

На правах рукописи

Ривин Георгий Леонидович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ
АВТОКЛАВОВ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2007

Работа выполнена в Институте авиационных технологий и управления
Государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Ульяновский государственный технический университет»
(ИАТУ УлГТУ) на кафедре «Самолетостроение»

Научный руководитель доктор технических наук,
профессор
Попов Петр Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Коптев Анатолий Никитович
кандидат технических наук, доцент
Савотченко Валерий Васильевич

Ведущая организация Федеральное государственное унитарное предприятие
**«Государственный научно-производственный
ракетно-космический центр «ЦСКБ - «Прогресс»**

Защита состоится 29 мая 2007г. в 12 часов на заседании диссертационного
совета Д 212.215.03 при Государственном образовательном учреждении высшего
профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический
университете имени академика С.П.Королева» по адресу: 443086, г. Самара, ул.
Московское шоссе, 34, ауд. 209

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного обра-
зовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский
государственный аэрокосмический университете имени академика
С.П. Королева»

Автореферат разослан 27 апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор

В.Р.Каргин

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Особенности технологического процесса и организации производства изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) заключаются в том, что наряду с индивидуальной технологией ручной или автоматизированной выкладки слоев препрега на технологическую оснастку, сборки-склейки трехслойных конструкций, где отсутствует взаимное влияние изделий друг на друга, имеется технология, объединяющая эти конструкции в единое целое – это технология автоклавного формования. Естественно подобное объединение может быть реализовано только при отсутствии технологических ограничений. Эта проблема не существовала, если бы конструкции были бы однообразной типовой формы, а также при единичном производстве. Однако даже и при единичном производстве возникает проблема групповой загрузки автоклава. Учитывая его значительное энергопотребление (600 кВт/час и более) и высокую стоимость процесса автоклавного формования, необходимо решить задачу групповой загрузки изделий в автоклав. Время и температура отверждения композита в автоклаве должны строго выдерживаться, так как в противном случае в изделии остаются реакционноспособные группы молекул, которые при последующем повышении температуры (например, при последующем приклеивании обшивки к сотовому наполнителю и каркасу) изделия продолжают построение полимерных цепей, создавая дополнительные внутренние напряжения и деформацию изделия, возникновение непроклея. При этом на этап проектирования плана загрузки автоклава отводится минимальное время, что, зачастую, приводит к низкому качеству работы, и как следствие, возрастает вероятность возникновения брака.

Наиболее трудоемкими процедурами в ходе проектирования плана загрузки автоклава являются формирование технологических пакетов, геометрическое описание технологической оснастки, определение ее основных параметров, расчет коэффициента прогрева и охлаждения.

Организация производства автоклавного формования изделий из ПКМ должна учитывать особенности отверждения и склеивания изделий в процессе нагрева в автоклаве. Задача построения оптимального плана загрузки автоклава оснастками с полуфабрикатами конструкций из ПКМ, то есть технологическими пакетами, характеризуется большой размерностью и необходимостью учета особенностей конструкций и дополнительных технологических требований и ограничений.

В настоящее время не существует алгоритмов, позволяющих получить точное решение задач формирования плана загрузки автоклава технологическими пакетами. Следовательно, задача исследований по данной тематике является актуальной и своевременной. Работа выполнена по плану НИР ИАТУ УлГТУ и заказов авиапредприятий.

Цель исследований. Целью настоящей работы является: разработка методов оптимальной загрузки автоклавов производства изделий из ПКМ самолетостроительной отрасли (на примере агрегата механизации крыла трехслойной

конструкции самолета Ту-204-300) в условиях функционирования систем автоматизации производственного подразделения.

Состояния изученности проблемы. Значительный вклад в разработку исследуемых вопросов, связанных с созданием новых полимерных композиционных материалов и конструкций из них, а также в организацию производства изделий из ПКМ, описание и моделирование систем управления производственными, технико-экономическими, и технологическими процессами изготовления деталей, агрегатов и сборки самолетов на серийных авиационных предприятиях внесли отечественные и зарубежные ученые Перов Б.В., Гуняев Г.М., Шалин Р.Е., Молодцов Г.А., Биткин В.Е., Симонов В.Ф., Урмасов Ф.Ф., Халиулин В.И., Шапаев И.И., Дж. Любин, Б. Нотон, Барвинок В.А., Гречников Ф.В., Засканов В.Г., Постнов В.И., Попов П.М. и др.

Вышеназванные ученые достаточно широко рассмотрели вопросы создания полимерных композиционных материалов, технологических проблем их производства, а также увязали производственные, технологические, организационные и экономические процессы производства изделий авиационной техники.

