

На правах рукописи



Левкина Ольга Юрьевна

**МЕТОД АНАЛИЗА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ОРГАНИЗАЦИИ ЛИТЕЙНОГО
ПРОИЗВОДСТВА НА АВИАСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**Специальность 05.02.22 – Организация производства
(машиностроение)**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ульяновский государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Полянсков Юрий Вячеславович

Официальные оппоненты:

Корниенко Александр Александрович доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», заведующий кафедрой

Мингалеев Газиз Фуатович доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ", заведующий кафедрой

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»

Защита состоится 30 сентября 2015 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.110.03 при ФГБОУ ВПО «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского» по адресу: г. Москва, ул. Оршанская, д.3, ауд.605Б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАТИ и на сайте <http://mati.ru/index.php/18-nauka/916-levkina-olga-yurevna>

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 121552, г. Москва, ул. Оршанская, д.3, МАТИ, ученому секретарю диссертационного совета Д212.110.03

Автореферат разослан 30 июня 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.110.03
кандидат технических наук, доцент

Одинокоев С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Себестоимость наукоемкой продукции является одним из основных факторов, определяющим ее конкурентоспособность как на российском, так и на мировом рынках. Этот параметр зависит в первую очередь от затрат разного вида ресурсов (например, сырье и материалы, трудозатраты, оборудование, производственные площади и проч.) потребляемых при производстве изделий. В настоящее время на авиастроительном предприятии большое значение среди остальных аспектов деятельности приобрело эффективное использование производственных ресурсов, в совершенствовании которого заложены резервы для снижения производственных потерь и себестоимости продукции, а также роста эффективности производства и качества продукции.

Существующие требования к эффективной организации производства изделий авиационной техники заключаются в первую очередь в снижении затрат ресурсов на каждом технологическом переделе производства воздушного судна. Заготовительное производство является стартовым в цепочке технологических переделов производства авиационной техники. Затраты ресурсов в заготовительном производстве зависят от организационных, технологических и технических условий производственного процесса изготовления металлических заготовок. Несовершенство этих условий обуславливает высокие удельные затраты ресурсов при их относительно низкой стоимости по сравнению с заготовительными производствами других стран (ЕС, США).

В авиастроении применяется большое количество способов изготовления заготовок с применением различного технологического оборудования. Доля деталей, получаемых из литых заготовок, составляет 40-50% в машиностроении¹. В авиационной промышленности литые заготовки используются для производства большого многообразия деталей, основными требованиями к которым, помимо низкой стоимости, является надежность и вес по причине того, что им приходится длительно работать при высоких давлениях, температурах, в коррозионных средах при статических и динамических нагрузках. Кроме того методом литья изготавливают детали с внутренними полостями для снижения их веса, что невозможно другими методами (ковкой и штамповкой) – что также актуально для авиационной техники.

Стратегией развития ОАК до 2025 года предусмотрено создание центров компетенции и центров специализации, в том числе на базе действующих производств предприятий авиастроительной отрасли, что позволит снизить себестоимость производимых заготовок, за счет роста объема производства заготовок для смежных отраслей². При этом основные производства предприятия должны быть обеспечены металлическими заготовками требуемого качества в плановые сроки при минимизации затрат ресурсов на их изготовление. Такие требования к производимым заготовкам превосходят производственные воз-

¹ Евсеев В.И. О состоянии и перспективах развития литейного производства в России и Санкт-Петербурге. Труды международной научно-практической конференции, посвящённой 40-летию РУП «Гомельский литейный завод «Центролит», 22-23 октября 2008 года // В.И.Евсеев, А.А.Ищенко// Спец выпуск журнала «Литье и металлургия». -2008.-№3.-с44-49

² Стратегия развития Объединенной авиастроительной корпорации до 2025 г.

возможности предприятия. Очевидно, что необходимо совершенствовать производственно-технологическую структуру с целью повышения конкурентоспособности производимых заготовок.

Крупнейшее в России авиастроительное предприятие ЗАО «Авиастар-СП» имеет в своей структуре заготовительное производство, представленное комплексом литейного, кузнечно-прессового и термического цехов. Проблема заключается в необходимости определения производственного потенциала действующего литейного производства и оценке влияния управляющих воздействий на ресурсоемкость производственного процесса изготовления литых заготовок в условиях производственных рисков.

Таким образом, возникает необходимость разработки способа организации технологической системы литейного производства на авиастроительном предприятии, обеспечивающего заданные требования к ресурсоемкости производимых металлических заготовок.

Это может быть обеспечено за счёт последовательного анализа механизма формирования затрат ресурсов, определение значимых факторов в рассматриваемом пространстве угроз и построение модели управления технологической системой литейного производства.

Задача разработки способа управления работоспособностью технологической системы литейного производства, решаемая на основе исследования моделей изготовления литых заготовок с учетом явлений случайного характера, является актуальной.

Объектом исследования в настоящей работе является литейное производство авиастроительного предприятия, как совокупность организационных, технических и технологических характеристик реализующих производственный процесс изготовления литых заготовок.

Предметом исследования в работе являются методы и математические модели организации производственного процесса изготовления литых заготовок, обеспечивающие снижение его ресурсоемкости.

Цель работы.

Снижение ресурсоемкости производственного процесса изготовления воздушного судна за счет разработки и применения метода анализа и совершенствования литейного производства на авиастроительном предприятии

Для достижения указанной цели в работе необходимо решить следующие **задачи**:

1) Исследовать способы и особенности организации производственного процесса изготовления металлических заготовок для изделий авиационной техники.

2) Провести анализ, выявить и систематизировать результирующие и управляющие факторы, оказывающие влияние на ресурсоемкость производственного процесса изготовления литых заготовок для изделий авиационной техники.

3) Разработать и исследовать систему показателей оценки эффективности организации литейного производства на основе количественных результирующих факторов и неэффективных затрат ресурсов в производственном процессе.

4) Разработать методику оценки эффективности поэтапных затрат ресурсов при производстве литых заготовок с учетом рисков потерь ресурсов в производственном процессе.

5) Разработать и исследовать модель организации производственного процесса изготовления литых заготовок, учитывающую влияние управляющего воздействия на ресурсоёмкость литых заготовок, на основе построения локальных функций потерь ресурсов в производственном процессе и учета их взаимного влияния.

6) Разработать способ организации литейного производства, включающий в себя применение разработанных системы показателей, методики поэтапного учета затрат ресурсов с оценкой рисков и модели оценки влияния управляющего воздействия на ресурсоёмкость производственного процесса.

7) Провести апробацию разработанного способа организации литейного производства авиастроительного предприятия и оценить технико-экономическую эффективность мероприятий по снижению ресурсоёмкости производственного процесса изготовления литых заготовок.

Область исследования.

Разработка методов и средств организации производства в условиях технических и экономических рисков (согласно п.9 паспорта специальности 05.02.22 – организация производства (машиностроение)).

Методологической базой исследования послужили научные труды и разработки отечественных и зарубежных ученых по проблемам организации производственных процессов заготовительных производств, теоретические основы технологии машиностроения, организации производства, управления организационными системами. Решение поставленных задач осуществлялось на основе системного подхода к анализу процессов управления сложными системами, теории принятия решений, методов многокритериальной оптимизации.

Научная новизна.

Результаты диссертационной работы являются новыми и актуальными для организации производственного процесса изготовления литых заготовок, обеспечивающей снижение его ресурсоёмкости.

Основным научным результатом работы является метод анализа и совершенствования организации литейного производства на авиастроительном предприятии, обеспечивающий оценку и достижение целевых показателей ресурсоёмкости производственного процесса и заключающийся в применении совокупности разработанных и взаимосвязанных

- комплексной системы показателей оценки эффективности организации литейного производства,

- методики оценки эффективности поэтапных затрат ресурсов при производстве отливки с учетом угроз реализации производственного процесса,

- модели производственного процесса изготовления литых заготовок.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту, заключается в следующем:

1) Разработана двухуровневая система факторов ресурсоёмкости производственного процесса. Ее особенность заключается в разделении всей совокупности выявленных при анализе производственного процесса факторов на два уровня – результирующие (измеряемые параметры производственного про-

цесса) и управляющие(направления совершенствования производственного процесса), взаимосвязь между факторами устанавливается методом экспертных оценок. Определены количественные оценки влияния управляющих факторов на результирующие факторы ресурсоёмкости производственного процесса

2) Сформирована новая система показателей оценки эффективности организации литейного производства, состоящая из шести групп показателей эффективности затрат выделенных типов ресурсов в производственном процессе. Ее особенность состоит в структуре каждой группы показателей, формируемых на основе выделенных количественных факторов, а также в оценке ресурсоемкости с точки зрения неэффективных затрат ресурсов в производственном процессе. Разработанные показатели оценивают работоспособное состояние технологической системы по затратам.

