

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНО-СКЛЕЕЧНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

© 2020 Ю.В. Полянсков, П.Ю. Павлов, О.В. Железнов, А.А. Мешихин

Ульяновский государственный университет

Статья поступила в редакцию 08.12.2019

При производстве современной авиационной техники особое значение уделяют снижению массы её узлов и агрегатов. Чтобы добиться снижения массы самолета без снижения прочности и повышения экономической эффективности зачастую применяют различные композиционные материалы. Изготовление узлов и агрегатов из таких материалов влечет за собой проектирование и применение специального сборочно-склеечного оснащения, которое обеспечивает необходимую точность и жесткость для получения требуемой геометрической формы авиационной конструкции. Данная статья посвящена процессу автоматизированного проектирования сборочно-склеечной технологической оснастки (ССО) для изготовления сотовых металлических панелей самолетов из полимерных композиционных материалов (ПКМ), с использованием CAD-системы Siemens NX.

Ключевые слова: Сборочное приспособление, сборочно-склеечная оснастка, сотовый наполнитель, полимерный композиционный материал, вакуумный мешок, САПР, авиация, производство, проектирование, композиционные материалы.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания №2.1816.2017/4.6
Министерства науки и высшего образования РФ*

Снижение массы конструкции самолетов является одной из приоритетных задач в области самолетостроения [1]. Решением этой задачи является использование в конструкции самолета изделий из ПКМ.

ПКМ нашли широкое применение в авиационном строительстве благодаря своим качествам: высокая удельная прочность, возможность управления структурой и формообразованием изделий

практически любой геометрии, лёгкость комбинирования с разными материалами [2].

На современных самолетах используется до 50% [3] от общей массы планера изделий из ПКМ. Так рациональное использование композиционных материалов при производстве самолетов позволяет сэкономить от 5 до 30% веса летательного аппарата. Пример таких изделий из ПКМ приведен на рисунке 1.

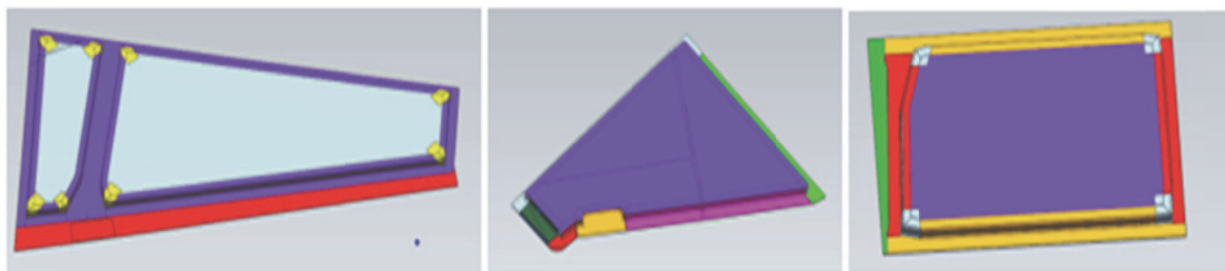


Рис. 1. Электронные модели сотовых панелей самолета из ПКМ

Полянсков Юрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, президент УлГУ, директор центра компетенции «Цифровое производство высокотехнологичных изделий в машиностроении»

E-mail: president@ulsu.ru

Павлов Павел Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ММТС, заведующий лабораторией МТП НИЦ CALS-технологий УлГУ. E-mail: pavel.y.pavlov@mail.ru

Железнов Олег Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры ММТС, Директор НИЦ CALS-технологий УлГУ. E-mail: olegulsu@mail.ru

Мешихин Александр Александрович, младший научный сотрудник кафедры ММТС, лаборант СНТБ НИЦ CALS-технологий УлГУ. E-mail: mister.meshihin2012@yandex.ru

При производстве изделий из ПКМ одну из главных ролей выполняет оснастка. ССО обеспечивает требуемую геометрию изделий из ПКМ, равномерный нагрев и охлаждение изделий при формовании и отверждении, необходимое формирующее давление по всей поверхности изделий [4]. Исходя из значимости ССО, делаем вывод, что изготовление и проектирование ССО для изделий из ПКМ – это сложный, высокотехнологичный процесс, который требует большой ответственности и профессионализма. На начальной стадии проектирования оснастки со-

вместно с заказчиком разрабатывают модель формы, учитывая множество параметров и расчетов. Исходными данными для проектирования и изготовления сборочно-клеечной оснастки является конструкторская документация (КД), включающая в себя математическую модель детали. Так же от качества модели оснастки будет зависеть точность и качество выполнения контура изделия на этапе изготовления.

