

На правах рукописи

УДК 658.5

**Ванюжин Александр Валериевич**

**РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И  
МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ МАТЕРИАЛЬНО-  
ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Специальность 05.02.22 –  
организация производства (машиностроение)

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2007

Работа выполнена на кафедре промышленной логистики факультета инженерного бизнеса и менеджмента Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: к.э.н. Бром Алла Ефимовна

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Миротин Леонид Борисович  
(Московский автомобильно-дорожный институт).

к.т.н., доц. Овсянников Михаил Владимирович (Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана)

Ведущая организация: ОАО Финго  
(фильтры индустриальные газоочистительные)

Защита состоится « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 года в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.05 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105055, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

Телефон для справок: (495) 267-09-63

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

Силаева Л.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Высокая значимость для машиностроительного производства вопросов обеспечения бесперебойной работы технологического оборудования и совершенствование методов обеспечения производства запасными частями и расходными материалами определили содержание данной работы.

Актуальность исследования определяется недостаточной для современных условий проработкой методов и моделей, применяемых для обеспечения машиностроительного производства запасными частями. Работы, посвященные проблеме расчета количества запасных частей, обладают большим недостатком, заключающемся в том, что сложный процесс функционирования производственной системы, включающий в себя комплексы организационных и управленческих, технических и экономических, социальных и других вопросов упрощается, порой неоправданно сильно, для получения компактных, мало учитывающих реальные условия зависимостей, которые порой были рассчитаны на основе статистических данных эмпирически. Такие упрощения были вполне оправданы на предыдущих этапах развития экономики. Так в условиях централизации и планирования деятельности были разработаны и получили широкое распространение всевозможные нормы и нормативы. Они позволяли регулировать различные процессы по упрощенным методикам, не вдаваясь в подробности их протекания.

Особое значение имеет решение вопросов, связанных с выбором систем обеспечения производства запасными частями в зависимости от используемого технологического оборудования, вопросы объемов хранения запасных частей и затрат на систему материально-технического снабжения производства запасными частями в целом.

**Цель работы.** Целью диссертационной работы является разработка организационно-экономических методов и моделей управления системой снабжения запасными частями производственных процессов предприятий машиностроения, позволяющих обеспечить бесперебойную работу оборудования с минимальными затратами на организацию и функционирование системы материально-технического обеспечения.

Для достижения поставленной цели была разработана система взаимосвязанных задач исследования:

1. Анализ существующих методов и моделей управления материально-техническим обеспечением машиностроительного производства.
2. Исследование вариантов систем снабжения производства запасными частями и выделение концепции распределительной системы.
3. Разработка метода классификации запасных частей, учитывающего соответствие конструктивных особенностей возможностям изготовления на имеющемся технологическом оборудовании.
4. Разработка модели оптимизации системы снабжения производственных процессов запасными частями различного вида на основе исследования затрат, возникающих в соответствующих системах снабжения.

5. Разработка метода определения дефицита собственных производственных мощностей и необходимой производственной мощности у предприятий-смежников.

6. Разработка функциональной модели системы материально-технического обеспечения машиностроительного производства запасными частями.

**Предметом исследования** в настоящей работе являются методы и модели организационно-экономического управления системой материально-технического снабжения производственных процессов предприятий машиностроения.

**Объектом исследования** выбрана деятельность по материально-техническому снабжению производства запасными частями и расходными материалами для выполнения технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий машиностроительной отрасли.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в работе задач использовались методы системного подхода, экономико-математического моделирования, имитационного моделирования, концепции создания логистических систем и теории управления запасами, принципы стратегического управления, и методы функционального моделирования с использованием стандарта IDEF0.

**Научная новизна** проведенного исследования отражена в следующих результатах, выносимых на защиту:

1. Исследованы существующие методы и подходы к построению систем материально-технического снабжения машиностроительного производства запасными частями с выделением базовых вариантов систем снабжения запасными частями;

2. Разработан алгоритм расчета продолжительности простоя оборудования на основе построения модели процесса эксплуатации;

3. Предложен подход к построению классификатора запасных частей, основанный на учете конструктивных особенностей элементов оборудования, сложности их изготовления и возможности производства собственными мощностями;

4. Разработана экономико-математическая модель оптимизации системы материально-технического снабжения, позволяющая планировать процесс обеспечения производства запасными частями различного вида в соответствии с регламентом проведения технического обслуживания и ремонта с минимальными затратами;

5. Разработана функциональная модель системы материально-технического обеспечения предприятия машиностроительного производства запасными частями.

**Практическая ценность.** Данная работа имеет практическую значимость, заключающуюся в определении нового подхода к организации системы материально-технического обеспечения промышленного производства, основанного на построении классификатора запасных частей и экономико-математических методах, и позволяет:

1. Классифицировать запасные части по четырем группам для удобства управления группой с учетом специфических характеристик запасных частей, оказывающих влияние на возможность собственного изготовления;

2. Выбирать вариант системы снабжения в соответствии с планируемым графиком проведения технического обслуживания и ремонта на основе информации об отказах деталей и простоях оборудования в процессе эксплуатации;

3. Рассчитывать возможные варианты цепей поставок запасных частей различного вида с учетом использования собственных производственных мощностей предприятия, при которых общие затраты на систему материально-технического обеспечения будут минимальны;

4. Решать вопросы о достаточности собственных производственных мощностей для самостоятельного изготовления запасных частей к оборудованию или необходимости объединения с заводами-смежниками.

