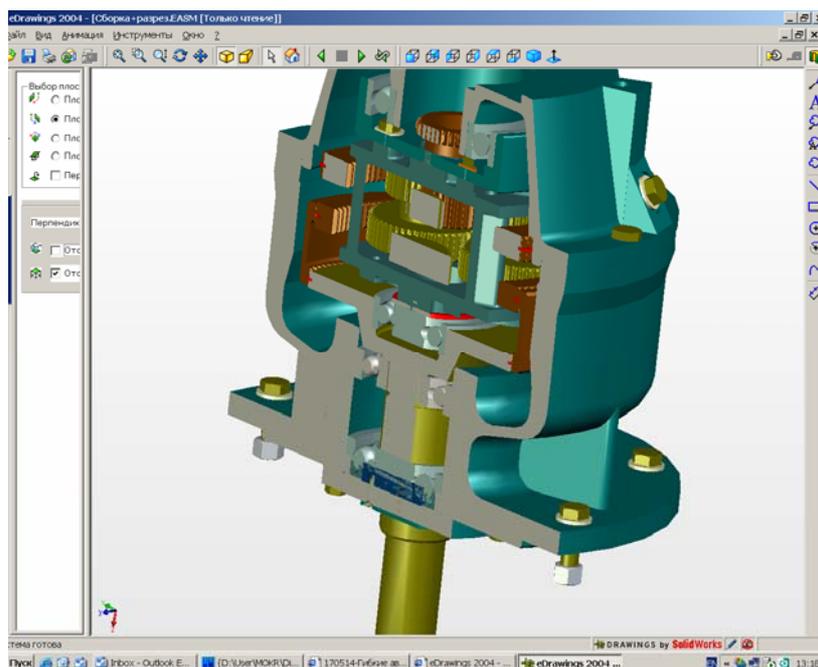


Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров,
В.Г. Мокрозуб, В.Г. Однолько

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЦЕДУРНЫЕ МОДЕЛИ
СИНТЕЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров,
В.Г. Мокрозуб, В.Г. Однолько

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЦЕДУРНЫЕ МОДЕЛИ СИНТЕЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ**

*Допущено учебно-методическим объединением по образованию
в области химической технологии и биотехнологии
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
"Машины и аппараты химических производств"*



Тамбов
Издательство ТГТУ
2007

УДК 621:303.725.23(075)
ББК К651.6я73
И741

Рецензенты:

Заведующий кафедрой "Автоматизированное
конструирование машин и аппаратов" Московского
государственного университета инженерной экологии,
Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор
А.С. Тимонин

Заведующий кафедрой "Компьютерно-интегрированные системы
в химической технологии" РХТУ им. Д.И. Менделеева,
доктор технических наук, профессор
А.Ф. Егоров

И741 Информационные и процедурные модели синтеза экологически безопасных технологических процессов химико-термической обработки изделий из металлов : учебное пособие / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, В.Г. Мокрозуб, В.Г. Однолько. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 108 с. – ISBN 978-5-8265-0666-0.

Целью данного учебного пособия является формирование у студентов и специалистов инженерного профиля системного подхода к разработке информационных и процедурных моделей, используемых при автоматизированном синтезе экономичных экологически безопасных технологических процессов химико-термической обработки изделий из металлов.

Предназначено для студентов 4 курса направления 240800 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» дневной формы обучения, магистрантов, аспирантов, использующих современные информационные технологии при решении задач конструирования машиностроительных изделий.

УДК 621:303.725.23(075)
ББК К651.6я73

ISBN 978-5-8265-0666-0

технический университет" (ТГТУ), 2007

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный

Учебное издание

МАЛЫГИН Евгений Николаевич,
НЕМТИНОВ Владимир Алексеевич,
ЕГОРОВ Сергей Яковлевич,
МОКРОЗУБ Владимир Григорьевич,
ОДНОЛЬКО Валерий Григорьевич

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЦЕДУРНЫЕ МОДЕЛИ СИНТЕЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ**

Учебное пособие

Редактор Е.С. Мордасова
Компьютерное макетирование Е.В. Корблевой

Подписано в печать 17.12.07
Формат 60 × 84/16. 6,28 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 819

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX в. инструментальное оснащение разработчиков технических средств кардинально изменилось. На смену логарифмической линейке, кульману, ластик и карандашу пришли рабочие станции, графические и моделирующие программные комплексы и т.д. это позволило избавить людей от многих рутинных операций по обработке конструкторской и технологической документации вплоть до изготовления. Понятия "механизм" и "конструкция", тысячелетиями верой и правдой служившие для описания всех создаваемых технических объектов, уже не могли быть использованы для характеристики изделия, соединяющего в себе механические, электрические, газодинамические и другие взаимодействия. Активному использованию в роли такого понятия термина "система" мешала его неопределенность. Действительно, вместо развития положений Л. фон Берталанффи о системе как целостной совокупности элементов, обеспечивающих эквивалентность достижения некоторой цели, с "легкой" руки математика М. Месаровича [32] возникла и быстро завоевала ведущие позиции традиция формально-множественного определения. Понятие "система" было фактически примитивизировано до характеристики объединения элементов, хотя сам Л. фон Берталанффи настаивал на том, что не всякая совокупность элементов является системой. Среди отечественных ученых эту позицию наиболее последовательно отстаивал академик П.К. Анохин.

Следует отметить, что даже такое усеченное использование концептуальных положений Л. фон Берталанффи, дополненных идеями Н. Винера, вкупе с вновь появившимися математическими методами (исследование операций, линейное программирование и т.п.), стало основой выдающихся достижений в современной технике [3].

Любая деятельность, связанная с проектированием, требует привлечения большого количества знаний, начиная от знаний здравого смысла, и заканчивая узкоспециализированными знаниями. Часть их представлена в явном виде, т.е. они зафиксированы в печатных источниках типа книг, статей, руководств, нормативных материалов, содержатся в электронных системах хранения информации и т.п., другая часть знаний, находится в головах людей и представляет собой опыт и экспертные знания специалистов, которые могут быть потеряны для организации с уходом специалиста. Поэтому в последнее время внимание многих научных производственных структур обращено на направление Управление знаниями (Knowledge Management).

Знания рассматриваются как трудноподдающийся оценке актив, который является ключевым фактором достижения преимуществ перед конкурентами. Однако большинство структур до последнего времени мало обращало внимание на управление этим активом. Использование парадигмы управления знаниями для систем автоматизированного проектирования, особенно работающих над общим проектом в сетевом режиме или режиме виртуального предприятия, может привести к лучшим, более быстрым и более экономичным решениям, чем при традиционном подходе.

В условиях разработки новой информационной технологии и перехода к безбумажным методам проектирования и безлюдному производству жизненный цикл (ЖЦИ) изделия, включающий проектирование, производство и эксплуатацию, подразделяется на ряд стадий и этапов. Эффективная взаимосвязь этапов обеспечивается в технологической среде CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции).

Единая модель изделия (и производственной среды) должна отражать информацию о различных этапах ЖЦИ, о различных версиях изделия, возникающих в результате усовершенствования изделия или в результате необходимости удовлетворять потребности заказчика. Так же эта информация должна относиться к различным предметным областям. Эти особенности единой модели изделия и производственной среды приводят к тому, что такая модель должна состоять из отдельных фрагментов, каждый из которых содержит информацию, относящуюся к одной предметной области, к одной из версий изделия и имеющую ту степень детализации, которая соответствует конкретному этапу жизненного цикла изделия.

Использование единой модели изделия и производственной среды дает следующие преимущества:

- снижение затрат ресурсов, требуемых для полного сопровождения жизненного цикла изделия;
- ускорение подготовки производства изделий;
- повышение качества.

Эти преимущества достигаются за счет интеграции данных, снижения затрат на передачу данных между задачами, относящимися к смежным предметным областям.

Наиболее подходящими средствами интеграции данных являются информационные CALS-стандарты ISO 10303 STEP, ISO 1584 PLIB, ISO 15531 MANDATE, ISO 18876 IDEAS, UN/EDIFACT, XML [31]. Все эти стандарты согласованы между собой и позволяют создать единую модель, содержащую все необходимые данные.

Стандарт ISO 1584 PLIB регламентирует структуру и состав структурированных библиотек изделий. Анализ полного ЖЦИ показывает, что PLIB может использоваться для следующих трех целей:

- представление информации об имеющихся в распоряжении предприятия товара и услугах на этапе маркетинга;
- информационная поддержка процесса конструкторской и технологической подготовки производства;
- ведение каталога запасных частей изделия на этапе эксплуатации.

Основным строительным блоком CALS являются стандарты, позволяющие обеспечить интероперабельность данных в процессе проектирования, производства и эксплуатации изделия. Под интероперабельностью понимается соблюдение определенных правил или привлечение дополнительных программных средств, обеспечивающих возможность взаимодействия независимо разработанных программных модулей, подсистем или даже функционально завершенных программных систем. Одним из базовых стандартов CALS является стандарт (серия стандартов) ISO 10303 STEP. Стандарт ISO 10303 STEP и ГОСТ Р ИСО 10303 определяют технологию электронного представления данных об изделии – данных о составе изделия, его свойствах, геометрических моделях, авторах, изменениях и т.д. Стандарт определяет, с одной стороны, логическую модель данных, позволяющую описать различные изделия с учетом вхождения одних и тех же составляющих в разные изделия, описать правила формирования различных конфигураций изделия по датам, количеству и серийным номерам и т.д., т.е. представляет собой готовое решение на основе которого можно создать очень логично организованную базу инженерных данных. С другой стороны, стандарт определяет способ представления всех перечисленных данных в форме так называемого обменного файла. Обменный файл – это некий транспортный формат, в котором можно передавать

данные между различными системами. В этом виде можно передавать не только геометрические модели, но и состав изделия, и всю остальную информацию. Необходимо отметить, что сегодня практически все CAD/CAM системы поддерживают эту технологию.

Еще одно направление CALS-технологий – разработка программных средств для создания и поддержки интерактивного электронно-технического руководства (ИЭТР) на изделия. ИЭТР – это электронная публикация, позволяющая заменить огромный объем бумажной документации на изделие, это база данных (БД), структурированная таким образом, чтобы ей было удобно пользоваться в ходе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Информация, создаваемая на этапе технологической подготовки производства (ТПП), составляет большую часть общей информации ЖЦИ. Эта информация порождается в различных системах пользователей различными методами. И одной из проблем создания электронной модели изделия является проблема интеграции результатов деятельности многих специалистов с обеспечением возможности многократного использования созданной информации. Решение этой проблемы создатели CALS-технологий видят в использовании PDM-систем.

Процесс управления этапами жизненного цикла промышленного продукта относится к категории сложных объектов, которые состоят из большого числа взаимодействующих элементов и обладают свойством "поведения".

В данной работе рассматривается один из этапов ЖЦИ, а именно, информационная поддержка процесса конструкторской и технологической подготовки производства (стандарт ISO 13584 PLIB).

1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Все больше промышленных предприятий переходят к компьютерным технологиям в целях повышения эффективности подготовки производства, понимая, что без этого просто не выжить. Эта тенденция, безусловно, положительно влияет на развитие российского рынка систем проектирования и сопутствующих приложений. Возник широкий круг предложений систем проектирования различного уровня и направлений, как от отечественных, так и от зарубежных производителей. Главным техническим критерием при выборе системы является способность решать задачи, стоящие перед проектировщиками. В основном эти задачи являются схожими – конструирование изделий, разработка рабочих чертежей, технологическое проектирование, трехмерное моделирование, подготовка программ для станков с ЧПУ и т.д. Большинство систем, существующих на рынке, в той или иной степени предлагают различные решения этих задач. В этом смысле на выбор той или иной системы влияет ее функциональность, удобство в работе, стоимость. Однако есть еще одна важная проблема, которая в последнее время стала весьма актуальной для проектировщиков: как решить весь возникающий комплекс задач в едином ключе без необходимости объединения слабосвязанных программных средств да еще предлагаемых различными поставщиками.

Повышение эффективности технологического проектирования базируется на развитии новых форм представления и анализа технологической информации. Разработка систем информационного сопровождения процессов технологического проектирования, основанных на методах геометрического моделирования, методах создания и обслуживания объектно-ориентированных БД, а также методов распознавания и хранения образов, позволяет по-новому представлять и проектировать ТП.

Задача проектирования ТП относится к разряду многофакторных, одновременный учет которых представляет весьма сложную проблему, решение этой задачи следует искать путем разработки приемлемой для проектирования ТП и отражающей реальное состояние производства

формализованной методики, базирующейся на применении систем электронных графических каталогов, учитывающих конструктивные, технологические, организационные и другие ограничения.

В области создания средств автоматизации технологической подготовки машиностроительных производств существуют следующие виды направлений: системы автоматизации проектирования, автоматизация технологических процессов и производств, автоматизированные системы управления и др. В настоящее время по каждому направлению существует большой список работ, в которых авторы с разных позиций рассматривают процесс конструирования машиностроительных изделий. Рассмотрим последние из них.

В последние годы появляются прикладные программные системы, претендующие на поддержку единой модели изделия и производственной среды. В качестве примеров назовем (понимая при этом несопоставимость масштабов приведенных примеров) системы СПРУТ, САТИА 5.2 (IBM + Dassault), разрабатываемый на базе проекта CALS NATO фирмами PTC, BAAN и др., проект PLCS (Product Life-Cycle Support).

В настоящее время все больше российских промышленных предприятий внедряют компьютерные технологии. Автоматизация подготовки производства позволяет предприятиям быстро реагировать на изменение спроса, в короткие сроки выпускать новые виды продукции. Наличие технологических подразделений характерно именно для российских предприятий, поэтому ни одна зарубежная система не может оказать помощь в решении вопросов автоматизации технологического проектирования.

Интеграция систем T-FLEX CAD (параметрическое моделирование) и ТехноПро стала удачным результатом сотрудничества фирмы "Топ Системы" и фирмы "Вектор" в создании программного продукта T-FLEX/ТехноПро. Предлагаемый комплекс программных средств позволяет осуществить параллельную автоматизацию конструкторских и технологических подразделений предприятия. Совместное использование данных систем позволяет избежать двойного ввода информации. Конструктор создает чертежи изделия в T-FLEX CAD, затем эти чертежи поступают к технологу, который, используя T-FLEX CAD и систему T-FLEX/ТехноПро, вносит недостающую технологическую информацию (сведения об элементах конструкции), которая сохраняется в чертеже. Технологическая информация с чертежа автоматически считывается системой T-FLEX/ТехноПро, с помощью которой технолог проектирует требуемые технологические процессы изготовления изделия.

В T-FLEX/ТехноПро наряду с оригинальным методом проектирования по "общим технологическим процессам" реализованы и традиционные методы: по типовому, групповому, технологическому проекту-аналогу. Технолог сам выбирает метод проектирования, наиболее подходящий в конкретном случае, а также способ его использования. В T-FLEX/ТехноПро заложена возможность ее обучения пользователями и самообучение системы на примерах технологии конкретного производства. Обучение системы ведется технологическими понятиями, без какого-либо формализованного языка программирования. Основой для обучения системы являются технологические процессы изготовления конкретных изделий, технология изготовления которых уже отлажена на производстве. По мере наполнения БД система обретает возможность проектирования технологии изготовления совершенно новых изделий, которых еще не было в производстве.

В отличие от других систем T-FLEX/ТехноПро позволяет опытному технологу один раз внести правила выбора того или иного маршрута, операции, перехода, инструмента или другого составляющего ТП и далее использовать их автоматически.

Система автоматизации ТП и оперативного планирования производства "САПФОРД" предназначена для решения задач выбора баз и синтеза структур технологических размерных цепей, а также для оптимизации структур производственных циклов конфликтующих заказов. В процессе проектирования объектов, состоящих из множества взаимосвязанных частей (подсистем), проектные работы для каждой из частей в общем случае выполняются различными лицами. Оптимальное решение для каждой подсистемы определяется исходя из ее назначения и выделенных ресурсов. В силу взаимных связей подсистем и ограниченности ресурсов системы в целом достичь наилучших решений для всех подсистем невозможно и

приходится искать оптимальный компромисс решений. Для синтеза оптимальной комбинации решений предложен метод, основанный на начислении на конфликтующие решения штрафных оценок ("метод взаимных штрафов"). Каждый такой штраф выражает прирост цены подсистемы при отказе от конфликта. Согласованный критерий оптимальности подсистемы представляет собой сумму локальной критериальной оценки и штрафов других подсистем. Временная сложность предложенного метода определяется полиномом третьей степени от размера задачи.

Система PDM STEP Suite – система среднего класса, полностью ориентированная на стандарт STEP. PDM – это ядро интегрированной информационной системы, поддерживающей ЖЦИ, т.е. она имеет стандартизованный интерфейс, открытую архитектуру и обеспечивает возможность увязки с чем угодно, от MS Office до систем собственной разработки. На стадии конструирования PDM позволяет интегрировать все проектные данные, полученные разными способами и при помощи различных систем в единую увязанную БД, содержащую данные о всех модификациях, конфигурациях конструируемых изделий и стандартизованных элементов. При производстве подмножество этой БД описывает уже конкретный экземпляр или партию изделий, имеющих конкретный состав и конкретные свойства, полученные в процессе изготовления и зафиксированные в ходе испытаний.

Система автоматизации технологической и конструкторской подготовки производства CAD/CAM ADEM – инструмент конструктора и технолога, система сквозного проектирования, решающая полный спектр задач от формирования облика изделия до подготовки программ для станков с ЧПУ, включая полный комплект конструкторской и технологической документации.

В монографии [59] изложены теория, принципы и методология построения "Прогрессивного Рангового Оценочного Комплексного Согласованного Интеллектуального Механизма с Адаптацией" (ПРОКСИМА). Прогрессивность такого механизма соответствует росту оценки и поощрения организации при увеличении эффективности его функционирования, согласованность – близости целей организации и управляющего органа (центра). Главным условием эффективности данного механизма, обеспечивающего возможность перехода к решению практических задач управления, является понимание и использование лицом, принимающим решения (ЛПР), заложенных в механизме процедур, приемов и методов. В последнее время появилась возможность достичь этого с помощью создания систем искусственного интеллекта, усиливающего интеллектуальный потенциал ЛПР в режиме диалога с ПЭВМ. Это обеспечивается путем использования экспертной системы ПРОКСИМА, включающей базу знаний по управлению жизненным циклом "исследование–производство", подсистему пополнения этой базы знаний и подсистему выводов. Важнейшей составляющей базы знаний является универсальный язык описания объектов управления в цикле "исследование–производство". Этот язык является интегрированным, объединяя и обобщая четыре наиболее часто используемых в централизованном управлении циклом "исследование–производство" языка: ЛПР, АСУ, экономической и организационной теории. Язык обеспечивает возможность разработки многообразных машинно-ориентированных форм плановых и отечественных документов, что, в свою очередь, создает предпосылки для создания адаптивной информационной системы на базе ЭВМ разного уровня. Относительно менее развитым является язык описания технического уровня и качества продукции, включающей систему показателей качества продукции (СПКП) и общие технические требования (ОТТ), содержащие нормативные значения показателей СПКП. Особое место в базе знаний занимают методы, алгоритмы и программы логической и математической обработки исходной информации, основанные на фундаментальных теоретических результатах, достоверных статистических данных, результатах локальных экспертиз и других "жестких" знаниях. В то же время система открыта для "мягких" знаний – экспертных оценок субъективной информации, получаемой от экспертов в процессе работы. Существенно, что развитие и пополнение базы знаний в ПРОКСИМА может осуществляться как непосредственно самим пользователем, так и разработчиком, использующим возможности комплексного развития, заложенные в системе и основанные на усложнении правил, увеличении длины вывода и БД и т.д.

Подсистема выводов содержит процедуры поддержки принятия решений при планировании, финансировании и стимулировании, основанные главным образом на результатах исследований и разработок по проектированию адаптивных механизмов функционирования, а также на используемых в практике государственного управления циклом "исследование–производство" процедурах принятия решений.

Базовая версия ПРОКСИМА реализована на персональной ЭВМ в виде программ на модифицированном языке БЭЙСИК с использованием специальной СУБД "РЕВЕЛЭЙШН".

В работах В.В. Павлова [42, 43] говорится о том, что "при принятии решения о разработке новых изделий необходим анализ содержания и ресурсного обеспечения всех стадий и этапов жизненного цикла планируемого к производству изделия во взаимосвязи с другими аспектами удовлетворения рассматриваемых потребностей, анализ состояния и прогноз изменения потребительских свойств и конкурирующих изделий, спроса, производственных возможностей предприятия и смежных компонентов производительной системы. Системное решение всех задач технологического мониторинга производительной системы осуществляется при моделировании производительной системы с использованием математического аппарата теории полихроматического множества и графов" [41, 49].

В публикации [33] рассматриваются начальные этапы технологической подготовки, на основе интегрированной БД, состоящие из формализованного представления конструкторских спецификаций, задания размеров единичной заготовки и технологических образцов, "политики" расчета размеров и количества заготовок на запускаемую партию, а также алгоритмы формирования "Ведомости материалов" (ВМ) на основании номенклатуры и количества изделий предстоящего заказа. "Ведомость материалов", являясь многофункциональным документом, включает полную информацию о составе предстоящего заказа, заготовках, технологических образцах, маршруте изготовления и, выполняя функции комплектовочной ведомости, обеспечивает расчет потребности в материалах и автоматизированное формирование "Сопроводительных паспортов" на детали и сборочные единицы и регламентирует процесс изготовления и сдачи заготовок в цеха-изготовители.

Такая система запуска заказов в производство создает предпосылки параллельного выполнения работ по подбору, приобретению материалов и изготовления заготовок, с одной стороны, и последующей технологической подготовки, – с другой.

Гибкость идеологии, допускающая формирование ВМ или в соответствии с составом сборочной единицы или по предметно-функциональному признаку, обеспечивающая возможность приоритетного "продвижения" отдельных ВМ по принципу "заказ в заказе" позволяет, в конечном счете, сократить производственный цикл изготовления изделий.

Куликов Д.Д. [22] предлагает новый принцип создания банков данных технологического назначения (для деталей и заготовок, технологических процессов и оснащения, нормативно-справочной информации). В работе [45] разрабатывается рациональная теплотехнология утилизационного подогрева металлических заготовок перед загрузкой в термическую печь. Практическая ценность заключается в том, что дополнительно утилизируется та часть теплоты бросовых продуктов сгорания, идущих в основную утилизационную установку, которая обычно теряется в окружающую среду цеха.

Авторы работы [8] считают оптимальным подходом автоматизации проектирования на основе групповой технологии. "Групповая технология представляется в виде технологического процесса изготовления искусственной (комплексной) детали, обладающей совокупностью признаков некоторой группы конструктивно и технологически подобных деталей. Разработка группового технологического процесса на комплексную деталь предполагает наличие такой группы деталей, для которой можно построить обобщенный маршрут обработки, содержащий все операции в необходимой последовательности для обработки любой детали из этой группы. Модель группового технологического процесса представлена в виде множества упорядоченных операций, где каждая операция содержит описание входящих в нее переходов, оборудования, оснастки. Описание каждого перехода представляет собой упорядоченное множество параметров перехода".

В работе [18] Н.М. Капустин и П.М. Кузнецов предложили использование метода генетических алгоритмов, целью которого является получение лучшего варианта технологического процесса по сравнению с базовым (разработанным с помощью системы САПР на основе экспертной системы и при участии заводского технолога). Данный метод имеет тем более высокую эффективность, чем большее число технологических операций использовано при производстве данного изделия. Варианты оцениваются по критерию себестоимости технологического процесса. В результате проведения расчетов при работе программы, использующей метод генетических алгоритмов на вычислительной машине типа PENTIUM-100, за 20 минут работы был достигнут результат, эквивалентный базовому технологическому процессу. При затратах времени 180 минут был получен вариант технологического процесса, имеющий выигрыш 5 % от стоимости базового технологического процесса.

Авторами работы [46] был выработан новый подход к созданию автоматизированных систем проектирования технологической оснастки, который заключается в том, что "в ходе формализации технических процессов проектирования оснастки создается компьютерная база знаний, содержащая факты (данные) о предметной области и правила, использующие эти данные как основу для принятия решений. Построенные на таком подходе автоматизированные системы в отличие от традиционных САПР и CAD/CAE/CAM – систем будем называть системами автоматизированной поддержки решений (САПИР). Конечная цель создания САПИР при проектировании технологической оснастки – интеграция команд разработчиков, технических процессов и разнородных инженерных дисциплин".

В публикации [20] В.В. Кочетов говорит о том, что "Известные методики экономической и балльной оценки продукции не позволяют объективно определять экономичность и качество конкурирующих образцов и выбирать экономичные параметры при разработке. Одной из причин несовершенства методического обеспечения проектирования явилось информационное противоречие технического прогресса между необходимостью и возможностью получения релевантной информации в условиях конкуренции. Для преодоления противоречия нами раскрыта и формализована прямая зависимость экономических показателей затрат и результатов от технических параметров с помощью индексного метода и выведена технологическая функция эффективности. Под технологической функцией понимается аналитическая экономико-математическая зависимость результатов производства от натуральных затрат основных видов ресурсов. Унификация расчетов основана на едином критерии эффективности производства, новой техники и качества продукции, которым является рост производительности совокупного труда (живого труда, энергии, материалов и др.) с учетом качества продукции".