3) Разработана методика оценки эффективности поэтапных затрат ресурсов при производстве литых заготовок, особенностью которой является построение матрицы рисков потерь ресурсов на различных этапах производственного процесса. Особенностью методики является учет влияния явлений случайного характера на ресурсоемкость производственного процесса изготовления литых заготовок.

4) Разработана модель производственного процесса изготовления литых заготовок определяющая влияние управляющего воздействия на снижение ресурсоемкости производственного процесса с учетом выявленных рисков. Особенность модели заключается в определении локальных функций потерь ресурсов в производственном процессе, их взаимного влияния и последующей их минимизации для оценки управляющих воздействий на производственный процесс.

Практическая значимость.

1) Разработан способ формирования комплекса организационно-технических мероприятий, обеспечивающих достижение требуемых показателей ресурсоёмкости.

2) Проведена оценка эффективности организации производственного процесса изготовления литых заготовок на примере литейного цеха авиастроительного предприятия ЗАО «Авиастар-СП» с использованием разработанной системы показателей.

3) Исследованы угрозы, приводящие к потерям ресурсов в действующем литейном цехе ЗАО «Авиастар-СП», оценены вероятности их проявления и ущерб от реализации.

4) Проведена количественная оценка влияния организационных, технологических и технических направлений совершенствования литейного производства на ресурсоёмкость производимых заготовок.

5) Разработана программа организационно-технических мероприятий по снижению ресурсоемкости производственного процесса изготовления литых заготовок для литейного цеха ЗАО «Авиастар-СП»

6) Результаты диссертационного исследования были применены при обосновании и разработке проекта бизнес-плана «Создания центра специализации по производству компонентов летательных аппаратов из стали, алюминия, магния и титана» на российском авиастроительном предприятии ЗАО «Авиастар-СП».

7) Результаты диссертационного исследования целесообразно использовать в учебном процессе при подготовке студентов бакалавриата по направлениям 160100 – «Авиастроение», 220100 - «Системный анализ и управление», 220700 – «Автоматизация технологических процессов и производств», в читаемых курсах лекций по дисциплинам «Основы технологических процессов и производств», «Моделирование систем и процессов», «Управление в организационных системах», а также в ряде дисциплин по направлению подготовки «Экономика и управление на предприятии».

Предложенный метод анализа и совершенствования организации литейного производства может быть использован при организации (реорганизации) производственного процесса изготовления литых заготовок на предприятиях судостроения, автомобилестроения, машиностроения. Разработанная методика оценки эффективности поэтапных затрат ресурсов с учетом угроз, приводящих к потерям ресурсов после соответствующей адаптации к выбранной предметной области может применяться для исследования других производственных процессов предприятий.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность результатов исследования обоснована корректным применением общенаучных теоретико-методологических принципов управления производством, теории организации производства, многоаспектностью исследования данной проблемы, универсальностью методов исследования, широкой апробацией полученных результатов, а также практическим применением результатов работы на авиастроительном предприятии ЗАО «Авиастар-СП», что подтверждается актом о внедрении результатов работы.

Апробация работы.

Основные научные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на седьмой Международной конференции «Математическое моделирование физических, экономических, технических, социальных систем и процессов» (г. Ульяновск, 2009 г.), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы современной науки и образования» (г. Ульяновск, 2010 г.), второй всероссийской научно-практической конференции «Опыт и проблемы внедрения систем управления жизненным циклом изделий авиационной техники» (г. Ульяновск, 2011 г.), на Симпозиуме с международным участием «Самолетостроение России. Проблемы и перспективы» (г. Самара, 2012 г.), на третьей Международной научно-практической конференции «Опыт и проблемы внедрения систем управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития» (г. Ульяновск, 2012 г.), на научно-техническом семинаре «Программное обеспечение Siemens PLM Software – доступные и эффективные решения САПР для российских промышленных предприятий» (г. Ульяновск, 2013 г.), а также на научных семинарах кафедры математического моделирования технических систем УлГУ и Центра компетенций «УлГУ-Авиастар», научных семинарах СГАУ.

Результаты диссертационной работы включены в научно-технические отчеты о выполнении государственного контракта № 14.740.11.1321 от 27 июня 2011 г. на выполнение НИР по теме «Математическое моделирование технологий и процессов авиастроительного предприятия на этапе конструкторско-

технологической подготовки производства» в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., мероприятие № 1.3.2 «Проведение научных исследований целевыми аспирантами».

Личный вклад автора. Постановка задач осуществлялась совместно с научным руководителем. Теоретические и практические исследования выполнены автором самостоятельно.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, из них в списке, рекомендованном ВАК – 8 работ. Список работ помещен в конце автореферата.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и заключения, списка литературы из 130 наименований источников, а также 6 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 235 страниц, в том числе 186 страниц основного текста (из них 15 страниц списка литературы) и 49 страниц приложений. Диссертация содержит 28 рисунков и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, представлены цель и задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований, перечислены основные положения, выносимые на защиту, дана общая характеристика работы.

Глава 1 посвящена исследованию современного состояния вопросов организации производственного процесса изготовления заготовок для авиационных деталей.

Исследованы особенности применяемых в настоящее время способов получения металлических заготовок в авиастроении. Показано, что для обеспечения заданных параметров самолетных конструкций (массы, прочностных характеристик и др.), целесообразно применять заготовки, полученные способом литья. Принцип выбора технологического процесса изготовления заготовки заключается в определении их альтернативных вариантов получения заготовки для детали с учетом физико-механических, конструктивных и эксплуатационных характеристик детали и расчёте экономического эффекта при реализации производственного процесса изготовления заготовки с наименьшими затратами при заданном объеме выпуска деталей. Основным показателем, характеризующим экономичность выбранного способа изготовления, является коэффициент использования металла.

Исследованы особенности и проблемы организации производственного процесса изготовления литых заготовок на авиастроительном предприятии, и проведен сравнительный анализ существующих вариантов организации производства литых заготовок для изделий авиационной техники.

Одним из актуальных направлений совершенствование производственно-технологических условий изготовления литых заготовок является применение цифровых технологий. Проведен обзор и анализ современных цифровых технологий, которые могут применяться для совершенствования производственного процесса изготовления литых заготовок. В этой связи особый интерес пред-

ставляет оценка эффективности существующего литейного производства и потенциала его развития.

Исследована проблема оценки эффективности организации заготовительного производства. Среди известных методов, подходов и способов оценки эффективности производственного процесса выделен метод оценки затрат ресурсов на основе систем показателей, которые различаются в зависимости от отраслевой специфики предприятия. Среди измеряемых показателей оценки эффективности выбраны показатели ресурсоемкости, устанавливающие соотношение между потребляемыми ресурсами и производимой продукцией.

Для исследования задачи по обеспечению требуемых значений ресурсоемкости и эффективного управления параметрами производственного процесса выбран метод математического моделирования. Необходимо построить целевую функцию и определить ее наилучшее (оптимальное) значение при некоторых известных ограничениях. Процесс нахождения наилучшего значения целевой функции усложняется в том случае, когда необходимо учитывать не один критерий, а несколько критериев, различающихся между собой. Например, выбор способа получения металлической заготовки для самолетной детали предполагает учет многих критериев (качество заготовок, материал, производственные возможности предприятия, эксплуатационные характеристики). Исследованы известные способы решения многокритериальных задач.

Проведенный в первой главе анализ показал, что для эффективной организации производственного процесса изготовления литых заготовок (как одного из наиболее часто применяемого типа металлических заготовок) необходимо:

- 1) построить модель формирования ресурсоемкости производимых заготовок;
- 2) определить количественные характеристики параметров производственного процесса;
- 3) разработать способ управления ресурсоемкостью.

Глава завершается постановкой цели и формулированием задач исследования.

Глава 2 посвящена исследованию комплексного механизма формирования ресурсоемкости производственного процесса изготовления литой заготовки.