**Апробация и реализация результатов исследования.** Основные теоретические и методологические положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на заседаниях кафедры промышленной логистики МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Результаты исследований, проведённых в диссертационной работе, использованы в ОАО “МосОтис” и ООО “Мекалюкс ” при решении вопросов организации обеспечения запасными частями.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано три научные работы общим объёмом около двух печатных листов.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 120 наименований, и содержит 38 рисунков и 7 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается выбор темы исследования, её актуальность, связь с народнохозяйственными проблемами; формулируются цели и задачи, основные научные положения, защищаемые диссертантом, структура диссертации.

В **первой главе** – “Анализ современного состояния и систем материально-технического снабжения машиностроительных предприятий” – проведен анализ состояния и перспективы развития машиностроительного производства в Российской Федерации и анализ существующих форм и методов организации системы материально-технического снабжения машиностроительного производства.

Эффективность функционирования производственной системы зависит от своевременности обеспечения запасными частями, так как технологическое оборудование часто выходит из строя или достигает такого состояния, что на нем не представляется возможным выпускать продукцию требуемого качества.

При снижении качества или количества изделий, предприятие несёт убытки или недополучает прибыль, причём эти убытки тем больше, чем больше по длительности технологическое оборудование не выполняет функций, возло-

женных на него. При остановке единицы технологического оборудования вследствие неспособности изготовить изделие требуемого качества не только увеличиваются общие издержки, которые несет предприятие, но и при соблюдении требуемого качества может увеличиться время выполнения заказа, что также скажется на издержках.

С другой стороны, предприятие может являться поставщиком деталей или узлов для другого предприятия, стоящего после него в технологической цепочке. В этом случае оно, как правило, имеет жёсткую производственную программу. В случае невыполнения требуемой производственной программы, предприятие могут наказать штрафом или отказаться от него и заменить в технологической цепочке другим предприятием.

Продолжительность ремонта напрямую зависит от наличия или отсутствия запасных частей и проблемы их отсутствия часто выходят на первый план при стремлении обеспечить бесперебойную работу технологического оборудования.

Запасные части, как элементы обеспечения непрерывной работы производственной системы характеризуются следующими особенностями:

1) Убытки или недополученная прибыль, возникающая вследствие отсутствия требуемой запанной части значительно выше, чем стоимость этой запасной части.

2) Оборудование, выпущенное разными производителями для одного вида работ, имеет мало узлов, взаимозаменяемых на этом оборудовании. Часто многие узлы имеют одинаковые конструктивные особенности, но разные присоединительные и монтажные элементы конструкции.

3) Необходимость наличия, возможности приобретения или изготовления запасных частей, как к новому оборудованию, так и к морально устаревшему (снятому с производства), но еще находящемуся в эксплуатации.

4) Под влиянием множества различных факторов спрос на запасные части сильно изменяется по времени. Часть из них, такие как климатические и сезонные колебания, частично поддаются прогнозированию.

5) Потребность в запасных частях возникает только по мере возникновения отказов или по мере выполнения ТОиР (в том числе, в случае использования системы ППР) и повлиять на потребность не представляется возможным.

6) Каждый вид запасных частей требует к себе подхода, как к отдельному изделию.

Специфика запасных частей обуславливает необходимость создания эффективно функционирующей системы материально технического снабжения производства, в основе которой должна лежать классификация запасных частей по конструктивным особенностям, сложности их изготовления и возможности производства собственными мощностями.

Также в главе описаны существующие формы организации материально-технического снабжения, с выделением толкающих и тянущих систем. Рассмотрены их достоинства и недостатки.

На основе проведенного анализа определены цели и задачи исследования.

Во второй главе – “Разработка организационно-экономических методов и моделей управления системой материально-технического снабжения производственных процессов” – производится исследование системы материально-технического обеспечения запасными частями производственно-технологических процессов производственных систем машиностроительного производства.

Рассматриваются основные виды систем материально-технического снабжения производства запасными частями.

Чтобы обеспечить наличие требуемых запасных частей на предприятии во время выполнения ремонта, предприятие должно либо иметь свой собственный склад запасных частей, либо получать запасные части в течение определённого времени после размещения заказа на них.

Ремонт может осуществляться с применением как запасных частей, хранимых на складе предприятия, так и приобретаемых по мере необходимости.

Для решения этой проблемы исследованы следующие базовые виды систем снабжения производства запасными частями:

- 1) Создание собственного склада запасных частей;
- 2) Приобретение запасных частей у их производителей по мере необходимости;
- 3) Объединение со смежниками:

а) Создание складов запасных частей на предприятии и у смежников для совместного хранения запасных частей;

б) Изготовление запасных частей смежниками.

- 4) Самостоятельное изготовление запасных частей;

- 5) Использование распределительной системы.