Авторы работы [47] анализируют современные тенденции развития теории и практики нормирования труда и говорят, что "Затраты труда и других ресурсов прямо зависят от рассматриваемого варианта технологии, составляя с ним единое целое. В производственной сфере это находит отражение в практике разработки операционных технологий с одновременным расчетом режимов работы оборудования и норм времени. Тем самым процесс измерения и нормирования затрат времени, занятости оборудования и работников позволяет оценить затраты на реализацию функций изделия и представляет в значительной мере инженерную задачу.

Многообразие видов норм, методов их определения и трудоемкость расчетов столь значительны, что в некоторых случаях может оказаться целесообразным выделение в составе большинства автоматизированных систем конструкторского и технологического назначения самостоятельной автоматизированной подсистемы (или системы) нормирования (АСН).

В результате выполнения расчетов должны быть определены три вида норм: нормы времени выполнения работ (нормы выработки), нормы обслуживания и нормативы численности персонала. В настоящее время нормируется главным образом производство основной продукции.

После расчета нормативов в АСН весьма просто решаются задачи определения потребности в каком-либо виде ресурсов на производственную программу. Поскольку в АСН определена потребность в ресурсах на единицу изделия или вида работ, то в указанных задачах остается лишь умножить эти данные на величину выпуска изделия, предусмотренную производственной программой".

Обзор вышеперечисленных работ показал, что в области автоматизации ТПП выполнен большой объем исследований и разработано достаточное количество программных средств и систем. Однако ни в одной из этих работ одновременно не учитываются:

– представление комплекса задач технологической подготовки машиностроительного производства (автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения; автоматизированного выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки; автоматизированного выбора ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки) с использованием теории сложных систем;

– оценка технико-экономических показателей конструируемых изделий и экологической безопасности ТП их изготовления;

– использование при проектировании ТП экономического критерия и критерия качества (технологичность процессов изготовления и брак конструируемых деталей при их проведении) и др.

Поэтому мы считаем целесообразным при решении задачи автоматизации технологической подготовки машиностроительного производства учесть вышеперечисленные подходы в соответствии со стандартом ISO 13584 PLIB.

1.1. РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Весь комплекс задач ТПП деталей из металлов образует многоуровневую структуру, состоящую из последовательности подсистем, объединенных информационными потоками. Результатом решения всего комплекса задач является конструкторско-технологическая документация для детали, необходимая для ее изготовления. При этом должны быть выполнены все эксплуатационные свойства и прочностные характеристики детали и всего изделия в целом, в состав которого входит конструируемая деталь.

Обозначим общую задачу технологической подготовки производства деталей из металлов через Z_n . Эта задача включает в себя множество особенно значимых локальных задач:

– выбора вида (марки) металла и вида упрочняющей обработки поверхностей детали, а также способа получения и вида заготовки в зависимости от выбранного вида упрочняющей обработки;

– выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки;

– выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров определенного ранее вида упрочняющей обработки.

При решении каждой из них приходится решать целый ряд более мелких задач. Комплексное решение всех задач, направленное на получение решения задачи Z_n , требует создания сложной иерархической системы автоматизации процесса ТПП, в которую кроме перечисленных задач входят задачи межуровневой координации и задачи, обеспечивающие получение решения в приемлемые сроки (рис. 1.1).

Сформулируем задачу ТПП для изделий из металлов Z_n математически. Пусть: X – множество всех возможных вариантов:

– допустимых видов материалов, используемых для изготовления детали;

– видов упрочняющей обработки, обеспечивающих заданные показатели качества изделия;

– видов заготовок и методов их получения;

– допустимых наборов оборудования для проведения механической, упрочняющей обработок для выбранных способов получения заготовок;

– соответствующих каждому виду обработки приспособлений, видов вспомогательных материалов;

R – множество вариантов технологических процессов механической и упрочняющей обработок изделий из металлов;

V – множество технико-экономических оценок целесообразности изготовления детали, отвечающей всем эксплуатационным требованиям, из выбранного материала с использованием определенного оборудования.

Введем функцию F эффективности выбора варианта решения задачи с учетом его физической реализуемости как отображение декартова произведения $X \times R$ в множество оценок, т.е. $F: X \times R \rightarrow V$ и функцию $Q: R \rightarrow V$. Тогда задачу Z_n можно представить как задачу выбора такого элемента $x^* \in X' \subset X$, при котором:

$$F(x^*, r) U Q(r) \quad (1.1)$$

при любом $r \in R$. Таким образом, x^* является решением задачи Z_n , если при $r \in R$ оценка эффективности $F(x^*, r)$ находится в отношении U к предельной для этого r величине $Q(r)$. В соотношении (1.1) X' – множество допустимых вариантов решений.

Задача Z_n характеризуется набором (X', R, F, Q) . Элемент x^* из X' , удовлетворяющий (1.1), является решением задачи Z_n и характеризуется предикатом $P(x^*, Z_n)$

$$P(x^*, Z_n) \equiv (x^* \text{ есть решение } Z_n). \quad (1.2)$$

Аналогично обозначим задачу выбора вида (марки) металла и вида упрочняющей обработки поверхностей детали, а также способа получения и вида заготовки в зависимости от выбранного вида упрочняющей обработки через Z_v , выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки через Z_m и выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров определенного ранее вида упрочняющей обработки через Z_u . Будем характеризовать задачи Z_v , Z_m и Z_u наборами (X_v, R_v, F_v, Q_v) , (X_m, R_m, F_m, Q_m) и (X_u, R_u, F_u, Q_u) . В практически важных случаях

можно считать $X' = X_v \times X_m \times X_u$, $R = R_v \times R_m \times R_u$ и рассматривать задачу Z_v как сужение задачи Z_n на множестве X_v , Z_m как сужение Z_n на множестве X_m , а Z_u как сужение Z_n на множестве X_u , при этом $x^* = (x_v, x_m, x_u)$.

Отдельные задачи технологической подготовки производства Z_{ij} ($i \in \{1, 2, 3\}$, $j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3$), также могут быть сформулированы в виде (1.1) и охарактеризованы наборами $(X_{ij}, R_{ij}, F_{ij}, Q_{ij})$. Для них, как и для задач Z_g , Z_v и Z_u , имеет место условие (1.2). Общее число задач Z_{ij} равно $N_1 \cup N_2 \cup N_3$.

Обозначим вектором $S_v = (x_{11}, \dots, x_{1N_1})$ совокупность решений задач Z_{1j} , $j = \overline{1, N_1}$. Очевидно, что при определении S_v будут определены $x_v \in X_v$, и этот факт будем характеризовать оператором Θ_v :

$$x_v = \Theta_v(S_v). \quad (1.3)$$

Аналогичные рассуждения будут иметь место и при определении локальных задач в задачах выбора технологических процессов, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки и упрочняющей обработки детали.

Используя введенные обозначения, формализуем основные принципы автоматизированного решения задач ТПП изделий из металлов.

Выбор материала и вида его упрочнения, вида заготовки, наборов оборудования, спецнастки и вспомогательных материалов, а также технологических операций обработки для конструируемой детали осуществляются исходя из эффективности эксплуатации всего машиностроительного изделия. Другими словами – при решении задач Z_v , Z_m и Z_u должен формироваться вектор S_n , который порождает бы решение задачи Z_n , сводящий к минимуму затраты на конструирование и изготовление детали при высокой эффективности и надежности эксплуатации всего изделия.

В свою очередь, при решении задач нижестоящего уровня, например, задач Z_{1j} , $j = \overline{1, N_1}$ должен формироваться вектор S_v , который порождает бы решение задачи Z_v . В формализованном виде это можно записать так:

$$\exists (Z_{1j}, x_{1j}, j = \overline{1, N_1}) : P(x_{1j}, Z_{1j}) \Rightarrow P(x_v, Z_v) \left| \begin{array}{l} x_v = \Theta_g(S_g); \\ S_v = (x_{11}, \dots, x_{1N_1}). \end{array} \right. \quad (1.4)$$

Более частым является достижение экстремума некоторой целевой функции F_v , определенной на множестве $H_v = \{x_v | P(x_v, Z_v)\}$ решений задачи Z_v . В этом случае вместо (1.4) имеем:

$$\begin{aligned} & \exists (Z_{1j}, x_{1j}, j = \overline{1, N_1}) : P(x_{1j}, Z_{1j}) \Rightarrow \\ & \exists (S_v^* = (x_{11}^*, \dots, x_{1N_1}^*), x_{1j}^* = \{x_{1j}\}, j = \overline{1, N_1}) : F_v(\Theta_v(S_v^*)) = \underset{x \in H_v}{extr} F_v(x_v). \end{aligned} \quad (1.5)$$

Условия, аналогичные (1.4) и (1.5), имеют место и в задачах Z_m , Z_u и более высокого уровня.

Решение задач ТПП деталей из металлов должно вестись с принципами общей теории систем, т.е. система автоматизированного конструирования и изготовления должна удовлетворять принципам иерархичности структуры, координации локальных задач относительно задач вышестоящего уровня, совместимости и модифицируемости. Рассмотрим эти принципы.

Иерархичность структуры. В терминах теории систем систему Θ автоматизированного решения комплекса задач ТПП изделий машиностроения (рис. 1.1) можно представить как отношение на декартовом произведении множеств:

$$\begin{aligned} \Theta \subset & R \times M_v \times M_m \times M_u \times D_v \times D_m \times D_u \times W_v \times W_m \times W_u \times \Gamma_v \times \Gamma_m \times \Gamma_u \times \\ & \times L_v \times L_m \times L_u \times \tilde{P}_v \times \tilde{P}_m \times \tilde{P}_u \times \{ \times Z_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times Z_{2j} | j \in N_2 \} \times \\ & \times \{ \times Z_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ Z_v \} \times \{ Z_m \} \times \{ Z_u \} \times \{ Z_n \} \times \\ & \times \{ \times \Theta'_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times \Theta'_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times \Theta'_{3j} | j \in N_3 \} \times \\ & \times \{ \times \Theta''_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times \Theta''_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times \Theta''_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ \Theta_v \} \times \\ & \times \{ \Theta_m \} \times \{ \Theta_u \} \times \{ PPP \} \times \{ Pp \}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

где $\{Pp\}$ – множество решений задачи технологической подготовки производства; M_v, M_m, M_u – множества управляющих сигналов для процесса конструирования в задачах (выбора материала и вида его упрочнения, вида заготовки, определения характеристик допустимого метода получения заготовки, наборов оборудования и вспомогательных материалов, а также технологических операций обработки для детали и др.) нижнего уровня, например, геометрические размеры детали, технологические свойства и прочностные характеристики детали и другие; $D_v, D_m, D_u, W_v, W_m, W_u, \tilde{P}_v, \tilde{P}_m, \tilde{P}_u$ – множества

информационных сигналов о решении локальных задач, например, свойства выбранных марок стали, технологические процессы механической и упрочняющей обработок; типы, характеристики станочного оборудования и печей для упрочняющей обработки; величины критериев локальных задач оптимизации и другие; $\Gamma_v, \Gamma_m, \Gamma_u, L_v, L_m, L_u$ – множества координирующих сигналов для локальных задач нижестоящих уровней, например, категория значимости и серийность детали, наличие металла на складе; длительности отдельных технологических процессов упрочняющей обработки, времени пребывания деталей в печи, норма загрузки деталей в печь и другие.

$$\begin{aligned} M_v &= \{\times M_{1j} | M_{1j} = \{m_{1j}\}, j \in N_1\}; & M_m &= \{\times M_{2j} | M_{2j} = \{m_{2j}\}, j \in N_2\}; \\ M_u &= \{\times M_{3j} | M_{3j} = \{m_{3j}\}, j \in N_3\}; & D_v &= \{\times D_{1j} | D_{1j} = \{d_{1j}\}, j \in N_1\}; \\ D_m &= \{\times D_{2j} | D_{2j} = \{d_{2j}\}, j \in N_2\}; & D_u &= \{\times D_{3j} | D_{3j} = \{d_{3j}\}, j \in N_3\}; \\ W_v &= \{\times W_{1j} | W_{1j} = \{w_{1j}\}, j \in N_1\}; & W_m &= \{\times W_{2j} | W_{2j} = \{w_{2j}\}, j \in N_2\}; \\ W_u &= \{\times W_{3j} | W_{3j} = \{w_{3j}\}, j \in N_3\}; & \Gamma_v &= \{\times \Gamma_{1j} | \Gamma_{1j} = \{\gamma_{1i}\}, j \in N_1\}; \\ \Gamma_m &= \{\times \Gamma_{2j} | \Gamma_{2j} = \{\gamma_{2j}\}, j \in N_2\}; & \Gamma_u &= \{\times \Gamma_{3j} | \Gamma_j = \{\gamma_{3j}\}, j \in N_3\}; \\ \tilde{P}_v &= \{\tilde{p}_v\}; & \tilde{P}_m &= \{\tilde{p}_m\}; & \tilde{P}_u &= \{\tilde{p}_u\}; & L_v &= \{l_v\}; & L_m &= \{l_m\}; & L_u &= \{l_u\}. \end{aligned}$$

Введем определения задач, решаемых в системе, следующим образом:

– для задач нижнего уровня

$$Z_{ij} : R \times \Gamma_{ij} \times D_{ij} \rightarrow M_{ij}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3;$$

– для задачи выбора марки металла, вида упрочняющей обработки, способа получения и вида заготовки

$$Z_v : R \times L_v \times \{\times W_{1j} | j \in N_1\} \rightarrow \{\times \Gamma_{1j} | j \in N_1\};$$

– для задачи выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений и режимных параметров механообработки

$$Z_m : R \times L_m \times \{\times W_{2j} | j \in N_2\} \rightarrow \{\times \Gamma_{2j} | j \in N_2\};$$

– для задачи выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений и режимных параметров упрочняющей обработки

$$Z_u : R \times L_u \times \{\times W_{3j} | j \in N_3\} \rightarrow \{\times \Gamma_{3j} | j \in N_3\};$$

– для задачи верхнего уровня

$$Z_n : R \times \tilde{P}_v \times \tilde{P}_m \times \tilde{P}_u \rightarrow L_v \times L_m \times L_u.$$

Определим: $\{ППП\}$ – множества операторов ТПП (множества математических моделей нижнего уровня: технологических процессов механической и упрочняющей обработок изделий из металлов, принятия технических решений по выбору вида заготовки, вида упрочняющей обработки и т.п.) $ППП : R \times M_v \times M_m \times M_u \rightarrow \{Pp\};$

$\Theta'_{ij} = \{\theta'_{ij}\}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3$ – множества операторов формирования информационных сигналов от процесса ТПП к нижнему уровню иерархической системы для задач

$$Z_{ij} \quad \theta'_{ij} : R \times \{\times M_{1j} | j \in N_1\} \times \{\times M_{2j} | j \in N_2\} \times \{\times M_{3j} | j \in N_3\} \rightarrow D_{ij};$$

$\Theta''_{ij} = \{\theta''_{ij}\}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3$ – множества операторов формирования информационных сигналов от второго уровня иерархии соответственно для задач Z_{ij}

$$\begin{aligned} \theta'_{ij} : R \times \{\times D_{1j} | j \in N_1\} \times \{\times D_{2j} | j \in N_2\} \times \{\times D_{3j} | j \in N_3\} \times \{\times \Gamma_{1j} | j \in N_1\} \times \\ \times \{\times \Gamma_{2j} | j \in N_2\} \times \{\times \Gamma_{3j} | j \in N_3\} \rightarrow W_{ij}. \end{aligned}$$

Аналогичным образом определяются множества операторов формирования информационных сигналов для подсистемы вышестоящего уровня.

Координируемость. В соответствии с принципами теории систем, задачи нижестоящего уровня должны быть скоординированы относительно задач вышестоящего уровня. Для формализации этого принципа переопределим операторы Z_{ij}, Z_v, Z_m, Z_u следующим образом:

$$\forall \gamma_{ij} \in \Gamma_{ij} : Z_{ij}(\gamma_{ij}) : R \times D_{ij} \rightarrow M_{ij}, i \in \{1,2,3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3; \quad (1.7)$$

$$\forall l \in L_v : Z_v(l_v) : R \times \{\times W_{1j} | j \in N_1\} \rightarrow \{\times \Gamma_{1j} | j \in N_1\}; \quad (1.8)$$

$$\forall l_m \in L_m : Z_m(l_m) : R \times \{\times W_{2j} | j \in N_2\} \rightarrow \{\times \Gamma_{2j} | j \in N_2\}; \quad (1.9)$$

$$\forall l_u \in L_u : Z_u(l_u) : R \times \{\times W_{3j} | j \in N_3\} \rightarrow \{\times \Gamma_{3j} | j \in N_3\}. \quad (1.10)$$

Таким образом, согласно (1.7) – (1.10) операторы $Z_{ij}(\gamma_{ij}), Z_v(l_v), Z_m(l_m), Z_u(l_u)$ параметрически зависят от координирующих сигналов $\gamma_{ij}, l_{1g}, l_{2g}, l_{3v}$, поступающих с вышестоящих уровней системы автоматизированного процесса ТПП.

Координируемость относительно вышестоящего уровня требует, чтобы задачи верхнего уровня и множество задач нижнего уровня имели решение, т.е.:

$$\begin{aligned} & (\forall i \in \{1,2,3\} \wedge \forall j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \exists (\gamma_{ij}, m_{ij}) \wedge \exists (l_v, l_m, l_u) : \\ & [P(m_{ij}, Z_{ij}(\gamma_{ij})) \wedge P(\gamma_{ij}, Z_v(l_v)) \wedge P(\gamma_{ij}, Z_m(l_m)) \wedge \\ & \wedge P(\gamma_{ij}, Z_u(l_u)) \wedge P(l_v, l_m, l_u, Z_n)]. \end{aligned} \quad (1.11)$$

Совместимость. Рассмотрим более подробно особенности рассматриваемой системы ТПП. Непосредственный контакт с процессом конструирования и изготовления детали (системой математических моделей функционирования станков и печей, технологических процессов механической и упрочняющей обработок и т.п.) имеют только нижестоящие задачи. Задачи вышестоящего уровня могут воздействовать на процесс ТПП только через задачи нижнего уровня. Поэтому достижение целей глобальной задачи возможно только при координируемости нижестоящих задач относительно глобальной.

Вышестоящая задача, например, Z_u , осуществляя координацию задачи Z_{3j} , преследует свои цели (достижение максимума эффективности от проведения технологического процесса упрочнения поверхностей конструируемой детали). Поэтому задачи, например, $Z_{3j}, j \in N_3$ должны быть координируемы и по отношению к задаче Z_u .

Учитывая перечисленные особенности системы для совместимости целей, которые стоят перед рассматриваемыми задачами (рис. 1.1), координация нижестоящих задач относительно вышестоящего уровня должна быть связана с глобальной задачей. Поэтому введем оператор f_m , отображающий $l = (l_v, l_m, l_u)$ в сигналы, влияющие на процесс конструирования и изготовления детали: $f_m : L_v \times L_m \times L_u \rightarrow M_v \times M_m \times M_u$, т.е. $(m_{ij}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3) = f_m(l_v, l_m, l_u)$. Будем считать известными обратные операторы f_m^{-1} , позволяющие определить l_v, l_m, l_u по (m_{ij}) , т.е. $(l_v, l_m, l_u) = f_m^{-1}(m_{ij}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3)$. Тогда требование совместимости задач в иерархической системе может быть сформулировано в форме:

$$\begin{aligned} & (\forall i \in \{1,2,3\} \wedge \forall j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \exists (\gamma_{ij}, m_{ij}) \wedge \exists (l_v, l_m, l_u) : \\ & [P(m_{ij}, Z_{ij}(\gamma_{ij})) \wedge P(M_v, Z_v) \wedge P(M_m, Z_m) \wedge P(M_u, Z_u)] \Rightarrow \\ & \Rightarrow [P(m_{ij}, Z_{ij}(\gamma_{ij})) \wedge P(f_m^{-1}(m_{ij}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3), Z_n)]. \end{aligned} \quad (1.12)$$

Условие (1.12) означает, что задачи Z_{ij} нижнего уровня скорректированы относительно глобальной задачи Z_n тогда, когда они скорректированы относительно задач Z_v, Z_m, Z_u .

Модифицируемость. В случае, когда в многоуровневой системе отсутствует координируемость, задачи нижнего уровня необходимо модифицировать так, чтобы координируемость имела место. Другими словами, требуется найти такие множества координирующих сигналов $\overline{\Gamma}_v, \overline{\Gamma}_m, \overline{\Gamma}_u, \overline{L}_v, \overline{L}_m, \overline{L}_u$, и такие множества задач $\{\overline{Z}_{ij}\}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3$, а также $\{\overline{Z}_v\}, \{\overline{Z}_m\}, \{\overline{Z}_u\}$, при которых выполняются условия (1.11) и (1.12). Введем предикаты $P_1 =$ (условие (1.11) выполняется) и $P_2 =$ (условие (1.12) выполняется), тогда требование модифицируемости примет вид:

$$\begin{aligned}
& \exists (\overline{\Gamma}_v \subseteq \Gamma_v, \overline{\Gamma}_n \subseteq \Gamma_m, \overline{\Gamma}_u \subseteq \Gamma_u, \overline{L}_v \subseteq L_v, \overline{L}_m \subseteq L_m, \overline{L}_u \subseteq L_u; \\
& \{\overline{Z}_{ij}\} \subseteq \{Z_{ij}\}, i \in \{1,2,3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3; \\
& \{\overline{Z}_v\} \subseteq \{Z_v\}, \{\overline{Z}_m\} \subseteq \{Z_m\}, \{\overline{Z}_u\} \subseteq \{Z_u\}); \\
& (\forall (\gamma_{1j} \in \overline{\Gamma}_v, \gamma_{2j} \in \overline{\Gamma}_m, \gamma_{3u} \in \overline{\Gamma}_u, l_v \in \overline{L}_v, l_m \in \overline{L}_m, l_u \in \overline{L}_u; \\
& Z_{ij} \in \{\overline{Z}_{ij}\}, Z_v \in \{\overline{Z}_v\}, Z_m \in \{\overline{Z}_m\}, (1.13) \rightarrow [P_1 \wedge P_2]).
\end{aligned}$$

Условия (1.11), (1.12), (1.13) требуют, чтобы исходные множества задач $\{Z_{ij}\}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3, \{Z_v\}, \{Z_m\}, \{Z_u\}$ были достаточно мощными, чтобы выбором подмножеств этих множеств можно было бы добиться совместимости и координируемости задач в системе.

При проектировании системы уровень формализации отдельных задач ТПП определяется наличием сведений: о последовательности технологических операций, их длительности и температурных режимах обработки деталей; правилах и приемах принятия решений. Алгоритмы решения взаимосвязанных задач ТПП должны обеспечивать нахождение решения с точностью, согласованной с точностью исходной информации. Разработка интеллектуального и программного обеспечения на основе системного подхода позволит повысить качество, снизить сроки выполнения и стоимость решений при конструировании и изготовлении изделий машиностроения. Следует отметить, что с помощью такой системы можно автоматизировать процесс технологической подготовки производства для 60...70 % изделий химического и полимерного машиностроения.

1.2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ

Постановка задачи автоматизации процесса ТПП для химико-термической обработки изделий из металлов может быть сформулирована следующим образом. Для конструируемой детали с заданными геометрическими размерами L и весом G , ее эксплуатационными свойствами и прочностными характеристиками Xu_{lim}^d на множестве

$$W = M \times T \times Z \times O_m \times O_u \times O_z \times P_m \times P_u \times P_z \times V_m \times V_u \times V_z$$

найти такой вариант $w^* \in W$, для которого сумма производственных затрат имеет минимальное значение. Множество W представляет собой декартово произведение множеств: допустимых видов материалов, используемых для изготовления детали M ; видов упрочняющей обработки, обеспечивающих заданные показатели качества изделия T ; видов заготовок Z ; допустимых наборов оборудования для проведения механической O_m , упрочняющей обработок O_u и для выбранных способов получения заготовок O_z ; соответствующих каждому виду обработки приспособлений P_m, P_u и P_z , видов вспомогательных материалов V_m, V_u и V_z .