В параграфе 2.1 проведен комплексный анализ организационной структуры литейного производства, его основных функций, этапов производственного процесса изготовления литых заготовок средствами моделирования бизнес-процессов (нотация ARIS).

Параграф 2.2 посвящен исследованию механизмов формирования затрат ресурсов при производстве литой заготовки. В рамках диссертационного исследования сделано и обусловлено допущение о возможности рассмотрения ограниченной совокупности ресурсов, в большей степени определяющих значение ресурсоемкости: материальные (металл, формовочные и модельные материалы), технические (вода и электроэнергия) и трудовые (время и персонал) ресурсы.

Показано, что снижения ресурсоемкости производственного процесса изготовления литых заготовок можно обеспечить за счет сокращения:

- 1) затрат металла при производстве литых заготовок;
- 2) затрат формовочных материалов в производственном процессе изготовления литых заготовок;
- 3) объемов электроэнергии, потребляемой литейным производством;
- 4) объемов воды, потребляемой литейным производством;
- 5) количества персонала, занятого в производственном процессе изготовления литых заготовок;
- б) длительности производственного процесса изготовления литых заготовок.

Были исследованы механизмы формирования затрат каждого из шести выделенных видов ресурсов при производстве литой заготовки. Рисунок 1 демонстрирует схемы формирования затрат металла (а), и затрат формовочных материалов (б), полученные в результате анализа производственного процесса.

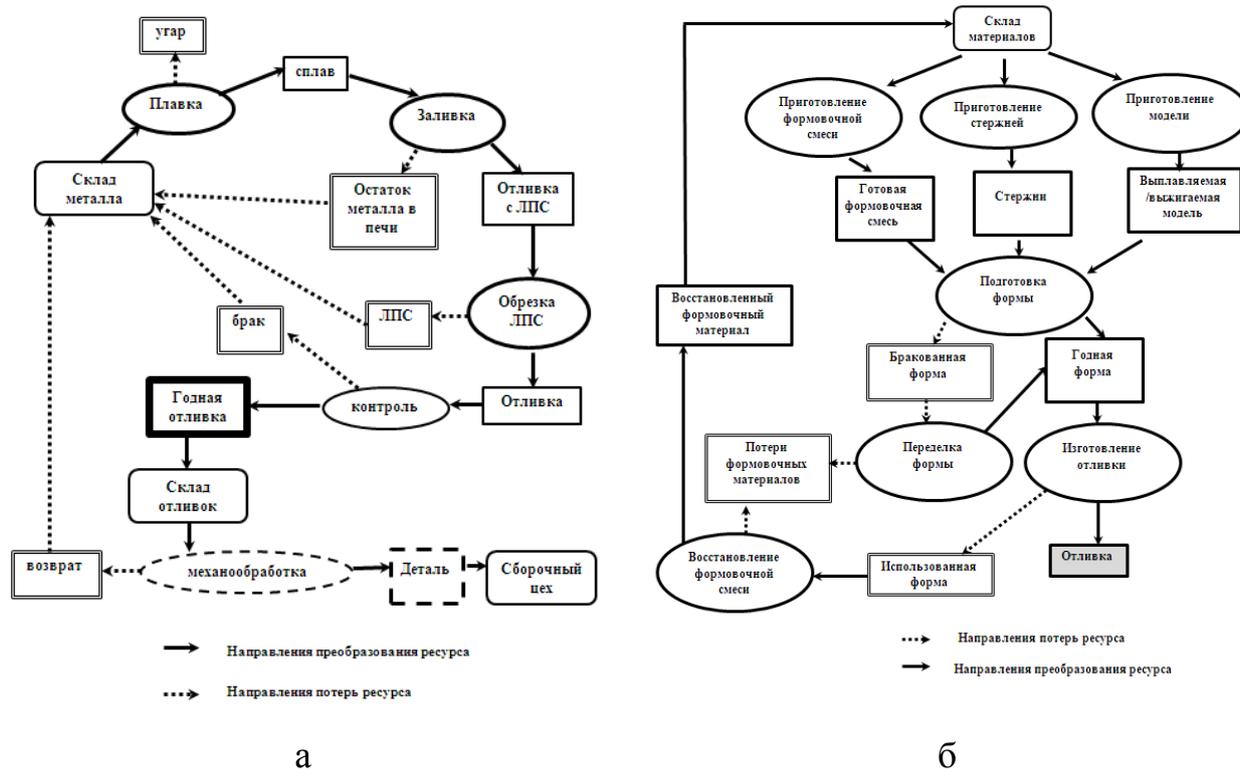


Рисунок 1 - Механизм формирования
 а – затрат металла в производственном процессе, б – затрат формовочного материала в производственном процессе

В затратах различают ресурсы, потребляемые при производстве годных отливок и неэффективные затраты - потери ресурсов, которые вызваны несовершенствами организационно-управленческих, технологических и технических условий осуществления производственного процесса.

В параграфе 2.3 разработана классификация факторов, оказывающих влияние на ресурсоемкость производственного процесса изготовления литых заготовок. На основе анализа производственного процесса были выявлены факторы во взаимосвязи с потребляемыми ресурсами, и вся их совокупность разделена на два уровня. На рисунке 2 представлена разработанная классификация факторов и их состав, взаимодействие между собой и влияние на производственный процесс.

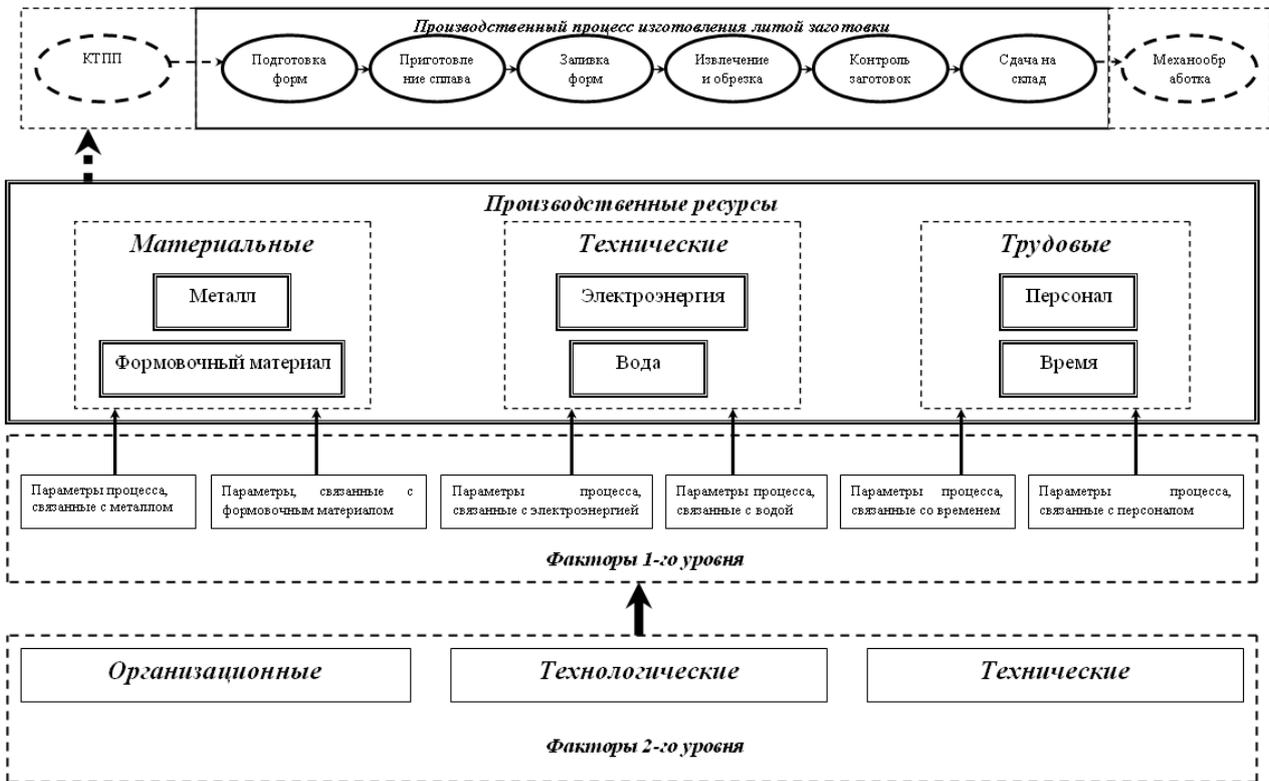


Рисунок 2 - Двухуровневая классификация факторов производственного процесса

На основе анализа механизмов формирования затрат ресурсов в производственном процессе изготовления литых заготовок (параграфы 2.1, 2.2) были выделены результирующие (измеряемые) факторы (рисунок 3).