Для сравнения различных вариантов систем обеспечения производства запасными частями были исследованы затраты, связанные с функционированием этих систем. Чтобы избежать сильного усложнения математической модели, в работе предлагается объединить затраты в пять больших обобщенных групп по видам деятельности:

- 1) затраты на приобретение запасных частей. В эту группу войдут все затраты, связанные с приобретением, размещением и отслеживанием заказа, затраты за срочность заказа и т.д.;
- 2) затраты, связанные с изготовлением запасных частей. В эту группу войдут затраты на материалы, инструмент, заработную плату рабочим и т.д.;
- 3) затраты, связанные с хранением запасных частей. Сюда войдут потери (неликвиды, повреждения при обработке, хищения, порча при хранении, устаревание), стоимость найма помещений, амортизация инвентаря и оборудования, страхование оборудования, имущества и запасов, и заработная плата персонала;
- 4) затраты транспортировки. Эти затраты учитывают расходы на различные виды транспорта, участвующего в доставке. Сюда входят себестоимость при перевозе груза, суммарные затраты на погрузку и выгрузку на протяжении всего маршрута от первого пункта до последнего, затраты на контроль груза в пути, затраты, связанные с потерей груза в пути и т.д.;
- 5) Штрафы от простоя оборудования. В эту группу входят все штрафы, как явные в виде уплаты неустойки или прямых штрафов за невыполнение поставок в

срок, так и скрытые, связанные с потерей репутации, недополученной прибылью или потерей клиентов.

Разработан метод классификации запасных частей и их комплектующих. Классификация позволяет облегчить определение стратегии управления группой, категорией или сегментом, так как учитывает специфические характеристики, но при этом не требует выявления свойств каждого отдельного изделия. Идея заключается в том, что управлять тремя – десятью группами объектов намного проще, чем сотнями – тысячами разрозненных объектов.

Существующие методы классификации ABC, XYZ и XYZ/ABC для деления запасных частей на группы не устраивают, поскольку они больше опираются на стоимость запасных частей и их потребность во времени и практически не учитывают конструктивные особенности. Гораздо удобнее с точки зрения приобретения, хранения, изготовления разделять запасные части на группы по конструктивным особенностям, что, в конечном счете, определяет сложность и возможность самостоятельного изготовления.

Предлагается разбиение запасных частей на четыре группы.

Для каждой группы деталей предлагается выбрать свою систему снабжения производства запасными частями. Совмещение разработанных классификационных групп и систем снабжения представлено в таблице 1.

В группу А входят узлы, агрегаты и сменные модули. Они состоят из некоторого набора элементов. Характеризуются средним спросом. Неисправность, поломка или выход из строя узлов, агрегатов или сменных модулей возникает вследствие повреждения или разрушения элементов, входящих в их конструкцию. В связи с тем, что они состоят из некоторого набора деталей, соединенных между собой по некоторому принципу, обычно, имеют высокую стоимость. Сложность конструкции, как правило, не позволяет их изготовление на предприятии или у смежников. С другой стороны, с ними могут быть произведены восстановительные работы, которые выполняются либо на заводах-изготовителях, либо специализированными ремонтными службами.

В группу В входят крупные корпусные детали. Они, обычно, стоят дешевле узлов и агрегатов. В связи с редкими их повреждениями, потребность в них характеризуется низким и нестабильным спросом. Возможности их хранения порой сильно ограничены в связи с большими геометрическими размерами. Особенности их конструкции, обычно, не позволяют изготовление на предприятии или у смежников, хотя это зависит от рассматриваемого вида производства. В первую очередь, это связано со специфической технологией изготовления, длительной по времени и требующей специального оборудования. Такое оборудование имеют специализированные производства.

В группу С входят средние детали. Они имеют среднюю стоимость. Участвуют не только в ремонте технологического оборудования, но и в ремонте узлов, агрегатов и сменных блоков, входящих в технологическое оборудование. Не требуют каких-то специальных условий хранения. Характеризуются частым и стабильным спросом. Как правило, могут быть изготовлены на предприятии или у смежников.

Таблица 1.

## Совмещение групп деталей и систем снабжения

Группа	Номенклатура	Возможность изготовления	Системы снабжения
А	Узлы, агрегаты	Нет. Приобретение у изготовителей.	Собственный склад
			Приобретение у производителей по мере необходимости
			Распределительный центр
В	Крупные корпусные детали	Нет. Приобретение у изготовителей.	Приобретение у производителей по мере необходимости
С	Средние детали	Есть возможность изготовления собственными мощностями	Собственный склад
			Приобретение у производителей по мере необходимости
			Приобретение и хранение запасных частей смежниками
		Изготовление запасных частей смежниками	
		Возможность изготовления мощностями смежного производства	Самостоятельное изготовление запасных частей
Распределительный центр			
D	Мелкие детали	Есть возможность изготовления собственными мощностями	Собственный склад
			Приобретение у производителей по мере необходимости
			Приобретение и хранение запасных частей смежниками
		Изготовление запасных частей смежниками	
		Возможность изготовления мощностями смежного производства	Самостоятельное изготовление запасных частей
Распределительный центр			

В группу D входят мелкие детали. Имеют низкую и среднюю стоимость. Характеризуются очень частым спросом. Специальных условий хранения не требуют. Как правило, могут быть изготовлены на предприятии или у смежников, но затраты на их изготовление выше, чем на приобретение на их заводе-изготовителе.