На основании оценки степени научной разработанности темы диссертационной работы следует отметить, что современные методы и подходы к организации автоклавного формования изделий из ПКМ позволяют с высокой степенью вероятности осуществлять планирование загрузки автоклавов технологическими пакетами с учетом их статуса и соответственно выйти на научно обоснованное планирование производства конструкций из ПКМ.

Задачи исследования. Достижение сформулированной выше цели предполагает решение следующих задач:

1. Выполнить анализ влияния параметров процесса автоклавного формования и склеивания изделий из ПКМ на свойства как материала, так и конструкции.

2. Теоретически исследовать и на основе технико-экономического моделирования разработать методы оптимальной загрузки автоклава технологическими пакетами.

3. Разработать структурно-функциональную схему влияния параметров конструкции технологического оснащения на процесс автоклавного формования изделий из ПКМ.

4. Разработать методику формализованного описания и классификации технологических пакетов, подлежащих загрузке в автоклав, учитывающую особенности изделий из ПКМ и технологического оснащения с программным обеспечением на основе функционально-стоимостного анализа.

Область исследований:

1. Разработка методов и средств планирования и управления производственным процессом автоклавного формования изделий и ПКМ.

2. Повышение эффективности организации автоклавного формования изделий и ПКМ в условиях воздействия возможных внештатных ситуаций, связанных с изменением плана загрузки автоклава из-за необходимости ремонта

изделий из ПКМ или появлением незапланированной номенклатуры технологических пакетов, подлежащих загрузке в автоклав.

Объект исследований – система автоклавного формования конструкций из полимерных композиционных материалов (в условиях функционирования АСУП) производства неметаллических изделий самолетостроительного предприятия.

Предмет исследования – методы организации производства и информатизации производственных процессов автоклавного формования изделий из ПКМ (на примере агрегата механизации крыла трехслойной конструкции).

Методика исследований - включает проведение теоретических и экспериментальных исследований технических, технологических и производственных процессов по автоклавному формованию изделий из ПКМ самолетостроительного предприятия на основе комплексного метода функционально-стоимостного анализа, обеспечивающего снижение длительности цикла автоклавного формования и склеивания изделий из ПКМ и повышения эффективности работы автоклавов при производстве самолетов.

Научная новизна работы заключается в разработке:

1. Метода объективного моделирования для оптимальной организации автоклавного формования изделий из ПКМ, позволяющего осуществлять выбор конструкций для включения в план загрузки автоклава путем декомпозиции общей функции автоклавного формования на составляющие.

2. Метода планирования потребности в изделиях из ПКМ, подлежащих загрузке в автоклав, с созданием АРР-системы, контролирующей статус технологических пакетов и определяющей их текущее состояние в ходе реализации производственного процесса автоклавного формования изделий из ПКМ.

3. Метода расчета коэффициента прогрева технологических пакетов в автоклаве с анализом параметров, определяющих процессы изменения температур технологических оснасток с изделиями из ПКМ (технологических пакетов) в автоклаве.

4. Методики формирования конструкторско-технологического кода технологического пакета на основе формализованного описания конструкции из ПКМ и технологической оснастки.

Практическая ценность работы. Использование метода объективного моделирования поведения технологических пакетов в автоклаве при формовании конструкций из ПКМ и метода планирования потребности в конструкциях из ПКМ, подлежащих загрузке в автоклав, позволяет прогнозировать и оптимизировать ожидаемую загрузку автоклавов.

Апробация работы. Основные результаты диссертации отражены в двух отчетах по проведенным НИР, доложены на научно-технических конференциях в 1996-2007 г.г. (г. Ульяновск) в УлГТУ, научно-практической конференции «Новые материалы и технологии» (Москва, «МАТИ» - РГТУ им. К.Э. Циолковского, 1998 г.), научно-технической конференции «Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков» (Пенза, ПГТУ, 2003 г.).

Материалы работы используются в учебном процессе при чтении курса «Технология изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов» в Ульяновском государственном техническом университете.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 работ, в том числе: статей – 10; научно-технических докладов – 9; авторских свидетельств и патентов – 2; отчетов о НИР – 2; учебных пособий с грифом УМО АРК – 2. Одна статья опубликована в научном издании «Известия Самарского научного центра Российской академии наук», входящем в перечень ВАК России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 127 наименований, приложения; включает: рисунков – 34, таблиц – 17.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Метод формирования оптимального плана загрузки автоклава для производства изделий из ПКМ, с учетом особенностей производственного процесса автоклавного формования, технологических требований и ограничений.

2. Методы технико-экономического и функционального описания структуры и состава производственного процесса автоклавного формования изделий из ПКМ в комплексе с САПР-ТП и АСУП, основанные на методологии функционально-стоимостного анализа разработок.