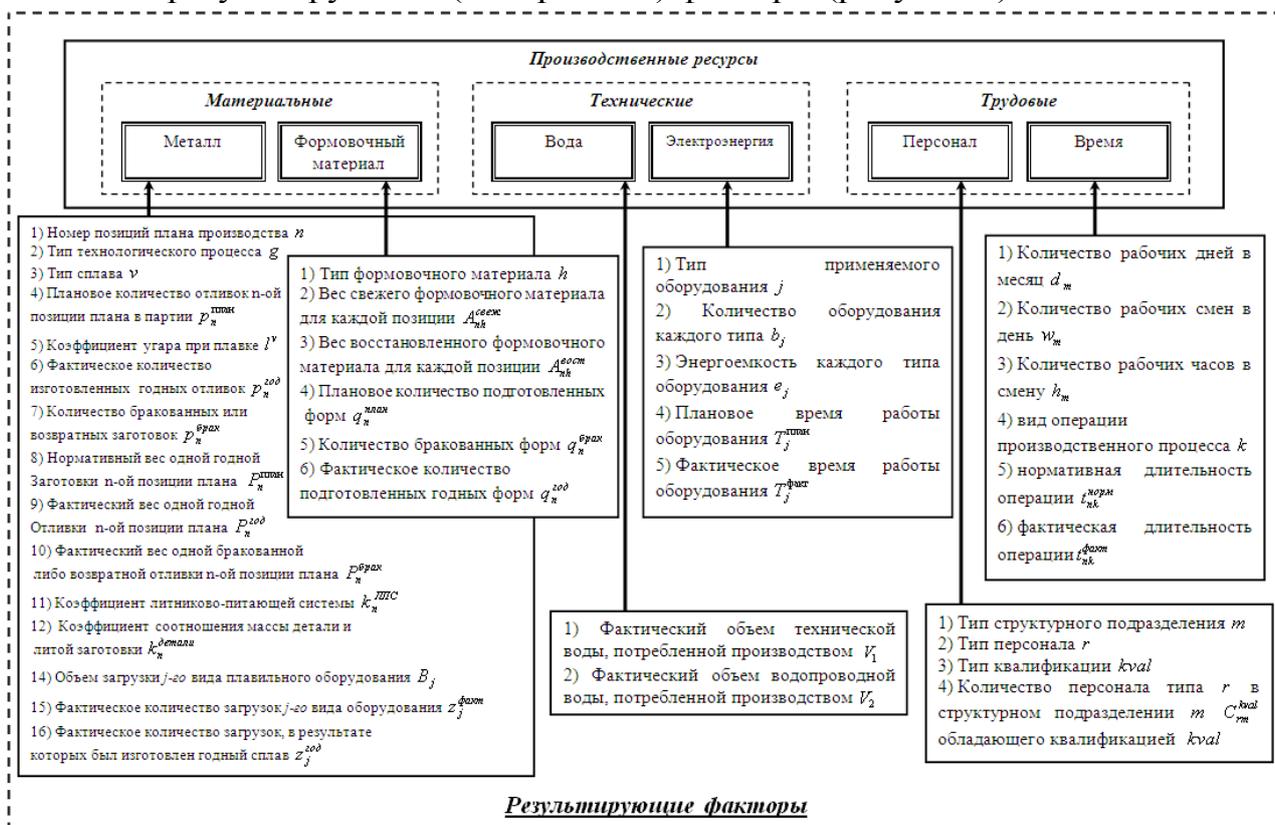


Рисунок 3 – Состав количественных факторов формирования ресурсоемкости производственного процесса

Эти факторы определяют уровень ресурсоемкости производственного процесса и представляют собой параметры, влияющие на затраты ресурсов в

производственном процессе. Результирующие факторы используются далее для оценки ресурсоемкости производственного процесса изготовления литых заготовок.

Предложена классификация управляющих факторов, под воздействием которых формируются значения количественных факторов (рисунок 4).

Качественные факторы подразделяются на три группы:

- 1) организационные – влияющие на уровень организации и информационного обеспечения производственного процесса;
- 2) технологические – влияющие на уровень реализуемых технологических процессов в литейном производстве;
- 3) технические – влияющие на уровень технического обеспечения производственного процесса техникой и оборудованием.

На основе управляющих факторов формируются мероприятия по снижению ресурсоемкости.



Рисунок 4 – Состав качественных факторов формирования ресурсоемкости производственного процесса

Методом экспертных оценок установлено влияние управляющих факторов на результирующие факторы. Показано, что наибольшее влияние на ресурсоемкость оказывают технические и организационные факторы. Далее система факторов используется при разработке и осуществлении способа организации производственного процесса изготовления литых заготовок.

В параграфе 2.4. предложен алгоритм оценки влияния неблагоприятных событий на ресурсоемкость производственного процесса изготовления литых заготовок. Определены неблагоприятные события, приводящие к потерям каждого из выделенных типов ресурсов в производственном процессе, исследованы угрозы, приводящие к реализации этих событий, определены вероятности их проявления и ущерб (средняя потеря ресурса).

На основе проведенного во второй главе комплексного исследования ставится задача разработки методов оценки и модели управления ресурсоемкостью производственного процесса изготовления литых заготовок.

В главе 3 представлены разработанные в диссертации методы оценки производственного процесса изготовления литых заготовок и модель управления его ресурсоемкостью.

В параграфе 3.1 на основе проведенного анализа литейного производства авиастроительного предприятия (глава 1) и классификации факторов производственного процесса изготовления литых заготовок (параграф 2.3) была разработана система показателей оценки производственного процесса изготовления литых заготовок с точки зрения эффективности затрат ресурсов.

Система показателей оценки эффективности литейного производства состоит из шести групп показателей. Выделение показателей в группы обусловлено выделением ресурсов, потребляемых в производственном процессе и эффективности их использования. В таблице 1 представлены структура системы показателей эффективности литейного производства, их описание и формулы расчета.

Таблица 1 – Система показателей оценки эффективности организации литейного производства

Наименование показателя группы и формула для его вычисления		
«Эффективность расхода металла»		
Технологический выход годного литья $K_1^1 = \frac{x_1}{x_2} \cdot 100\%$	x_1 - общий вес годных отливок, изготовленных в исследуемом периоде, x_2 - вес шихтового материала, затраченного в производстве в исследуемом периоде	(1)
Потери металла при плавке $K_1^2 = \frac{x_2 - x_3}{x_2} \cdot 100\%$	x_2 - вес шихтового материала, затраченного в производстве в исследуемом периоде, x_3 - вес расплава (жидкого металла), который изготавливается для производства фактического количества годных отливок	(2)
Потери металла при заливке $K_1^3 = \frac{x_3 - x_4}{x_3} \cdot 100\%$	x_3 - вес годного расплава (жидкого металла), который изготавливается для производства фактического количества годных отливок <i>i</i> -го типа сплава, x_4 - вес металла, залитого в формы	(3)
Потери на литниково-питающую систему $K_1^4 = \frac{x_4 - x_5}{x_5} \cdot 100\%$	x_4 - общий вес металла, залитого в формы, x_5 - общий вес фактически изготовленных отливок, включая брак	(4)
Потери на брак и возврат $K_1^5 = \frac{x_6}{x_5} \cdot 100\%$	x_5 - вес изготовленных отливок, включая брак и производственные возвраты, за анализируемый период, x_6 - вес бракованных и возвратных отливок	(5)
Удельный расход металла при производстве литой заготовки $K_1^6 = \frac{x_2}{p^{год}}$	x_2 - вес шихтового материала, затраченного в производстве в исследуемом периоде, $p^{год}$ - фактическое количество произведенных годных заготовок в исследуемом периоде	(6)
«Эффективность подготовки формы»		
Потери из-за бракованных форм $K_2^1 = \frac{x_7}{x_8} \cdot 100\%$	x_7 – количество бракованных форм за анализируемый период, x_8 – общее количество произведенных форм за анализируемый период	(7)
Удельный расход формовочных материалов в производственном процессе $K_2^2 = \frac{x_9}{p^{год}}$	x_9 - общий вес формовочного материала типа $h \in H$, подготовленного для формовки, изготовления оболочковых форм и стержней, подготовки моделей и уже затраченного на изготовление стержней (в готовом виде) за анализируемый	(8)