Взаимосвязь между группами запасных частей, системами снабжения ими производства и видами затрат представлена на рисунке 1.

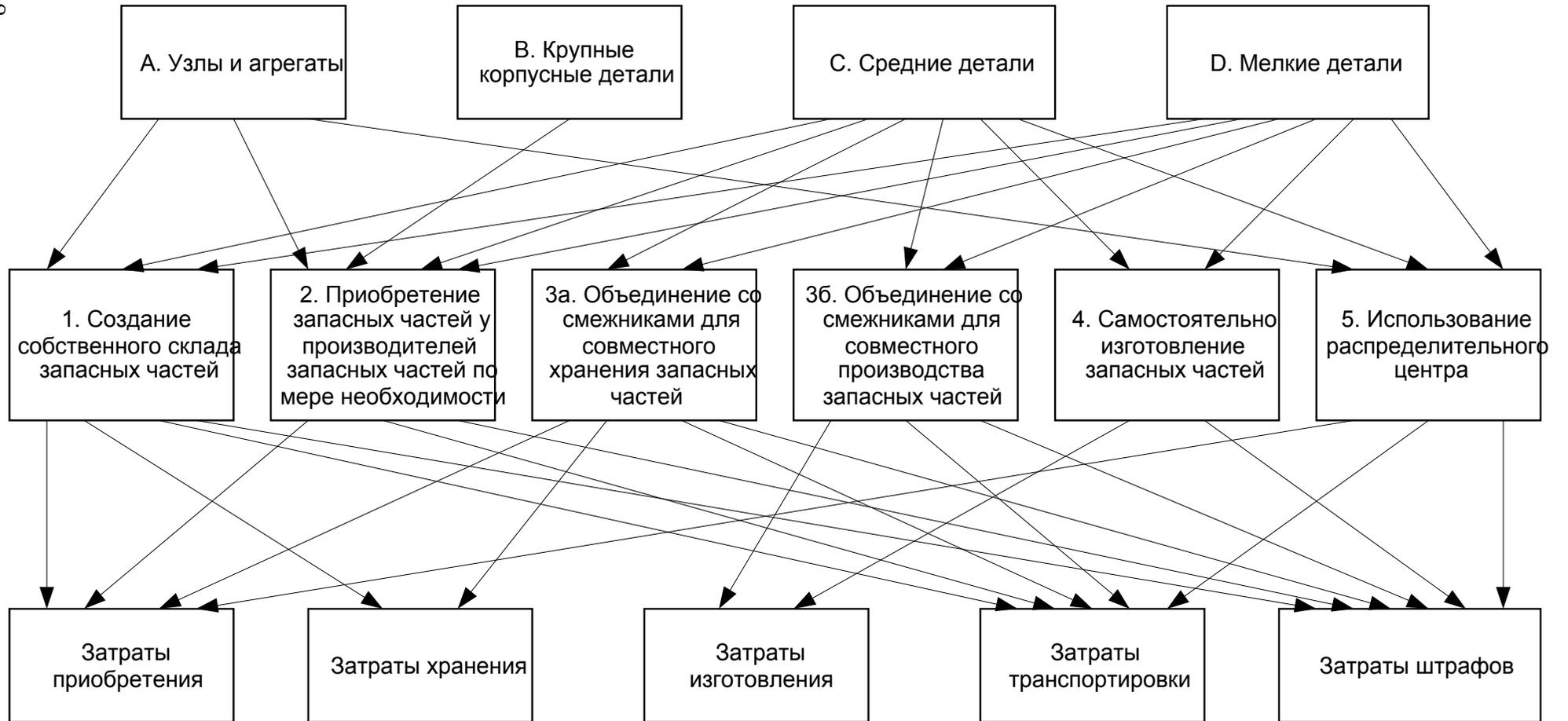


Рис.1. Взаимосвязь между группами запасных частей, системами снабжения запасными частями и видами затрат.

Для сравнения выгодности хранения и приобретения или изготовления запасных частей необходимо определить количества ТОиР, время их выполнения и потребляемые количества запасных частей, узлов и агрегатов по номенклатурам. Вообще, при функционировании производства остро встает проблема точного и своевременного расчета номенклатуры и количества запасных частей, потребность в которых возникает в процессе эксплуатации.

Для выполнения таких расчетов могут использоваться методы имитационного моделирования. Методы имитационного моделирования позволяют не только строить прогнозы на будущее касательно ТОиР, которые будут выполняться в ближайшее время, продолжительности их выполнения, объемах запасных частей по номенклатурам, потребляемых в их процессе, но и в настоящем времени корректировать регламент проведения ТОиР.

Для этих целей, разработана блок-схема моделирования процесса возникновения отказов при эксплуатации технологического оборудования, которая позволяет получать необходимые начальные данные для математической модели сравнения выгодности хранения и приобретения или изготовления запасных частей. Она представлена на рисунке 2.

В качестве исходных данных задаются начальные данные работы системы, такие как используемое технологическое оборудование, различные данные по деталям, узлам и агрегатам, особенности их эксплуатации, параметры наработок на отказ и др.