3. Методика формализованного описания технологического пакета в рамках существующих САПР и АСТПП.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, задается направление исследований, определяется научное и практическое значение решаемой проблемы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ работ отечественных и зарубежных авторов в данной области. Объективные потребности развития различных отраслей техники обусловили создание новых конструкционных материалов с высокой прочностью и большими значениями модуля упругости, в то же время обладающих малой плотностью. Наибольшее распространение композиционные материалы получили в авиации, где законы природы требуют необходимость резкого увеличения прочностных характеристик при минимизации их массы. Это становится возможным при изготовлении аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов. Анализируется технологический процесс создания изделий из ПКМ с высокой прочностью и высоким тепловым сопротивлением. Показано, что обеспечение данных требований связано с соблюдением заданных параметров процесса отверждения связующего, в первую очередь по скорости нагрева в автоклаве и обеспечения заданного перепада температуры по поверхности и по сечению технологического пакета. Создание формостабильных изделий из ПКМ связано с исключением условий, вызывающих отклонения геометрических размеров от заданных. Недостаточность организации производства технологического процесса автоклавного формования, а именно, не соблюдение режимов формования и термообработки при отверждении и склеивании в автоклаве и равномерности температурного поля, приводит

к возникновению температурных, усадочных и остаточных напряжений и деформаций. Такая зависимость свойств ПКМ от технологических параметров процесса автоклавного формования вызывает необходимость разрабатывать дополнительные технологические методы и организационные подходы, позволяющие регулировать отрицательно действующие факторы с целью обеспечения заданных параметров изделия, а также пересмотреть существующую концепцию организации автоклавного формования производства изделий из ПКМ.

Далее в главе рассмотрен жизненный цикл изделий из ПКМ, включающий в себя функциональные блоки, где основным определяющим блоком всех производственных процессов является блок, отвечающий за разработку плана загрузки автоклава (рисунок 1).