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции:

$$F = \min_W (S_{mw} + S_{tw} + S_{ew} + S_{zw} + S_{aw} + S_{ww}), \quad (1.14)$$

при выполнении ограничений для эксплуатационных свойств и прочностных характеристик изделия

$$Xu^d \geq Xu_{lim}^d; \quad (1.15)$$

$$L' \leq L; \quad (1.16)$$

для технологического процесса на температурный режим

$$t_{ope}^{\min} \leq t_{ope} \leq t_{ope}^{\max}, \quad ope \in Op^d; \quad (1.17)$$

для материала детали на глубину слоя ХТО

$$h_{m^d}^{\min} \leq h_{ope} \leq h_{m^d}^{\max}, \quad m^d \in M^d; \quad (1.18)$$

для материала детали на твердость

$$HRC_{\Delta m^d}^{\min} \leq HRC_{\Delta ope} \leq HRC_{\Delta m^d}^{\max}, \quad m^d \in M^d; \quad (1.19)$$

для оборудования на габаритные размеры упрочняемой детали

$$L_{o_{us}}^{\min} \leq L \leq L_{o_{us}}^{\max}, \quad o_{us} \in O_u^d; \quad (1.20)$$

для приспособления на вес упрочняемой детали

$$G \leq G_{P_{u_{s1}}}^{\max}, \quad P_{u_{s1}} \in P_u^d; \quad (1.21)$$

уравнений связи

$$\bar{\varphi}(G, M, T, Z, O_m, P_m, V_m) = 0; \quad (1.22)$$

$$\bar{\psi}(G, M, T, Z, O_u, P_u, V_u) = 0; \quad (1.23)$$

$$\bar{\phi}(G, M, T, Z, O_z, P_z, V_z) = 0, \quad (1.24)$$

представляющих математические модели технологических процессов механической и упрочняющей обработок, а также получения заготовок. Здесь: $S_{mw}, S_{tw}, S_{ew}, S_{zw}, S_{aw}, S_{ww}$ – соответственно: стоимость материала, трудозатраты, затраты на энергетику, амортизацию и расходы вспомогательных материалов на проведение w-го варианта разработки и изготовления изделия, а также стоимость ущерба, наносимого окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух.

Данная задача (1.14) – (1.24) относится к классу комбинаторных задач. Из-за высокой размерности задачи и традиций организации труда на машиностроительном предприятии она разбивается на подзадачи:

1 – выбора вида (марки) металла и вида упрочняющей обработки поверхностей детали, а также способа получения и вида заготовки в зависимости от выбранного вида упрочняющей обработки;

2 – выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки;

3 – выбора экономичного экологически безопасного технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров определенного ранее вида упрочняющей обработки.

2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР МАРКИ МЕТАЛЛА, СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ И ВИДА ЗАГОТОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Используя различные конструкционные материалы и последние достижения науки и техники, конструктор может создать весьма эффективные машины (изделия), надежно выполняющие самые разнообразные функции. Однако высокая эффективность и надежность машины есть необходимые, но еще не достаточные условия для положительной оценки ее конструкции в целом. Удовлетворительной можно считать только такую конструкцию машины, которая, будучи эффективной и надежной в эксплуатации, является вместе с тем наименее трудоемкой и металлоемкой в изготовлении, т.е. технологичной.

Технологичность является важнейшим качеством конструкции машины. Пренебрежение технологичностью конструкции машины приводит к тому, что трудоемкость, металлоемкость, а стало быть, и себестоимость машины, отдельных ее узлов и деталей могут быть во много раз выше нормальной. Чем технологичнее машина, тем меньше трудоемкость, металлоемкость и себестоимость ее изготовления.

Долговечность и надежность изготавливаемых деталей машин зависят от материала и его конструктивной прочности, т.е. комплекса тех прочностных свойств, которые в наибольшей степени влияют на эксплуатационные свойства изделия. Надо также отметить, что качество деталей, их механические и физико-механические свойства в значительной степени зависят от термической и химико-термической обработки, применяемой на различных стадиях производства.

В связи с этим, в данной главе рассматривается вопрос, связанный с решением задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения.

2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА МАРКИ МЕТАЛЛА, СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ И ВИДА ЗАГОТОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Для конструируемой детали с заданными геометрическими размерами L и весом G , а также условиями эксплуатации U^d , серийностью производства Sp^d и категорией значимости (степенью ответственности) Kz на множестве $W_1 = M^d \times Tu^d \times Z^d \times P_z^d \times V_z^d \times V_u^d$ найти такой вариант $w_1^* \in W_1$, для которого стоимость получения заготовки из выбранной марки стали с соответствующей упрочняющей обработкой имеет минимальное значение. Множество W_1 представляет собой декартово произведение подмножеств допустимых видов: материалов, используемых для изготовления детали M^d ; упрочняющей обработки, обеспечивающих заданные показатели качества изделия Tu^d ; заготовок Z^d ; способов получения заготовок P_z^d , вспомогательных материалов для проведения методов получения заготовок V_z^d и упрочняющей обработки V_u^d .

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции

$$F_1^{opt} = \min_{W_1} \left((S_M(m^d, G, K_c) + S_{TZ}(G, L, m^d, K_{p1}) + S_{VS}(K_c, G, s_{VS}) + S_{OB}(t_{m3}, K_{p2})) K_{SS}(T_I, f, \rho, L) + S_{TR}(L, G, k_{SER}, k_{min}, r) \right); \quad (2.1)$$

при выполнении ограничений для эксплуатационных свойств и прочностных характеристик изделия

$$Xu^d \geq Xu_{\text{lim}}^d; \quad (2.2)$$

$$L' \leq L, \quad (2.3)$$

уравнений связи

$$\bar{\phi}(M^d, Tu^d, Z, Vz^d) = 0; \quad (2.4)$$

$$\bar{\psi}(M^d, Tu^d, Z, Vu) = 0, \quad (2.5)$$

представляющих упрощенные математические модели технологических процессов получения заготовки (литья, штамповки и т.д.) и упрочняющей обработки.

Здесь: S_M – стоимость материала, используемого для изготовления детали, S_{TZ} – трудозатраты; S_{VS} – стоимость вспомогательных материалов; S_{OB} – стоимость обработки (снятие технологических прибылей); K_{SS} – коэффициент, учитывающий срок службы детали; S_{TR} – транспортные расходы на доставку металла от поставщика на склад предприятия.

Все множество деталей, изготавливаемых на предприятиях химического и полимерного машиностроения, предложено разбить на классы (корпусные, круглые стержни, диски и т.п.) [4]: $Vd = \{v_1, \dots, v_{bd}, \dots, v_{D_b}\}$, $bd = \overline{1, D_b}$, где D_b – количество классов.

Условия эксплуатации (работы) рассматриваемого множества Vd представим в виде множеств: $U = Upr \times Uvr \times Usr \times Ut$, где:

$Upr = \{u_{pr_1}, \dots, u_{pr_j}, \dots, u_{pr_J}\}$, $j = \overline{1, J}$ – множество условий приложения нагрузки (объемные, поверхностные, точечные и др. силы); J – размерность Upr ;

$Uvr = \{u_{vr_1}, \dots, u_{vr_{j_1}}, \dots, u_{vr_{J_1}}\}$, $j_1 = \overline{1, J_1}$ – множество видов изменения нагрузки во времени (статические, ударные, циклические и др. нагрузки); J_1 – размерность Uvr ;

$Usr = \{u_{sr_1}, \dots, u_{sr_{j_2}}, \dots, u_{sr_{J_2}}\}$, $j_2 = \overline{1, J_2}$ – множество сред, в которых эксплуатируется деталь (атмосфера, водные растворы, агрессивная (газовая, жидкая, твердая) среда и др.); J_2 – размерность Usr ;

$Ut = \{u_{t_1}, \dots, u_{t_{j_3}}, \dots, u_{t_{J_3}}\}$, $j_3 = \overline{1, J_3}$ – множество температурных режимов эксплуатации детали (диапазоны температур: $(-80) \dots (-0)^\circ\text{C}$; $(0) \dots (+100)^\circ\text{C}$; $(100) \dots (500)^\circ\text{C}$; $(500) \dots (+1100)^\circ\text{C}$ и др.); J_3 – размерность Ut .

Каждому условию эксплуатации ($u \in U$) соответствуют прочностные характеристики, которым должна отвечать деталь и возможные виды ее химико-термического упрочнения:

$Xu = \{x_{u_1}, \dots, x_{u_a}, \dots, x_{u_{A_u}}\}$, $a = \overline{1, A_u}$ – множество прочностных характеристик u -го элемента множества U (поверхностная твердость, поверхностная и контактная прочность, пластичность, выносливость, ползучесть и др.); A_u – количество характеристик;

$Tu = \{t_{u_1}, \dots, t_{u_b}, \dots, t_{u_B}\}$, $b = \overline{1, B_u}$ – множество возможных видов химико-термической обработки для достижения соответствующих прочностных характеристик u -го элемента множества U (азотирование, борирование, алитирование, цементация, хромирование и др.); B_u – количество видов.

$X^t u = \{x^t_{u_1}, \dots, x^t_{u_a}, \dots, x^t_{u_{A_u^t}}\}$, $a = \overline{1, A_u^t}$ – множество режимных характеристик t_u -го элемента множества Tu (температура, время обработки, норма загрузки и др.); A_u^t – количество характеристик t_u -го вида термообработки.

$M = \{m_1, \dots, m_c, \dots, m_C\}$, $c = \overline{1, C}$ – множество видов материалов (сталей), используемых для изготовления деталей (углеродистая обыкновенного качества, углеродистая качественная, конструкционная, легированная и др.); C – количество видов.

$Sr = \{sr_1, \dots, sr_c, \dots, sr_{C'}\}$, $c = \overline{1, C'}$ – множество видов сортамента материалов (сталей), используемых для изготовления деталей (лист, полоса, круг, квадрат и др.); C' – количество видов сортамента.

$Sr^m = \{sr_1^m, \dots, sr_c^m, \dots, sr_{C^m}^m\}$, $c = \overline{1, C^m}$ – множество видов сортамента m -го вида материала; C^m – количество видов сортамента m -го вида.

$Lsr^m = \{lsr_1^m, \dots, lsr_c^m, \dots, lsr_{C_G^m}^m\}$, $c = \overline{1, C_G^m}$ – множество типоразмеров sr_c^m -го вида сортамента m -го вида материала; C_G^m – количество типоразмеров sr_c^m -го вида сортамента m -го вида материала.

$Pz = \{pz_1, \dots, pz_l, \dots, pz_L\}$, $l = \overline{1, L}$ – множество способов получения заготовок для v_{bd} -й классификационной группы; L – размерность Pz .

$Gs = \{gs_1, \dots, gs_f, \dots, gs_F\}$, $f = \overline{1, F}$ – множество групп сложности изготовления для pz_l -го способа получения заготовки v_{bd} -й классификационной группы; F – размерность Gs .

Характеристики m -го элемента множества M представим в виде множеств: $X^m = Hs \times Fs \times Ts$, где:

$Hs = \{hs_1, \dots, hs_i, \dots, hs_I\}$, $i = \overline{1, I}$ – множество химических свойств (химический состав, коррозионная стойкость); I – размерность Hs .

$Fs = \{fs_1, \dots, fs_{i_1}, \dots, fs_{I_1}\}$, $i_1 = \overline{1, I_1}$ – множество физических свойств (теплоемкость, теплопроводность, электросопротивление и т.д.); I_1 – размерность Fs .

$Ts = \{ts_1, \dots, ts_{i_2}, \dots, ts_{I_2}\}$, $i_2 = \overline{1, I_2}$ – множество технологических свойств (способность к литью – жидкотекучесть, свариваемость и т.д.); I_2 – размерность Ts .

Деталь, которую необходимо изготовить, характеризуется следующими параметрами:

$L = \{l_1, \dots, l_k, \dots, l_{N_g}, v_d\}$ – конструкторской формой с заданными геометрическими размерами l_k , $k = \overline{1, N_g}$ и принадлежностью к определенному классу $v_{bd}^d \in V_d$, N_g – количество геометрических размеров детали;

$Upr^d \subseteq Upr$ – множество условий приложения нагрузки;

$Uvr^d \subseteq Uvr$ – множество видов изменения нагрузки во времени;

$Ustr^d \subseteq Ustr$ – множество сред, в которых эксплуатируется деталь;

$Ut^d \subseteq Ut$ – множество температурных режимов эксплуатации детали;

$Xu^d \subseteq Xu$ – множество прочностных характеристик детали;

$M^d \subseteq M$ – множество видов материалов, используемых для изготовления детали.

$$S_M(m^d, G, K_c) = K_c G s_M(m^d), \quad (2.6)$$

где K_c – коэффициент, учитывающий способ получения заготовки [9]; G – чистовой вес детали; $s_M(m^d)$ – стоимость 1 кг материала.

$$S_{TZ}(G, L, m^d, K_{p1}) = t_{m1}(G, L, m^d) K_{p1}, \quad (2.7)$$

где $t_{m1}(G, L, m^d)$ – технологическое время процесса получения заготовки [3, 14, 15]; K_{p1} – стоимость разряда работы [3].

$$S_{VS}(K_c, G, s_{VS}) = K_c G s_{VS}, \quad (2.8)$$

где K_c – коэффициент, учитывающий вид технологии изготовления заготовки [9]; G – чистовой вес детали; s_{VS} – стоимость 1 кг вспомогательного материала.

$$S_{OB}(G, L, K_{p2}) = t_{m3}(G, L) K_{p2}, \quad (2.9)$$

где $t_{m3}(G, L)$ – время на удаление технологических прибылей [15]; K_{p2} – стоимость разряда работы [5].

$$K_{SS}(T_I, f, \rho, L) = \frac{T_I}{T_D(f, \rho, L)}; \quad (2.10)$$

$$T_D(f, \rho, L) = \frac{L \rho 365}{f \cdot 10^{-3}}; \quad (2.11)$$

$$L' \leq L,$$

где T_I – срок службы изделия, в которое входит изготавливаемая деталь; $T_D(f, \rho, L)$ – срок службы изготавливаемой детали; f – потери в весе [8]; ρ – плотность стали [7]; L – поле допуска для заданных геометрических размеров.

$$S_{TR}(L, G, k_{SER}, k_{min}, r) = s_{TR}(L, G)k_{SER}k_{min}r, \quad (2.12)$$

где $s_{TR}(L, G)$ – транспортные тарифы на доставку минимальной партии металла; k_{SER} – коэффициент, учитывающий серийность детали; k_{min} – коэффициент, учитывающий размер партии металла; r – расстояние до поставщика металла.

Для каждого конкретного способа получения заготовки (литья, проката, поковки и т.д.) зависимости, по которым определяется стоимость, имеют вид:

а) заготовки, получаемые литьем

$$S^L(m^d, G, L, K_c, K_{p1}, K_{p2}, s_{VS}, K_{WW}) = S_L + S_{TO}, \quad (2.13)$$

где S_L и S_{TO} соответственно стоимость литья и предварительной термообработки.

$$S_L(m^d, G, L, K_c, K_{p1}, K_{p2}, s_{VS}) = S_M + S_{TZ} + S_{VS} + S_{OB}; \quad (2.14)$$

$$S_{TO}(m^d, G, L, K_c, K_{p1}, s_{VS}, K_{WW}) = (S_{TZ} + S_{VS}) K_{WW}(t_{ub}), \quad (2.15)$$

где S_M – стоимость материала, используемого для изготовления детали; S_{TZ} – трудозатраты; S_{VS} – стоимость вспомогательных материалов и S_{OB} – стоимость обработки соответственно рассчитываются по формулам (2.6) – (2.9); $K_{WW}(t_{ub})$ – коэффициент, учитывающий затраты, связанные с обезвреживанием газовых выбросов, для каждого вида химико-термической обработки.

б) заготовки, получаемые прокатом

$$S^{PR}(m^d, G, L, K_c, K_{p1}, s_{VS}, K_{WW}) = S_{PR} + S_{TO}, \quad (2.16)$$

где S_{PR} и S_{TO} соответственно стоимость проката и стоимость предварительной термообработки.

$$S_{PR}(m^d, G, L, K_c, K_{p1}, s_{VS}) = S_M + S_{TZ} + S_{VS}, \quad (2.17)$$

где S_M , S_{TZ} , S_{VS} и S_{TO} соответственно рассчитываются по формулам (2.6) – (2.8), (2.15).

в) заготовки, получаемые ковкой

$$S^K(m^d, G, L, K_c, K_{p1}, K_{p2}, s_{VS}, K_{WW}) = S_{PR} + S_K + S_{OB} + S_{TO}; \quad (2.18)$$

$$S_K(G, L, m^d, K_{p1}) = S_{TZ}, \quad (2.19)$$

где S_{PR} – стоимость проката; S_K – стоимостьковки; S_{OB} – стоимость трудозатрат на удаление технологических прибылей; S_{TO} – стоимость предварительной термообработки соответственно рассчитываются по формулам (2.17), (2.19), (2.9), (2.15).

Таким образом, уравнения (2.6) – (2.19) представляют собой полное математическое описание постановки задачи выбора вида (марки) металла и вида упрочняющей обработки поверхностей детали, а также способов получения и вида заготовки в зависимости от выбранного вида упрочняющей обработки.

2.2. ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА МАРКИ МЕТАЛЛА, СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ И ВИДА ЗАГОТОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Поскольку размерность множества W_1 конечна ($< 10\ 000$ вариантов), то, учитывая высокое быстродействие современных ПЭВМ, решение задачи сводится к последовательному перебору всех вариантов допустимых марок металлов, способов получения заготовок, видов упрочняющей обработки и видов возможных заготовок, которые можно использовать для изготовления детали, и выбору такой их комбинации, где критерий F_1 достигает минимального значения, при условии выполнения всех ограничений. Таким образом, удается найти глобальный минимум критерия F_1^{opt} .

Укрупненная блок-схема алгоритма приведена на рис. 2.1.

Формирование множества P_z^d происходит следующим образом (рис. 2.2) (здесь и ниже жирным шрифтом выделены данные, имеющие отношение к данному примеру):

По заданному наименованию детали и степени ответственности K_z получаем Vd -й класс деталей. Зная Vd , вес детали G и ее геометрические размеры L , получаем множество способов получения заготовки P_z^d с соответствующими группами сложности G_s . Учитывая G_s и серийность производства S_p , находим уточненный метод получения заготовки и коэффициент K_c (табл. 2.1).

Рассмотрим процесс формирования множества P_z^d на примере. Для шестерни с категорией значимости Kz – ответственная, весом $G = 6$ кг, геометрическими размерами L : (диаметр $D = 200$ мм, толщина $h = 40$ мм) и серийностью производства Sr : 10 000 штук в месяц – серийное, получаем (рис. 2.2):

- класс деталей – диски;
- группа деталей – средние;
- способ получения заготовки – литье, прокат и ковка с соответствующими группами сложности – 3, 1 и 1. Группа сложности "3" означает более трудоемкий процесс получения заготовки по сравнению с "1". В данном случае способ получения – литье – можно уже не рассматривать.

Из табл. 2.1 выбираем фасонную поковку с $K_c = 1,0$ и сортовой прокат с $K_c = 1,1$.

Для каждого допустимого способа получения заготовки $p_{zI} \in P_z^d$ формируем множество материалов (марок сталей), допустимых для изготовления заготовки, а именно: исходя из заданных условий эксплуатации $U^d \in U$, получаем набор механических свойств Xu^d ($\sigma_s, \delta, \psi, \sigma_T$ и т.д. (табл. 2.2 – 2.4)) и возможные виды химико-термической обработки (ХТО) Tu^d . Из марочника сталей (табл. 2.5) находим такой набор прочностных характеристик Xu , для которого выполняется условие $Xu > Xu^d$ (2.2), при этом формируется промежуточное множество марок сталей M_1 . По технологическим свойствам Ts

2.1. Метод получения заготовок

Метод	Тип производства Sr
	K_c
Литье	
1. Разовые формы	единичное
1.1. Песчаные формы	1,4
1.2. Стержневые формы	1,2
1.3. Оболочковые формы	1,1
1.4. По выплавляемым моделям	1,05
2. Полупостоянные формы	серийное
2.1. Гипсовые формы	1,3
2.2. Цементные формы	1,2
2.3. Формы из камня	1,1
3. Постоянные формы	серийное; массовое
3.1. Металлические формы	1,05...1,1
3.2. Центробежный метод	1,1...1,2
3.3. Водоохлаждаемый метод	1,1...1,2
3.4. Литье под давлением	1,0...1,05
3.5. Штамповка из жидкого металла	1,05...1,1
Обработка давлением	
1. Ковка	серийное
1.1. Фасонная поковка	1,0...1,1
1.2. Тяжелая поковка	1,2...1,6
1.3. Ковка в штампах	1,1...1,4
2. Горячая объемная штамповка	серийное; массовое – 1,0
3. Холодная объемная штамповка (высадка)	серийное; массовое – 1,0
4. Холодная листовая штамповка	серийное; массовое – 1,0
Прокат	
1. Сортовой прокат	единичное; серийное ; массовое – 1,1
2. Фасонный прокат	серийное; массовое
2.1. Гнутые профили	1,0...1,2
2.2. Калиброванный прут	1,0...1,2
3. Специальный прокат	серийное; массовое
3.1. Продольный прокат	1,1...1,6
3.2. Поперечный прокат	1,1...1,6
3.3. Поперечно-винтовой прокат	1,0...1,2
4. Холодное профильное волочение	серийное; массовое – 1,0...1,2

2.2. Условия эксплуатации детали

№	Условия эксплуатации	Механические свойства	Химико-термическая обработка
1	Объемные Статические Атмосфера (-80)...(0) °C	σ_B^{-t} $\sigma_T^{-t} (\sigma_{0,2}^{-t})$ δ^{-t}, ψ^{-t} $-t$	Азотирование, Хромирование
...
15	Объемные Циклические Атмосфера (- 80)...(- 20) °C	σ_B^{-t} $\sigma_T^{-t} (\sigma_{0,2}^{-t})$ σ_{-1}, N δ^{-t}, ψ^{-t}	Азотирование
...
21	Объемные Циклические Агрессивная среда (газовая) (+500)...(+ 1100) °C	σ_B^{-t} $\sigma_{0,2}^{-t}$ σ_{-1}, N $\sigma_{0,3/T}^t$ σ_T^{-t} δ^t, ψ^t	Алитирование, Борирование
...
36	Объемные Динамические Агрессивная среда (жидкая) (0)...(+ 100) °C	σ_B $\sigma_T (\sigma_{0,2})$ КСТ (a_H) δ, ψ	Цементация, Нитроцементация
...
42	Поверхностные Статические Атмосфера (-80)...(0) °C	σ_B^{-t} $\sigma_T^{-t} (\sigma_{0,2}^{-t})$ δ^{-t}, ψ^{-t} $-t$	Цементация, Азотирование, Нитроцементация
...
52	Поверхностные Динамические Агрессивная среда (газовая) (+ 500)...(+ 1100) °C	σ_B^{-t} $\sigma_{0,2}^t$ σ_{-1}, N $\sigma_{0,3/T}^t$ σ_T^{-t} δ^t, ψ^t	Силицирование
...

2.3. Прочностные характеристики стали

№	Обозначение	Описание	Вид нагрузки	При пониженных температурах	При повышенных температурах
1	σ_B $\sigma_{вр}$ $\sigma_{всж}$ $\sigma_{вн}$ $\tau_{ср}$ τ_B	Предел прочности, МПа: при растяжении при сжатии при изгибе при срезе при кручении	Статическая	+ + + + +	+ + + + +
2	σ_T τ_T	Предел текучести, МПа: при растяжении при сдвиге	Статическая	+ +	+ +
3	$\sigma_{0,2}$ $\tau_{изг}$	Предел текучести, соответствующий пластической деформации 0,2 %, МПа: при растяжении при изгибе	Статическая	+ +	+ +
4	δ ψ	Пластичность, %: относительное удлинение относительное сужение	Статическая	+ +	+ +
5	N	Выносливость: предел выносливости, МПа число циклов При симметричном цикле:	Знакопеременная	+ +	+ +

	σ_{-1} (σ_{-1}) _p τ_{-1} (τ_{-1}) _{сж}	при изгибе при растяжении при кручении при сжатии		+	+
				+	+
				+	+
				+	+
6	R	Коэффициент асимметрии цикла	Знакопеременная		
	σ_R (σ_R) _p τ_R (τ_R) _{сж}	При асимметричном цикле: при изгибе при растяжении при кручении при сжатии		+	+
				+	+
				+	+
				+	+
№	Обозначение	Описание	Вид нагрузки	При пониженных температурах	При повышенных температурах
7	$\sigma_{0,3/T}$	Ползучесть: Предел ползучести, МПа 0,3 – допуск на деформацию за T часов при $\tau, ^\circ\text{C}$	Все виды	–	+
	σ_T	Предел длительной прочности, МПа. Определяется при базах 50, 100, 500, 1000, 3000, 5000, 10000 часов	Ударная	+	+
9	KCU KCV KCT (a_n)	Ударная вязкость, МДж/м ² : К – вид удара U, V, T – вид надреза	Все виды	+	+
10	$-\tau$	Порог хладоломкости, $^\circ\text{C}$	Все виды	+	–
11	HВ, HRCHV, Hц	Твердость	Все виды	+	+

2.4. Соотношения между пределом выносливости и статическими характеристиками материалов

Зависимость σ_{-1} от предела прочности σ_b : $\sigma_{-1} = 0,29\sigma_b + 7,92$ (углеродистые стали); $\sigma_{-1} = 0,35\sigma_b + 5,3$ (легированные стали); $\sigma_{-1} = 0,35\sigma_b + 12,2$; $\sigma_{-1} = 0,45\sigma_b + 7,6$; $\sigma_{-1} = 0,43\sigma_b$; $\sigma_{-1} = 0,468\sigma_b - 0,26$ (при $\sigma_b < 110$ кгс/мм ²)	Зависимость σ_{-1} от предела текучести σ_T : $\sigma_{-1} = 0,45\sigma_T + 12,2$; $\sigma_{-1} = 0,45\sigma_T + 9,54$; $\sigma_{-1} = 0,24\sigma_T + 27,5$; $\sigma_{-1} = 0,493\sigma_T + 7,95$
<i>Продолжение табл. 2.4</i>	
Зависимость σ_{-1} от относительного удлинения δ : $\sigma_{-1} = -0,50\delta + 44,6$; $\sigma_{-1} = -0,44\delta + 34,51$; $\sigma_{-1} = -0,878\delta + 50,24$; $\sigma_{-1} = -0,38\delta + 40,3$	Зависимость σ_{-1} от относительного сужения ψ : $\sigma_{-1} = -0,234\psi + 65,6$; $\sigma_{-1} = -0,312\psi + 45,6$
Зависимость σ_{-1} от твердости: $\sigma_{-1} = 0,18\text{HВ}$; $\sigma_{-1} = 0,096\text{HВ} + 7,32$; $\sigma_{-1} = 0,013\text{HВ} + 4,64$; $\sigma_{-1} = 0,059\text{HВ} + 18,9$	Зависимость σ_{-1} от сочетания нескольких характеристик: $\sigma_{-1} = 0,138(\sigma_b + \sigma_T) + 20,5$; $\sigma_{-1} = 0,22(\sigma_b + \sigma_T) + 5,4$; $\sigma_{-1} = 0,2(\sigma_b + \sigma_T + \psi)$; $\sigma_{-1} = 0,25(\sigma_b + \sigma_T) + 5$; $\sigma_{-1} = 0,175(\sigma_b + \sigma_T - \delta + 100)$; $\sigma_{-1} = 0,484\sigma_b + 0,27\sigma_T - 0,214\delta - 1,78$

(жидкотекучесть, пластичность и т.д.) каждой марки стали (рис. 2.3) этого промежуточного множества M_1 создаем множество способов получения заготовок P_{z1} (рис. 2.4).