В качестве параметров задаются данные о режимах работы технологического оборудования, коэффициентах износа и др., которые могут меняться как между процессами моделирования, так и в течение них. Эти параметры могут меняться в зависимости от стратегии проведения ТОиР, которая, в свою очередь связана с накоплением системой статистических данных по эксплуатации.

В качестве выходных данных модели имитационного моделирования и начальных данных оптимизационной математической модели будут являться:

- 1) количество ТОиР;
- 2) продолжительности выполнения ТОиР;
- 3) интервалы времени между ТОиР;
- 4) продолжительность ожидания начала выполнения ТОиР;
- 5) количество запасных частей по видам, потребляемых в процессе выполнения ТОиР;

Затраты на приобретение, транспортировку, изготовление и хранение запасных частей на единицу и штрафы от их отсутствия в единицу времени для математической модели определяются отдельно.

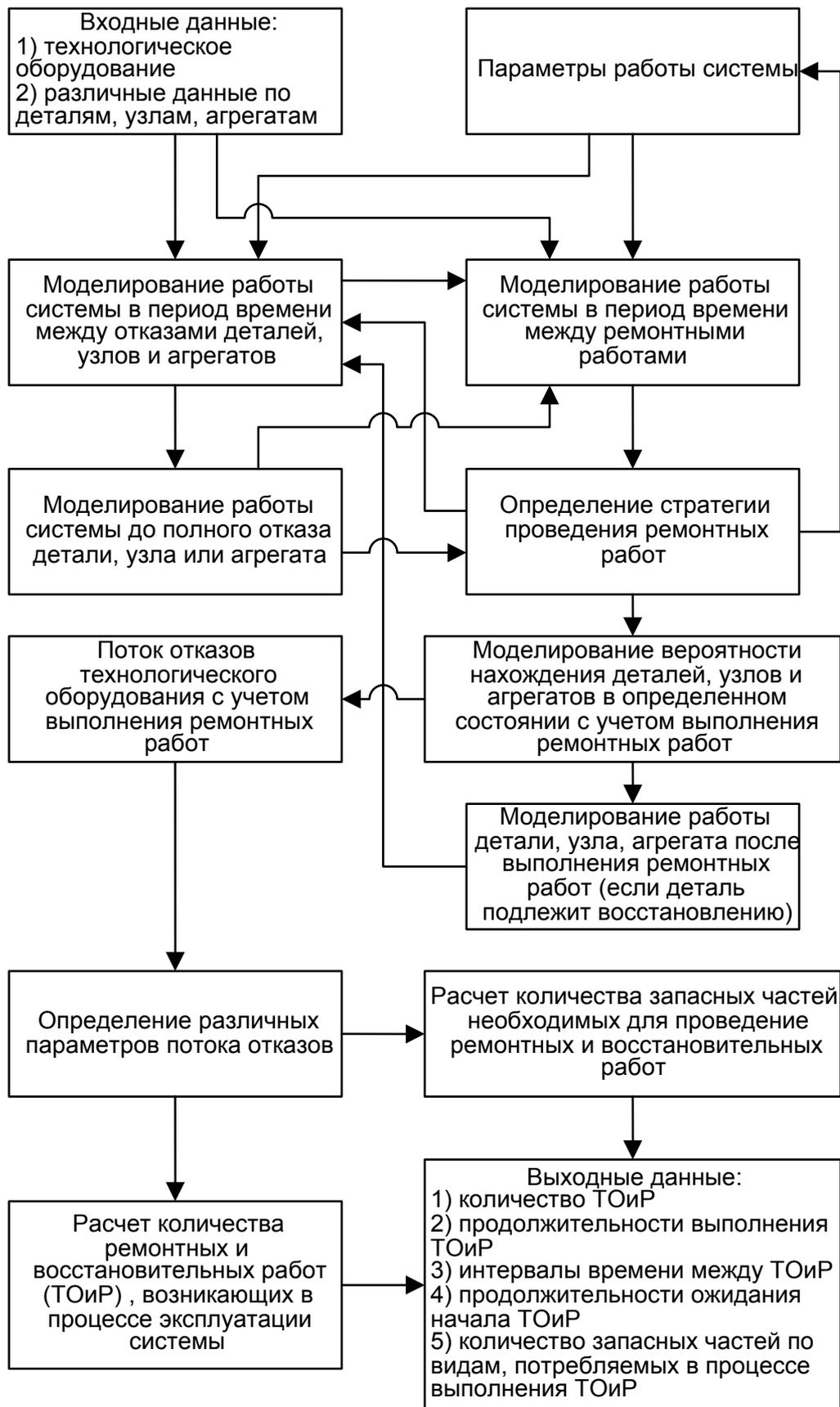


Рис.2. Блок-схема моделирования процесса возникновения отказов при эксплуатации технологического оборудования.

На основе математической модели разработана модель оптимизации системы материально-технического снабжения.

