

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

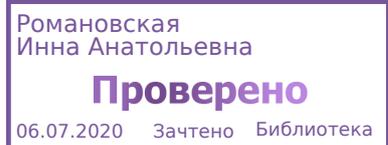
На правах рукописи

Бажеряну Виктория Васильевна

**Исследование и реализация автоматизированной системы изготовления  
изделий из композиционных материалов в авиационной  
промышленности**

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Направление подготовки  
27.04.04 - «Управление в технических системах»  
Профиль подготовки - «Управление инновациями  
в производственных системах»



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Зайченко Илья Владимирович

Рецензент: кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник Института  
машиноведения и металлургии  
Дальневосточного отделения Российской  
академии наук (ИМиМ ДВО РАН)  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Хабаровского Федерального  
исследовательского центра  
Дальневосточного отделения Российской  
академии наук (ХФИЦ ДВО РАН)  
Соснин Александр Александрович

Защита состоится « 30 » июня 2020 г. в 10 час. 00 мин. на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 207/3.

Автореферат разослан 16 июня 2020 г.

Секретарь ГЭК

В.П. Егорова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Основной из слабых сторон композиционного производства предприятия является техническое состояние технологического оборудования, прогрессирующее старение оборудования и как следствие необоснованные дополнительные затраты.

За последнее десятилетие существенно изменились технологии изготовления композитных деталей, материалы, используемые в производственном процессе, а также требования, предъявляемые к технологическим производственным помещениям.

На протяжении последних лет автоматизации подвергаются почти все производственные процессы. В большей степени это касается обеспечивающих производство процессов. Это связано, с одной стороны, с жесткими требованиями к показателям определенных параметров обеспечения той или иной технологии, а с другой, с достаточно сложной системой организации обеспечивающих процессов. Целью автоматизации в данном случае, является, прежде всего, повышение безопасности, увеличение эффективности технологического процесса, повышение качества готовой продукции, а также снижение издержек.

Рост номенклатуры композитных деталей на перспективные авиационные изделия выявил необходимость проведения дополнительных организационно-технических преобразований: организация производственных участков контроля готовой продукции, хранения готовых деталей, хранения оснастки, участка подготовки к формованию. Выполнение данных требований одна из задач реконструкции композитного производства площадей.

Проведенный анализ выявил необходимость проведения изменений в композиционном производстве. Для выявления резервов композитного производства проведена оценка различных способов увеличения производственной мощности (в том числе и не требующих значительных

финансовых инвестиций) по увеличению выпуска и определены перспективы улучшения использования основных фондов.

Настоящая работа посвящена исследованию технологических процессов изготовления изделий из композиционных материалов в авиационной промышленности и управлению ими.

**Целью** настоящей работы является проведение исследования и реализация автоматизированной системы изготовления изделий из композиционных материалов в авиационной промышленности

В соответствии с целью ставятся следующие задачи исследования:

1. Провести анализ производственного процесса изготовления деталей из полимерных композиционных материалов
2. Оценить уровень автоматизации производственного процесса.
3. Разработать структурно-функциональную схему автоматизированной системы управления модернизируемого производственного процесса
4. Разработать математическую модель технологического процесса
5. Выполнить анализ алгоритмов оптимизации технологического процесса путем минимизации пути на моделирующем графе с переменными весами ребер
6. Разработать многоуровневую СППР при автоматизированном проектировании ПКМ
7. Разработать имитационную модель участка композиционного производства.
8. Провести анализ преимуществ использования автоматизированного послойного моделирования и лазерных систем проецирования при производстве деталей из ПКМ.
9. Провести подбор оборудования для реализации автоматизированного комплекса для раскрой клеевых препрегов.
10. Оценить экономическую эффективность автоматизированной системы изготовления изделий из композиционных материалов

### **Научная новизна работы:**

1. Обоснование выбора технологий и методов реализации процесса управления изготовлением изделий из композиционных материалов, с учетом влияния специфики технологического процесса при производстве изделий в авиационной промышленности.

2. Разработка СППР выбора состава оборудования композиционного участка с учетом особенностей номенклатуры изготавливаемых изделий из композиционных материалов.

3. Разработана имитационная модель, позволяющий симулировать динамику производственного участка композиционного производства.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке научно обоснованных рекомендаций по реализации автоматизированной системы изготовления изделий из композиционных материалов в авиационной промышленности.

**Методы исследования:** в работе применялся комплексный подход к решению поставленных задач включающий системный анализ, имитационное и математическое моделирование процессов, реализуемое в современных программных продуктах.