Высокая специфика и сложность получения изделий из ПКМ во многом влияют на процесс проектирования и изготовления ССО. Поэтому процесс проектирования ССО занимает большое количество времени и увеличивает длительность цикла конструкторско-технологической подготовки производства, что также ведет за собой снижение экономической эффективности предприятия. Одним из путей решения данной проблемы является разработка новых технологий для сокращения трудоемкости технологических процессов, их автоматизации и роботизации [5]. На сегодняшний день автоматизация проектирования ССО для изготовления сотовых металлических панелей самолетов из ПКМ остается слабо развитой. [6]

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ССО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОТОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ ИЗ ПКМ

При проектировании приспособления можно выделить следующие основные этапы:

1. Анализ конструкции изделия.
2. Проектирование основания (рама, лекала, при необходимости).

3. Определение схемы базирования для нижней обшивки и проектирование базовых элементов.

4. Задание установочных элементов для сотового заполнителя и профилей (гнутиков).

5. Проектирование и установка прижимных элементов для фиксации профилей и сотового заполнителя.

6. Проектирование прижимов и вставок (при необходимости) для более плотного смыкания склеиваемых поверхностей (в труднодоступных местах) под вакуумным мешком.

7. Определение и установка элементов фиксации прижимов.

8. Определение места, для образца-свидетеля (при необходимости).

9. Проектирование и установка вакуумных трубок и штуцеров для откачки воздуха и контроля (при необходимости).

10. Определение и установка стандартных и типовых элементов.

Схематично методика проектирования оснастки представлена на рисунке 2.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ССО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОТОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ ИЗ ПКМ

Для автоматизированного проектирования ССО с использованием CAD-системы Siemens NX разработаны следующие инструменты:

- каталог базовых элементов с параметрическими моделями и с автоматизированным изменением конфигурации;
- автоматизированное формирование геометрии и параметров основания;



Рис. 2. Процесс проектирования сборочно-клеечной оснастки

- каталог установочных и прижимных элементов с параметрическими моделями и с автоматизированным изменением конфигурации;
- автоматизированная установка базовых, установочных, прижимных и типовых элементов сопряжением по отверстиям и геометрии основания;
- каталог элементов фиксации прижимов с параметрическими моделями и с автоматизированным изменением конфигурации;
- каталог транспортировочных узлов с параметрическими моделями и с автоматизированным изменением конфигурации.

КАТАЛОГ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С целью сокращения времени при разработке элементов для базирования нижней обшивки на поверхности основания ССО, был разработан электронный каталог стандартных элементов (упоров). Данный каталог состоит из двух видов упоров нижней обшивки: базовые и прижимные упоры; и также из двух видов упоров верхней обшивки: базовые и прижимные упоры. Существует возможность выбора упоров из каталога, а также возможность автоматизированного формирования конфигурации упоров, путем ввода нужных параметров в окно задания параметров. Виды упоров и корректируемых параметров показаны на рисунке 3.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ И ПАРАМЕТРОВ ОСНОВАНИЯ

Инструмент построения геометрии основания позволяет автоматизировать часть рутинных операций и сократить время на разработку ССО. С его использованием появляется возможность проектирования основания посредством задания входных параметров:

- нижней обшивки изделия;