Оптимальные объемы приобретения, хранения, изготовления и транспортировки будут достигаться при минимизации общих затрат системы МТО в течение  $m$  работ по ТОиР:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{k,i,j}^{npуб.} \cdot q_{k,j} + \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{k,i,j}^{соб.скл.} \cdot c_{k,j} \cdot t_i + \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{k,i,j}^{изг.} \cdot e_{k,j} + \\ & + \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{k,i,j}^{мп.} \cdot s_{k,j} + \sum_{i=1}^m \int_0^{t_i^{np.}} h_i(t) \cdot dt \rightarrow \min \end{aligned} \quad (1)$$

где  $k$  – номер варианта системы снабжения, введен для минимизации суммарных затрат по всей системе материально-технического обеспечения запасными частями;

$i$  – номер работы по ТОиР,  $i = \overline{1, m}$ ;

$j$  – номер вида запасной части,  $j = \overline{1, n}$ ;

$X_{k,i,j}^{npуб.}$  – количество приобретаемых запасных частей в течение  $i$ -го ТОиР;

$X_{k,i,j}^{соб.скл.}$  – количество хранимых на собственном складе запасных частей ко времени начала  $i$ -го ТОиР;

$X_{k,i,j}^{изг.}$  – количество изготавливаемых запасных частей в течение  $i$ -го ТОиР;

$X_{k,i,j}^{мп.}$  – количество транспортируемых запасных частей в течение  $i$ -го ТОиР;

$q_{k,j}$  – затраты на приобретение единицы запасных частей  $j$  – го вида;

$c_{k,j}$  – затраты на хранение единицы запасных частей  $j$  – го в течение единицы времени;

$t_i$  – временной период между работами по ТОиР;

$e_{k,j}$  – затраты на изготовление единицы запасных частей  $j$  – го вида;

$s_{k,j}$  – затраты на транспортировку единицы запасных частей  $j$  – го вида;

$t_i^{np.}$  – продолжительность простоя объекта в течение  $i$  – го ТОиР;

$h_i(t)$  – функция штрафа в единицу времени простоя в течение  $i$  – го ТОиР;

$P_{i,j}$  – потребность производства в запасных частях  $j$  – го вида в течение  $i$  –го ТОиР;

$R_{i,j}$  – объемы изготовления запасных частей  $j$  – го вида в течение  $i$  –го ТОиР;

При решении задачи необходимо учитывать ограничения самостоятельного изготовления в пределах допустимой производственной мощности:

$$0 \leq X_{k,i,j}^{изг.} \leq B_i$$

где  $B_i$  – максимальная возможная производственная мощность в течение  $i$  –го ТОиР;

Объемы приобретения, изготовления и хранения запасных частей не должны быть меньше объемов потребления предприятием в течение ТОиР:

$$\sum_{k=1}^6 X_{k,i,j}^{приоб.} + \sum_{k=1}^6 X_{k,i-1,j}^{соб.скл.} + \sum_{k=1}^6 X_{k,i,j}^{изг.} \geq P_{i,j}$$

Объемы транспортировки не могут быть меньше потребности в запасных частях и больше максимальных объемов возможных поставок:

$$\sum_{k=1}^6 X_{k,i,j}^{тр.} \leq R_{i,j}, \sum_{k=1}^6 X_{k,i,j}^{тр.} \geq P_{i,j}$$

Объемы приобретения, хранения и потребления запасных частей не могут быть отрицательны:

$$X_{k,i,j}^{приоб.} \geq 0, X_{k,i,j}^{соб.скл.} \geq 0, X_{k,i,j}^{расход.соб.} \geq 0, X_{k,i,j}^{расход.смеж.} \geq 0$$

В **третьей главе** – “Разработка метода определения дефицита производственной мощности предприятия при выборе системы снабжения, учитывающей самостоятельное изготовление запасных частей” разрабатываются методы определения производственной мощности и функциональная модель системы управления.

В процессе производственной деятельности машиностроительное предприятие может изготавливать запасные части для удовлетворения нужд собственного производства. Предприятия также могут объединяться для совместного изготовления запасных частей требуемой номенклатуры на тех предприятиях, которые имеют возможность их изготовления (объединяются по технологическому принципу изготовления запасных частей). Кроме того, возможен вариант, когда предприятия производят запасные части не только для смежников, но и для других сторонних предприятий, которые размещают заказ на изготовление запасных частей.

Для решения вопроса возможности самостоятельного или в объединении со смежниками изготовления запасных частей, как для собственных нужд, так и для сторонних предприятий в течение некоторого ограниченного допустимого времени после размещения заказа существуют различные подходы.

Для решения таких задач успешно могут быть применены методы имитационного моделирования или аналитические методы.

Производственная система обрабатывает детали (запасные части) различных типов и видов. Каждый вид деталей требует выполнения производственных операций на определенных типах производственного оборудования в последовательности, которая задается маршрутом обработки. Характеристики изготовления одной запасной части каждого вида задаются заранее и определяются в виде параметров.

Количество этапов обработки, последовательность прохождения технологического оборудования и среднее время обработки для различных видов технологических операций для всех типов деталей и видов используемого технологического оборудования определяются с помощью атласов, справочников и расчетов различных параметров обработки и вносятся в модель как входные данные.

Производственная единица обладает некоторой производственной мощностью, которая определяется видом технологического оборудования и позволяет выполнять на ней только те виды работ, для которых она предназначена. Совокупность этих производственных единиц составляет общую производственную мощность.

Аналитический метод выглядит следующим образом.

