аэродинамические модели, поверхности агрегатов «нулевой» (до $\pm 0,5$ мм) и «первой» (до ± 1 мм) зон теоретического контура самолета, необходимо использовать полимерные материалы;

- с целью снижения затрат, сокращения циклов подготовки производства для агрегатов, допускающих отклонение геометрических размеров до $\pm 1,5$ мм, целесообразно использовать деревянные мастер-модели.

2. При подготовке серийного производства необходимо обеспечивать высокое качество всей оснастки, исключая ручную доводку поверхностей изготавливаемых деталей. При этом применение полимерных материалов, несмотря на их высокую стоимость, наиболее целесообразно.

Одним из недостатков полимерных материалов является их высокий КЛТР, который может быть устранен применением современных связующих с низкой температурой полимеризации и последующей термостабилизацией после снятия с формы в свободном состоянии.

Список использованных источников

1. Боголюбов, В.С. Формообразующая оснастка из полимерных материалов [Текст] / В.С. Боголюбов. – М.: Машиностроение, 1979. – 183 с.

2. Петропольский, В.С. Разработка рациональных конструктивно-технологических решений формообразующей оснастки для изготовления деталей из композиционных материалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02. – Х., 1998. – 160 с.

3. Андреев, А.В. Технологические аспекты применения пленочных связующих при создании конструкций из композиционных материалов пассажирских и транспортных самолетов [Текст] / А.В. Андреев, З.Н. Демиденко, В.А. Андреева // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(76). – Х., 2013. – С. 21 – 27.

4. Боголюбов, В.С. Эффективность применения стеклопластиков для изготовления крупногабаритной объемной оснастки [Текст] / В.С. Боголюбов, Е.П. Васюренко // Авиационная промышленность. – №3. – 1974. – С. 5 – 8.

5. Игнатенко, Г.К. Нормализация оснастки для автоклавного формования изделий из ПКМ [Текст] / Г.К. Игнатенко, В.Г. Бондарь, В.С.Петропольский // сб. тезисов Второй всесоюзной конференции «Технология производства деталей из композиционных материалов», Киев, апрель 1991. – К.: УКРНИАТ, 1991. – 32 с.

6. Некоторые аспекты совершенствования для автоклавного формования изделий из полимерных композиционных материалов [Текст] / В.М. Муратов, Г.К. Игнатенко, В.Г. Бондарь, В.С. Петропольский // сб. тезисов докладов 12 Всесоюзной научно-технич. конф. Обнинск, 1990. – С. 46.

Поступила в редакцию 28.05.2015.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Бычков,

Государственное предприятие «Антонов», г. Киев.