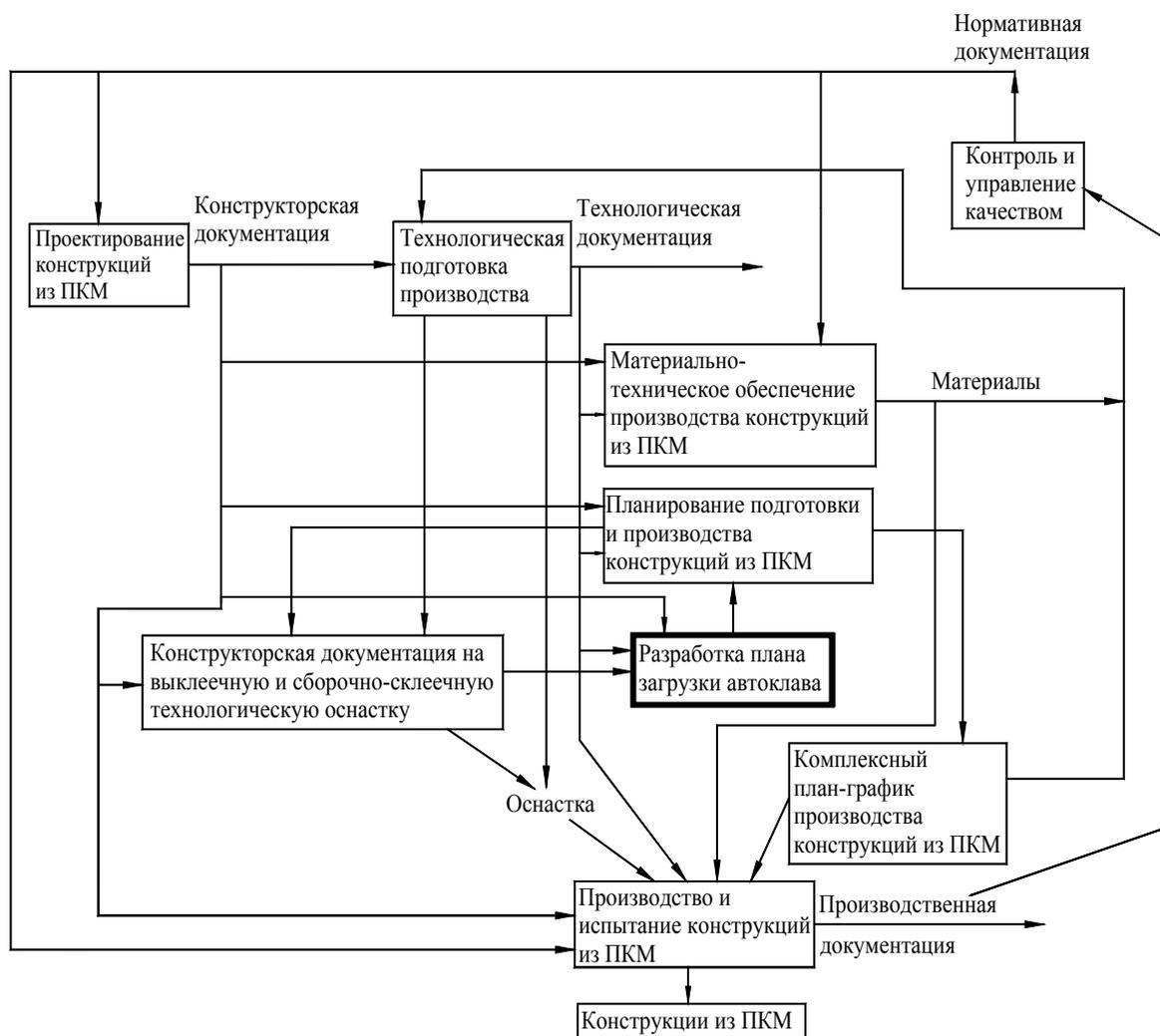


Рисунок 1. Общая схема жизненного цикла изделий из ПКМ

Во второй главе проводятся исследования производственного процесса изготовления изделий из ПКМ с анализом процесса автоклавного формования. Необходимость планирования производственного процесса обусловлена тем, что основная масса задержек в процессе производства связана с запаздыванием поступления подготовленных технологических пакетов к автоклавному формо-

ванию, а также различием их режимов формования. В результате чего, как правило, параллельно с уменьшением эффективности производства на этапе загрузки автоклавов возникает избыток технологических пакетов, поступивших в срок.

С целью предотвращения подобных проблем разрабатывается метод планирования потребности в технологических оснастках, подлежащих автоклавному формованию, ARP (Autoclave Requirements Planning).

Показано, что ARP-система ускоряет доставку тех технологических пакетов, которые в первую очередь необходимы, и задерживает преждевременные их поступления таким образом, что все технологические пакеты, представляющие собой полный список планов загрузки автоклава, поступают в производство для проведения автоклавного формования одновременно.

Таким образом основной целью ARP-системы является формирование, контролирование и при необходимости изменение даты последующего поступления заказов таким образом, чтобы все технологические пакеты, необходимые для загрузки в автоклав поступали одновременно. ARP-система предлагает программу, которая представлена логической моделью на рисунке 2.