Пусть имеется  $N$  видов технологического оборудования, каждый вид из которых имеет производственную мощность  $b_i$ . Причем, каждая мощность может быть разбита на более мелкие компоненты по какому-либо признаку (по видам технологической обработки или по моделям технологического оборудования, используемого в процессе изменения формы заготовки или полуфабриката). Таким образом,  $N$  может быть числом предприятий, цехов, станков и даже числом рабочих, занятых в том или ином виде деятельности. Для краткости будем в дальнейшем называть их производственными единицами.

Общая производственная мощность представляется в виде вектора объединенных производственных мощностей:

$$b = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_N)$$

где  $i$  – индекс производственной единицы;

Заказ на изготовление запасных частей определенной номенклатуры и в определенных объемах описывается в виде вектора заказа:

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_M)$$

где  $j$  – индекс запасной части по номенклатуре;

$M$  – число номенклатур запасных частей;

$C_j$  – число заказываемых запасных частей  $j$ -го вида;

В связи с тем, что комплектующие изделия и полуфабрикаты для одних производственных единиц могут выпускаться на других производственных единицах, полный продукт описывается с помощью вектора объема выпуска  $X$ :

$$X = (C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_M, X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_P)$$

где  $k$  – индекс комплектующего изделия или полуфабриката;

$P$  – число видов комплектующих изделий или полуфабрикатов;

$X_k$  – число комплектующих изделий или полуфабрикатов  $k$ -го вида;

В соответствии с вектором  $X$  формируется матрица  $A$  прямых расходов комплектующих изделий и полуфабрикатов.

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1,M+P} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & a_{m,l} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{M+P,1} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{M+P,M+P} \end{pmatrix}$$

где  $m, l$  – индекс запасной части, комплектующего изделия или полуфабриката (ниже просто изделия);

$a_{m,l}$  – затраты  $m$ -го изделия на единицу  $l$ -го изделия (при  $m=l$   $a_{m,l}=1$ );

Таким же образом формируется матрица расхода производственных ресурсов  $B$ , размерностью  $N \times (M+P)$ .

$$B = \begin{Bmatrix} b_{1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & b_{1,M+P} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & b_{i,j} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{N,1} & \cdot & \cdot & \cdot & b_{N,M+P} \end{Bmatrix}$$

где  $b_{i,j}$  – затраты  $i$  –го производственного ресурса (ресурса  $i$  –й производственной единицы) на единицу  $j$  –го изделия;

Вектор потребности в производственных мощностях  $b_{II}$ , которые могли бы полностью обеспечить выполнение заявки в течение приемлемого отрезка времени:

$$b_{II} = B \cdot A^* \cdot C_{mod} \quad (2)$$

где  $C_{mod}$  – модифицированный вектор заявки;

$A^*$  – матрица полного расхода комплектующих изделий и полуфабрикатов;

Модифицированный вектор заявки вводится для того, чтобы размерность вектора заявки равнялась размерности вектора объема выпуска:

$$C_{mod} = (C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_M, 0, 0, \dots, 0, \dots, 0)$$

Матрица полного расхода комплектующих изделий и полуфабрикатов определяется с помощью соотношения:

$$A^* = (E - A)^{-1} \quad (3)$$

где  $E$  – единичная матрица;

Таким образом, вектор потребности в производственных мощностях:

$$b_{II} = B \cdot (E - A)^{-1} \cdot C_{mod} \quad (4)$$

Дефицит мощности по производственным единицам выражается вектором  $\Delta b$ :

$$\Delta b = b - b_{II} = b - B \cdot A^* \cdot C_{mod} = b - B \cdot (E - A)^{-1} \cdot C_{mod} \quad (5)$$

Дефицит мощности по производственным единицам определяет через трудоемкость изготовления изделий количество позиций заказов, которые не будут выполнены в срок. При дефиците собственной производственной мощности можно часть заказа перенести на производство предприятий-смежников. В этом случае, аналогичным образом, необходимо рассмотреть, имеют ли смежники достаточную производственную мощность, или возникает ее дефицит.

Можно добиться увеличения собственной производственной мощности без увеличения количества используемого технологического оборудования. Для этого применяются более эффективные методы обработки, внедряются другие способы получения заготовок или используются специализированные инструменты (например, фасонные).

Отличительная особенность аналитического метода от метода имитационного моделирования в том, что он обладает меньшей трудоемкостью, но при

этом не учитывает влияние многих факторов. При предварительных расчетах и расчетах, не требующих высокой точности аналитический метод при меньших временных и других затратах позволяет определить направления увеличения эффективности и определить объемы дефицита мощностей. С другой стороны, метод имитационного моделирования позволяет более подробно проанализировать достоинства и недостатки организационной структуры, что довольно сложно сделать с помощью аналитических методов.

Далее разработаны модели потокового взаимодействия в системе обеспечения производства запасными частями. Функциональные модели системы материально-технического обеспечения запасными частями разработаны в методологии IDEF0. Контекстной является диаграмма “Материально-техническое обеспечение”. Она делится на блоки классификации по группам, классификации по системам снабжения и обеспечения запасными частями. Декомпозиция блока обеспечения запасными частями представлена на рисунке 3.