Наименование показателя группы и формула для его вычисления		
	период, p^{zod} - фактическое количество произведенных годных заготовок в исследуемом периоде	
Коэффициент регенерации формовочной смеси $K_2^3 = \frac{x_9 - x_{10}}{x_9} \cdot 100\%$	x_9 - общий вес формовочного материала, подготовленного для формовки, изготовления оболочковых форм и стержней и уже затраченного на изготовление стержней (в готовом виде) за анализируемый период, x_{10} - вес свежих формовочных материалов, применяемых при формовке, изготовлении стержней и оболочковых форм, которые были закуплены в течение анализируемого периода	(9)
«Эффективность расхода электроэнергии»		
Доля затрат энергии на плавку $K_3^1 = \frac{x_{11}}{x_{12}} \cdot 100\%$	x_{11} - расход энергии (кВтч) плавильным оборудованием, применяемым на производстве за анализируемый период, x_{12} - общий расход энергии всеми участками литейного производства	(10)
Расход энергии для плавки $K_3^2 = \frac{x_{11}}{x_2}$	x_{11} - расход энергии (кВтч) плавильным оборудованием, применяемым на производстве за анализируемый период, x_2 - общий объем шихтового материала, переплавленного за исследуемый период	(11)
Расход энергии литейным производством $K_3^3 = \frac{x_{12}}{x_1}$	x_{12} - общий расход энергии всеми участками литейного производства, x_1 - общий вес годных отливок в исследуемом периоде	(12)
Удельная энергоемкость литой заготовки $K_3^4 = \frac{x_{12}}{p^{zod}}$	x_{12} - общий расход энергии всеми участками литейного производства, p^{zod} - фактическое количество произведенных годных заготовок в исследуемом периоде	(13)
Эффективность расхода воды»		
Расход воды производством $K_4^1 = \frac{x_{13}}{x_1}$	x_{13} - общий объем потребленной воды за анализируемый период, x_1 - общий вес годных отливок в исследуемом периоде	(14)
Удельный расход воды $K_4^2 = \frac{x_{13}}{p^{zod}}$	x_{13} - общий объем потребленной воды за анализируемый период, p^{zod} - фактическое количество произведенных годных заготовок в исследуемом периоде	(15)
«Эффективность труда персонала»		
Удельные затраты персонала $K_5^1 = \frac{x_{14}}{p^{zod}}$	x_{14} - количество всех типов персонала всех структурных подразделений производства, участвующих в производственном процессе изготовления заготовок, p^{zod} - фактическое количество произведенных годных заготовок в исследуемом периоде	(16)
Удельные затраты производственного персонала $K_5^2 = \frac{x_{15}}{p^{zod}}$	x_{15} - количество основного производственного персонала, участвующего в производственном процессе изготовления заготовок, p^{zod} - фактическое количество произведенных годных заготовок в исследуемом периоде	(17)
Коэффициент персонала $K_5^3 = \frac{x_{15}}{x_{14}} \cdot 100\%$	x_{15} - количество основного производственного персонала, участвующего в производственном процессе изготовления заготовок, x_{14} - количество всех типов персонала всех структурных подразделений производства, участвующих в производственном процессе изготовления заготовок.	(18)
Показатели группы «Эффективность затрат времени»		
Затраты времени на переделку форм $K_6^1 = \frac{x_{16}}{x_{17}} \cdot 100\%$	x_{16} - время, затраченное на изготовление бракованных форм, x_{17} - время, затраченное на изготовление фактического числа форм	(19)

Наименование показателя группы и формула для его вычисления		
Затраты времени на переделку отливок $K_6^2 = \frac{x_{19}}{x_{20}} \cdot 100\%$	x_{19} - время, затраченное на изготовление бракованного количества отливок, x_{20} - время, затраченное на изготовление фактического числа отливок (годных и бракованных) в исследуемом периоде	(20)
Отклонение длительности производственного процесса изготовления заготовок от плана $K_6^3 = \frac{x_{20} - x_{22}}{x_{20}} \cdot 100\%$	x_{20} - время, затраченное на реализацию производственного процесса (время, затраченное на изготовление фактического числа отливок) на изготовление фактического количества заготовок в исследуемом периоде, x_{22} - плановое время изготовления планового количества отливок	(21)

Отметим, что x_1, \dots, x_{22} - это комбинации результирующих факторов, которые были определены в параграфе 2.3. Например, вес шихтового материала, затраченного в производстве в исследуемом периоде x_2 - это комбинация трех результирующих факторов - количества j -го типа оборудования b_j , объема загрузки j -го вида плавильного оборудования и фактического числа загрузок j -го вида оборудования в анализируемом периоде $z_j^{\text{факт}}$, определяемая следующим образом:

$$x_2 = \sum_{j=1}^{J_1} b_j \cdot B_j \cdot z_j^{\text{факт}}, \quad (22)$$

Система показателей применяется для количественной оценки существующих организационных, технологических и технических условий производства.

В параграфе 3.2. разработана методика оценки эффективности поэтапных затрат ресурсов при изготовлении в существующих производственных условиях. Методика позволяет учесть риски неэффективного расходования ресурсов и избежать угроз их реализации. В методике учитываются угрозы: не соответствие качества материалов, выполнения работ заданным требованиям, выхода из строя оборудования и элементов инженерной инфраструктуры и др.

Методика применяется для измерения ресурсоёмкости литых заготовок с учётом оценки дополнительных расходов, вызванных реализациями потенциальных угроз. Для корректного применения методики необходимо задать требуемую точность результата. Точность определяется распределением вероятностей реализации угроз потерь ресурсов, и задаёт необходимый уровень детализации описания производственного процесса.

Для использования методики необходимо:

1) Определить отвечающие заданному уровню детализации требования к описанию производственного процесса: перечень этапов производственного процесса, перечень производственных операций (в разрезе этапов), технического оснащения и др.

2) Определить типы ресурсов, необходимых для изготовления литых заготовок и функционирования литейного производства.

3) Определить единицы измерения затрат ресурсов и стоимость единицы каждого типа ресурса.

4) Определить затрачиваемые на каждом этапе типы ресурсов и их объем для последующего определения затрат ресурсов в производственном процессе. Строится матрица поэтапного учета затрат ресурсов A размера $m \times n$.

Элементы матрицы A обладают следующими свойствами:

a_{ij} , где $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$ – количество i -го типа ресурсов, измеренное в условных единицах, фактически затрачиваемых на j -м этапе производственного процесса за анализируемый период;

$$a_{ij} = a_{ij}^{\text{норм}} + a_{ij}^{\text{потерь}}, \quad (23)$$

где $a_{ij}^{\text{норм}}$ – определяется технологическим процессом изготовления единицы годной заготовки (количество i -го типа ресурсов, в условных единицах, предусмотренное нормативом на j -м этапе производственного процесса за анализируемый период).

$a_{ij}^{\text{потерь}}$ – характеризует реализацию выявленных рисков потерь ресурсов. Каждый элемент $a_{ij}^{\text{потерь}}$ представляют собой риск потерь i -го типа ресурсов на j -м этапе производственного процесса и определяется следующим образом:

$$a_{ij}^{\text{потерь}} = \sum_{h=1}^H p_{ij}^h \cdot c_{ij}^h, \quad (24)$$

где p_{ij}^h – вероятность реализации h -ой угрозы, приводящей к потере i -го типа ресурса на j -м этапе производственного процесса, c_{ij}^h – возможный ущерб (средняя потеря) i -го типа ресурса на j -м этапе производственного процесса от реализации h -ой угрозы, $j = 1, \dots, J$ – количество угроз.

Если i -ый ресурс не потребляется на j -м этапе, то это означает, что $a_{ij} = 0$.