**Апробация результатов.** Основные положения, сформулированные в процессе работы над диссертацией и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной мультидисциплинарной конференции по промышленному инжинирингу и современным технологиям FarEastCon-2019 (г. Владивосток, ДВФУ). Также результаты работы были представлены на Конкурсе научных докладов на английском языке и отмечены Дипломом III степени (г. Комсомольск-на-Амуре, ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2019)

**Реализация результата работы.** Результаты, полученные в ходе исследования, могут применяться при проектировании автоматизированной системы изготовления изделий из композиционных материалов в авиационной промышленности.

**Личный вклад автора** состоит в изучении и сборе научно-технической информации по тематике диссертации, разработке и обоснования технических решений, разработке математических моделей, обработке результатов экспериментов, подготовке публикаций по выполненной работе

**Публикации.** Результаты диссертационного исследования опубликованы в 10 научных изданиях, в том числе 3 статьи в изданиях из перечня ВАК и одна зарегистрированная программа для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 42 наименований. Работа представлена на 120 страницах, содержит 117 рисунков и 23 таблицы.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** сформулирована и обоснована актуальность темы исследования, обозначена цель работы и задачи для её достижения, изложена новизна и практическая значимость результатов исследования.

**В первой главе** проведен анализ производственного процесса изготовления деталей из полимерных композиционных материалов.

**Вторая глава** посвящена вопросам разработки информационного и алгоритмического обеспечения систем автоматизации: описаны основные характеристики и параметры систем управления в производственных системах с элементами интеллектуальных алгоритмов управления, построена структурно-функциональная схема автоматизированной системы управления модернизируемого производственного процесса, разработана математическая модель технологического процесса и многоуровневая СППР при автоматизированном проектировании ПКМ.

**В третьей главе** проведены анализ и проектирование системы автоматизации производства деталей из ПКМ: исследованы особенности использования автоматизированного послойного моделирования и лазерных систем проецирования для выкладки деталей из ПКМ

**В четвертой главе** содержится технико-экономическое обоснование проекта по разработке автоматизированной системы изготовления изделий из композиционных материалов в авиационной промышленности, в которое входит прогнозирование перспектив развития и совершенствования технологического процесса, конкурентный анализ, расчет интегральных показателей экономической эффективности технологии, расчет интегральных показателей экономической эффективности технологии, а также представлена реализация автоматизированного расчета технико-экономических показателей предлагаемых решений .

**В заключении** обобщены результаты диссертационного исследования, сформулированы выводы и рекомендации по рассмотренной проблематике.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ**

1. В результате анализа производственного процесса изготовления деталей из полимерных композиционных материалов была осуществлена визуализация структуры производственного процесса, определены его слабые стороны. Каждый технологический процесс на производственном предприятии обладает определенной спецификой, следовательно, система автоматизации должна разрабатываться с учетом этой специфики и особенностей.

2. В связи с ростом применения ПКМ на современных авиационных изделиях приоритетными направлениями являются увеличение производительности, снижение трудоемкости и материалоемкости, что невозможно без автоматизации. В технологическом цикле изготовления деталей из ПКМ на рассматриваемом предприятии значительную долю занимает ручной труд, поэтому качество деталей напрямую зависит от квалификации персонала, что влияет на качество выпускаемой продукции, производительность и сроки изготовления. Для автоматизации производства

предложено изменить технологическую цепочку изготовления деталей из ПКМ за счет:

- применения программного обеспечения (ПО) FiberSim для послойного проектирования деталей в NX,
- автоматизированного раскроя слоев материалов на плоттере,
- прецизионной разметки контура слоев с помощью лазерного проектора.

3. Разработана структурно-функциональная схема автоматизированной системы управления модернизируемого производственного процесса. Между блоками отражены взаимосвязи и их иерархичность. Таким образом, полученная модель отвечает принципам, на которых основаны методы структурно-функционального моделирования.

4. С учетом методологии теории графов разработана математическую модель технологического процесса, позволяющая автоматизировать оценку трудоемкости каждого технологического этапа изготовления детали с учетом всех конструктивных особенностей, а также набор операций для полученной трудоемкости.

5. Из анализа алгоритмов оптимизации технологического процесса путем минимизации пути на моделирующем графе с переменными весами ребер были сделаны следующие выводы:

- результаты работы алгоритмов относительно первой вершины одинаковы во всех случаях;
- алгоритм Форда-Беллмана хранит информацию о предыдущих итерациях, что удобно для отслеживания значений непосредственно по матрице результатов. реализация простая;
- алгоритм Флойда-Уоршелла более емкий, т.к. хранит информацию о минимальном пути между всеми вершинами. реализация простая.
- алгоритм Дейкстры обладает наивысшим быстродействием из представленных алгоритмов, но в плане реализации сложнее.

6. Процесс управления технологическими процессами при изготовлении деталей из ПКМ достаточно сложный. Для оперативной оценки параметров технологического процесса предлагается использовать специально разработанную многоуровневую СППР.