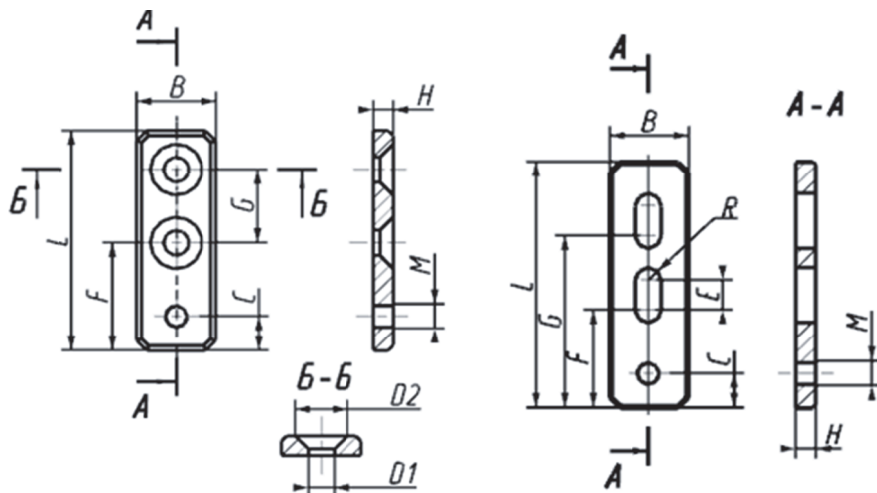


Рис. 3. Упоры для базирования нижней обшивки

- граничных условий (расстояний от краев нижней обшивки до краев панели);
- толщины основания.

После задания данных параметров построение основания производится автоматически. Пользователь также имеет возможность проведения корректировки при необходимости.

КАТАЛОГ УСТАНОВОЧНЫХ И ПРИЖИМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Чтобы выставить сотовый наполнитель на нижней обшивке согласно ТЗ и выложить поверх него другие элементы изделия, необходимо воспользоваться установочными элементами (упоры для сотового наполнителя). Упоры эти имеют похожую конфигурацию для разной ССО и отличаются только габаритами, поэтому принято решение разработать каталог данных упоров.

Каталог данных элементов разработан для сокращения времени проектирования ССО, по аналогии с предыдущим, здесь также существует возможность выбора элементов номенклатуры каталога, и также есть возможность автоматизированного формирования конфигурации, путем ввода нужных параметров в окно задания параметров. Пример элементов и их основных размеров представлен на рисунке 4.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА БАЗОВЫХ, УСТАНОВОЧНЫХ, ПРИЖИМНЫХ И ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При создании файла сборки в САД-системе, например в Siemens NX [7] используется инструмент создания ограничений сборки. Основные виды ограничения для ССО создаются по крепежным отверстиям. Данный способ сопряжения элементов по крепежным отверстиям и был взят за основу при автоматизации установки элементов.

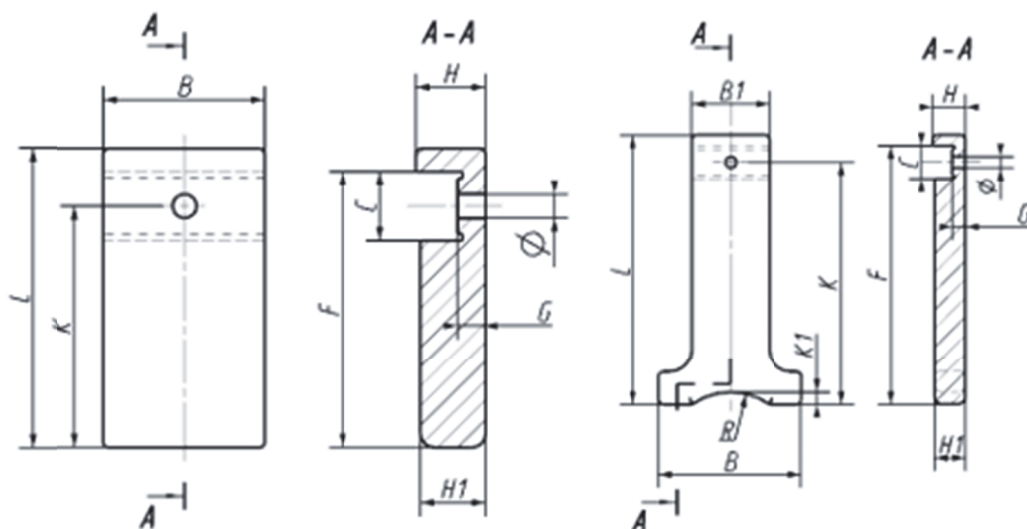


Рис. 4. Установочные элементы для выкладки

КАТАЛОГ ЭЛЕМЕНТОВ ФИКСАЦИИ ПРИЖИМОВ

В большинстве случаев планки для прижима верхних слоев изделия к нижней обшивке и к сотовому заполнителю устанавливаются на однотипные (типовые) петли. Поэтому тут тоже напрашивается создание каталога таких элементов крепления прижимов.

Каталог элементов фиксации прижимов сделан также по аналогии с предыдущими каталогами. Пример показан на рисунке 5.