Таким образом матрица учета поэтапных затрат ресурсов A в производственном процессе может быть представлена как сумма матрицы нормативных затрат ресурсов $A^{\text{норм}}$ и матрица потерь ресурсов $A^{\text{потерь}}$.

$$A = A^{\text{норм}} + A^{\text{потерь}} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad (25)$$

5) Определить суммарное потребление каждого типа ресурса в производственном процессе за анализируемый период. Результаты представляются в виде матрицы B :

$$B = [b_1 \quad \dots \quad b_i \quad \dots \quad b_m],$$

где $b_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ – суммарные затраты i -го типа ресурсов во всем производственном процессе за анализируемый период;

6) Матрице B ставится в соответствие матрица C , элементы которой отражают стоимостные затраты каждого типа ресурса в производственном процессе:

$$C = [c_1 \quad \dots \quad c_i \quad \dots \quad c_m],$$

где $c_i = \alpha_i \cdot b_i$ – стоимость i -го типа ресурсов во всем производственном процессе за анализируемый период, α_i – стоимость единицы i -го типа ресурсов

7) Рассчитать ожидаемую эффективность использования выбранных типов ресурсов в производственном процессе изготовления отливки.

Для этого определим фактическую «стоимость» производства отливки по выбранной технологии, с учетом рисков потерь ресурсов при ее изготовлении $C^{факт}$:

$$C^{факт} = \sum_{i=1}^m c_i \quad (26)$$

Нормативная «стоимость» изготовления отливки $C^{норм}$ определяется нормативами затрат ресурсов на ее изготовление. Для ее определения необходимо выполнить 5 и 6 шаги методики для матрицы $A^{норм}$. Ожидаемая эффективность определяется следующим образом:

$$S = \frac{C^{факт}}{C^{норм}} \quad (27)$$

При $1 \leq S \leq s^{порог}$ считается, что ресурсы расходуются эффективно для существующей организации литейного производства, $s^{порог}$ - некоторое пороговое отклонение фактических значений потребления ресурсов от плановых, определяемое экспертным путем. При $S \leq 1$, при условии выполнения плана производства, отмечается ресурсосбережение. При $S > s^{порог}$ делается вывод о том, что ресурсы расходуются неэффективно и необходимо принять меры для снижения затрат ресурсов в производственном процессе.

На первом этапе методики может быть выбран только один тип ресурса, тогда по методике оценивается ресурсоемкость производственного процесса по выбранному типу ресурсов (например, если выбран тип ресурса – электроэнергия, то определяется энергоемкость производственного процесса изготовления заготовки). Если все столбцы матрицы A , кроме одного – нулевые, проводится оценка эффективности выбранного этапа (ненулевого столбца матрицы A) производственного процесса для принятия узкоспециализированных решений по повышению эффективности выбранного этапа за счёт управления указанным ресурсом.

В параграфе 3.3 разработана модель производственного процесса изготовления литых заготовок.

Совокупный план производства заготовок на рассматриваемый период определяется набором плановых значений $P^{план} = (p_1^{план}, \dots, p_N^{план})$ с учётом каждой из N единиц плановой номенклатуры.

Требования выполнения производственной программы формализуются в модели следующими условиями:

1) Количество изготовленных заготовок должно быть не менее планового количества для каждой позиции номенклатурного плана:

$$p_n^{год} \geq p_n^{план} \quad (28)$$

2) Заданное количество заготовок должно быть изготовлено в течение заданного срока (при условии, что некоторые позиции плана могли изготавливаться параллельно):

$$\sum_{n=1}^N t_n \leq T^{план} \quad (29)$$

При этом должны быть обеспечены условия минимизации затрат выделенных ранее (в параграфе 2.2) групп ресурсов:

1) Затраты металла в производственном процессе.

2) Затраты формовочных материалов в производственном процессе изготовления литых заготовок.

3) Затраты электроэнергии, потребляемой литейным производством.

4) Затраты воды, потребляемой литейным производством.

5) Количество персонала, занятого в производственном процессе изготовления литых заготовок.

б) Длительность производственного процесса изготовления литых заготовок.

Для каждой из групп ресурсов записываются условия их минимальности. Для этого вводятся локальные функции потерь ресурсов, которые имеют следующий вид:

$$\varphi^{(i)}_k = \varphi^{(i)}_k(\xi_1, \dots, \xi_m) \quad (30)$$

где i — отвечает заданному виду ресурса, $\xi_1 = p_n^{\text{брак}}$, $\xi_2 = q_n^{\text{брак}}$, $\xi_3 = k_n^{\text{ППС}}$, ..., $\xi_m = h$ - результирующие факторы, определенные в параграфе 2.3.

Условия минимизации затрат ресурсов формализуются в виде требований к минимизации локальных функций потерь за счёт выбора значений результирующих факторов. Таким образом, задача снижения ресурсоемкости производственного процесса изготовления литых заготовок сводится к определению набора значений ξ_i . Рассматриваемая задача оказывается не только многопараметрической, но и многокритериальной.

Показано, что минимизация каждого из построенных функций не обеспечит требуемый результат. Например, сокращение затрат электроэнергии можно достигнуть за счет сокращения количества рабочего оборудования, однако это приведет к увеличению сроков изготовления заготовок - что недопустимо. Для комплексной оценки ресурсоемкости производственного процесса строится совокупный функционал потерь таким образом, чтобы его минимальное значение соответствовало минимальной ресурсоемкости производственного процесса.

В первом линейном приближении совокупный функционал потерь имеет вид:

$$\Phi = \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot \varphi_k \rightarrow \min \quad (31)$$

где K - число локальных функций потерь (здесь, в примере, 16), α_k - их относительные веса с размерностью $\frac{\text{руб}}{[\text{размерность } \varphi_k]}$ и значениями, определяемыми экспертно. Соотношения (веса) сформулированных критериев (в данном случае их роль играют локальные функции потерь) определяются методом экспертных оценок.

Таким образом, получаем модель производственного процесса изготовления литых заготовок для оценки влияния управляющих воздействий:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = \sum_{k=1}^{16} \alpha_k \cdot \varphi_k \rightarrow \min \\ p_n^{zod} \geq p_n^{план} \\ \sum_{n=1}^N t_n \leq T^{план} \end{array} \right. \quad (32)$$

Решением данной системы является набор параметров $(\xi_1^0, \dots, \xi_m^0)$, при которых совокупный функционал потерь Φ достигает минимального значения Φ^0 :

$$\Phi^0 = \Phi(\xi_1^0, \dots, \xi_m^0) \quad (33)$$

Поскольку набору ξ_i однозначно соответствуют измеряемые величины, то можно утверждать, что при значениях результирующих факторов, отвечающих полученному набору параметров $(\xi_1^0, \dots, \xi_m^0)$ будет обеспечена минимальная ресурсоёмкость производственного процесса изготовления литых заготовок.

В соответствии с вышеизложенным построены локальные функции потерь для производственного процесса изготовления литых заготовок (Таблица 2).

В ходе моделирования определяются основные характеристики производственного процесса: требуемое количество металла P^M , формовочного материала $P_h^{\phi M}$, электроэнергии $P^э$, воды $P^в$, персонала P^n , времени P^{6P} для производства фактического количества заготовок равного плановому с учетом потерь.

Таблица 2 – Локальные функции потерь

№ п/п	Вид локальной функции потерь		
Затраты металла в производственном процессе необходимо уменьшать			
1	план производства должен быть выполнен	$\varphi_1 = \sum_{n=1}^N P_n^{план} \cdot p_n^{план} - \sum_{n=1}^N P_n^{zod} \cdot p_n^{год} \rightarrow \min$	(34)
2	сплав должен быть качественный	$\varphi_2 = B_j (z_j^{факт} \cdot l - z_j^{план})$	(35)
3	весь приготовленный сплав должен быть залит в формы	$\varphi_3 = B_j \cdot z_j^{год} \cdot l^v - \sum_{n=1}^N P_n^{zod} \cdot k_n^{ЛПС} \cdot q_n^{zod} \rightarrow \min$	(36)
4	литниково-питающая система должна быть спроектирована рационально	$\varphi_4 = (\sum_{n=1}^N P_n^{zod} \cdot k_n^{ЛПС} \cdot q_n^{zod} - \sum_{n=1}^N (P_n^{zod} \cdot p_n^{zod} + P_n^{брак} \cdot p_n^{брак})) \rightarrow \min$	(37)
5	качество производимых заготовок должно быть высоким	$\varphi_5 = \sum_{n=1}^N P_n^{брак} \cdot p_n^{брак} \rightarrow \min$	(38)
Затраты формовочных материалов в производственном процессе изготовления литых заготовок необходимо уменьшать.			
6	фактическое количество изготовленных форм должно соответствовать	$\varphi_6 = \sum_{n=1}^N (q_n^{zod} + q_n^{брак}) - \sum_{n=1}^N q_n^{план} \rightarrow \min$	(39)