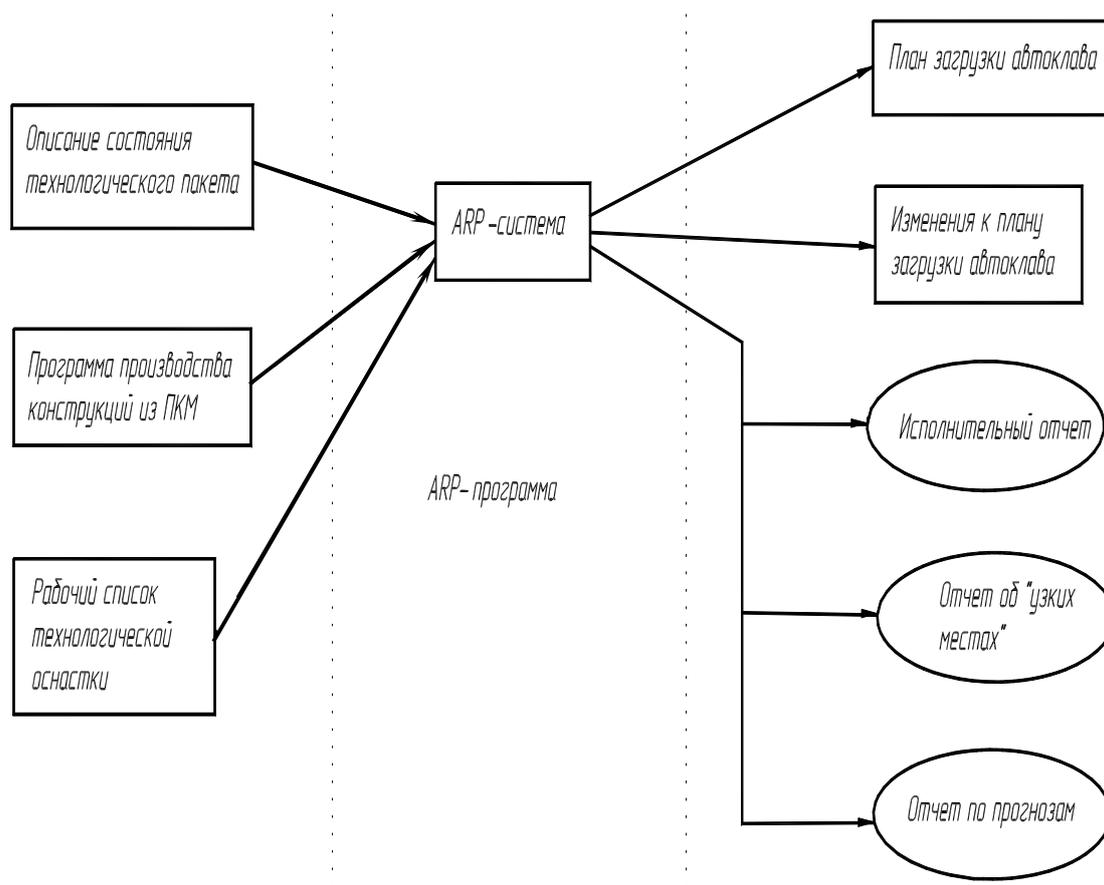


Рисунок 2. Логическая модель взаимосвязи входных элементов с результатами работы ARP-программы

Теоретически прорабатывается и доказывается необходимость предварительно, на стадии анализа технологичности изделий из ПКМ, выполнять оценку

варианта возможного технологического оснащения с рассмотрением плана загрузки автоклава, рациональной классификации, идентификации и кодирования всех объектов, процессов и ресурсов. Обосновывается, что для совершенствования организации автоклавного формования изделий из ПКМ необходимо разработать систему формализованного описания и классификации технологических пакетов, так как общепринятые в настоящее время системы классификации изделий из ПКМ и технологической оснастки для их изготовления не позволяют решить задачу формирования плана загрузки автоклава.

Далее, обосновывается необходимость и разрабатывается модель подсистемы «Классификация технологических пакетов, используемых для изготовления изделий из ПКМ», вводится определение сети функциональных зависимостей параметров при расчете коэффициента прогрева и охлаждения технологического пакета в процессе автоклавного формования.

При разработке иерархической модели системы построения конструкторско-технологического кода технологического пакета выбирается наиболее адекватный класс подсистемы. Этим классом будет идентификатор, стоящий как можно ниже по иерархии, так как он более конкретизирован и детализирован – это технологическая оснастка.

Обосновывается, что при безусловном соблюдении режима автоклавного формования по каждой из авиационных конструкций необходимо сократить время подготовительных операций, время выхода на режим термостатирования и время охлаждения с учетом реальных конструкций технологических оснасток, особенностей технологических пакетов, размещаемых на столе автоклава при групповой загрузке.

В третьей главе приводится процедура разработки методов планирования загрузки автоклавов в условиях производственного процесса. Разрабатывается метод создания основных признаков конструкторско-технологической классификации технологических пакетов для изготовления изделий из ПКМ, оценивается характер влияния конструкторско-технологических признаков технологических пакетов на выбор оптимального варианта загрузки автоклава. Исследуется и обосновывается необходимость введения допустимого и оптимального плана загрузки автоклава с классификацией его моделей в соответствии с руководящими техническими материалами и государственными стандартами.

Допустимый план загрузки представляет собой совокупность технологически реализуемых карт с указанием перечня располагаемых технологических оснасток и их количества, а также мест их расположения на столе автоклава. Основной характеристикой качества допустимого плана загрузки служит коэффициент загрузки, представляющий собой отношение полезной площади всех технологических оснасток, загружаемых в автоклав, к площади стола автоклава.

Оптимальным планом называется такой допустимый план, в котором коэффициент загрузки достигает максимума.

Под задачей загрузки автоклава следует понимать широкий класс моделей, объединенных однообразной логической структурой и допускающих раз-

личное толкование. Эти задачи следует рассматривать, как задачи раскроя автоклавного стола, путем размещения на нем технологической оснастки с подготовленными изделиями к отверждению или склеиванию, а также и (или) упаковки автоклавной тележки, то есть формирование садки в автоклав. Задача загрузки автоклава – это задача «раскроя автоклавных тележек и их упаковка технологической оснасткой».

Во множестве различных факторов, определяющих класс модели загрузки автоклава, выделяются соответствующие основные характеристики. Классификация основных моделей Z-A изображена на рисунке 3.