При пересечении множеств $P_{z1} \cap P_z^d$ остаются только те марки сталей из множества M_1 , для которых способы получения заготовки P_{z1} совпадают с P_z^d . Из них формируется множество M^d .

Например, шестерня работает при пониженных температурах (–20 $^\circ\text{C}$); нагрузка статическая $\sigma_b = 800$ МПа по всей поверхности зубьев; среда – атмосфера.

Для данных условий эксплуатации (табл. 2.2, поз. 42) определяем перечень механических свойств, расшифровка и значение которых находится в табл. 2.3 и табл. 2.4 [8], и рекомендованные виды ХТО, т.е. [10]:

$$\begin{aligned}\sigma_{-1} &= 0,29\sigma_B + 7,92; \quad \sigma_{-1} = 311 \text{ МПа}; \\ \sigma_{-1} &= 0,138 \cdot (\sigma_B + \sigma_T) + 20,5; \quad \sigma_T = 1100 \text{ МПа}; \\ \sigma_{-1} &= -0,5\delta + 44,6; \quad \delta = 6,4 \%; \\ \sigma_{-1} &= -0,234\psi + 65,6; \quad \psi = 2,2 \%;\end{aligned}$$

и химико-термическая обработка – цементация, азотирование, нитроцементация.

Из марочника стали (см. табл. 2.5) находим, например, сталь X12M ГОСТ 4543–71 с термообработкой – улучшением, механические характеристики которой выше требуемых. По схеме рис. 2.4 находим, что заготовку данной стали можно получить из проката.

По рекомендуемым видам ХТО из марочника стали выбираем следующие марки сталей: 18ХГТ и 20Х (Цементация), 40Х и 40ХМ (Азотирование), 25ХГМ и 30ХГТ (Нитроцементация).

18ХГТ, 40Х, 30ХГТ – способ получения заготовки: прокат,ковка;

40ХМ, 25ХГМ – способ получения заготовки: прокат;

20Х – способ получения заготовки: прокат,ковка,литье.

Все стали, которые можно получить прокатом, включаются в множество допустимых марок сталей M^d (см. рис. 2.5).

В результате выполнения выше изложенных действий формируется множество допустимых вариантов видов упрочняющих обработок, марок сталей, способов получения и видов заготовок W_1 . Используя метод полного перебора элементов множества W_1 , находим такой вариант w_1^* , для которого сумма затрат на изготовление детали является наименьшей.

При разработке программного обеспечения решения данной задачи для лица, принимающего решение (ЛПР), предусмотрена возможность оставить для дальнейшего рассмотрения и варианты решения, для которых значения критерия F_1 удовлетворяют условию:

$$F_1^o \tilde{k}_1 \leq F_1^{opt}, \quad \tilde{k}_1 < 1, \quad o = \overline{1, \tilde{O}_1}, \quad (2.20)$$

где \tilde{k}_1 – коэффициент, расширяющий множество решений задачи, используемых при дальнейшем рассмотрении (задается ЛПР); F_1^o – значение критерия задачи для o -го варианта решения; \tilde{O}_1 – множество допустимых решений. Это обусловлено тем, что при решении задачи используется укрупненная оценка затрат и времени на изготовление детали (ее партии), которые уточняются при детальном рассмотрении технологических процессов механической и упрочняющей обработок.

3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР ЭКОНОМИЧНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

В разделе 1.2 нами был рассмотрен вопрос использования теории сложных систем для решения задачи технологической подготовки машиностроительного производства, а в главе 2 поставлена и решена

задача автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения. В связи с этим, в данной главе рассматриваются вопросы, связанные с решением задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки.

3.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Для конструируемой детали с заданными геометрическими размерами L и весом G , серийностью производства Sp^d , а также выбранным видом упрочняющей обработки $tu^d \in Tu^d$ и маркой материала m^d на множестве $W_3 = Tp^d \times O_u^d \times P_u^d \times V_u^d$ найти такой вариант $w_3^* \in W_3$, для которого стоимость упрочняющей обработкой имеет минимальное значение. Множество W_3 представляет собой декартово произведение подмножеств технологических процессов Tp^d для выбранного вида упрочняющей обработки tu^d , допустимых наборов оборудования O_u^d и приспособлений P_u^d и видов вспомогательных материалов V_u^d .

В большинстве работ [4 – 5, 9, 17, 27, 30, 50, 52] используется экономический критерий, однако наряду с экономическими показателями не менее важными являются другие количественные и качественные показатели, наиболее важными из которых – оценка варианта $w_3^* \in W_3$ на процент брака при изготовлении машиностроительных деталей и

технологичность совокупности процессов их изготовления. Поэтому в данной работе задача автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки является многокритериальной задачей.

Единый обобщенный критерий F_3^{opt} можно записать как [35]

$$F_3^{opt}(\alpha) = \sum_{i=1}^3 \rho_i \omega_3^i(\alpha) = \rho_1 \omega_3^1(\alpha) + \rho_2 \omega_3^2(\alpha) + \rho_3 \omega_3^3(\alpha), \quad (3.1)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – весовые коэффициенты,

$$\rho = \{\rho_i\} = \{\rho_i : \rho_i > 0 \quad i = 1, \dots, 3, \sum_{i=1}^3 \rho_i = 1\}, \quad (3.2)$$

где $\rho_i \omega_3^i(\alpha)$ – взвешенные потери по i -му критерию; $\omega_3^i(\alpha) = \omega_3^i(F_3^i(\alpha))$, $i = 1, \dots, 3$, $\alpha \in W_3$ – монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели $F_3^i(\alpha)$, $i = 1, \dots, 3$, $\alpha \in W_3$ к безразмерному виду.

$F_3^1(\alpha)$ – экономический критерий, включающий в себя трудозатраты, стоимости вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление приспособлений, стоимости электроэнергии и ущерба, наносимого окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух; $F_3^2(\alpha)$ – оценка процента брака деталей; $F_3^3(\alpha)$ – критерий технологичности совокупности процессов упрочняющей обработки, причем функции цели $F_3^1(\alpha)$ и $F_3^2(\alpha)$ минимизируются, а $F_3^3(\alpha)$ – максимизируется.

$$\omega_3^1(\alpha) = \frac{F_3^1(\alpha) - F_3^{10}}{F_3^{1(\max)} - F_3^{10}}, \quad \alpha \in W_3; \quad (3.3)$$

$$\omega_3^2(\alpha) = \frac{F_3^2(\alpha) - F_3^{20}}{F_3^{2(\max)} - F_3^{20}}, \quad \alpha \in W_3; \quad (3.4)$$

$$\omega_3^3(\alpha) = \frac{F_3^{30} - F_3^3(\alpha)}{F_3^{30} - F_3^{3(\min)}}, \quad \alpha \in W_3, \quad (3.5)$$

где $F_3^{1(\max)}, F_3^{2(\max)}$ – наибольшее значение минимизируемых функций $F_3^1(\alpha)$ и $F_3^2(\alpha)$, $\alpha \in W_3$ на множестве допустимых альтернатив W_3 , $F_3^{3(\min)}$ – наименьшее значение максимизируемой функции $F_3^3(\alpha)$, $\alpha \in W_3$ на множестве допустимых альтернатив W_3 , $F_3^{10}, F_3^{20}, F_3^{30}$ – оптимальные значения функций цели соответственно $F_3^1(\alpha)$, $F_3^2(\alpha)$, $F_3^3(\alpha)$, $\alpha \in W_3$ на множестве допустимых альтернатив W_3 . Значения $\omega_3^i(\alpha)$, $i = 1, \dots, 3$, $\alpha \in W_3$ лежат в пределах от 0 до 1.

Необходимо найти такую компромиссную альтернативу $\alpha \in W_3$, которая может не являться оптимальной ни для одной функции цели $F_3^1(\alpha)$, $F_3^2(\alpha)$, $F_3^3(\alpha)$, но оказываться приемлемой для единого обобщенного критерия $F_3^{opt}(\alpha)$. Компромиссное решение в классическом варианте предполагает равенство минимально возможных взвешенных потерь $\rho_i \omega_3^i(\alpha) = k_{0(\min)}$, $i = 1, \dots, 3$. Так как в данной работе при поиске оптимального решения используется метод полного перебора, то достижение равенства взвешенных потерь $\rho_i \omega_3^i(\alpha)$ является необязательным.

Для выбора единственного решения в задаче принятия сложного решения требуется задать весовые коэффициенты ρ_i , $i = 1, \dots, 3$, удовлетворяющие соотношению (3.2) и отражающие относительную важность функций цели $F_3^1(\alpha)$, $F_3^2(\alpha)$, $F_3^3(\alpha)$, $\alpha \in W_3$. Наиболее эффективными подходами к определению этого предпочтения являются методы ранжирования и приписывания баллов.

Метод приписывания баллов основан на том, что эксперты оценивают важность каждой функции цели по шкале 0–10. При этом им разрешается оценивать важность дробными величинами или нескольким функциям цели приписывать одну и ту же величину из выбранной шкалы. Зная балл h_i^r i -й функции цели у r -го эксперта, весовые коэффициенты ρ_i , $i = 1, \dots, 3$ можно найти из соотношения:

$$\rho_i = \frac{\sum_{r=1}^R \chi_i^r}{\sum_i \sum_{r=1}^R \chi_i^r}, \quad i = 1, \dots, 3, \quad (3.6)$$

где $\chi_i^r = \frac{h_i^r}{\sum_i h_i^r}$, $i = 1, \dots, 3$ – вес, подсчитанный для i -й функции цели на основе оценок r -го эксперта.

Метод ранжирования основывается на том, что каждого эксперта просят расставить функции цели в порядке их важности. При этом цифрой 1 обозначают наиболее важную функцию цели, цифрой 2 – следующую по степени важности

функцию цели и т.д. Эти ранги преобразовываются таким образом, что ранг 1 получает оценку M : ранг 2 – $(M-1)$ и т.д. до ранга M , которому присваивается оценка 1, где M – число функций цели, с учетом которых производится выбор. Зная преобразованный ранг j_i^r i -го критерия у r -го эксперта, весовые коэффициенты ρ_i , $i=1, \dots, 3$ можно найти из соотношения (3.6), заменив в нем χ_i^r на j_i^r .

Остановимся подробнее на составляющих единого обобщенного критерия F_3^{opt} .

3.1.1. Экономический критерий

В случае использования данного критерия задача поиска $w_3^* \in W_3$ формулируется следующим образом.

Для конструируемой детали с заданными геометрическими размерами L и весом G , серийностью производства Sp^d , а также выбранным видом упрочняющей обработки $tu^d \in Tu^d$ и маркой материала m^d на множестве $W_3 = Tp^d \times O_u^d \times P_u^d \times V_u^d$ найти такой вариант $w_3^* \in W_3$, для которого стоимость упрочняющей обработкой имеет минимальное значение. Множество W_3 представляет собой декартово произведение подмножеств технологических процессов Tp^d для выбранного вида упрочняющей обработки tu^d , допустимых наборов оборудования O_u^d и приспособлений P_u^d и видов вспомогательных материалов V_u^d .

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции

$$F_3^1(\alpha) = \min_{W_3} (S_{TZ}(G, L, m^d, K_p, K_1, V, F, K_F, K_K, v_{ohl}) + S_{VS}(G_{VS}, S_{VS}, L) + S_{PR}(G_{PR}, S_{PR}, L, K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl}, G) + S_{EN}(L, K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl}, N, S_{EL}) + S_{WW}(\gamma, S_{зав}, U, N, h, A, m^d, L)); \quad (3.7)$$

при выполнении ограничений:

- для технологического процесса на температурный режим

$$t_{ope}^{\min} \leq t_{ope} \leq t_{ope}^{\max}, \quad ope \in Op^d; \quad (3.8)$$

- для материала детали на глубину слоя ХТО

$$h_{m^d}^{\min} \leq h_{ope} \leq h_{m^d}^{\max}, \quad m^d \in M^d; \quad (3.9)$$

- для материала детали на твердость

$$HRC_{m^d}^{\min} \leq HRC_{ope} \leq HRC_{m^d}^{\max}, \quad m^d \in M^d; \quad (3.10)$$

- для оборудования на габаритные размеры упрочняемой детали

$$L_{o_{us}}^{\min} \leq L \leq L_{o_{us}}^{\max}, \quad o_{us} \in O_u^d; \quad (3.11)$$

- для приспособления на вес упрочняемой детали

$$G \leq G_{p_{us1}}^{\max}, \quad p_{us1} \in P_u^d, \quad (3.12)$$

- уравнений связи

$$\bar{\Psi}(G, L, m, tu, O_u, P_u, V_u) = 0, \quad (3.13)$$

представляющих математические модели технологических процессов выбранного вида упрочняющей обработки $tu^d \in Tu^d$.

Здесь: S_{TZ} – трудозатраты [53]; S_{VS} – стоимость вспомогательных материалов [53]; S_{PR} – стоимость материалов, затраченных на изготовление приспособлений; S_{EL} – стоимость электроэнергии [53]; S_{WW} – стоимость ущерба, наносимого окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух [2, 17].

$Tp^d = \{tp_1, \dots, tp_u, \dots, tp_U\}$, $u = \overline{1, U}$ – множество видов технологических процессов для выбранного вида упрочняющей обработки tu^d , U – размерность множества Tp^d .

$Op^d = \{op_1, \dots, op_e, \dots, op_{E_{tp_u}}\}$, $e = \overline{1, E_{tp_u}}$ – множество видов технологических операций tp_u -го элемента множества Tp^d (закалка, отпуск, чистовая, нормализация и др.); E_{tp_u} – размерность множества Op^d .

$O_u^d = \{o_{u_1}, \dots, o_{u_s}, \dots, o_{u_{S_{ope}}}\}$, $s = \overline{1, S_{ope}}$ – множество допустимых наборов оборудования ope -го элемента множества Op^d (печь камерная, печь шахтная и др.) [11, 38]; S_{ope} – размерность множества O_u^d .

$P_u^d = \{p_{u_1}, \dots, p_{u_{s_1}}, \dots, p_{u_{S_{1o_{us}}}}\}$, $s_1 = \overline{1, S_{1o_{us}}}$ – множество видов приспособлений o_{u_s} -го элемента множества O_u^d (корзина, крюк, противень и др.) [11, 38]; $S_{1o_{us}}$ – размерность множества P_u^d .

$X^t u = \{x^t_{u_1}, \dots, x^t_{u_a}, \dots, x^t_{u_{A'_u}}\}$, $a = \overline{1, A'_u}$ – множество режимных характеристик o_{u_s} -го элемента множества O_u^d (температура, время обработки, норма загрузки и др.) [55, 56]; A'_u – количество характеристик o_{u_s} -го элемента множества O_u^d .

$V_u^d = \{v_{u_1}, \dots, v_{u_{s_2}}, \dots, v_{u_{S_2}}\}$, $s_2 = \overline{1, S_2}$ – множество видов вспомогательных материалов (керосин, карбид бора, техническая бура и др.); S_2 – размерность множества V_u^d .

$M = \{m_1, \dots, m_c, \dots, m_C\}$, $c = \overline{1, C}$ – множество видов материалов (сталей), используемых для изготовления приспособлений (углеродистая обыкновенного качества, углеродистая качественная, конструкционная, легированная и др. [15]); C – количество видов.

$W_v = \{w_1, \dots, w_h, \dots, w_{H_{ope}}\}$, $h = \overline{1, H_{ope}}$ – множество ингредиентов вредных выбросов ope -го элемента множества Op^d (CO, NH₃, HCl и т.д. [19, 53, 57]); H_{ope} – размерность множества W_v .

Деталь, которую необходимо подвергнуть упрочняющей обработке, характеризуется следующими параметрами:

$L = \{l_1, \dots, l_k, \dots, l_{N_g}, v_d\}$ – конструкторской формой с заданными геометрическими размерами l_k , $k = \overline{1, N_g}$ и принадлежностью к определенному классу $v_{bd}^d \in V_d$, N_g – количество геометрических размеров детали;

$h_{m^d}^{\min} \leq h \leq h_{m^d}^{\max}$ – глубиной слоя химико-термической обработки;

$HRC_{\text{эм}^d}^{\min} \leq HRC \leq HRC_{\text{эм}^d}^{\max}$ – твердостью поверхностного слоя.

Распишем подробнее составляющие критерия. Стоимость трудозатрат оценивается по формуле:

$$S_{TZ}(G, L, m^d, K_p, K_1, V, F, K_F, K_K, v_{ohl}) = \frac{t_m(G, L, m^d, K_1, V, F, K_F, K_K, v_{ohl})}{n(L, o_{u_s}, p_{u_{s_1}})} K_p, \quad (3.14)$$

где $t_m(G, L, m^d, K_1, V, F, K_F, K_K, v_{ohl})$ – длительность технологической операции процесса упрочняющей обработки [55]; K_p – стоимость разряда работы; $n(L, o_{u_s}, p_{u_{s_1}})$ – количество одновременно обрабатываемых деталей (табл. 3.1) [55].

$$t_m(G, L, m^d, K_1, V, F, K_F, K_K, v_{ohl}) = t_{vsp}(G, L) + t_{dop}(G, L) + t_{osn}(K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl}), \quad (3.15)$$

где $t_{vsp}(G, L)$ – время, затрачиваемое на вспомогательные операции; $t_{dop}(G, L)$ – время, затрачиваемое на дополнительные операции [56]; $t_{osn}(K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl})$ – основное время, затрачиваемое на проведение технологического процесса (нагрев, выдержка и охлаждение изделий) [55].

$$t_{osn}(K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl}) = t_{nag}(K_1, V, F, K_F, K_K) + t_{ohl}(v_{ohl}), \quad (3.16)$$

где $t_{nag}(K_1, V, F, K_F, K_K)$ – продолжительность сквозного прогрева детали до заданной температуры (определяется формой и размером изделий, их расположением, типом печи, составом и свойствами стали и т.д.); $t_{vid}(m^d)$ – продолжительность изотермической выдержки детали при заданной температуре (не зависит от формы и размера изделия и определяется только составом и исходным состоянием стали); $t_{ohl}(v_{ohl})$ – продолжительность охлаждения детали до температуры окружающей среды.

Для практического определения продолжительности нагрева стальных изделий сложной формы $t_{nag}(K_1, V, F, K_F, K_K)$ при всестороннем нагреве используют формулу, предложенную Е.А. Смольниковым [55]:

$$t_{nag}(K_1, V, F, K_F, K_K) = K_1 \frac{V}{F} K_F K_K, \quad (3.17)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от состава и физических свойств нагреваемой стали, температуры и способа нагрева [55]; $\frac{V}{F}$ – характеристический размер, представляющий собой отношение объема нагреваемого тела V к его поверхности [55]; K_F – критерий формы [55]; K_K – коэффициент конфигурации нагреваемого изделия, величина которого для инструментов различного типа находится в пределах от 0,46 – 0,65 (круглые плашки, червячные, резьбовые насадные и торцовые насадные фрезы) до 0,85 – 1,0 (резьбонакатные ролики, ножи, плоские плашки, цилиндрические фрезы и все "гладкие тела", не имеющие канавок).

Продолжительность изотермической выдержки детали $t_{vid}(m^d)$ должна быть минимальной, но обеспечивать завершение фазовых превращений в стали и необходимую концентрацию углерода и легирующих элементов в аустените (табл. 3.2).

3.1. Зависимость количества одновременно загружаемых в садку деталей n от их геометрических размеров при закалке

Условный диаметр D , мм	Длина L , мм	Тип оборудования	Вид приспособления	Количество n , шт.
10	50	Электропечь камерная СНО 4.6/10-И2	Противень	60
	100			30
30	50			20
	100			10
10	300	Электропечь камерная СНО 6.8/10-И2	Корзина	60
30	300			20
50	50			40
	100			20
	300			12
80	50			30
	100			14
30	500			Электропечь камерная СНО 8.12/10-И2
50		8		
80		6		
80		6		
100	300	6		
	50	24		
	100	12		
100	300	8		
	1000	Электропечь шахтная СНО 8.18/10-И3	Приспособление для валов с дисками	32
			Приспособление для валов	32
20				
50	Приспособление для валов с дисками		28	
	Приспособление для валов		28	
			16	
80	Приспособление для валов с дисками		24	
	Приспособление для валов		24	
			12	
100	500		Приспособление для дисков	14
	1000		18	
	1500		Приспособление для валов	6
	1800	6		

3.2. Зависимость величины изотермической выдержки детали t_{vid} от класса стали

Сталь m^d	Углеродистая (45, 50, У7, У8)	Легирующая (40Х, 50Х, 11Х, Х)	Высокохромистая (Х12, Х12Ф1)	Быстрорежущая (Р9, Р12, Р18)
$t_{vid}(m^d)$, мин	1	1,5...1,9	3,1...3,2	3,10...3,7

3.3. Скорость охлаждения $v_{ohl}(op_e)$ в зависимости от вида технологической операции op_e

№	Вид технологической операции op_e	Скорость охлаждения $v_{ohl}(op_e)$, °C/ч или °C/мин
1	Цементация	Твердая
		Газовая
2	Азотирование	30 °C/ч
3	Борирование	20 °C/мин на воздухе
4	Нитроцементация	50 °C/мин в масле
5	Цинкование	120 °C/мин на воздухе
6	Силицирование	120 °C/мин на воздухе
7	Закалка	60 °C/мин
8	Нормализация	120 °C/мин на воздухе
9	Отжиг	100 °C/ч

Продолжительность охлаждения детали до температуры окружающей среды $t_{ohl}(v_{ohl})$ зависит от скорости охлаждения v_{ohl} (табл. 3.3).

Затраты на вспомогательные материалы рассчитываются как

$$S_{VS}(G_{VS}, s_{VS}, L) = \frac{\sum_{i=1}^{S_2} G_{VS_i} s_{VS_i}}{n(L, o_{u_s}, p_{u_{s1}})}, \quad (3.18)$$

где G_{VS} – вес вспомогательного материала; s_{VS} – стоимость 1 кг вспомогательного материала; $n(L, o_{u_s}, p_{u_{s1}})$ – количество одновременно обрабатываемых деталей (табл. 3.1) [55].

Сумма, затраченная на изготовление приспособления

$$S_{PR}(G_{PR}, s_{PR}, L, K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl}, G) = \frac{\left(\sum_{i=1}^C G_{PR_i} s_{PR_i} \right) t_{osn}(K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl})}{n(L, o_{u_s}, p_{u_{s1}}) K_{SS}(m, G, p_{u_{s1}}, op_e)}, \quad (3.19)$$

где G_{PR} – вес материала, используемого при изготовлении приспособления; s_{PR} – стоимость 1 кг материала необходимого для изготовления; $t_{osn}(K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl})$ – основное время, затрачиваемое на проведение технологического процесса, определяется по формуле (3.16); $n(L, o_{u_s}, p_{u_{s1}})$ – количество одновременно обрабатываемых деталей (табл. 3.1) [55]; $K_{SS}(m, G, p_{u_{s1}}, op_e)$ – срок службы приспособления (табл. 3.4).