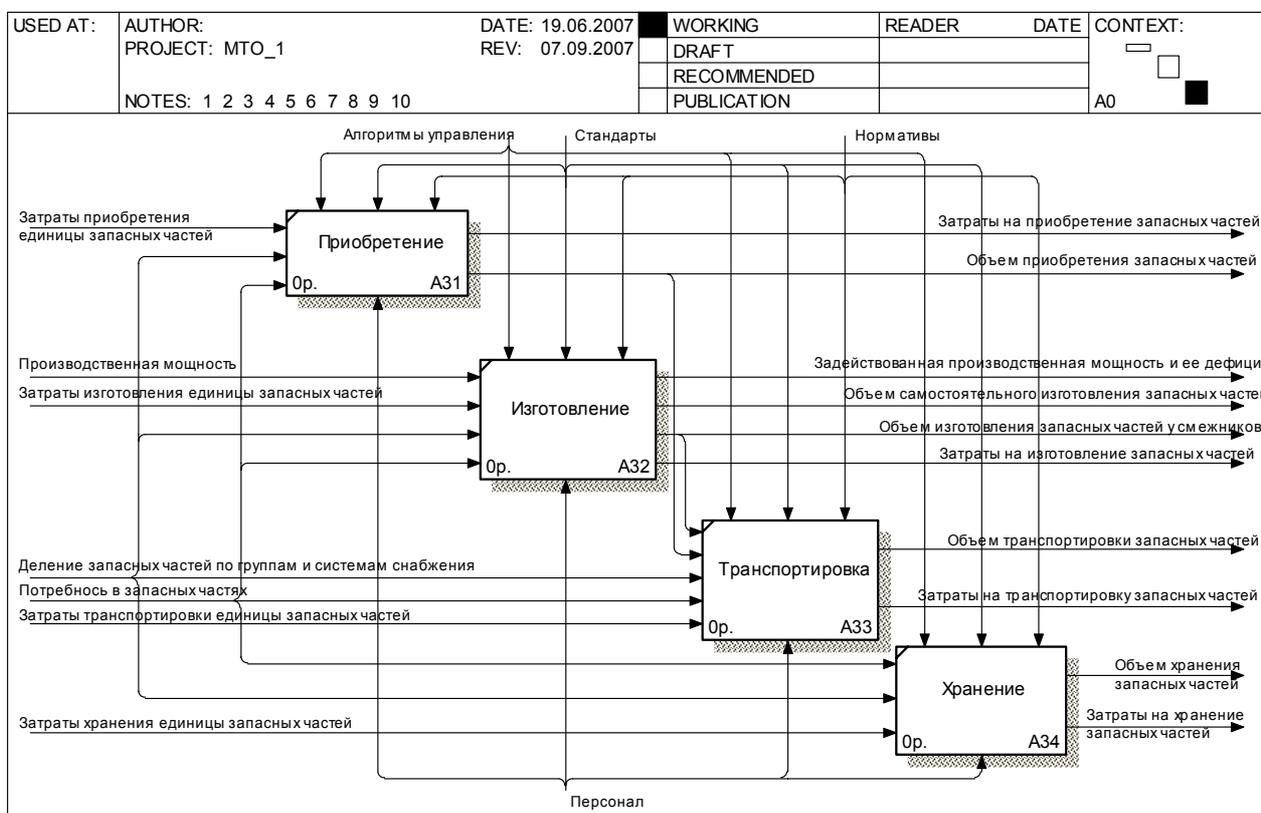


Рис.3. Декомпозиция блока обеспечения запасными частями.

Функциональная модель является основой для проектирования организационной структуры. На ее основе определяются базовые структуры (службы, отделы) подразделения обеспечения запасными частями и области ответственности этих структур.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основе анализа системы материально–технического обеспечения машиностроительного производства были исследованы существующие методы и модели управления обеспечением, и выделены базовые варианты систем снабжения производства запасными частями.
2. Разработана модель процесса эксплуатации и на ее основе предложен алгоритм определения продолжительности простоев оборудования и потребности в запасных частях.
3. Разработан классификатор запасных частей, учитывающий конструктивные особенности элементов технологического оборудования, сложность их изготовления и возможности производства на собственных технологических мощностях.
4. Разработана экономико-математическая модель оптимизации системы материально-технического обеспечения, позволяющая минимизировать затраты, возникающие в различных вариантах систем снабжения в соответствии с разработанным классификатором.
5. Разработан аналитический метод определения дефицита производственной мощности при самостоятельном изготовлении запасных частей или изготовлении на предприятиях-смежниках.
6. Разработана функциональная модель системы материально-технического обеспечения предприятия машиностроительного производства запасными частями.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Ванюжин А.В. Системы обеспечения производства запасными частями // Известия вузов. Машиностроение. – 2006. – № 12. – С. 75-82.
2. Бром А.Е., Ванюжин А.В. Разработка метода выбора системы снабжения запчастями для технологического оборудования машиностроительного производства // Известия вузов. Машиностроение. – 2007. – № 8. – С. 70-78.
3. Ванюжин А.В. Разработка метода выбора системы снабжения подъемно-транспортного оборудования запасными частями // Подъемно-транспортное оборудование. – 2007. – № 8. – С. 34-37.