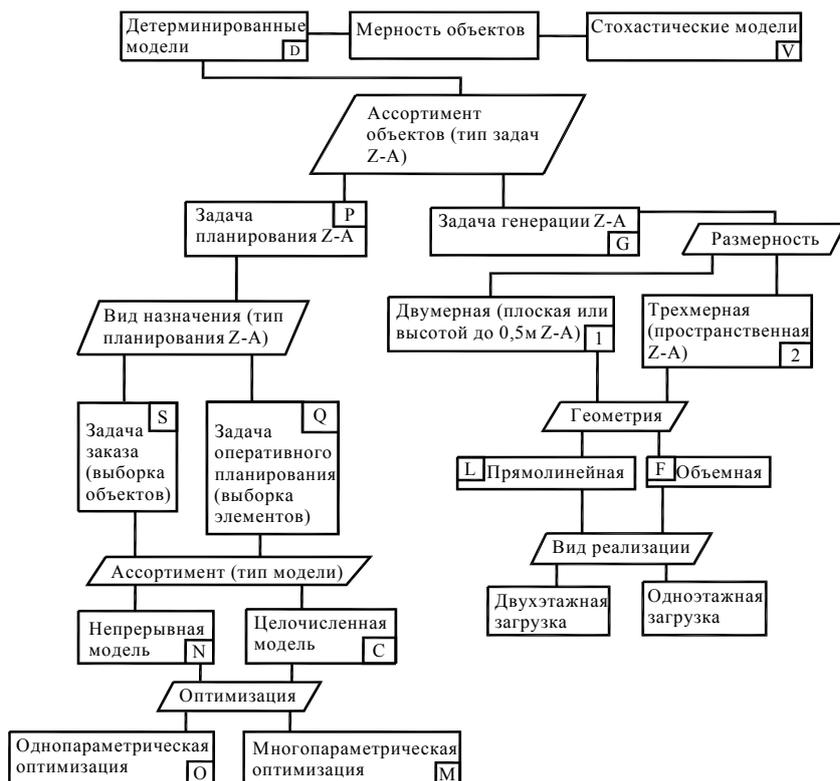


Рисунок 3. Классификация моделей Z-A

Выходом при этом является схема Z-A. При решении задачи планирования загрузки автоклава определяется совокупность и количество p различных схем Z-A с указанием интенсивностей $x_j, j = \overline{1, n}$ их применения. При этом размещенными оказываются все элементы, а в качестве функции цели рассматривается количество размещенных объектов, равное в этом случае $\sum_{j=1}^n x_j$. Далее, рассматривается оптимизационная модель задачи расположения технологических пакетов на столе автоклава прямоугольной формы.

При заданных размерах $(C_v; D_v), v = \overline{1, q}$ столов автоклавов на них размещаются технологические пакеты, например, прямоугольной формы размерами

$(c_i; d_i), i = \overline{1, m}$. Известна мера (площадь) $P_v, v = \overline{1, q}$ и необходимое число b_i каждой конструкции в расчете на изделие или на программу.

Если требуется составить наиболее рациональную схему загрузки автоклава, то каждой допустимой схеме загрузки автоклава z сопоставлены две характеристики: номер $v(z)$ рассматриваемого стола автоклава и вектор

$$\alpha(z) = (a_1(z), a_2(z), \dots, a_i(z), \dots, a_m(z)),$$

где $a_i(z)$ - число технологических пакетов i -го вида, получаемых при реализации этой схемы загрузки автоклава.

Схема z считается реализуемой, если выдержаны размеры и технологические параметры всех размещаемых технологических пакетов. Особенностью построения оптимальной схемы загрузки применительно к условиям организации производства изделий из ПКМ является тот факт, что для реализуемости схемы загрузки каждого стола (или отдельной его зоны) необходимо выполнить условия

$$a_i(z) \leq b_i, \quad i \in I = \{\overline{1, m}\}, \quad (1)$$

а в ходе полной схемы загрузки, должны быть изготовлены все изделия из ПКМ в заданном количестве.

Таким образом, задача построения оптимальной схемы загрузки автоклава в условиях производства изделий из ПКМ сводится к математической задаче целочисленного линейного программирования. Далее при заданных исходных данных для рассматриваемой задачи требуется найти совокупность реализуемых схем загрузки

$$z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_n \quad (2)$$

и неотрицательный вектор интенсивности их применения

$$\chi = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

удовлетворяющий условиям:

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}; \quad (4)$$

$$\{x_j\} = 0, \quad j = \overline{1, n}; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n a_i(z_j) x_j = b_i, \quad i \in I \quad (6)$$

и минимизирующий функцию

$$\mu(x) = \sum_{j=1}^n P_{v(z_j)} x_j. \quad (7)$$

Здесь условия (4) и (5) означают соответственно неотрицательность и целочисленность переменных $x_j, j = \overline{1, n}$.