Стоимость энергетических затрат

$$S_{EN}(L, K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl}, N, s_{EN}) = \frac{t_{osn}(K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl})}{n(L, o_{u_s}, p_{u_{s1}})} \cdot \frac{N}{s_{EN}}, \quad (3.20)$$

где $t_{osn}(K_1, V, F, K_F, K_K, m^d, v_{ohl})$ – основное время, затрачиваемое

на проведение технологического процесса, определяется по формуле (3.16); N – мощность оборудования (печи) (табл. 3.5); $n(L, o_{u_s}, p_{u_{s1}})$ – количество одновременно обрабатываемых деталей (табл. 3.1); s_{EN} – стоимость 1 единицы энергии.

Величина экономического ущерба, причиненная выбросами загрязнения в атмосферный воздух [2, 17]

$$S_{WW}(\gamma, S_{3A3}, U, N, h, A, m_r, L) = \gamma \delta(S_{3A3}) f(U, N, h) M(A, m_r, L), \quad (3.21)$$

где $\gamma = 3,3$ р./усл. т (в ценах 2000 г.) – коэффициент; $\delta(S_{3A3})$ – коэффициент, характеризующий зону активного загрязнения (ЗАЗ); $f(U, N, h)$ – величина, характеризующая характер рассеяния примесей в атмосфере; U – среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера; N – число примесей; h – высота устья источника; $M(A, m_r, L)$ – приведенная масса выброса загрязнений из источника из расчета на одну деталь; A – показатель относительности агрессивности примеси; m_r – масса выброса примесей.

В работе не осуществляется подбор оборудования и сооружений для защиты биосферы от промышленных выбросов.

3.4. Срок службы приспособления K_{SS}

№	Вид технологической операции op_e	Вид приспособления p_u	Материал приспособления m	Срок службы приспособления K_{SS} , год
1	Цементация	Елочка	12X18H10T	3
			Ст3	0,5
			20X13	1
		
		Вал с дисками	12X18H10T	4
			Ст3	0,6
			20X13	1,3
		
		Противень	12X18H10T	1
			Ст3	0,2
			20X13	0,4
		
2	Азотирование	Корзина	12X18H10T	4
			Ст3	1
			20X13	2
		
		Елочка	12X18H10T	3
			Ст3	0,8
			20X13	1,8
		
		Вал с дисками	12X18H10T	2,7
			Ст3	0,6
			20X13	1,6
		
3	Борирование	Подвески	12X18H10T	1
			20X13	0,25
		
4	Нитроцементация	Елочка	12X18H10T	1,8
			Ст3	0,4
			20X13	0,6
		
		Вал с дисками	12X18H10T	2,4
			Ст3	0,3
			20X13	0,7
		
		Корзина	12X18H10T	2,4
			Ст3	0,6
			20X13	1,2
		

3.5. Мощность оборудования

№	Вид оборудования o_u	Тип	Мощность установленная, кВт
1	Электропечи камерные	СНО-2.2.0,8/13	18
		СНО-3.4.1,2/13	18
		СНО-5.6,5,2/13	25
		СНО-8.5,10.3/13	30
		СДО-14.28.10/10-10	350
	
		СДО-23.46.16/10-30	1000
	
		СДО-45.106.30/10-60	2100
		СДО-14.28.10/7-10	200
	
		СДО-23.46.16/7-30	600
	
		СДО-35.70.25/7-45	900
СДО-14.28.10/12-10	600		
...	...		
СДО-28.56.20/12-40	2400		
...	...		
СДО-55.85.50/12-80	5000		
2	Электропечи шахтные	СНА-7,5.24.10/6-М	100
		СНА-10.32.13/6-М	200
		СНА-13.45.16/6-М	400
3	Электропечь шахтная закалочная	США-2.3/6	12
		США-3,2.4,8/6	20
		США-5.7,5/6	50
	
		СШЦМ-6.6/9М1	73,2
	
		ОКБ-827А	230
		Ц-60А	60
Ц-105А	105		
4	Электропечь шахтная отпускная	–	114

3.1.2. Оценка процента брака при изготовлении деталей

Из-за несовершенства технологии производства брак является неотъемлемой составляющей, которую стремятся свести к минимуму [7]. В данной работе при поиске $w_3^* \in W_3$ учет процента брака производится по следующей формуле

$$F_3^2(\alpha) = \min_{W_3} \prod_{j=1}^{E_{пу}} Br_j, \quad (3.22)$$

где Br_j – процент брака, имеющий место при изготовлении деталей, с учетом: вида технологической операции и оборудования с соответствующим приспособлением (табл. 3.6).

При поиске минимума данного критерия должны быть соблюдены ограничения (3.8) – (3.12) и выполнены уравнения связи (3.13).

**3.6. Фрагмент базы данных процентного соотношения брака
деталей и технологичности процессов**

№	Вид технологической операции <i>op</i>	Вид оборудования <i>o_и</i>	Вид приспособления <i>p_и</i>	Брак <i>Br, %</i>	Технологичность <i>Te, балл</i>
1	Цементация газовая	Электродпечь шахтная СШЦМ-6.18/10-3	Елочка	5,2	4,2
			Корзина-кассета	5,9	4,8
			Корзина подвеской ^c	4,1	5,2
2	Цементация твердая	Электродпечь камерная СНО-8.16/10-2	Цементационный ящик	9,3	10
3	Закалка подстуживанием ^c	Электродпечь шахтная СШЦМ-6.18/10-3	Елочка	3,9	2,0
			Корзина-кассета	3,2	2,4
			Корзина подвеской ^c	2,1	2,1
4	Закалка	Электродпечь камерная СНО-8.16/10-2	Противень	4,1	4,2
			Корзина закалочная	2,0	3,2
		Электродпечь шахтная СШО-6.18/10-3	Этажерка	5,8	3,8
			Елочка	5,2	3,1
			Корзина-кассета	5,9	3,5
			Корзина подвеской ^c	3,9	3,3
№	Вид технологической операции <i>op</i>	Вид оборудования <i>o_и</i>	Вид приспособления <i>p_и</i>	Брак <i>Br, %</i>	Технологичность <i>Te, балл</i>
5	Отпуск высокий	Электродпечь шахтная ПН-32	Корзина отпускная	5,8	4,8
			Корзина-кассета	1,7	4,4
		Электродпечь шахтная СШО-6.18/10-3	Корзина отпускная	2,2	3,2
			Корзина-кассета	1,2	2,4
6	Отпуск низкий	Электродпечь шахтная ПН-32	Корзина отпускная	0,6	4,8
			Корзина-кассета	0,0	4,4
7	Нитроцементация	Электродпечь шахтная СШЦМ-6.18/10-3	Елочка	5,2	1,0
			Корзина-кассета	8,3	1,6
			Корзина подвеской ^c	6,1	1,4
8	Азотирование	Электродпечь шахтная США-8.16/7	Корзина подвеской ^c	0,0	1,8
			Корзина-кассета	7,5	1,6
			Елочка	4,1	1,1
9	Борирование	Электродпечь шахтная СШО-8.16/7	Елочка	4,1	3,2
			Приспособление для термообработки	8,2	2,6
			Корзина подвеской ^c	3,8	2,2
10	Нормализация	–	–	0,5	4,1
11	Отжиг	Электродпечь шахтная СШО-8.16/7	Корзина-кассета	7,1	3,2
			Елочка	4,1	4,0
			Корзина подвеской ^c	3,5	3,8
		Электродпечь	Поддон	8,2	7,1

	камерная СНО-8.16/10-2	Приспособление для термообработки	3,8	6,8
		Корзина	4,5	6,2

3.1.3. Критерий технологичности совокупности процессов упрочняющей обработки

Технологичность процесса – совокупность свойств процесса, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени [26].

$$F_3^3(\alpha) = \max_{W_3} \prod_{j=1}^{E_{pu}} Te_j, \quad (3.23)$$

где Te_j – технологичность j -го процесса упрочняющей обработки с учетом: вида технологической операции и оборудования с соответствующим приспособлением (табл. 3.6).

При поиске минимума этого критерия должны быть также соблюдены ограничения (3.8) – (3.12) и выполнены уравнения связи (3.13).

Таким образом, уравнения (3.1) – (3.23) представляют собой полное математическое описание постановки задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки.

3.2. ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Размерность множества W_3 конечна ($< 8000 \dots 10\ 000$ вариантов), поэтому решение задачи сводится к последовательному перебору всех вариантов допустимых видов технологических процессов упрочняющей обработки, наборов оборудования, приспособлений и видов вспомогательных материалов, которые можно использовать для изготовления детали, и выбору такой их комбинации, где обобщенный критерий F_3 (3.1) достигает минимального значения, при условии выполнения всех ограничений. Таким образом, удается найти глобальный минимум критерия F_3^{opt} (3.1).

На рис. 3.1 схематично изображена последовательность выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки.

По полученным при решении задачи 1 марке материала m^d и виду упрочняющей обработки tu^d формируется множество видов технологических процессов упрочняющей обработки Tr^d из элементов множества видов технологических операций Op^d . Каждой технологической операции op_e из множества Op^d соответствует вид оборудования, например, электропечь шахтная или электропечь камерная или установка ТВЧ, с соответствующим набором приспособлений p_{us_1} (табл. 3.7) и перечнем вспомогательных материалов v_{us_2} , а также список ингредиентов вредных выбросов w_{vh} (табл. 3.8). Каждому виду оборудования соответствует свой допустимый набор типоразмеров оборудования o_{us} . Таким образом, мы получаем множество допустимых наборов оборудования O_u^d , множество видов приспособлений P_u^d и множество видов вспомогательных материалов V_u^d .

По габаритным размерам L и весу G конструируемой детали, серийности производства Sp^d из множества O_u^d выбирается конкретное оборудование при выполнении ограничения (3.11), приспособления при выполнении ограничения (3.12), схема укладки деталей в приспособление (рис. 3.2) [55] и количество штук в садке $n(L, o_{us}, p_{us_1})$ при условии выполнения ограничений (3.9) и (3.10) (табл. 3.1). Далее определяются режимные характеристики x_{tu}^d технологического процесса при выполнении ограничения (3.8): продолжительность нагрева $t_{nag}(K_1, V, F, K_F, K_K)$ (3.17), выдержки $t_{vid}(m^d)$ (табл. 3.2), охлаждения $v_{ohl}(op_e)$ (табл. 3.3) и др. [55], нормы расхода вспомогательных материалов v_u (3.18) и металла для изготовления приспособления p_{us_1} (3.19), установленная мощность оборудования [11, 38] (табл. 3.5), считается энергоемкость (3.20) и трудоемкость технологического процесса (3.14), а также ущерб, наносимый окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух (3.21) [2, 17].

Рассмотрим алгоритм решения задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки на примере пальца, входящего в сборку контейнера, форматора-вулканизатора ФВ 2-140.

При решении задачи 1 мы получили марку стали 12ХН3А и вид упрочнения – цементация. Технические условия (ТУ): глубина слоя $h = 1,6 \dots 1,8$, твердость $HRC_3 = 57 \dots 64$. Сталь 12ХН3А относится к классу конструкционных сталей. Для этого класса

при

выборе

вида

3.7. Фрагмент базы данных приспособлений для оборудования

Вид оборудования, o_{u_s}	Вид приспособления, p_i
Электрическая печь шахтная	Захват клещевой Захват Оправка Корзина-кассета Корзина Корзина с подвеской Подвеска Приспособление для термообработки Приспособление для закалки валов Елочка Этажерка Вал с дисками
Электропечь камерная	Захват клещевой Поддон Этажерка Корзина Противень Крюк
Установка ТВЧ и ТПЧ	Индуктор одновитковый (внутренний и наружный) Индуктор двухвитковый (внутренний и наружный) Индуктор трехвитковый (внутренний и наружный) Индуктор конический Индуктор петлевой Спреер Люнет-подставка Оправка (внутренняя и наружная)

Расположение изделий	К _{расп}
	1
	1
	2
	1,4
	1,3
	1
	1,4
	4
	2,2
	2,0
	1,8

Рис. 3.2. Схема укладки деталей в приспособление

ХТО – цементация – сначала формируется универсальная последовательность технологического процесса: черновая мехобработка, цементация, чистовая мехобработка, закалка, высокий отпуск, закалка, низкий отпуск, шлифовка, дробеструйная обработка, доводочная, механическая обработка.

Зная геометрические размеры пальца: наружный диаметр $d_n = 38$ мм, внутренний диаметр $d_b = 15$ мм, длину $L = 120$ мм, его вес $G = 0,8$ кг и серийность производства $S_p = 600$ шт. в месяц, мы можем применить два вида цементации: газовую и твердую с основными технологическими операциями (табл. 3.9) и технологическими переходами (табл. 3.10 для твердой цементации).

Для каждой технологической операции на основании имеющихся габаритных размеров и веса детали выбираем:

1) конкретное оборудование, например, для газовой цементации: электропечь шахтная цементационная модернизированная СШЦМ-6.12/10-ИЗ, СШЦМ-6.18/10-ИЗ и др., (табл. 3.11 для твердой цементации);

2) вид приспособлений: для газовой цементации – приспособления с дисками, типа елки, приспособление для валов и т.д., для цементации твердой – корзина-кассета, цементационный ящик, для отпуска высокого – корзина, для закалки – противень и количество деталей в садке (таблица 3.12 для твердой цементации).

Для каждого вида технологической операции рассчитываем:

1) режимные характеристики, например, для твердой цементации: время нагрева (3.17) – 9 ч до температуры 920 ± 10 , время выдержки – 13 ч при температуре 920 ± 10 ;

время охлаждения – 1,5 ч до температуры окружающей среды и др. (табл. 3.12) [55];

2) нормы расхода вспомогательных материалов (3.18): для цементации твердой – карбюризатор древесноугольный (березовый) ГОСТ 2437–73, для отпуска высокого – селитра калиевая техническая ГОСТ 19790–74, натрий азотнокислый технический ГОСТ 828–77Е, калий двухромовокислый технический (раскислитель) ГОСТ 2652–71, для закалки – эмульсол ГОСТ 1975–75, для цементации газовая – керосин для технических целей ГОСТ 18499–73 (табл. 3.13 – 3.14) [55];

3) нормы расхода металла для изготовления приспособления (3.19) (если в этом есть необходимость), учитывая коэффициент срока службы приспособления K_{SS} (табл. 3.4).

В результате выполнения выше изложенных действий формируется множество допустимых вариантов видов технологических процессов упрочняющей обработки, допустимых наборов оборудования, приспособлений и видов вспомогательных материалов $W_3 = T_p^d \times O_u^d \times P_u^d \times V_u^d$. Используя метод полного перебора элементов множества W_3 , находим такой вариант w_3^* , для которого сумма затрат на упрочнение детали с учетом экономического ущерба, наносимого

окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух, при наименьшем браке и наивысшей технологичности процесса является наименьшей.

3.9. Фрагмент базы данных технологических процессов
химико-термического упрочнения

Выбранный вид упрочняющей обработки tu^d	Группы сталей	Основные технологические операции op
Цементация	<p>Конструкционные и углеродистые</p> <p>Содержание углерода 0,3 %</p> <p>меньше</p> <p>12ХН3А 20ХН4А</p>	<p><i>Газовая</i></p> <p>Чистовая мехобработка Цементация Подстуживание на воздухе</p> <p>Контроль ОТК глубины слоя Отпуск Контроль ОТК твердости Передача детали на шлифовку</p>
		<p><i>Твердая</i></p> <p>Чистовая мехобработка Цементация Закалка Контроль ОТК глубины слоя Отпуск высокий Контроль ОТК технологического процесса Закалка Контроль ОТК твердости Отпуск низкий Контроль ОТК твердости Передача детали на шлифовку</p>
Азотирование	<p>Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные</p> <p>Наличие только четырех элементов: алюминий, хром, молибден и титан; содержание углерода больше 0,3 %</p>	<p><i>Газовое</i></p> <p>Черновая мехобработка Закалка Контроль ОТК твердости Отпуск высокий стабилизирующий Контроль ОТК твердости Передача детали на чистовую мехобработку</p> <p>Чистовая мехобработка Азотирование Контроль ОТК глубины слоя Контроль ОТК твердости Контроль ОТК технологического процесса</p>

**3.10. Фрагмент базы данных технологического процесса
(цементация твердая)**

Вид технологической операции <i>op</i>	Технологические переходы
ЧИСТОВАЯ МЕХОБРАБОТКА	Принять детали после операции чистовой мехобработки
Цементация (твердая)	Загрузить детали в цементационный ящик Засыпать детали карбюризатором Загрузить цементационный ящик с деталями в печь Нагреть до температуры ВЫДЕРЖАТЬ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ Охладить с печью
Закалка	Загрузить детали на противень Нагреть до температуры Выдержать при температуре Охладить в масле
Контроль ОТК глубины слоя	Передать образцы-свидетели в ЦЗЛ
Отпуск высокий	Загрузить приспособление с деталями в печь Нагреть и выдержать при температуре Охладить на воздухе
Контроль технологического процесса ОТК	Следить за соблюдением и выполнением норм технологического процесса
Закалка	Загрузить детали на противень Нагреть до температуры Выдержать при температуре Охладить в масле
Контроль твердости ОТК	Передать образцы-свидетели в ЦЗЛ
Отпуск низкий	Загрузить приспособление с деталями в печь Нагреть и выдержать при температуре Охладить на воздухе
Контроль твердости ОТК	
Передача детали на шлифовку	

**3.11. Фрагмент базы данных технологического процесса
(цементация твердая). Выбор оборудования**

Наименование детали, ее геометрические размеры L и вес G	Вид технологической операции op	Вид оборудования o_i
<p align="center">ПАЛЕЦ</p> <p>Наружный диаметр $d_n = 38$ мм</p> <p>Внутренний диаметр $d_b = 15$ мм</p> <p>Длина $L = 120$ мм</p> <p>Вес $G = 0,8$ кг</p>	Цементация	Электропечь шахтная безмуфельная СШЦ-3.4/10
		Электропечь шахтная безмуфельная СШЦ-4.6/10
		Электропечь шахтная окислительная СШО-8.18/10-ИЗ
		...
		Электропечь камерная СНЗА-3.6,5,2/10-Х
		Электропечь камерная СНЗА-4.6,2,6/10-Х
		Электропечь камерная СНЗА-5.10,3,2/10-Х
	ОТПУСК	Электрическая печь шахтная СШО 8.18/10-ИЗ
		...
		Электропечь шахтная ПН-31
		Электропечь шахтная ПН-32
		Электропечь шахтная ПН-34
	Закалка	Электропечь камерная СНЗ-2,5,5,1,7/10
		Электропечь камерная СНЗ-3.6,5,2/10
		Электропечь камерная СНЗ-4.8,2,6/10
		...
		Электропечь камерная СНЗА-3.6,5,2/10
		Электропечь камерная СНЗА-4.6,2,6/10
		...
		Электропечь камерная СНО.8/И-3

3.13. Нормативы расхода материалов, применяемых при термической обработке

№	Вид технологической операции <i>op</i>	Наименование материала v_u	ГОСТ, ТУ	Состав раствора (смеси), %	Норматив расхода, кг/т
1	Азотирование при $t = 500 \dots 600$ °C Глубина азотированного слоя 0,3...0,4 мм	Аммиак жидкий синтетический	6221-75	100	120
2	Закалка на высокочастотных установках	Эмульсол	1975-75	100	2
3	Нитроцементация газовая при $t = 500 \dots 600$ °C Глубина слоя нитроцементации 0,8...1,1 мм	Аммиак жидкий синтетический	6221-75	2,0...7,0	0,6
		Керосин для технических целей	18499-73	93,0...98,0	11
4	То же	Триэтаноламин	СТУ 12-10 N 126-61	100	22
5	Отпуск в масле при $t = 500 \dots 600$ °C	Масло "Вапор"	6411-76	100	15
6	То же	Масло цилиндрическое тяжелое	6411-76	100	10
7	Отпуск в селитровой ванне при $t = 300 \dots 500$ °C	Селитра калиевая техническая	19790-74	50	30
		Натрий азотнокислый технический	828-77E	50	30
		Калий двухромовокислый технический (раскислитель)	2652-71	1 % от веса солей	1,5
8	Цементация газовая при $t = 900 \dots 950$ °C Глубина цементационного слоя 0,8...1,1 мм	Керосин для технических целей	18499-73	100	12
9	То же	Пиробензол	9572-77	100	15

3.14. Стоимость вспомогательных материалов на середину 2000 г.

№	Наименование материала v_{ii}	ГОСТ, ТУ	Ед. измер.	Стоимость, р.
1	Уайт-спирит	3134-78	кг	12,1
2	Масло индустриальное	20799-75	кг	6,6
3	Асбест листовой $\delta = 6$		кг	11,39
4	Керосин для технических целей	18499-73	кг	10,2
5	Карбюризатор древесноугольный (березовый)	2437-73	кг	21,48
6	Ацетон	2603-71	кг	14,8
7	Бензин для промышленно-технических целей	8505-57	кг	9,8
8	Масло авиационное	21743-76	кг	8,3
9	Сода кальцинированная техническая	5100-73	кг	5,5
10	Нихром круглый $\varnothing 6$	5632-72	кг	95,8
11	12X18H10T	5632-72	кг	44
12	Ст3 лист	5632-72	кг	8,58
13	Эмульсол	1975-75	кг	7,8
14	Джуокись углерода твердая	12162-77	кг	16,2
15	Силикагель технический	3956-76	кг	13,8
16	Селитра калиевая техническая	19790-74	кг	3,8
17	Натрий азотнокислый технический	828-77E	кг	4,2
18	Калий двухромовокислый технический (раскислитель)	2652-71	кг	4,1
19	Натрий хлористый	4233-77	кг	1,8
20	Натрий едкий технический	2263-71	кг	3,6
21	Калий железистосинеродистый технический (раскислитель)	6816-72	кг	5,4
22	Дробь чугунная техническая $\varnothing 0,5 \dots 2$ мм	11964-66	кг	12,5
23	Песок металлический $\varnothing 0,3 \dots 0,8$ мм	11964-66	кг	14,2

4. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

При решении задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения (1) (рис. 1.1), используя критерий F_1 (2.1), включающий в себя трудозатраты, стоимости вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление конструируемой детали, стоимость обработки (снятие технологических прибылей) и транспортные расходы на доставку металла от поставщика на склад предприятия, мы получаем \tilde{O}_1 вариантов ее решения, для которых значения критерия F_1 удовлетворяют условию (2.20). Это обусловлено тем, что при решении задачи используется укрупненная оценка затрат и времени на изготовление детали (ее партии), которые уточняются при детальном рассмотрении технологических процессов механической и упрочняющей обработок.

Компонентами каждого варианта являются: материал, используемый для изготовления детали m_c , способ получения p_{z1} и вид заготовки z_g , а также вид упрочняющей обработки, обеспечивающей заданные показатели качества изделия tu_b .

Для каждого o_{1i} -го варианта решения задачи 1 решается задача автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки (3) (рис. 1.1). При решении задачи 3, используя обобщенный критерий F_3 (3.1), составляющими которого являются: экономический критерий F_3^1 (3.7), включающий в себя трудозатраты, стоимости вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление приспособлений, стоимости электроэнергии и ущерба, наносимого окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух, оценка процента брака деталей F_3^2 (3.22) и критерий технологичности совокупности процессов упрочняющей обработки F_3^3 (3.23), мы получаем вариант со следующими составляющими: вид

технологического процесса упрочняющей обработки tp_u с соответствующим набором оборудования o_{u_s} , приспособлений $p_{u_{s1}}$ и видом вспомогательных материалов $v_{u_{s2}}$.

Помимо задач 1 и 3 в общую схему задач ТПП включается и задача автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки (2), которая на данный момент не рассматривается, так как результаты ее решения не оказывают существенного влияния на затраты по выбору материала, способу получения заготовки и способу упрочнения поверхности заготовки.

При решении задачи 1 стоимость упрочняющей обработки оценивалась укрупненно (2.1), поэтому решение задачи 3 служит для уточнения затрат на ее проведение (3.1). Для того, чтобы окончательно выбрать оптимальный вариант решения общей задачи исследования, необходимо посчитать комплексный критерий F (1.14), минимальное значение которого позволит получить: материал, используемый для изготовления детали m_c , способ получения p_{z1} и вид заготовки z_g , вид технологического процесса упрочняющей обработки tp_u с соответствующим набором оборудования o_{u_s} , приспособлений $p_{u_{s1}}$ и видом вспомогательных материалов $v_{u_{s2}}$.

Данная методика использовалась при решении задач ТПП для накладки, входящей в сборку верхней нагревательной плиты, и пальца, входящего в сборку контейнера, форматора-вулканизатора ФВ 2-140.

5. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В главе 1 нами был выполнен обзор существующих программных средств, которые работают с использованием CALS-технологий, и отмечены их недостатки. Поэтому нами предлагается вариант автоматизированной системы технологической подготовки машиностроительного производства (АСТПП), в котором

1) одновременно учитывается:

- представление комплекса задач технологической подготовки машиностроительного производства (автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения; автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки; автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки) с использованием теории сложных систем;

- оценка технико-экономических показателей конструируемых изделий и экологической безопасности технологических процессов их изготовления;

- использование при проектировании технологических процессов экономического критерия и критерия качества (технологичность процессов изготовления и брак конструируемых деталей при их проведении);

2) обеспечивается:

- значительное снижение сроков и затрат на ТПП;

- резкое уменьшение количества ошибок проектировщиков и их устранение на ранних этапах создания изделий, обеспечение их технологичности;

- создание системы электронного документирования, значительное сокращение времени согласования принимаемых решений;

- повышение качества средств технологического оснащения.