КАТАЛОГ ТРАНСПОРТИРОВОЧНЫХ УЗЛОВ

Для перемещения и транспортировки приспособления и выложенного на нем изделия, устанавливают транспортировочные узлы. Проанализировав основные виды транспортировочных узлов для ССО, был сделан вывод, что все элементы этих узлов типовые, на основании этого принято решение о необходимости разработки каталога транспортировочных узлов для ССО.

Данный каталог состоит из разных видов и параметров транспортировочных узлов, выбор вида транспортировочного узла осуществляется либо по названию, либо по эскизу. После выбора подходящего вида, есть возможность выбора элементов из номенклатуры каталога по требуемым параметрам. Также существует воз-

можность автоматизированного формирования конфигурации транспортировочных узлов, путем ввода нужных параметров в окно задания параметров. Пример некоторых таких элементов показан на рисунке 6.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ССО

Для автоматизации процесса проектирования ССО необходимо использовать разработанные инструменты, описанные выше. Так, например, если рассматривать методику проектирования ССО, описанную ранее, то видно, что она состоит из нескольких этапов. Каждый этап автоматизируется с помощью предлагаемых инструментов. Автоматизацию первого и второго этапов позволяет выполнять инструмент «Автоматизированное формирование геометрии и параметров основания», третий этап автоматизируется с помощью инструментов «Каталог базовых элементов» и «Автоматизированная установка базовых, установочных и прижимных элементов» и так далее по каждому этапу. Схематично автоматизация каждого этапа показана на рисунке 7.

Практика показывает, что данная автоматизированная методика проектирования ССО позволяет сократить до 20-30% времени (в зависимости от сложности ССО) на разработку ССО.

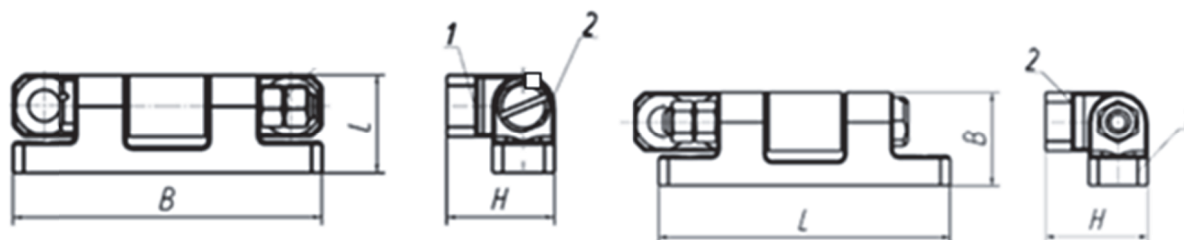
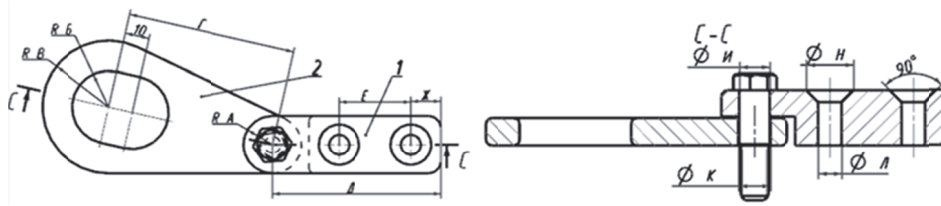


Рис. 5. Петли для фиксации прижимов



А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	Н	Нагрузка на 1 узел
9.5	15	25	70	65	30	10	15	9	9.5	8.5	17	25кг
12	15	27.5	70	70	30	12.5	15	11	11.5	8.5	17	40кг
14	16	30	75	75	30	15	16	11	11.5	10.5	21	50кг
17	20	35	80	85	35	15	20	13	13.5	10.5	21	80кг