Допустимым следует называть реализуемую схему загрузки, для которой выполняются условия (4) – (6). Допустимая загрузка является оптимальной, если величина (7) достигает минимума. По результатам исследований в главе разработаны основные технологические требования при планировании схемы загрузки стола автоклава. Разработаны и формализованы основные признаки конструкторско-технологической классификации технологических пакетов для изготовления изделий из ПКМ. Обоснованы и опробованы на реальных приме-

рах характеристики влияния конструкторско-технологических признаков технологических пакетов на выбор соответствующего варианта загрузки автоклава, на основе которых разработан алгоритм определения окончательного кода технологического пакета.

В четвертой главе приводится процедура адаптации на конкретном авиапредприятии методов и процессов оптимизации автоклавного формования производства изделий из полимерных композиционных материалов. На основании проведенных исследований реализован метод формирования оптимального плана загрузки автоклава. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что имеется перепад между температурой воздуха и температурой технологических пакетов, находящихся в автоклаве в зависимости от их размещения по длине автоклава, поэтому в автоклаве выделены зоны быстрого и медленного нагрева, и автоклав разделен на три зоны.

В качестве объекта исследования рассмотрена серийная загрузка автоклава. Фактически имеется увеличение длительности цикла формования в автоклаве на четыре часа по сравнению с максимально допустимой, что не только ухудшает технико-экономические показатели работы автоклавов, но и существенно ухудшает качество изделий из ПКМ. Выполнено прогнозирование поведения технологических пакетов в процессе нагрева при автоклавном формовании и произведена оптимизация размещения технологических пакетов на столе автоклава, что позволило сократить цикл автоклавного формования на 19,9 %. Результаты оптимизации загрузки автоклава показаны на рисунке 4.

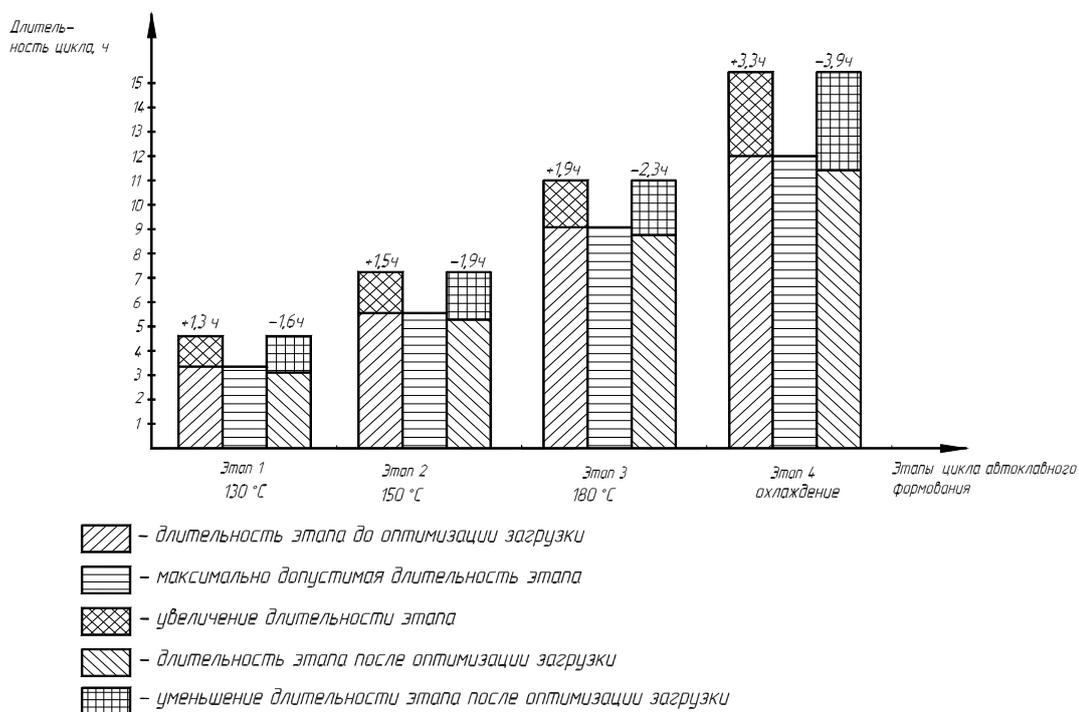


Рисунок 4. Длительность цикла процесса автоклавного формования до и после оптимизации

Предлагается реализация метода расчета параметров выклеечных и сборочно-склеечных технологических оснасток с разработкой соответствующего программного продукта, обосновывается необходимость и возможность оптимизации, как конструкции технологической оснастки, так и зоны расположения технологических пакетов на столе автоклава по критерию технологического прогресса, описывается метод адаптации и методика технико-экономического описания процесса автоклавного формования на численном примере.