Схематично АСТПП представлена на рис. 5.1. В состав системы входят:

- подсистемы расчетов задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения (1) и задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки (3); подсистема выпуска документации, выполняющая функцию генератора выходной документации в соответствии с утвержденными на нее требованиями. Вывод информации возможен на принтер, плоттер и экран дисплея;

- подсистема ведения архива, предназначенная для хранения и тиражирования результатов всех ранее выполненных расчетов;

- система управления базами данных Access, обеспечивающая загрузку и обработку БД, эффективный поиск и корректировку данных;

- система автоматизированного проектирования ACAD, предназначенная для построения эскизов конструируемых деталей, подлежащих изготовлению и термической обработке;

- банк данных, содержащий всю справочную информацию, необходимую для повседневной работы технолога, а также результаты расчетов ТП, данных различных ведомостей: спецоснастки, расхода вспомогательных материалов и др.;

- банк графических образов, содержащий эскизы деталей, для которых получены маршрутно-технологические карты.

Все многообразие конструкторских и технологических задач можно решать с использованием электронных графических каталогов. Для того чтобы графические каталоги имели широкий спектр применимости, были свободны от произвольности, характерной для слабоформализованной технологической информации, а также сочетались с новыми методами проектирования и производства изделий, они должны отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать быструю выборку информации в удобной форме и удовлетворять запросы широкого круга специалистов;

- не содержать противоречий как внутри одного каталога, так и между различными каталогами;

- согласовываться с положениями и процедурами конструкторского и технологического проектирования и обладать максимальной полнотой в соответствующей области;

– обеспечивать расширения и изменения содержания при неизменных принципах организации информации.

В информационной базе системы содержатся каталоги всех составляющих технологических процессов (ТП): наименование операций, оборудование, приспособления, вспомогательные материалы, тексты переходов, режущие, измерительные, вспомогательные инструменты, заготовки, комплектующие для сборочных ТП. Любая информация в базе может быть изменена, добавлена или удалена.

Рассмотрим структуру информационной базы системы ТПП для задач автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения и автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки.

5.1. Информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения

Вся база данных условно разбита на шесть групп: 1) классификация деталей машиностроения; 2) способ получения заготовки; 3) стойкость материала; 4) условия эксплуатации; 5) марочник стали; 6) данные о конструируемой детали.

Рассмотрим каждую группу подробнее.

Группа 1. Классификация деталей машиностроения (рис. 5.2).

Структуру базы данных этой группы поясняет рис. 2.2. Если в основу класса положить форму деталей и идентичность процесса их изготовления, можно рекомендовать классификацию деталей, машин среднего размера весом до 10 т, состоящую из следующих шести классов: 1) корпусные детали; 2) круглые стержни; 3) полые цилиндры; 4) диски; 5) некруглые стержни; 6) крепежные детали [4].

Рекомендуемой классификацией можно охватить около 65...70 % наиболее распространенных деталей средних машин. Остальная часть деталей, имеющих специфическую внешнюю форму, пока не может быть включена в данную классификацию.

Для отнесения детали к тому или другому классу основное значение должно иметь сходство технологического процесса обработки этой детали с другими деталями данного класса.

При разделении деталей машин на размерные группы следует, исходя из заводской практики, предусматривать деление всех деталей средней машины на четыре группы: крупных, средних, небольших и мелких деталей. Такое деление соответствует делению станков на типоразмеры. К крупным должны относиться детали, обрабатываемые на крупных станках всех видов; к средним – детали, обрабатываемые на станках средних типоразмеров и т.д.

К каждой из четырех размерных групп могут быть отнесены детали различной формы, т.е. различных классов.

Конкретные диапазон размеров и наименование составляющих классификационных групп можно найти в [4] или в табл. 5.1.

Способ получения заготовки имеет решающее влияние на механическую обработку детали. Имеются в виду следующие методы получения заготовок: табл. 2.1.

Размер выпуска (серийность производства), не меняя основы технологического процесса изготовления детали, предопределяет типаж применяемого оборудования и тем самым влияет на технологический процесс и трудоемкость изготовления детали.

При небольшом выпуске и часто изменяемой конструкции обрабатываемых деталей может оказаться экономически невыгодным применение специального оборудования; при небольшом выпуске обработка деталей обычно ведется на универсальном или на легко перенастраиваемом специальном оборудовании при простой оснастке и инструменте. При большом выпуске и стабильности конструкции деталей необходимо применение высокопроизводительного оборудования, высокоэффективной автоматизированной оснастки, специального рабочего и измерительного инструмента.

Технологический процесс и трудоемкость обработки одной и той же детали из различных заготовок будут совершенно различными. Изготовление детали из штампа или из заготовки, полученной свободной ковкой, требует иногда двойного и даже тройного количества операций и времени на обработку детали по сравнению с обработкой штампованной заготовки. При этом иногда расходуется вдвое и втрое больше металла на деталь и в несколько раз больше загружаются станки.

Каждому методу получения заготовки ставится в соответствие коэффициент, учитывающий способ получения заготовки, K_c (табл. 2.1) [9].

Любая конструируемая деталь имеет строго определенную группу сложности изготовления при выбранном способе получения заготовки. Например, при холодной штамповке деталь может попасть в одну из пяти групп сложности изготовления (табл. 5.2).

5.1. Технологическая классификация деталей

Класс деталей	Группа деталей	Вес G , размерность L
Корпусные Литые или сварные Крышки Стойки Кронштейны Плиты	Крупные	$l > 700$ мм; b или $h > 0,3l$; $G > 40$ кг
	Средние	$l = 700 \dots 360$ мм; b или $h > 0,3l$; $G = 10 \dots 40$ кг
	Небольшие	$l = 150 \dots 370$ мм; b или $h > 0,3l$; $G = 2 \dots 10$ кг
	Мелкие	$l \leq 150$ мм; b или $h > 0,3l$; $G \leq 2,0$ кг
Круглые стержни	Крупные	$l > 800$ мм; $d < 0,5l$;

Валы гладкие и ступенчатые Валы пустотелые Валы коленчатые Валы с фасонной поверхностью		$G > 10$ кг
	Средние	$l = 800 \dots 250$ мм; $d < 0,5l$; $G = 3 \dots 10$ кг
	Небольшие	$l = 250 \dots 100$ мм; $d < 0,5l$; $G = 3 \dots 0,8$ кг
	Мелкие	$l < 100$ мм; $d < 0,5l$; $G < 0,8$ кг
Полые цилиндры	Крупные	D – внешний наибольший диаметр цилиндра; h – высота детали $D > 400$ мм; $h = (0,5 \dots 2,5) D$; $G > 30$ кг
Простой формы Сложные с фасонной наружной и внутренней поверхностями Тонкостенные	Средние	$D = 150 \dots 400$ мм; $h = (0,5 \dots 2,5) D$; $G = 2 \dots 30$ кг
	Небольшие	$D = 70 \dots 150$ мм; $h = (0,5 \dots 2,5) D$; $G = 0,7 \dots 2,0$ кг
	Мелкие	$D < 70$ мм; $h = (0,5 \dots 2,5) D$; $G < 0,7$ кг
Диски	Крупные	D – наружный диаметр дисков $D > 400$ мм; $h = 0,5D$; $G > 30$ кг
Простые Шестерни Тонкостенные	Средние	$D = 200 \dots 400$ мм; $h = 0,5D$; $G = 6 \dots 30$ кг
	Небольшие	$D = 100 \dots 200$ мм; $h = 0,5D$; $G = 1,0 \dots 6,0$ кг
	Мелкие	$D < 100$ мм; $h = 0,5D$; $G < 1,0$ кг
Некруглые стержни	Крупные	$l > 800$ мм; $G > 20$ кг
Класс деталей	Группа деталей	Вес G , размерность L
БАЛКИ		
Рычаги прямые Рычаги непрямые Тонкостенные коробчатые стержни	Средние	$l = 300 \dots 800$ мм; $G = 3,0 \dots 20$ кг
	Небольшие	$l = 150 \dots 300$ мм; $G = 1,0 \dots 3,0$ кг
	Мелкие	$l < 150$ мм; $G < 1,0$ кг
Крепежные	Крупные	Аналогичны деталям класса круглых стержней или полых цилиндров и дисков размерных групп Небольшие и Мелкие
Болты Гайки Винты Фасонные мелкие детали	Средние Небольшие	
	Мелкие	

5.2. ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА

Группа сложности	Описание
I	Изготовление листовых деталей резкой на ножницах или резка заготовок из сортового проката (до 2-х операций включительно)
II	Изготовление деталей простой формы на ножницах (до 4-х операций); вырубка и пробивка простых деталей; вырубка простых деталей средних размеров с нагревом; простая гибка деталей
III	Изготовление за 2-3 операции крупных деталей простой формы; вырубка простых деталей средних размеров с последующей гибкой; вырубка и пробивка деталей; фасонная гибка мелких и средних деталей простой формы
IV	Изготовление за 3 – 5 операций крупногабаритных деталей простой формы на ножницах с гибкой на вальцах или крупногибочных прессах; вырубка крупногабаритных деталей с последующей гибкой; совмещенная вырубка, вытяжка, отрезка, гибка; отрезка, формовка простых мелких и средних деталей; 2-3-х переходная вытяжка деталей простой формы и однопереходная вытяжка деталей сложной формы
V	Вырубка и пробивка мелких и крупных деталей сложной формы; штамповка деталей сложной формы за 5 и более операций; сложная многопереходная гибка деталей в двух плоскостях

Группа 2. Способ получения заготовки (рис. 5.3).

Структуру базы данных этой группы поясняет рис. 2.2 и рис. 2.4.

Ранее уже был рассмотрен способ получения заготовки по категории значимости. Еще один путь определения конкретного способа получения заготовки – по технологическим свойствам марок сталей. Если технологические свойства марки стали – способность к литью – жидкотекучесть, способность к ковке – пластичность, свариваемость, закаливаемость и др. (рис. 2.3) – удовлетворяют определенному диапазону значений для какого-то способа получения заготовки, то заготовку можно получить данным методом из выбранной марки стали. Например, технологическое свойство *способность к литью* –

жидкотекучесть – стали 25ХЛ равна 32 см, а интервал значений для способа получения заготовки – литье – равен 30...40 см при толщине отливки 15...25 мм [13], значит заготовку из данной марки стали можно получать литьем.

Группа 3. Стойкость материала (рис. 5.4).

Структуру базы данных этой группы поясняет табл. 5.3. Данные для базы данных содержатся в [2, 7, 8]. Поверхность любой детали подвергается агрессии со стороны среды, в которой она работает (атмосфера, агрессивная газовая, агрессивная жидкая). Это воздействие необходимо учитывать, чтобы знать, выдержит ли деталь срок эксплуатации, или придется иметь еще несколько запасных.

Группа 4. Условия эксплуатации (рис. 5.5).

Структуру базы данных этой группы поясняет табл. 2.2 и рис. 5.6. Каждому набору: условие приложения нагрузки, время приложения нагрузки, среда и температура однозначно соответствуют наборы прочностных характеристик и рекомендуемые виды химико-термической обработки.

Группа 5. Марочник стали (рис. 5.7).

Структуру базы данных этой группы поясняет табл. 2.5. Информацию для базы данных можно найти в [7].

Группа 6. Данные о конструируемой детали (рис. 5.8). Здесь собрана воедино вся информация, касающаяся изготавливаемой детали.

Таким образом на рис. 5.2 – 5.8 представлена информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения.

5.2. Информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки

Вся информационная база данных условно разбита на пять групп: 1) технологический процесс; 2) оборудование; 3) приспособления и вспомогательные материалы; 4) вредные выбросы; 5) данные о конструируемой детали.

Рассмотрим каждую группу подробнее.

Группа 1. Технологический процесс (рис. 5.9).

Здесь собрана воедино вся информация, касающаяся технологического процесса упрочняющей обработки. Вид техпроцесса – это соответствующим образом сформированная последовательность технологических операций (табл. 3.9) с переходами (табл. 3.10), набором оборудования (табл. 3.11), приспособлений (табл. 3.7), вспомогательных материалов (табл. 3.13) и вредных выбросов (табл. 3.8). Здесь выбираются: режимные характеристики процесса, длительность перехода, норма загрузки и т.д. Считается стоимость техпроцесса, составляющей которой являются трудозатраты, стоимости вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление приспособлений, стоимости энергии и ущерба, наносимого окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух, при этом также учитывается экспертная оценка процента брака деталей и технологичность процесса упрочняющей обработки.

Группа 2. Оборудование (рис. 5.10).

Все оборудование термических цехов делится на основное, вспомогательное и дополнительное (вид оборудования). Каждому виду оборудования соответствует набор типов оборудования, например, печь сопротивления шахтная цементационная модернизированная СШЦМ, печь сопротивления шахтная окислительная СШО, электропечь камерная окислительная СНО и т.д. Каждый такой тип оборудования имеет набор типоразмеров с соответствующей мощностью (табл. 3.5).

Группа 3. Приспособления и вспомогательные материалы (рис. 5.11).

Здесь собрана информация, касающаяся приспособлений – вид приспособления (оснастка, приспособление), наименование, из чего изготовлено (марка стали), срок его службы в зависимости от вида технологической операции (табл. 3.4) и т.д. – и вспомогательных материалов – наименование, состав и норма расхода для каждой технологической операции (табл. 3.13), стоимость 1 кг на середину 2000 г. (табл. 3.14) и т.д. – для проведения технологического процесса упрочнения.

Группа 4. Вредные выбросы (рис. 5.12).

Каждой технологической операции соответствует набор выбросов вредных для окружающей среды и здоровья человека (табл. 3.8). В базе данных заложены норма ПДВ и ПДК, стоимость условной тонны для каждого выброса и количество испаряющегося вредного газа с удельной поверхности детали.

Группа 5. Данные о конструируемой детали (рис. 5.13). Здесь собрана воедино вся информация, касающаяся изготавливаемой детали.

Таким образом на рис. 5.9 – 5.13 представлена информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки.

5.3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ

На основе разработанного информационного обеспечения создано программное обеспечение, предназначенное для решения задачи автоматизированного синтеза технологических процессов производства изделий из металлов, которое успешно используется на ряде промышленных предприятий, в том числе, начиная с 1996 – на ОАО "Тамбовполимермаш". За это время с помощью программно-математического комплекса "Термист" разработано более 500 маршрутных карт изготовления деталей для 50 крупных изделий, в состав которых входило более 100 деталей.

В качестве примера рассмотрим синтез технологических процессов производства деталей форматора-вулканизатора ФВ-2-140. В состав форматора-вулканизатора ФВ-2-140 входит более 100 различных деталей из различных марок металлов. Для большинства деталей с помощью комплекса программ "Термист" были разработаны технологические процессы их химико-термической обработки.

В разделе 2.2 иллюстрация алгоритма решения автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения детали была проведена на примере шестерни с категорией значимости Kz – ответственная, весом $G = 6$ кг, геометрическими размерами L : (диаметр $D = 200$ мм, толщина $h = 40$ мм) и серийностью производства $Sp = 10\ 000$ штук в месяц.

Иллюстрация алгоритма решения задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки на примере пальца, входящего в сборку контейнера с геометрическими размерами: наружным диаметром $d_n = 38$ мм, внутренним диаметром $d_v = 15$ мм, длиной $L = 120$ мм, весом $G = 0,8$ кг и серийностью производства $Sp = 600$ шт. в месяц приведена в разделе 5.2.2.

Заключение

В данной работе предложен подход к решению задачи автоматизированного синтеза экологически безопасных процессов изготовления машиностроительных изделий из металлов, позволяющий рассмотреть комплекс взаимосвязанных подзадач с позиций теории систем. Были поставлены и решены следующие задачи:

- выбора вида (марки) металла и вида упрочняющей обработки поверхностей детали, а также способа получения и вида заготовки в зависимости от выбранного вида упрочняющей обработки;

- выбора экономичного экологически безопасного технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров определенного ранее вида упрочняющей обработки.

Особенностью предложенной методики решения задачи автоматизации технологической подготовки машиностроительного производства в соответствии со стандартом ISO 13584 PLIB является учет следующих факторов:

- оценка технико-экономических показателей конструируемых изделий и экологической безопасности технологических процессов их изготовления;

- использование при проектировании технологических процессов экономического критерия и критерия качества (технологичность процессов изготовления и брак конструируемых деталей при их проведении).

При этом обеспечивается:

- значительное снижение сроков и затрат на технологическую подготовку производства;

- резкое уменьшение количества ошибок проектировщиков и их устранение на ранних этапах создания изделий, обеспечение их технологичности;

- создание системы электронного документирования, значительное сокращение времени согласования принимаемых решений.

Использование методики автоматизированного синтеза экологически безопасных процессов изготовления машиностроительных изделий из металлов и программного обеспечения, разработанного авторами, позволит технологам, студентам и аспирантам при решении конкретных задач конструирования машиностроительных изделий рассматривать результаты как с технико-экономических, так и экологических позиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная система технологической подготовки производства для термической обработки изделий из металлов. Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, В.Г. Мокрозуб, З.М. Ткаченко, Н.П. Нестерова // Вестник машиностроения. – 1994. – № 2. – С. 28 – 30
2. Базовые нормативы платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещение отходов. – М., 1992. – 32 с.
3. Бахур, А.Б. Возможности автоматизации проектирования технических систем на основе интегративно-функциональных представлений о системной организации // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : сб. тез. докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / А.Б. Бахур. – М., 2001. – С. 16–17.
4. Бенедиктов, И.А. Разработка и исследование технологической подготовки группового производства поковок из цветных металлов и сплавов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.А. Бенедиктов. – М., 1999. – 20 с.
5. Бойко, Е.И. Организация технологических систем промышленного производства / Е.И. Бойко. – Киев : Наук. думка, 1985. – 168 с.
6. Воробьева, Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Г.Я. Воробьева. – М. : Химия, 1975. – 816 с.
7. Гаринов, Н.К. Разработка и исследование автоматизированной системы инструментального обеспечения машиностроительного производства как резерва технологической подготовки : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.К. Гаринов ; Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. – М., 1992. – 14 с.
8. Гонсалес-Сабатер, А. Система автоматизированного проектирования технологии инструментального производства // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : сб. тез. докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / А. Гонсалес-Сабатер, А.В. Митряев. – М., 2001. – С. 70–71.
9. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – М. : Высшая школа, 1983. – 225 с.
10. Горбоконь, А.А. Комплексная подготовка производства новых изделий / А.А. Горбоконь, С.А. Соколицин. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980. – 264 с.
11. Демьянюк, Ф.С. Технологические основы поточного и автоматизированного производства / Ф.С. Демьянюк. – М. : Высшая школа, 1958. – 694 с.
12. Долотов, Г.П. Оборудование термических цехов и лабораторий испытания металлов / Г.П. Долотов, Е.А. Кондаков. – М. : Машиностроение, 1988. – 336 с.
13. Дриц, М.Е. Технология конструкционных материалов и материаловедение / М.Е. Дриц, М.А. Москалев. – М. : Высшая школа, 1990. – 447 с.
14. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих / под ред. Л.Г. Хороших. – 2-е изд. – М., 1988. – 591 с.
15. Есютин, А.А. Совершенствование организации подготовки производства / А.А. Есютин. – М. : Экономика, 1977. – 79 с.
16. Журавлев, В.Н. Машиностроительные стали : справочник / В.Н. Журавлев, О.И. Николаева. – М. : Машиностроение, 1981. – 391 с.
17. CAD-CAM в машиностроении. Сквозная автоматизация технической подготовкой производства / Л.И. Зильбербург, П.Н. Павленко, А.Б. Пелипенко и др. // Инструмент. – 1997. – № 7. – С. 4 – 6.
18. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды. – М., 1993. – 60 с.
19. Капустин, Н.М. Структурный синтез при автоматизированном проектировании технологических процессов производства деталей с использованием генетических алгоритмов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов // Информационные технологии. – 1998. – № 4. – С. 34 – 37.
20. Котов, О.К. Поверхностное упрочнение деталей машин химико-термическими методами / О.К. Котов. – М. : Машиностроение, 1969. – 334 с.
21. Кочетов, В.В. Система нормативного проектирования // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : сб. тез. докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / В.В. Кочетов. – М., 2001. – С. 75–76.
22. Краткий справочник металлиста / под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – М. : Машиностроение, 1987. – 960 с.
23. Куликов, Д.Д. Моделирование объектов и процессов в автоматизированных системах технологической подготовки производства в машино- и приборостроении (методы и инструментальные средства) : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Д.Д. Куликов ; СПб. ин-т точной механики и оптики. – СПб., 1992. – 38 с.
24. Куратовский, К. Теория множеств / К. Куратовский, А. Мостовский. – М. : Мир, 1970. – 416 с.
25. Лейкин, А.Е. Материаловедение / А.Е. Лейкин, Б.И. Родин. – М. : Высшая школа, 1971. – 416 с.
26. Летенко, В.А. Организация машиностроительного производства: Теория и практика / В.А. Летенко, О.Г. Туровец. – М. : Машиностроение, 1982. – 208 с.
27. Леушин, И.О. Автоматизация обеспечения технологической подготовки производства отливок : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И.О. Леушин ; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Нижний Новгород, 1996. – 31 с.
28. Лукинских, С.В. Оптимизация и автоматизация технологической подготовки производства кольцевых заготовок с использованием раскатки : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Лукинских ; Урал. политехн. ин-т им. С.М. Кирова. – Свердловск, 1989. – 17 с.

29. Лукьяненко, Д.Г. Планирование технологической подготовки производства новых изделий / Д.Г. Лукьяненко. – Киев : Техника, 1991. – 63 с.
30. Малыгин, Е.Н. Автоматизация процесса технологической подготовки машиностроительного производства // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : сб. тез. докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова. – М., 2001. – С. 65–66.
31. Маматкулов, Д.Д. Разработка технологий бездеформационной термической обработки сталей различных классов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Д.Д. Маматкулов. – СПб., 1997. – 34 с.
32. Машина, Е.С. Каталогизация изделий в концепции CALS // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : сб. тез. докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / Е.С. Машина, П.С. Шильникова. – М., 2001. – С. 29–30.
33. Милаев, В.А. Автоматизация процесса управления в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства / В.А. Милаев, А.А. Фаткин, Т.В. Рулаева // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : материалы Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001. – М., 2001. – С. 261 – 270.
34. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М. : Машиностроение, 1965. – 491 с.
35. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М. : Наука, 1982. – 288 с.
36. Немтинов, В.А. Автоматизированная система технологической подготовки производства изделий химического машиностроения / В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова, Е.С. Егорова // Успехи в химии и химической технологии : сб. тез. докл. XIV Междунар. конф. молодых ученых МКХТ-2000. – М., 2000. – С. 71.
37. Немтинов, В.А. Автоматизированный выбор метода получения заготовки для машиностроительных изделий / В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова, Е.С. Егорова // Актуальные проблемы информатики и информационных технологий : сб. тез. докл. 4-й Тамбовск. межвуз. конф. – Тамбов, 2000. – С. 51–52.
38. Николаев, Е.Н. Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов / Е.Н. Николаев. – М. : Высшая школа, 1980. – 192 с.
39. Родионов, А.И. Оборудование и сооружения для защиты биосферы от промышленных выбросов / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов и др. – М. : Химия, 1985. – 352 с.
40. Основы технологии важнейших отраслей промышленности / под ред. И.А. Сидорова. – М. : Высшая школа, 1971. – 592 с.
41. Павлов, В.В. Полихроматические графы и гиперграфы в структурном моделировании систем / В.В. Павлов // Техника. Экономика. Сер. Автоматизация проектирования. – ВИМИ, 1995. – Вып. 3–4. – С. 30 – 36.
42. Павлов, В.В. Полихроматические множества в теории систем. Изменение состава ПС-множеств / В.В. Павлов // Информационные технологии. – 1998. – № 1. – С. 4 – 8.
43. Павлов, В.В. Полихроматические множества в теории систем. Структура ПС-множеств / В.В. Павлов // Информационные технологии. – 1997. – № 7. – С. 11 – 16.
44. Пшоник, М.Г. Энергоснабжение при утилизационном теплоиспользовании в термических теплотехнологиях заготовительного производства машиностроительных и металлургических заводов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Г. Пшоник / Белорус. гос. политехн. акад. – Минск, 1994. – 16 с.
45. Рыбаков, А.В. Проектирование технологической оснастки на основе системы автоматизированной поддержки информационных решений / А.В. Рыбаков, С.А. Евдокимов, А.А. Краснов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : материалы Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001. – М., 2001. – С. 365 – 369.
46. Силуянова, М.В. Задачи функционально-стоимостного анализа проектируемых объектов на производственных стадиях жизненного цикла / М.В. Силуянова // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : сб. тез. докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / М.В. Силуянова, А.Д. Николаев, В.В. Никонов. – М., 2001. – С. 84–85.
47. Скалкин, В.В. Управление внедрением программного обеспечения технологической подготовки производства на машиностроительном предприятии : автореф. дис. ... канд. экон. наук / В.В. Скалкин ; Гос. акад. упр. им. С. Орджоникидзе. – М., 1993. – 19 с.
48. Соломенцев, Ю.М. Моделирование технологической среды машиностроения / Ю.М. Соломенцев, В.В. Павлов. – М. : МГТУ "Станкин", 1994. – 104 с.
49. Софрасенков, А.Ф. Разработка материалов и технологий термической и химико-термической обработки для аппаратов высокого давления : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.Ф. Софрасенков ; Сиб. гос. горно-металлург. акад. – Новокузнецк, 1996. – 46 с.
50. Справочник по чугуному литью / под ред. Н.Г. Гиршовича. – Л. : Машиностроение, 1978. – 758 с.
51. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. I. – 665 с.
52. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. II. – 665 с.
53. Стабровский, П.А. Организация и экономика технической подготовки производства новых изделий / П.А. Стабровский. – М. : Экономика, 1970. – 159 с.