Рис. 6. Узел транспортировки ССО

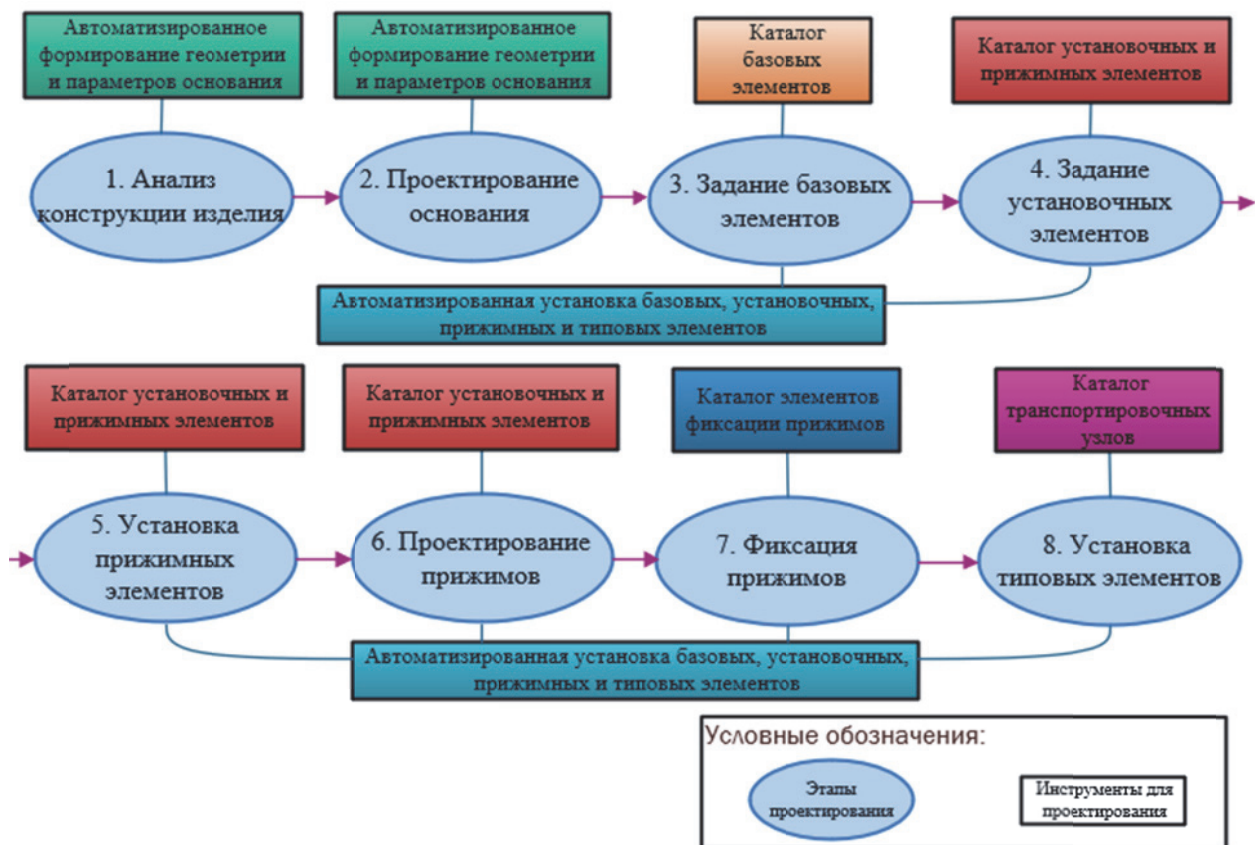


Рис. 7. Схема проектирования ССО для изготовления сотовых металлических панелей самолетов из ПКМ с использованием инструментов автоматизированного проектирования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная автоматизированная методика проектирования ССО была апробирована на примере авиастроительного предприятия АО «Авиастар-СП». А именно, с помощью данной методики было разработано порядка десяти позиций ССО для АО «Авиастар-СП». Примеры спроектированных позиций ССО показаны на рисунке 8.

Проведение апробации, подтвердило, что предлагаемая методика проектирования ССО

для изготовления сотовых металлических панелей самолетов из ПКМ с использованием CAD-системы Siemens NX позволяет решить одну из главных задач подготовки производства, а именно сокращение экономических издержек, так как данная методика обеспечивает:

- повышение эффективности применения CAD-системы Siemens NX при проектировании ССО [8];
- сокращение времени, затрачиваемого на разработку и проектирование ССО.