7. Производство деталей самолетных агрегатов в настоящее время представляет собой сложную многофакторную задачу. Множество факторов этой задачи распространяется на все процессы и технические средства, участвующие в производстве. Главной задачей производства деталей из ПКМ является выпуск максимального количества деталей в месяц. Разработанная имитационная модель участка композиционного производства позволяет определить детали, задерживающие выпуск машино-комплекта деталей с помощью:

- определения требуемого количества оснастки;
- определения оптимального количества рабочих на участках выкладки и механической обработки;
- определения требуемого количества автоклавов;
- загрузки автоклавов.

8. Проведен анализ преимуществ использования автоматизированного послойного моделирования и лазерных систем проецирования при производстве деталей из ПКМ. Параллельное выполнение работ по созданию конструкторской документации и доработке оснастки позволяет значительно сократить время подготовки производства. Результатом работ являются управляющие файлы для раскройной установки и лазерного проектора, по которому в дальнейшем производится выкладка деталей.

9. Проведен подбор оборудования для реализации автоматизированного комплекса для раскроя клеевых препрегов и составлена спецификация раскройного комплекса.

10. Расчеты, произведенные с целью технико-экономического обоснования, указали на экономическую целесообразность автоматизированной системы изготовления изделий из композиционных

материалов. Применение автоматического раскроя материала и создание файлов оптимального раскроя материала на заготовки с помощью программного обеспечения позволит:

- сократить технологические отходы от 10 % до 30 % и повысить коэффициент использования основных материалов;

- исключить в технологическом цикле изготовления композитных деталей технологические операции: разматывание материала, откладывание по линейке, разметка, раскрой на заготовки, на 10 % снизить трудоемкость изготовления детали, сократить технологический цикл выкладки на форму. За счет снижения технологических отходов экономический эффект после внедрения оборудования составил 4712,75 тыс. руб.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Бажеряну, В. В. Применение послойного проектирования для автоматизации процесса изготовления деталей из ПКМ/ В. В. Бажеряну, И. В. Зайченко // «Четвертая Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России»: материалы конференции. сентябрь 2011 г. - Москва: МГТУ им. Баумана, - 2011. – С 130-133.

2. Бажеряну, В. В. Применение катализаторов отверждения для регулирования анизотропии механических свойств стеклопластиков / В. В. Бажеряну, И. В. Зайченко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета).— 2012. — №5-2(36) – С. 263-268.

3. Бажеряну, В. В. Автоматизация производства деталей из полимерных композиционных материалов / В. В. Бажеряну, Е. А. Басынина // «Конкурс научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики»: материалы конференции. 4 декабря 2010 г. - Москва: МАИ, - 2010. – С. 120-123.

4. Бажеряну, В. В. Автоматизация производства деталей из полимерных композиционных материалов / В. В. Бажеряну, Е. А. Басынина // Первая Научно-практическая конференция «Исследования и перспективные разработки в машиностроении»: материалы конференции. сентябрь 2011 г. - г. Комсомольск-на-Амуре, ОАО «КНААПО», - 2010. – С. 140-146.

5. Бажеряну, В. В. Локальный ремонт деталей из ПКМ в составе изделия/ В. В. Бажеряну, И. В. Зайченко, Е. А. Басынина // Вторая Научно-практическая конференция «Исследования и перспективные разработки в машиностроении»: материалы конференции. сентябрь 2012 г. - г. Комсомольск-на-Амуре, ОАО «КНААПО», - 2012. – С. 230-137.

6. Бажеряну, В. В. Управление технологическим процессом ремонта деталей из полимерных композиционных материалов в составе изделия и оценка энергозатрат / В. В. Бажеряну, И. В. Зайченко, В. С. Соколова // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре Государственного Технического Университета. – 2019.- № IV-1 (40). – С 16-21

7. Бажеряну, В. В. Параметрическая идентификация и математическое моделирование системы управления микроклиматом предприятия / В. В. Бажеряну, И. В. Зайченко, С. А. Гордин, В. С. Соколова // Научно-технический Вестник Поволжья. – 2020. – № 3. – С. 59-62

8. Бажеряну В. В., Зайченко И. В., Соколова В. С., Гордин С. А. .OptiTrack (Программа для ЭВМ) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616421. Зарегистрирована 17.06.2020

9. Bazheryanu V.V., Zaychenko I. V, Gordin S.A. Improving the Energy Efficiency of Autoclave Equipment by Optimizing the Technology of Manufacturing Parts from Polymer Composite Material Materials Science Forum ISSN: 1662-9752, Vol. 992, pp 341-346, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 2020.

10. Bazheryanu V.V., Zaychenko I. V, Kim A.G. Regulation of Mechanical Properties of Advanced PCM Products with the Aid of Catalysts Materials Science

Forum ISSN: 1662-9752, Vol. 992, pp 415-420, Trans Tech Publications Ltd,  
Switzerland, 2020. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.415>