№ п/п	Вид локальной функции потерь		
	плановому		
7	обеспечение высокого качества подготавливаемых форм	$\varphi_7 = \sum_{n=1}^N q_n^{\text{брак}} \rightarrow \min$	(40)
8	технологические процессы подготовки формовочных смесей должны быть рациональными	$\varphi_8 = \sum_{n=1}^N A_{nh}^{\text{свеж}} \cdot q_n^{\text{факт}} \rightarrow \min$	(41)
Затраты электроэнергии, потребляемой литейным производством необходимо уменьшать			
9	плавильное оборудование должно быть рациональным	$\varphi_9 = \sum_{j=1}^{J_1} b_j \cdot e_j \cdot T_j^{\text{факт}} \cdot z_j^{\text{факт}} \rightarrow \min$	(42)
10	литейное производство должно быть экономичным с точки зрения затрат электроэнергии	$\varphi_{10} = \left(\sum_{j=1}^J b_j \cdot e_j \cdot T_j^{\text{факт}} - \sum_{j=1}^{J_1} b_j \cdot e_j \cdot T_j^{\text{факт}} \right) \rightarrow \min$	(43)
Затраты воды, потребляемой литейным производством необходимо уменьшать			
11	литейное производство должно быть экономичным с точки зрения затрат водных ресурсов	$\varphi_{11} = \sum_{j=1}^J z_j^{\text{факт}} \cdot V_j^{\text{факт}} + \sum_{n=1}^N q_n^{\text{факт}} \cdot V_n^{\text{факт}} \rightarrow \min$	(44)
Количество персонала, занятого в производственном процессе изготовления литых заготовок необходимо уменьшать			
12	количество производственного персонала должно быть рациональным для выполнения плана	$\varphi_{12} = \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_1} c_{rm} \cdot s_{rm} (kval) \rightarrow \min$	(45)
13	количество непроизводственного персонала должно быть рациональным	$\varphi_{13} = \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R c_{rm} \cdot s_{rm} (kval) - \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_1} c_{rm} \cdot s_{rm} (kval) \rightarrow \min$	(46)
Длительность производственного процесса изготовления литых заготовок необходимо уменьшать			
14	время, затраченное на изготовление форм, необходимо сокращать	$\varphi_{14} = \sum_{n=1}^N (\tau_n^{\text{зод}} \cdot q_n^{\text{зод}} + \tau_n^{\text{брак}} \cdot q_n^{\text{брак}}) \rightarrow \min$	(47)
15	время, затраченное на изготовление отливок, необходимо сокращать	$\varphi_{15} = \sum_{n=1}^N (t_n^{\text{зод}} \cdot p_n^{\text{зод}} + t_n^{\text{брак}} \cdot p_n^{\text{брак}}) \rightarrow \min$	(48)
16	трудоемкость производственного процесса должна быть рациональной	$\varphi_{16} = \left(\sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R c_{rm} \cdot h_m \cdot d_m \cdot w_m - \sum_{m=1}^M c_{r,m} \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K t_{nk}^{\text{факт}} \cdot p_n^{\text{факт}} \right) \rightarrow \min$	(49)

В параграфе 3.4 проводится оценка влияния управляющих воздействий на модель производственного процесса изготовления литых заготовок. Управление производственным процессом в данной модели осуществляется за счет изменения результирующих факторов (в модели параметры ξ_i) под воздействием управляющих факторов (определенных в параграфе 2.3). Управляющие воздействия будут соответствовать организационно-техническим мероприятиям по снижению ресурсоемкости.

Для проверки адекватности модели выполнен расчёт затрат ресурсов в существующих производственных условиях выбранного авиастроительного предприятия.

На основе разработанных в третьей главе инструментов оценки и модели производственного процесса ставится задача разработки способа организации производства литых заготовок для изделий авиационной техники, определяющего необходимый набор мероприятий, обеспечивающих минимальное значение ресурсоемкости.

Глава 4 посвящена разработке и апробации способа организации производственного процесса изготовления литых заготовок, основанного на принципах обеспечения минимальной ресурсоемкости.

В **параграфе 4.1** предложен способ организации производственного процесса изготовления литых заготовок, основанный на применении разработанных моделей производственного процесса (параграф 3.3, 3.4) и двухуровневой системы факторов (параграф 2.3).

В основу способа положено обеспечение заданного значения совокупного функционала потерь (31) за счет управления параметрами ξ_i .

1) Решение уравнения (33) определяет набор параметров ξ_i^0 , соответствующих заданному значению совокупного функционала потерь.

2) Проводится анализ результирующих факторов, соответствующих полученным параметрам ξ_i^0 .

3) На основе разработанной системы двухуровневых факторов определяются сценарии управления производственным процессом за счет групп управляющих факторов (организационных, технических, технологических). В виду многообразия сценариев необходимо сформировать критерии, отвечающие существующим и приемлемым ресурсным ограничениям.

4) В соответствии с выделенными критериями производится качественный и количественный выбор сценариев.

5) Для выбранных сценариев разрабатывается бизнес-планы, содержащие план организационно-технических мероприятий, оценку требуемых инвестиций, риски и проч. в утвержденном на предприятии порядке.

6) На основе количественной оценки бизнес-планов выбирается приемлемый сценарий для реализации в существующих производственных условиях.

Разработанный способ определяет мероприятия (совокупность мероприятий), обеспечивающих заданное значение ресурсоемкости. Причем одно и то же значение ресурсоемкости может быть обеспечено реализацией различных мероприятий.



Рисунок 4 – Способ организации производственного процесса изготовления литых заготовок

В параграфе 4.2 выполнена оценка технико-экономического эффекта от реализации мероприятий по снижению ресурсоемкости производственного процесса изготовления литых заготовок на ЗАО «Авиастар-СП».

Проведена апробация системы показателей эффективности затрат ресурсов и методики оценки эффективности поэтапных затрат ресурсов с учетом производственных рисков, разработанных в третьей главе в условиях заготовительного производства ЗАО «Авиастар-СП».

Предложена новая схема организации конструкторско-технологической подготовки производства, с использованием системы трехмерного проектирования, системы автоматизированного проектирования технологических процессов и системы компьютерного моделирования литейных процессов. Сформирован бизнес-план, определены затраты на реализацию мероприятий, определен ожидаемый эффект.

Так, внедрение систем моделирования литейных процессов для отработки на технологичность процесса изготовления заготовки позволяет снизить неэффективные затраты металла за счет снижения вероятности изготовления бракованных отливок на 30 %, при этом затраты времени на разработку технологии снижаются на 25 %, неэффективные затраты времени также сокращаются за счет исключения необходимости переделки заготовок, затраты металла сокращаются на 10% за счет увеличения точности и уменьшения припусков на механическую обработку.

Разработанные в диссертации принципы, закономерности и модели могут

быть положены в основу автоматизированной системы поддержки принятия решений по управлению ресурсами заготовительного производства авиастроительного предприятия.

Таким образом, в четвертой главе показано применение решенных задач диссертационного исследования на практике в условиях реального литейного производства ЗАО «Авиастар-СП», которые качественно повышают организационные, технологические и технические условия производственного процесса изготовления литых заготовок.

В **заключении** кратко перечислены основные результаты работы, подчеркнуты их новизна, теоретическая и практическая значимость.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1) Разработан способ организации производственного процесса изготовления литых заготовок, обеспечивающий снижение его ресурсоемкости за счет оценки и выбора мероприятий по совершенствованию организационных, технических и технологических условий на основе разработанных в диссертации инструментов и модели.

2) Разработана новая двухуровневая классификация факторов, оказывающих влияние на ресурсоемкость производственного процесса изготовления литых заготовок для изделий авиационной техники. Первый уровень представляет собой основные расчетные характеристики затрат ресурсов при изготовлении литых заготовок, а второй уровень содержит в себе организационные, технические и технологические направления снижения ресурсоемкости производственного процесса.