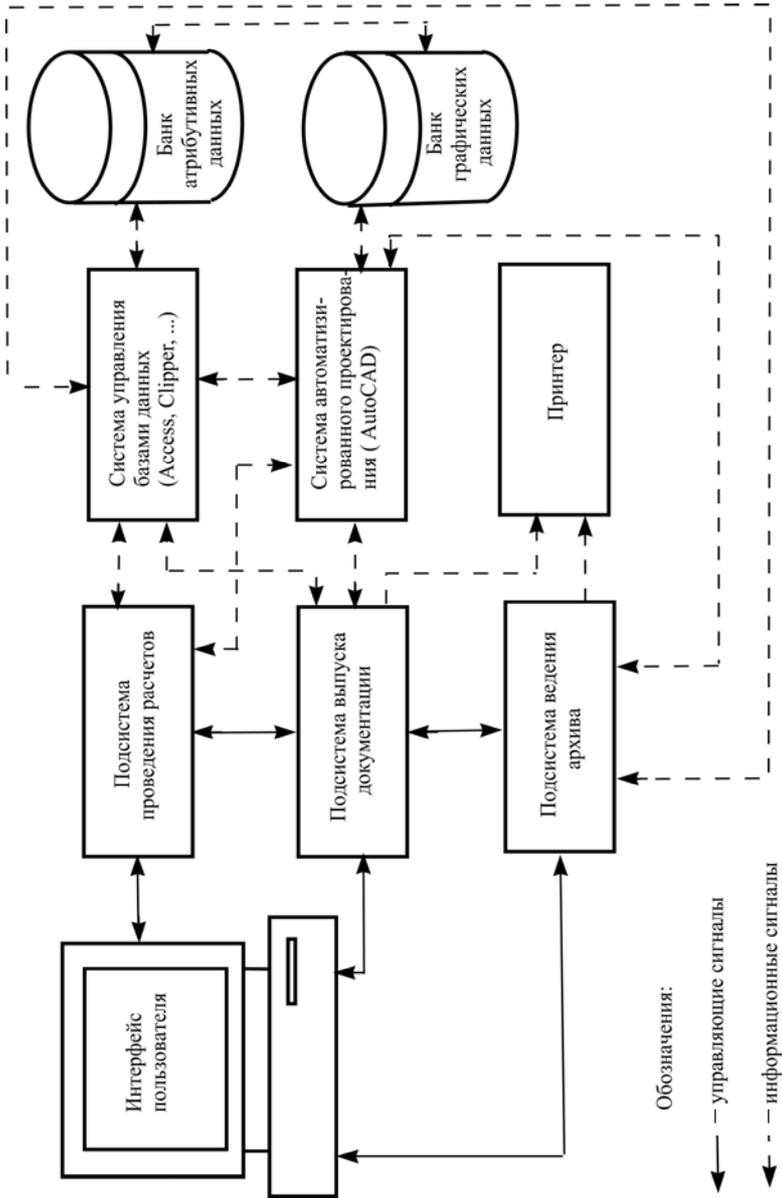
54. Теория и технология азотирования / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г.И. Шпис, З. Бемер. – М. : Metallurgiya, 1991. – 320 с.
55. Технологическая подготовка гибких производственных систем / под общей ред. С.П. Митрофанова. – Л. : Машиностроение, 1987. – 352 с.
56. Тылкин, М.А. Справочник термиста ремонтной службы / М.А. Тылкин. – М. : Metallurgiya, 1981. – 648 с.
57. Филинов, С.А. Справочник термиста / С.А. Филинов, М.В. Фиргер. – Л. : Машиностроение, 1975. – 352 с.
58. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Г.В. Борисенок, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошин и др. – М. : Metallurgiya, 1981. – 424 с.
59. Хлыбов, О.С. Разработка и применение математической модели прогнозирования механических свойств стали для назначения технологических режимов широкополосовой горячей прокатки : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.С. Хлыбов ; Моск. гос. ин-т стали и сплавов. – М., 1995. – 24 с.
60. Цыганов, В.В. Адаптивные механизмы в отраслевом управлении / В.В. Цыганов. – М. : Наука, 1991. – 166 с.
61. Чадеев, В.М. Выбор параметров иерархии при проектировании изделий и автоматизации технологических процессов / В.М. Чадеев // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : материалы Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / В.М. Чадеев. – М., 2001. – С. 370 – 379.
62. Чехова, А.Н. CALS – обеспечение интеллектуальной методологии в СК машиностроения // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : материалы Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001 / А.Н. Чехова, Т.И. Прокопова. – М., 2001. – С. 283 – 290.
63. Экономическое обоснование выбора материала, типа упрочнения и заготовки для деталей, работающих в определенных условиях эксплуатационного нагружения : сб. тез. докл. 5-ой науч. конф. Тамбовского государств. техн. ун-та / В.А. Немтинов, В.Г. Мокрозуб, Н.П. Зимнухова, Ж.Е. Зимнухова. – Тамбов, 2000. – С. 82–83.
64. Яблочников, Е.И. Автоматизированные системы управления технической подготовкой производства на машиностроительных предприятиях / Е.И. Яблочников // Информационные технологии. – 1998. – № 8. – С. 17 – 19.
65. Ягубов, С.А. Пути унификации и использование САПР технологии термической обработки деталей для управления производством термического цеха массового производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.А. Ягубов ; Моск. гос. ин-т стали и сплавов. – М., 1995. – 24 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	6
1.1. Разработка экономичных экологически безопасных технологий производства изделий из металлов с использованием теории сложных систем	14
1.2. Постановка задачи синтеза технологических процессов производства изделий из металлов	22
2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР МАРКИ МЕТАЛЛА, СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ И ВИДА ЗАГОТОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	24
2.1. Математическая постановка задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения	25
2.2. Процедурная модель принятия решений задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения	30
3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР ЭКОНОМИЧНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ	43
3.1. Математическая постановка задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки	44
3.2. Процедурная модель принятия решений задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки	58
4. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	77
5. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	78
5.1. Информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора марки металла, способа получения и вида заготовки в зависимости от вида упрочнения для изделий машиностроения	81
5.2. Информационная база данных для решения задачи автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки	94
5.3. Примеры решения задач синтеза технологических процессов производства изделий из металлов	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102

ПРИЛОЖЕНИЯ

РИС. 5.1. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА



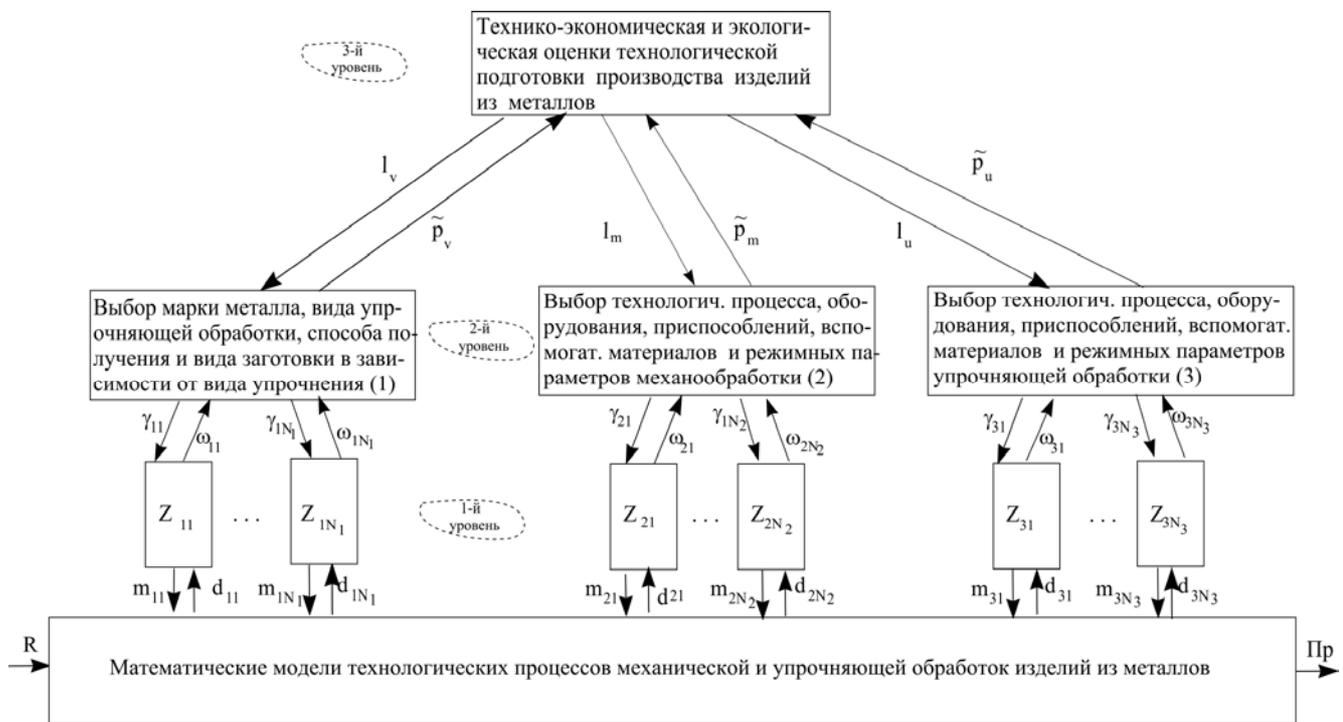


РИС. 1.1. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Рис. 2.1. Укрупненная блок-схема алгоритма решения задачи (1)

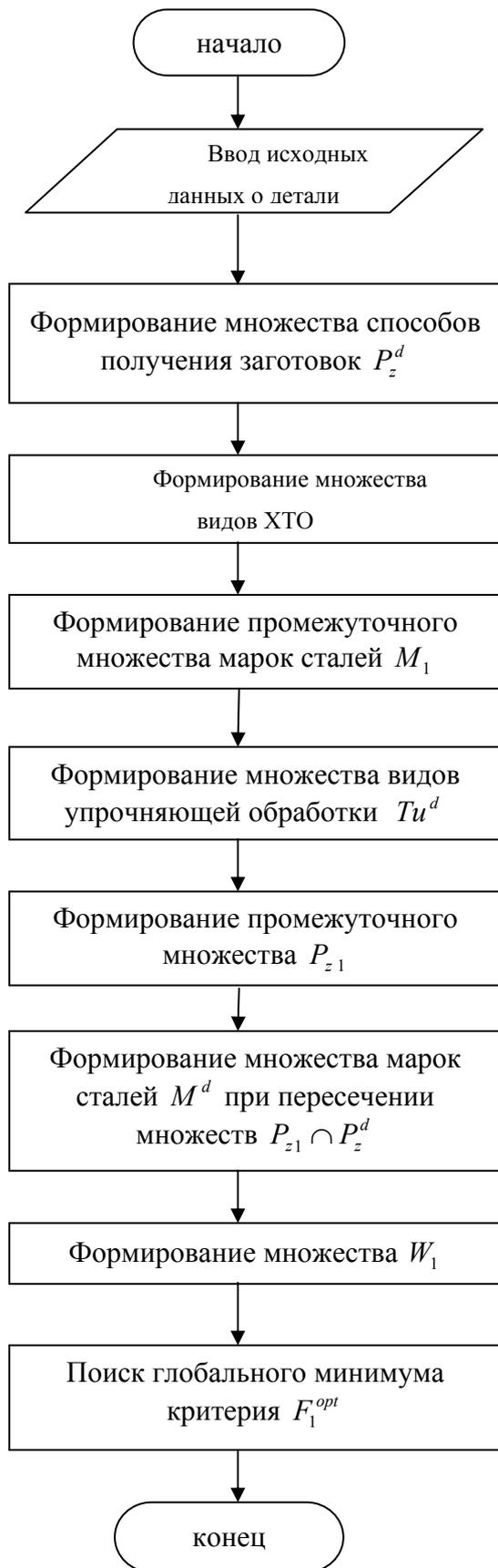


Рис. 2.2. Технологическая классификация деталей машиностроения

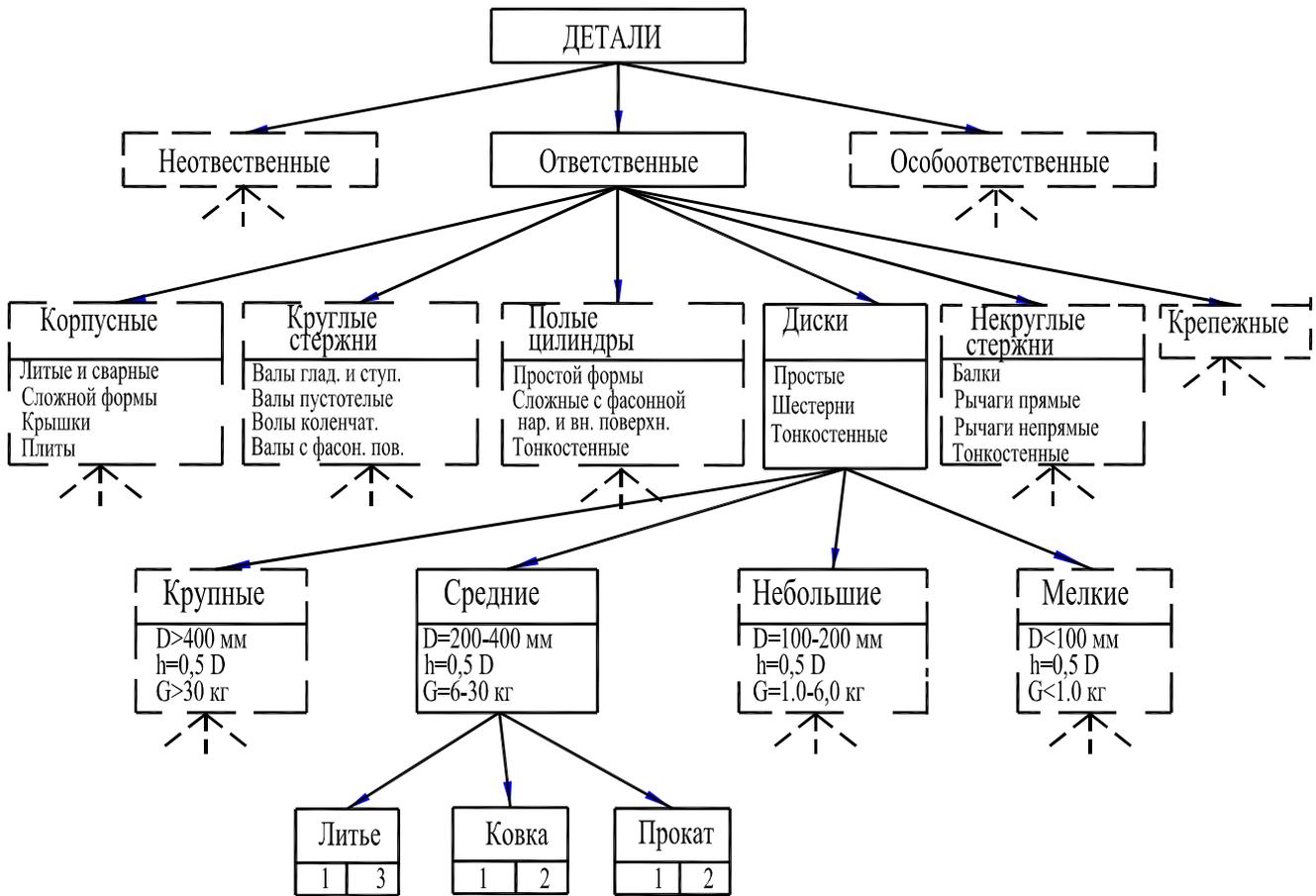


Рис. 2.3. Классификация свойств стали

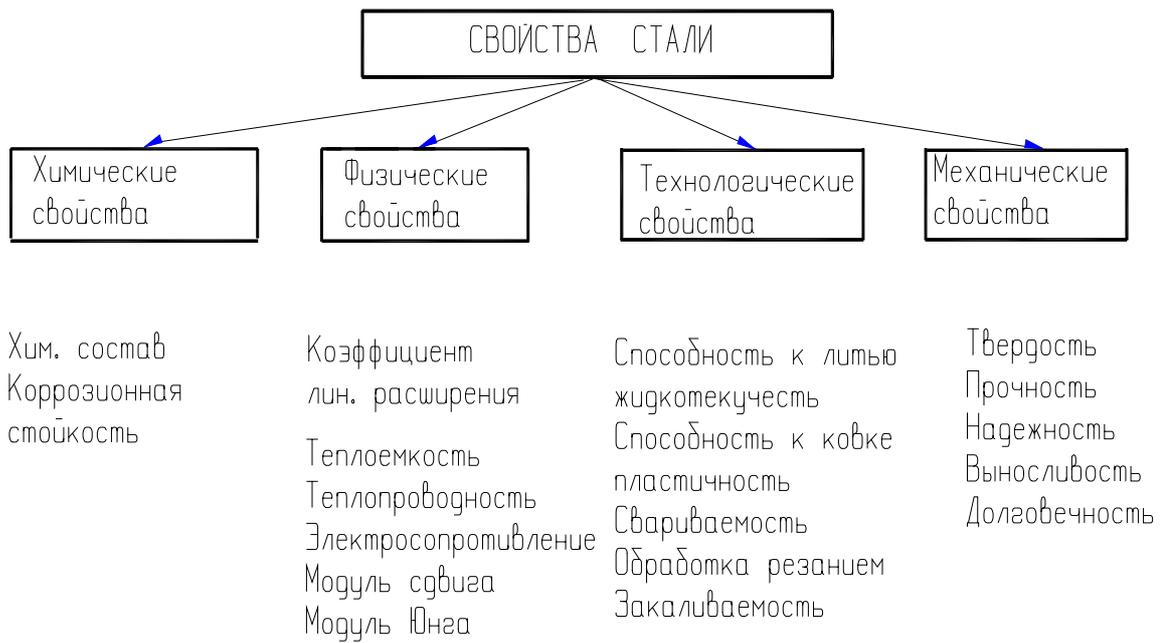


РИС. 2.4. СХЕМА ВЫБОРА МАРКИ СТАЛИ И СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

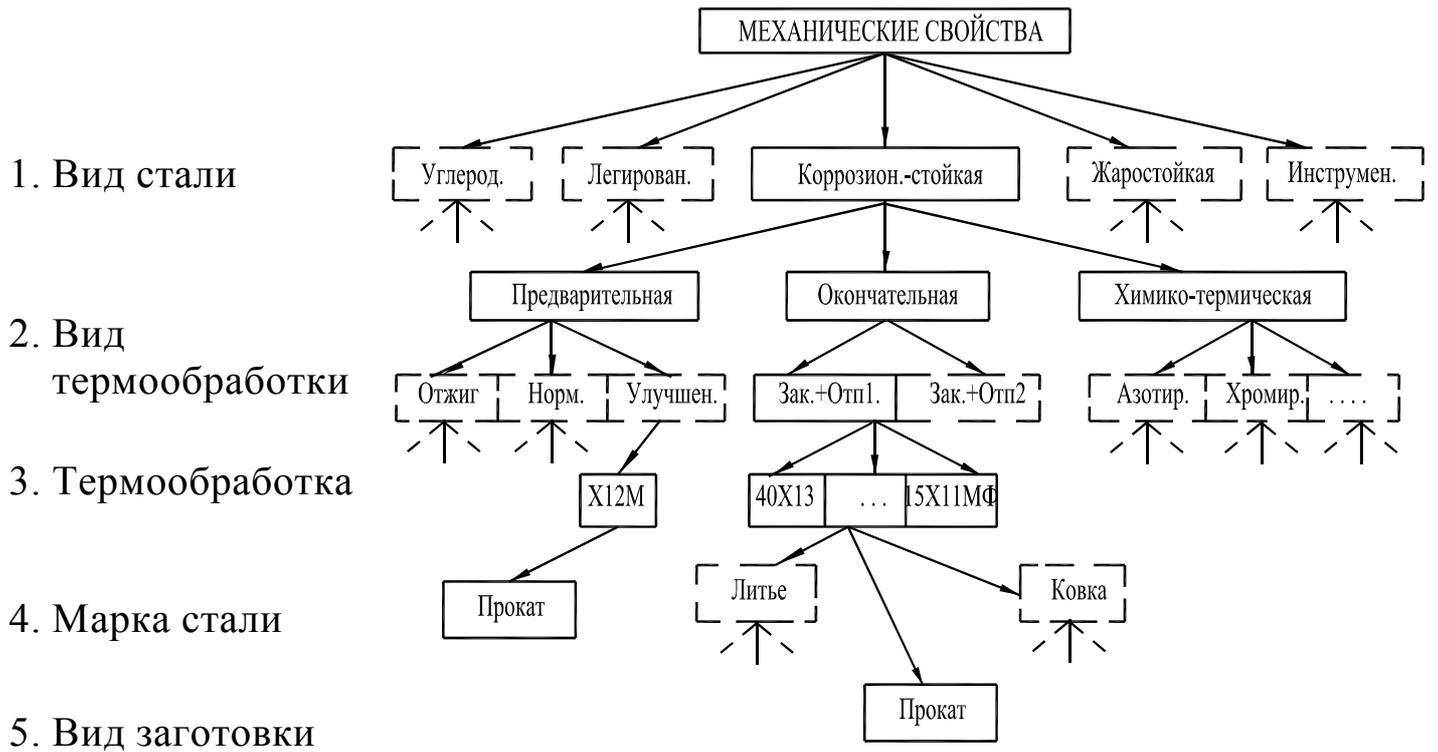


Рис. 2.5. Схема выбора марки стали и способа получения заготовки по категории значимости и механическим свойствам