Выполняются технико-экономические расчеты эффективности процесса автоклавного формования на примере лонжерона интерцептора самолета Ту 204-300 после внедрения методики оптимизации конструкции оснастки и процесса загрузки автоклава. По результатам исследований и проведенных экспериментов, достигается снижение длительности цикла автоклавного формования и рассчитывается реальный экономический эффект.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании проведенных исследований, экспериментов и экономико-математических расчетов эффективности, можно сделать следующие основные выводы:

1. Исследовано влияние параметров процесса автоклавного формования на свойства материалов и изделий из ПКМ, что позволяет определить подходы к решению проблемы оптимизации производства автоклавного формования конструкций из ПКМ на самолетостроительном предприятии в условиях функционирования САПР и АСУП.

2. Разработана методика технико-экономического моделирования структуры и состава плана загрузки автоклава технологическими пакетами (в совокупности с САПР и АСУП) во взаимосвязке информационного обеспечения с функциональными показателями изделия из ПКМ и технологической оснастки по критерию функции загрузки автоклавов, что обеспечило снижение длительности одного цикла на 19,9 % при реализации производственного и технологического процесса автоклавного формования.

3. Исследовано влияние параметров конструкции технологического оснащения на процесс автоклавного формования, что позволило разработать модель критериев влияния конструкторско-технологических признаков технологических пакетов на выбор оптимального варианта загрузки автоклавов.

4. Проанализированы ранее разработанные оптимальные алгоритмы организации производственного процесса автоклавного формования (по технико-экономическим моделям на основе функционально-стоимостного анализа по временным критериям), что позволило разработать методы функционального моделирования и методику классификации технологических пакетов с соответствующим программным обеспечением, и способствовало внедрению методов и процессов организации производства конструкций из ПКМ на предприятиях с экономическим эффектом более двух миллионов рублей.

5. Проведенные исследования и эксперименты подтверждены авторским свидетельством и патентом: Авторское свидетельство СССР №1766693. Спо-

соб вакуум-автоклавного формования изделий из полимерных композиционных материалов // Попов А.Г., Ривин Г.Л., Архипов А.Н. / 07 октября 1992, Патент Российской Федерации №2108910. Способ изготовления многослойной панели из композиционного материала // Попов А.Г., Ривин Г.Л., Аминов И.А., Лебедев С.А./ 14 июня 1995.

**Основные положения диссертации опубликованы
в 25-ти работах, в том числе:**

1. Авторское свидетельство СССР №1766693. Способ вакуум-автоклавного формования изделий из полимерных композиционных материалов // Попов А.Г., Ривин Г.Л., Архипов А.Н. / 07 октября 1992.

2. Патент Российской Федерации №2108910. Способ изготовления многослойной панели из композиционного материала // Попов А.Г., Ривин Г.Л., Аминов И.А., Лебедев С.А./ 14 июня 1995.

3. Ривин Г.Л., Яббаров Д.Д. Моделирование поведения слоистых полимерных композиционных материалов в процессе сборки-склейки / Сборник научных трудов УлГТУ. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. - С.128-133.

4. Г.Л. Ривин. Система автоматизированного управления производством полимерных композиционных материалов в самолетостроении //Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков: Материалы конф. VIII Междунар. научно- техн. конф. – Пенза: 2003. - С. 187-190.

5. Ривин Г.Л., Кочергин В.И., Алабин А.Н. Оценка трудоемкости изготовления конструкций композитов с учетом конструктивно-технологических параметров / Современные технологии производства и управления в авиастроении: Сборник научных трудов, посвященный 60-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. - С.147-153.

6. Ривин Г.Л. Совершенствование качества конструкций из ПКМ // Новые методы, средства и технологии в науке, промышленности и экономике (НМСТ-97): Тезисы докладов научно-практической конференции с международным участием. – Ульяновск, 1997. - С.48-49.

7. Ривин Г.Л., Безрукавный В.В. Основные принципы создания САПР выклеочной оснастки для изготовления конструкций из ПКМ в самолетостроении //Современные технологии в машиностроении Материалы всероссийской научно- техн. конф. – Пенза: 1999. - С.123-126.

8. Ривин Г.Л. Проблемы повышения точности изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов //Современные технологии в машиностроении: Сборник материалов 5 Всероссийской научно- техн. конф., часть 1. – Пенза: 2002. - С.119-121.

9. Ривин Г.Л., Вольсков Д.Г., Попов П.М. Нормирование жизненного цикла программной продукции //Современные технологии производства и управления в авиастроении: Сборник научных трудов, посвященный 60-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. - С.14-21.

10. Ривин Г.Л., Попов П.М. Исследование и разработка производственного процесса вакуум-автоклавного формования конструкций из композитов. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Спецвыпуск «Технологии, процессы и системы в ходе эволюции их развития». - 2007. - С.185-194.