Установлено влияние качественных факторов второго уровня на количественные значения факторов первого уровня методом экспертных оценок, что позволяет сделать вывод о том, что наибольшую степень влияния на ресурсоемкость имеют технические факторы - 40% от общей доли влияния, организационные - 36 %, технологические - 24 %. Установлено влияние качественных факторов на ресурсоемкость производственного процесса изготовления литой заготовки по типу ресурса что позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние организационные, технологические и технические условия производства оказывают на затраты металла и формовочного материала - 48 %

3) Разработана система показателей эффективности литейного производства, оценивающая уровень организации литейного производства с точки зрения неэффективных затрат ресурсов в производственном процессе на основе 6 групп показателей затрат ресурсов: металла, формовочного материалы, электроэнергии, воды, персонала и времени.

Предложено понятие ресурсоемкости литой заготовки, которое представляет собой величину суммарных затрат материальных (металл и формовочные материалы), технических (электроэнергия и вода) и трудовых (персонал и время) ресурсов, необходимых для производства одной единицы годной отливки в условиях выбранного технологического процесса.

Проведен количественный расчет показателей эффективности производственного процесса изготовления литых заготовок, что позволило оценить затраты ресурсов при выполнении производственной программы и ресурсоемкость производимых заготовок.

4) Разработана методика поэтапного учёта затрат ресурсов в производственном процессе с учетом рисков производственного процесса, особенностью которой является применение вероятностной модели для описания совокупности неблагоприятных событий, приводящих к реализации угроз потерь ресурсов при производстве литых заготовок.

Выделены 5 уровней управления угрозами потерь ресурсов в производственном процессе. Выделены угрозы реализации производственного процесса, вероятности их проявления, средние значения потерь ресурсов на этапах производственного процесса.

Проведена количественная оценка рисков потерь ресурсов в производственном процессе в условных единицах и в денежном выражении.

5) Разработана и исследована математическая модель производственного процесса изготовления литых заготовок со стохастическими параметрами, оценивающая влияние управляющего воздействия на снижение ресурсоемкости производственного процесса, результатом применения которой является определение минимального объема ресурсов необходимых для производства планового количества заготовок в исследуемом периоде в существующих организационных, технических и технологических условиях

6) Разработана программа мероприятий по снижению ресурсоемкости производственного процесса изготовления литых заготовок с учетом результатов анализа качественных факторов производственного процесса.

Проведена количественная оценка эффекта от применяемых мер по снижению ресурсоемкости производственного процесса.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией РФ:

1) Олейник А.В. Методика моделирования организационно-технологических процессов для внедрения ERP-систем на примере литейного производства авиастроительного предприятия / Олейник А.В., Кузнецов Л.Ю., Кузнецова Л.В., Николаев А.В., Левкина О.Ю. // Технология машиностроения – Москва: Издательский центр «Технология машиностроения»; №12. – 2010. – С. 54-57.

2) Левкина О.Ю. Математическое моделирование термомеханических напряжений и деформаций заготовок, получаемых методом литья с применением технологии быстрого прототипирования / Левкина О.Ю. // Вестник МГТУ «СТАНКИН» – Москва: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; Т.2 №4. – 2011. – С. 93-97.

3) Левкина О.Ю. Подход к оценке эффективности литейного производства авиастроительного предприятия / Левкина О.Ю. // Вестник МГТУ «СТАНКИН» – Москва: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; №3. – 2012. – С. 164-167.

4) Левкина О.Ю. Модель эффективного управления литейным производством авиастроительного предприятия / Левкина О.Ю., Полянсков Ю.В., Топорков А.М., Пирогов А.Н. // Известия Самарского научного центра РАН – Самара: Издательство СНЦ РАН; Т.14 № 4-2 – 2012. – С. 454-462.

5) Левкина О.Ю. Методологические аспекты оценки эффективности конструкторско-технологической подготовки литейного производства авиастроительного предприятия / Левкина О.Ю. // Вестник СГАУ – Самара: СГАУ; №5-1 (36) часть 1 – 2012. – С. 293-297.

6) Левкина О.Ю. Применение информационных технологий в организации конструкторско-технологической подготовки литейного производства авиастроительного предприятия / Левкина О.Ю. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – Пенза: Пензенский государственный университет; №1. – 2013. – С. 115-122.

7) Левкина О.Ю. Проблемы организации эффективного производства литых заготовок на авиастроительном предприятии и пути их решения / Левкина О.Ю. // Известия Самарского научного центра РАН – Самара: Издательство СНИЦ РАН; Т.15 № 4 -3. – 2013. – С. 693-697.

8) Полянсков Ю.В. Способ организации заготовительного производства на авиастроительном предприятии / Полянсков Ю.В., Левкина О.Ю., Шабалкин Д.Ю. // Вестник МГТУ «СТАНКИН» – Москва: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; №3 (30). – 2014. — С. 102-106

Публикации в других изданиях:

9) Кузнецова, Л.В. Автоматизация деятельности авиастроительного предприятия за счет внедрения ERP-системы в соответствии с CALS-идеологией / Л.В. Кузнецова, О.Ю. Левкина. // Труды седьмой Международной конференции «Математическое моделирование физических, экономических, технических, социальных систем и процессов». – Ульяновск, 2009. – С. 147-149;

10) Левкина, О.Ю., Кузнецова Л.В. Повышение эффективности управления производством на этапе конструкторско-технологической подготовки литейного производства авиастроительного предприятия за счет внедрения ERP-систем / О.Ю. Левкина, Л.В. Кузнецова // Труды седьмой Международной конференции «Математическое моделирование физических, экономических, технических, социальных систем и процессов». – Ульяновск, 2009. – С. 163-165;

11) Левкина, О.Ю. Ключевые элементы стратегии внедрения ERP-систем на авиастроительном предприятии / О.Ю. Левкина // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы современной науки и образования». – Ульяновск, 2010. – С. 12 – 16;

12) Левкина, О.Ю. Методика моделирования термомеханических напряжений и деформаций заготовок, получаемых методом литья с применением технологии быстрого прототипирования / О.Ю. Левкина // Материалы второй научно-практической конференции «Опыт и проблемы внедрения систем управления жизненным циклом изделий авиационной техники». – Ульяновск, 2011. – С. 58-62;

13) Левкина, О.Ю. Разработка системы оценки эффективности литейного производства авиастроительного предприятия / О.Ю. Левкина // Материалы второй научно-практической конференции «Опыт и проблемы внедрения систем управления жизненным циклом изделий авиационной техники». – Ульяновск, 2011. – С. 62-66;

14) Левкина, О.Ю. Методические аспекты оценки эффективности конструкторско-технологической подготовки литейного производства авиастроительного предприятия / О.Ю. Левкина // Тезисы докладов Симпозиума с меж-

дународным участием «Самолетостроение России. Проблемы и перспективы». – Самара, 2012. – С. 256-258;

15) Левкина, О.Ю. Эффективное управление процессами литейного производства авиастроительного предприятия / О.Ю. Левкина // Тезисы докладов третьей международной научно-практической конференции «Опыт и проблемы внедрения систем управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития».- Ульяновск, 2012.- С.14-16;

16) Левкина, О.Ю. Проблемы организации эффективного производства литых заготовок на авиастроительном предприятии / О.Ю. Левкина // Тезисы докладов научно-практического семинара «Программное обеспечение Siemens PLM Software – доступные и эффективные решения САПР для российских промышленных предприятий».-Ульяновск, 2013. - С. 52-55;

17) Левкина, О.Ю. Анализ вариантов организации литейного производства на авиастроительном предприятии / О.Ю. Левкина // Тезисы докладов научно-практического семинара «Программное обеспечение Siemens PLM Software – доступные и эффективные решения САПР для российских промышленных предприятий».-Ульяновск, 2013. – С.55-58;

18) Левкина, О.Ю. Области проявления эффекта от управления значениями ключевых показателей эффективности литейного производства на авиастроительном предприятии / О.Ю. Левкина // Тезисы докладов научно-практического семинара «Программное обеспечение Siemens PLM Software – доступные и эффективные решения САПР для российских промышленных предприятий».-Ульяновск, 2013. - С. 58-61;

19) Левкина, О.Ю. Методика поэтапного учета затрат ресурсов производственного процесса изготовления литых заготовок / О.Ю. Левкина // Тезисы докладов научно-практического семинара «Программное обеспечение Siemens PLM Software – доступные и эффективные решения САПР для российских промышленных предприятий».-Ульяновск, 2013. – С.62-64;