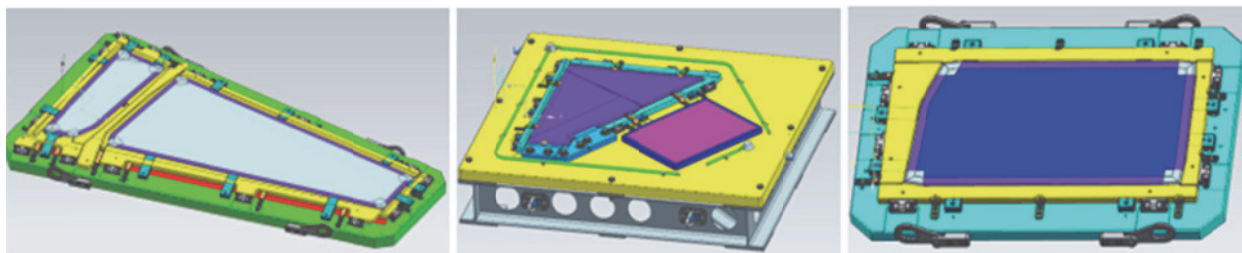


Рис. 8. Электронные модели ССО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колганов И.М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть1: Учебное пособие / И. М. Колганов, П. В. Дубровский, А. Н. Архипов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 148 с., ил.
2. Миронов Р.Д. Применение композиционных материалов в авиации / Р.Д. Миронов // Развитие технических наук в современном мире. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. -- 2014. -- №1. -- С.17-18.
3. Савин С.П. Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолетов семейства МС-21 /С.П. Савин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. – Т. 14. – 2012. – №4(2). – С.686-693.
4. Малюгин А.С. Разработка крупногабаритной неметаллической оснастки для формования деталей на основе полиуретанов и гибридных пластиков / А.С. Малюгин, М.М. Смирнов // Труды МАИ. – 2010. – №58. – С.22-24.
5. Донецкий К.И. Применение объемно-армирующих преформ при изготовлении изделий из ПКМ / К.И. Донецкий, А.В. Хрульков, Д.И. Коган, П.Г. Белинис, Ю.В. Лукьяненко// Авиационные материалы и технологии. – 2013. – №1 (26). – С.35-39. ISSN: 2071-9140
6. Мешихин А.А. Методика процесса проектирования сборочно-клеечной оснастки для изготовления сотовых металлических панелей /А.А. Мешихин // Матрица научного познания. – 2018. – №6. – С.20-23.
7. Trushnikov V.E., Grishin M.V., Pavlov P.Yu. Wave Technologies for the Design of Production Tooling in Aircraft Industry // International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering, IPDME 2018; Saint-Petersburg Mining University Saint-Petersburg; Russian Federation; 12 - 13 April 2018. ISSN: 17551307, DOI: 10.1088/1755-1315/194/2/022040.
8. Блюменштейн А.А. Подсистема сопряжения элементов УСП по сборочным пазам и отверстиям автоматизированной системы проектирования, интегрированной в единое информационное пространство авиастроительного предприятия /А.А. Блюменштейн, А.Р. Гисметулин, И.В. Горбунов, М.С. Черников // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15. – №4(3). – С.599-604.

METHOD OF AUTOMATED DESIGN OF ASSEMBLY AND ADHESIVE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

© 2020 Yu.V. Polyanskov, P.Yu. Pavlov, O.V. Zheleznov, A.A. Meshikhin

Ulyanovsk State University

In the production of modern aviation technology, special attention is paid to reducing the mass of its components and assemblies. To achieve a reduction in aircraft mass without compromising strength and increasing economic efficiency, various composite materials are often used. The manufacture of components and assemblies from such materials entails the design and use of special assembly and gluing equipment, which provides the necessary accuracy and rigidity to obtain the desired geometric shape of the aircraft structure. This article is devoted to the process of computer-aided design of assembly-gluing technological equipment (MTR) for the manufacture of cellular metal panels of aircraft from polymer composite materials (PCM), using the Siemens NX CAD system.

Keywords: Assembly device, assembly and gluing equipment, honeycomb core, polymer composite material, vacuum bag, CAD, aviation, production, design, composite materials.

Yuri Polyanskov, Doctor of Technical Sciences, Professor, President of Ulsu, Director of the Competence Center «Digital Production of High-Tech Products in Mechanical Engineering». E-mail: president@ulsu.ru

Pavel Pavlov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of MMTS, Head of the Laboratory of Engineering and Technology, Research Center of CALS-Technologies, Ulsu. E-mail: pavel.y.pavlov@mail.ru

Oleg Zheleznov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of MMTS, Director of the Research Center of CALS Technologies of Ulsu.

E-mail: olegulsu@mail.ru

Aleksandr Meshikhin, Junior Researcher, Department of MMTS, Laboratory Assistant, Scientific and Technical Library, Research Center for CALS Technologies, Ulsu. E-mail: mister.meshihin2012@yandex.ru