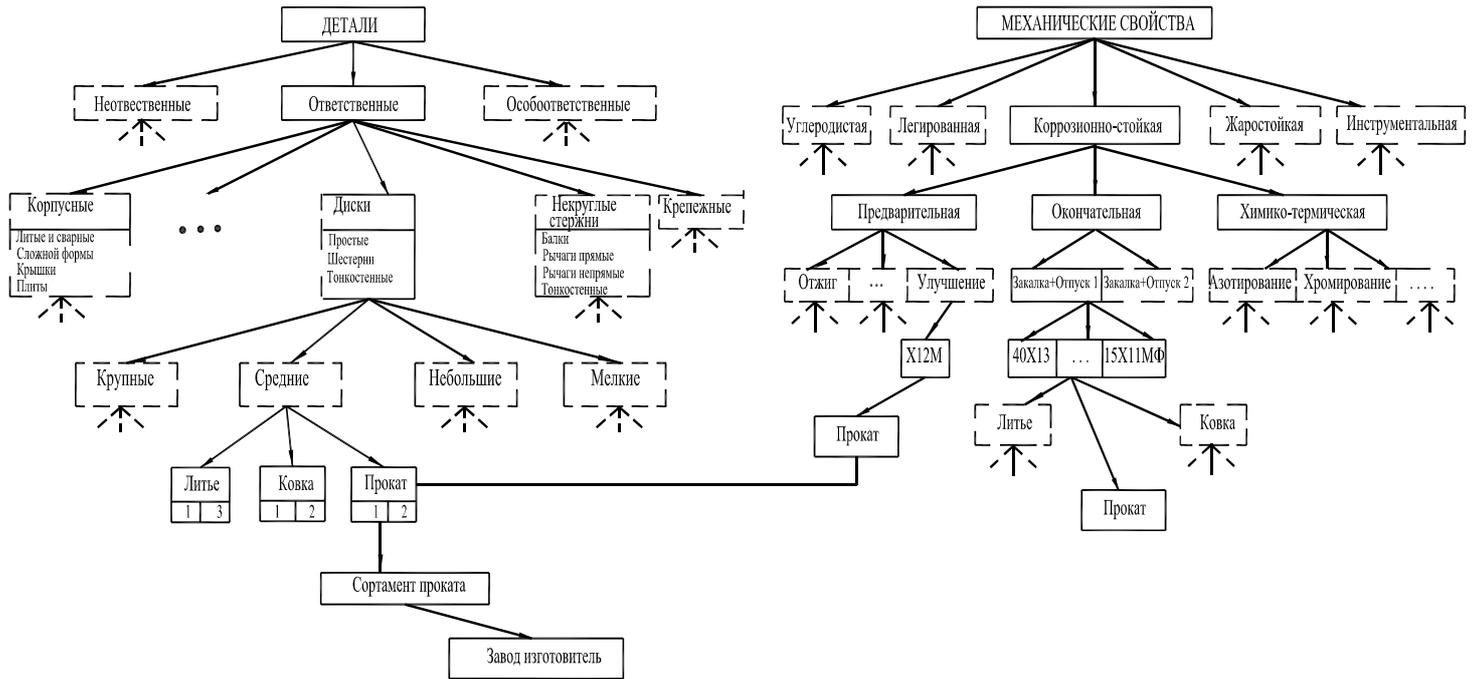
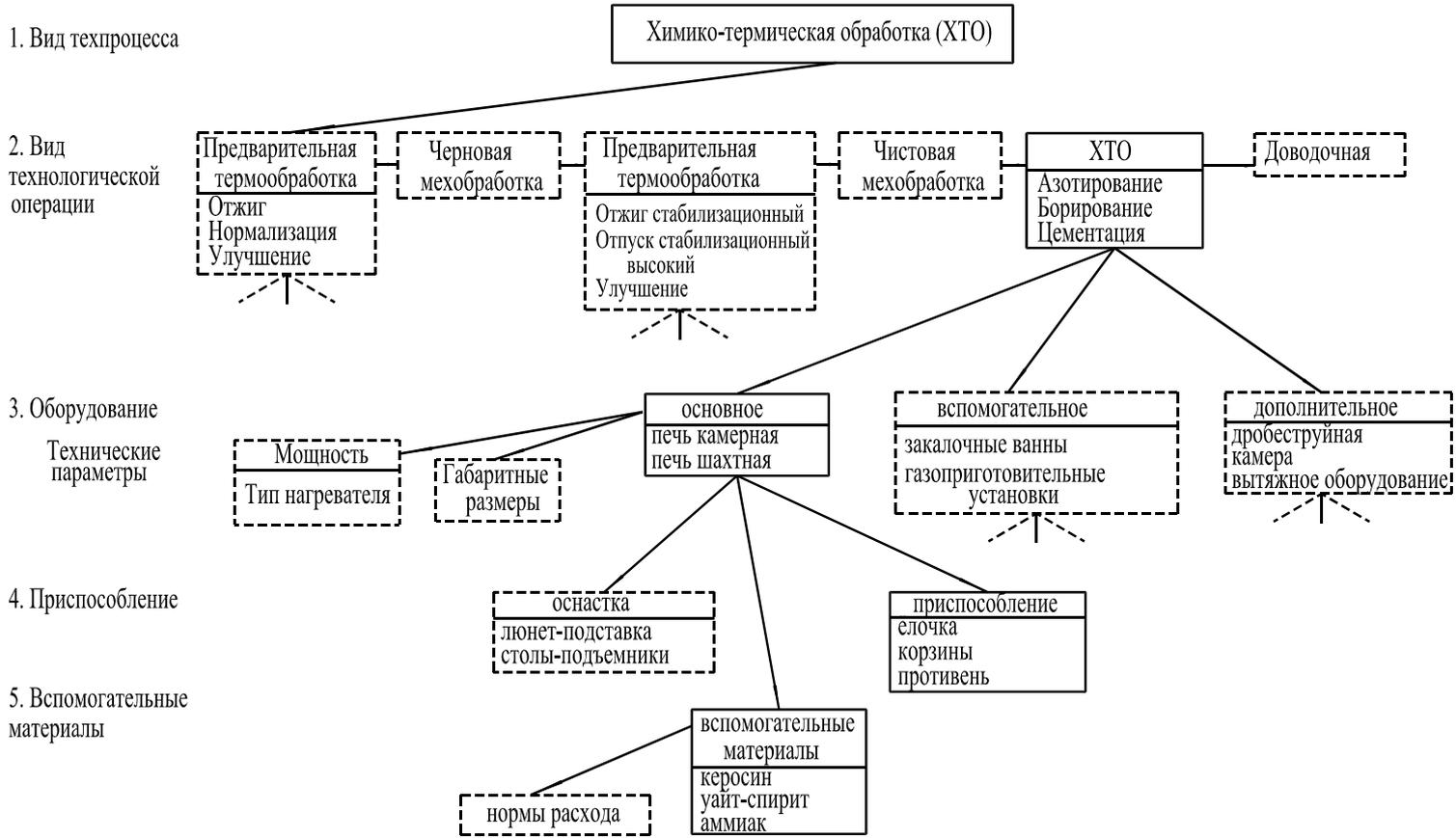


Рис. 3.1. Схема выбора технологического процесса ХТО, оборудования приспособлений и вспомогательных материалов



5.2. Фрагмент структуры базы данных Классификация деталей машиностроения

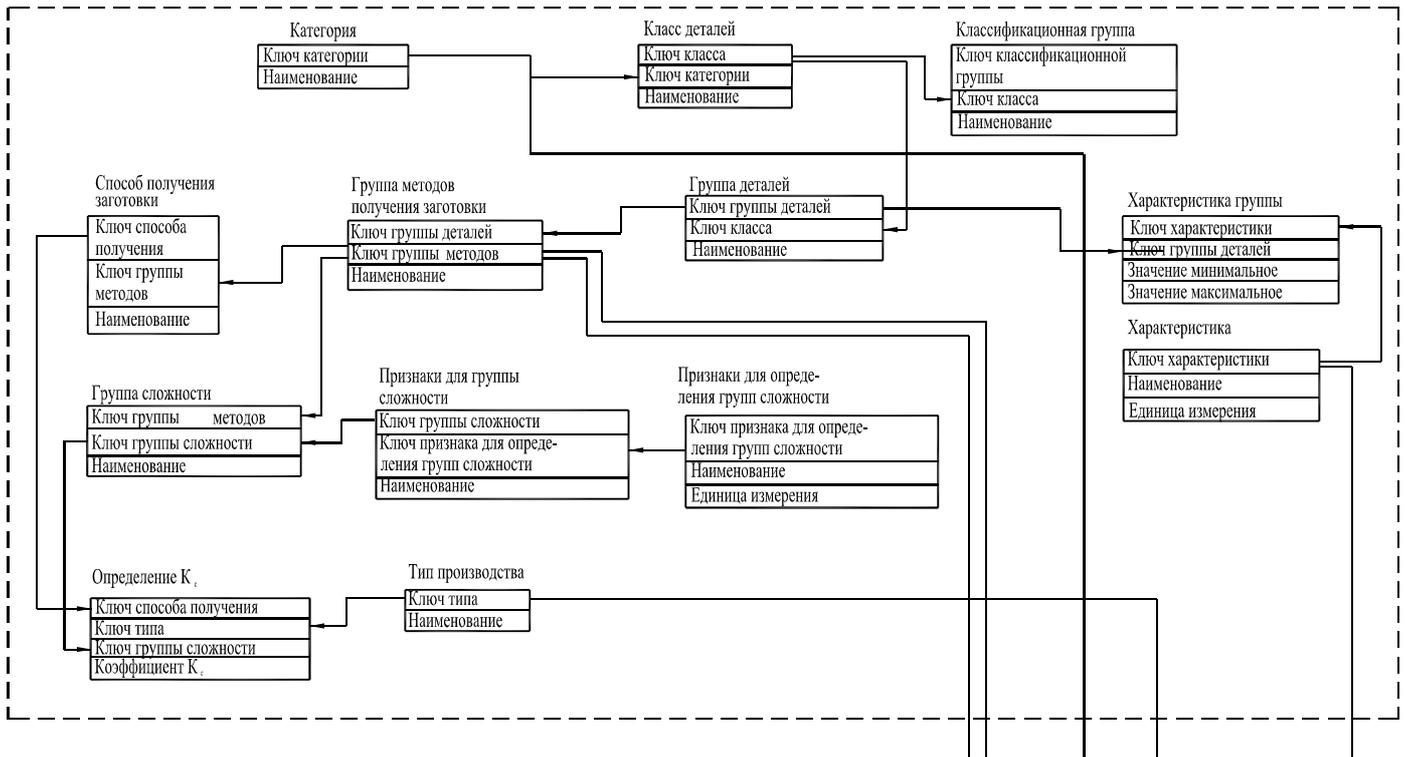


Рис. 5.3. Фрагмент структуры базы данных (способ получения заготовки)

Способ получения заготовки

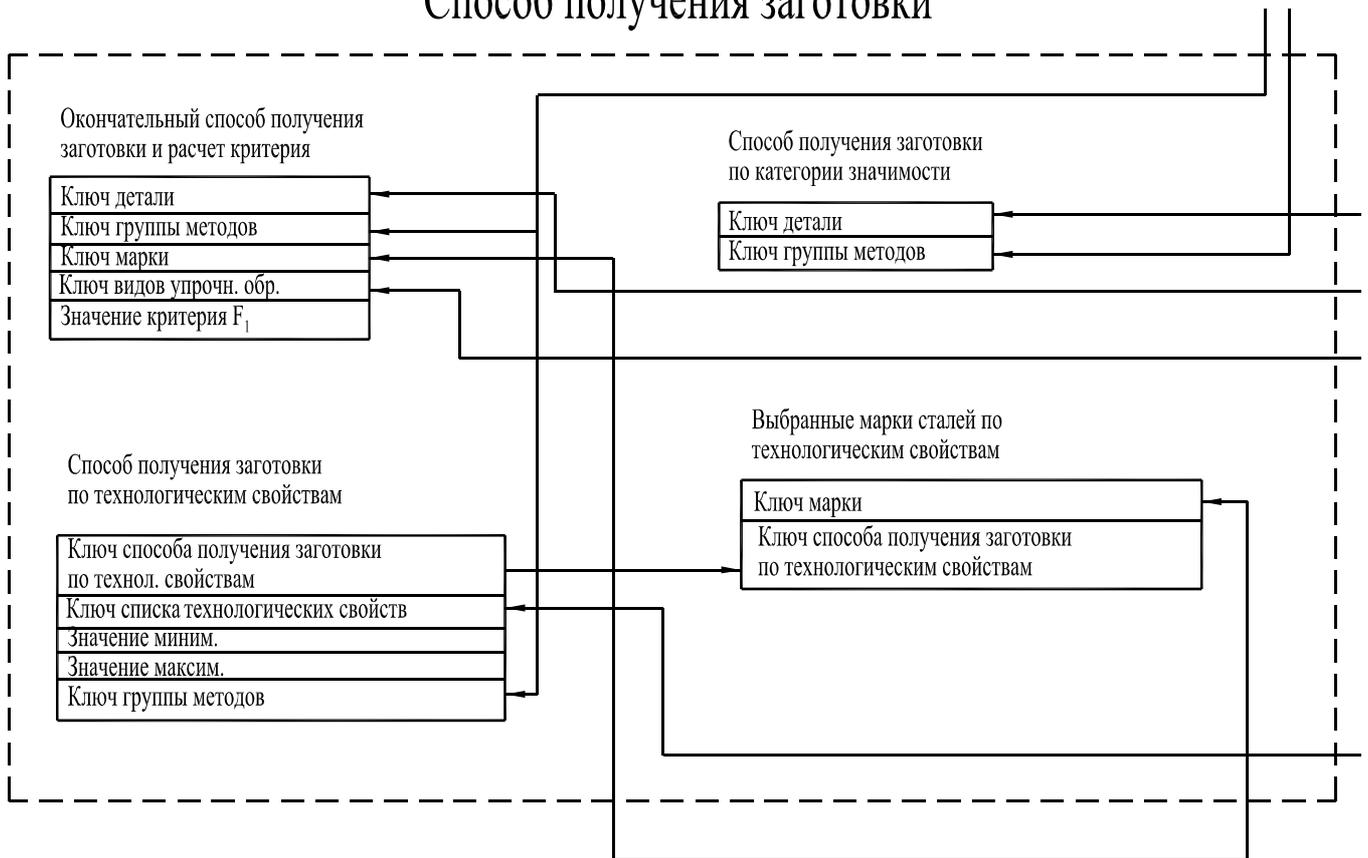


Рис. 5.4. Фрагмент структуры базы данных (стойкость материала)

Стойкость материала

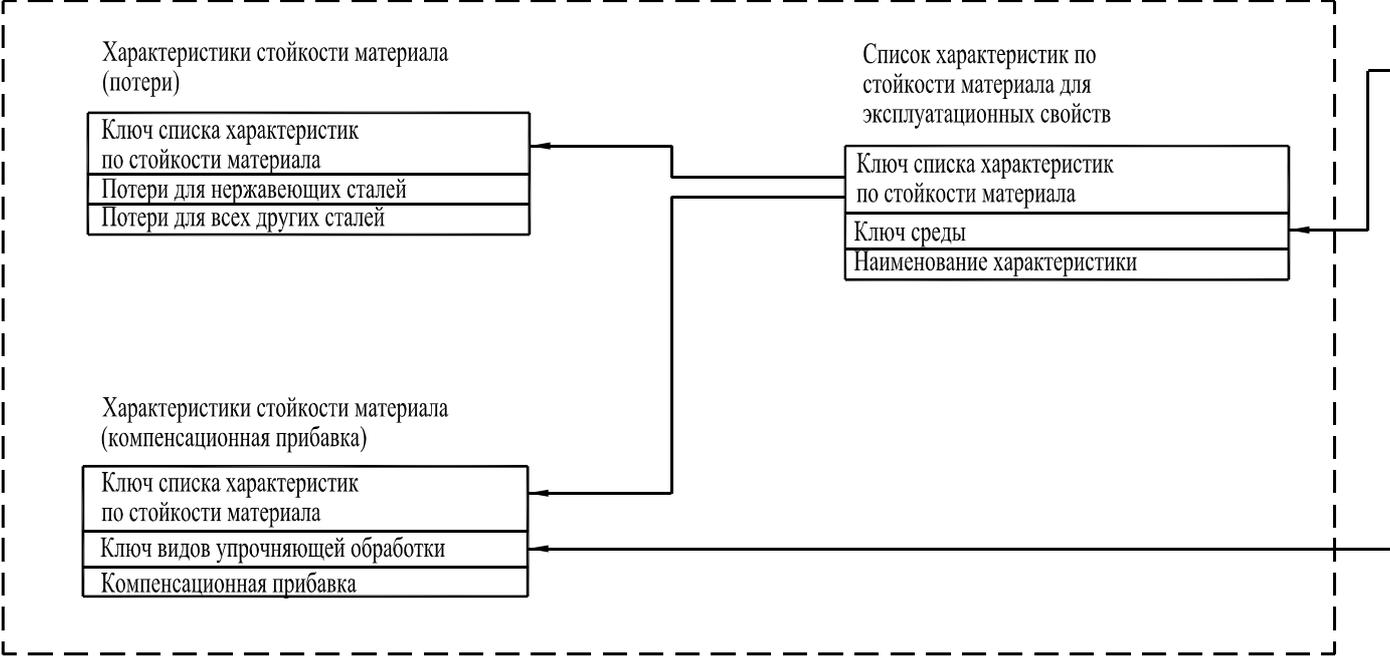


Рис. 5.5. Фрагмент структуры базы данных (условия эксплуатации)

Условия эксплуатации

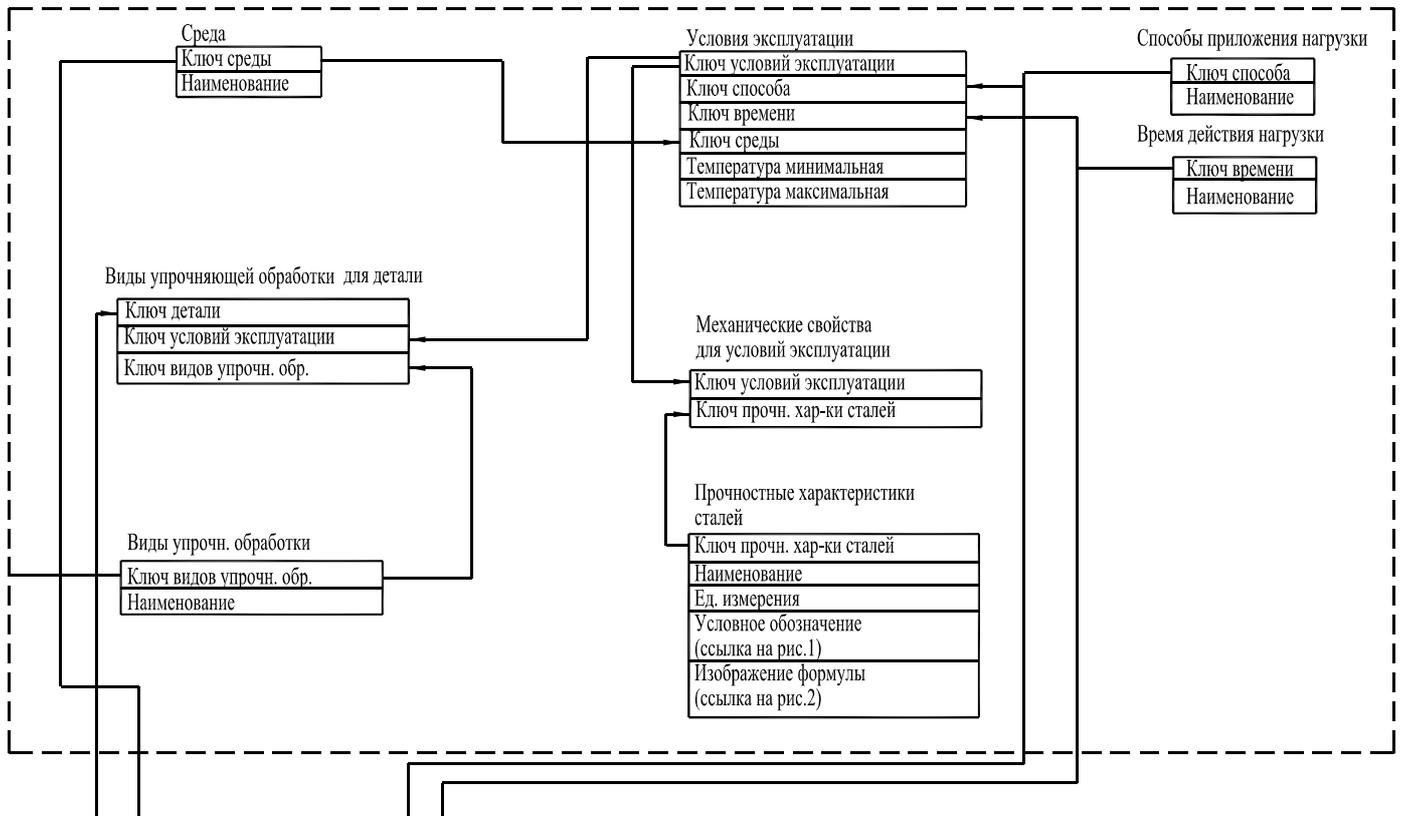


Рис. 5.6. Классификация характера эксплуатационного нагружения

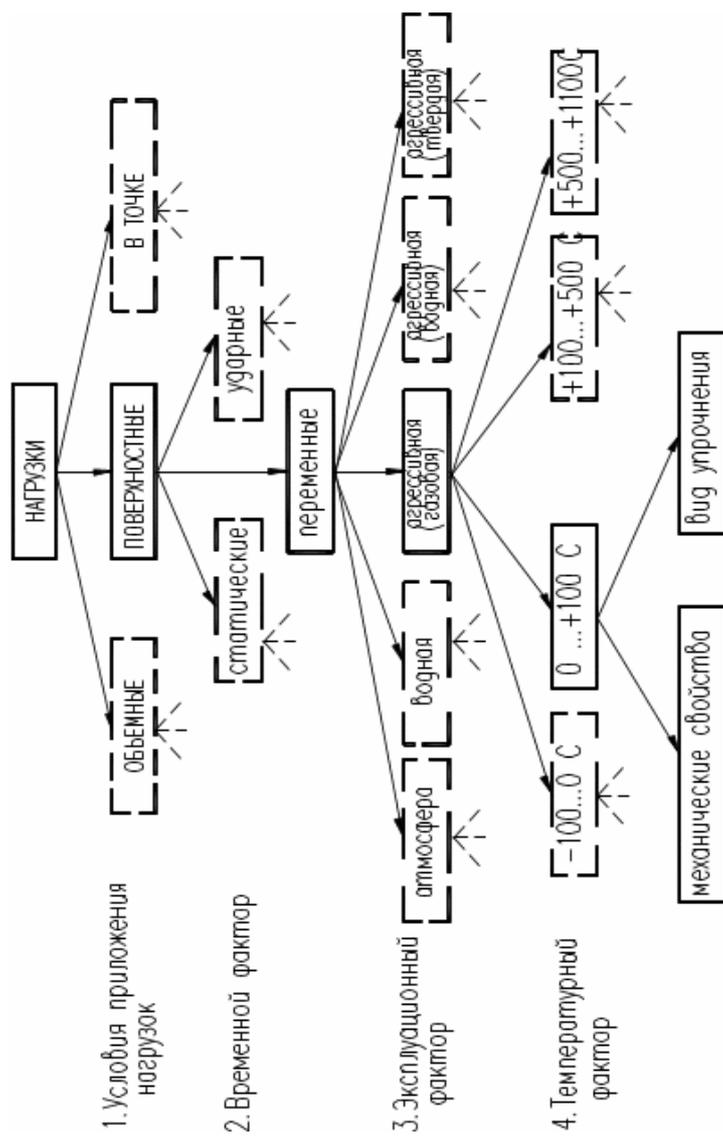


Рис. 5.7. Фрагмент структуры базы данных (марочник стали)

Марочник стали

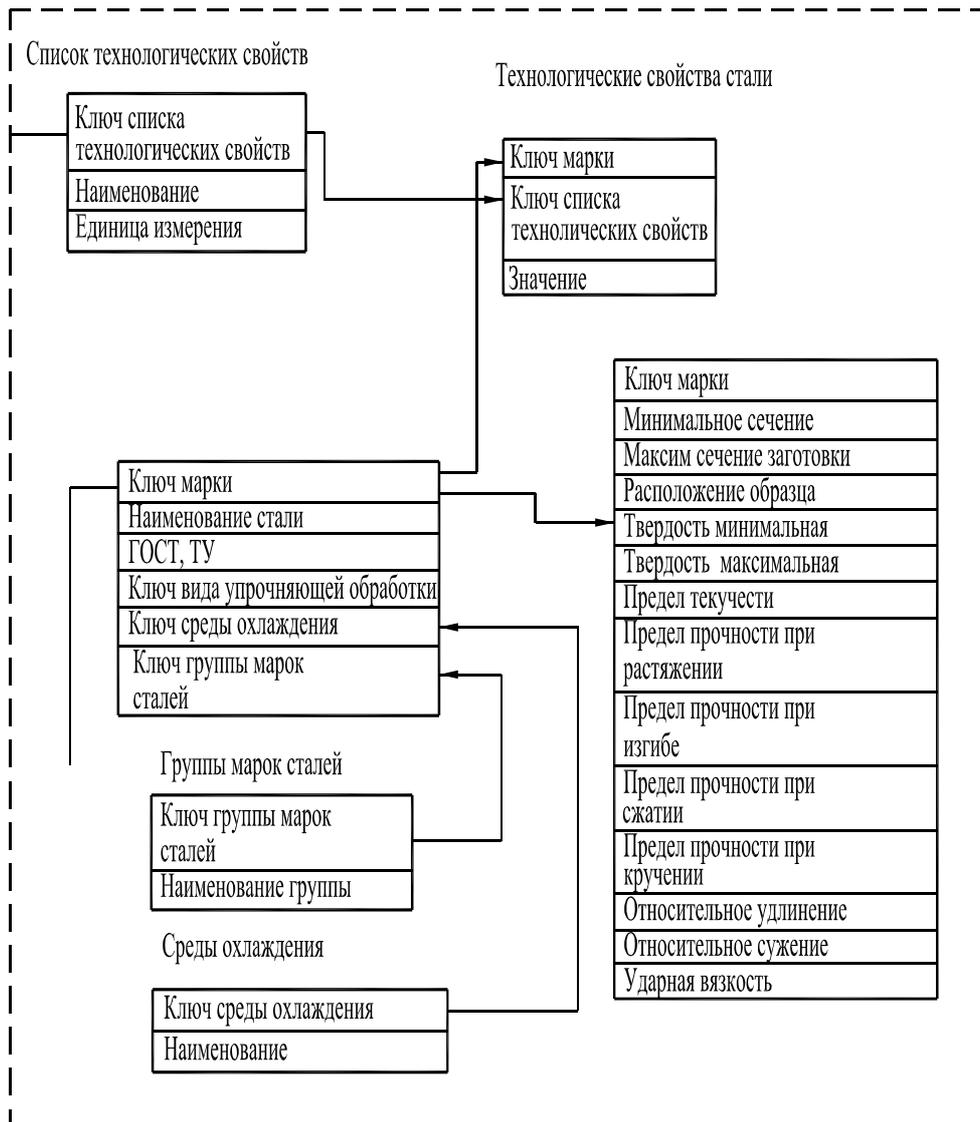


Рис. 5.8. Фрагмент структуры базы данных (данные о конструируемой детали)

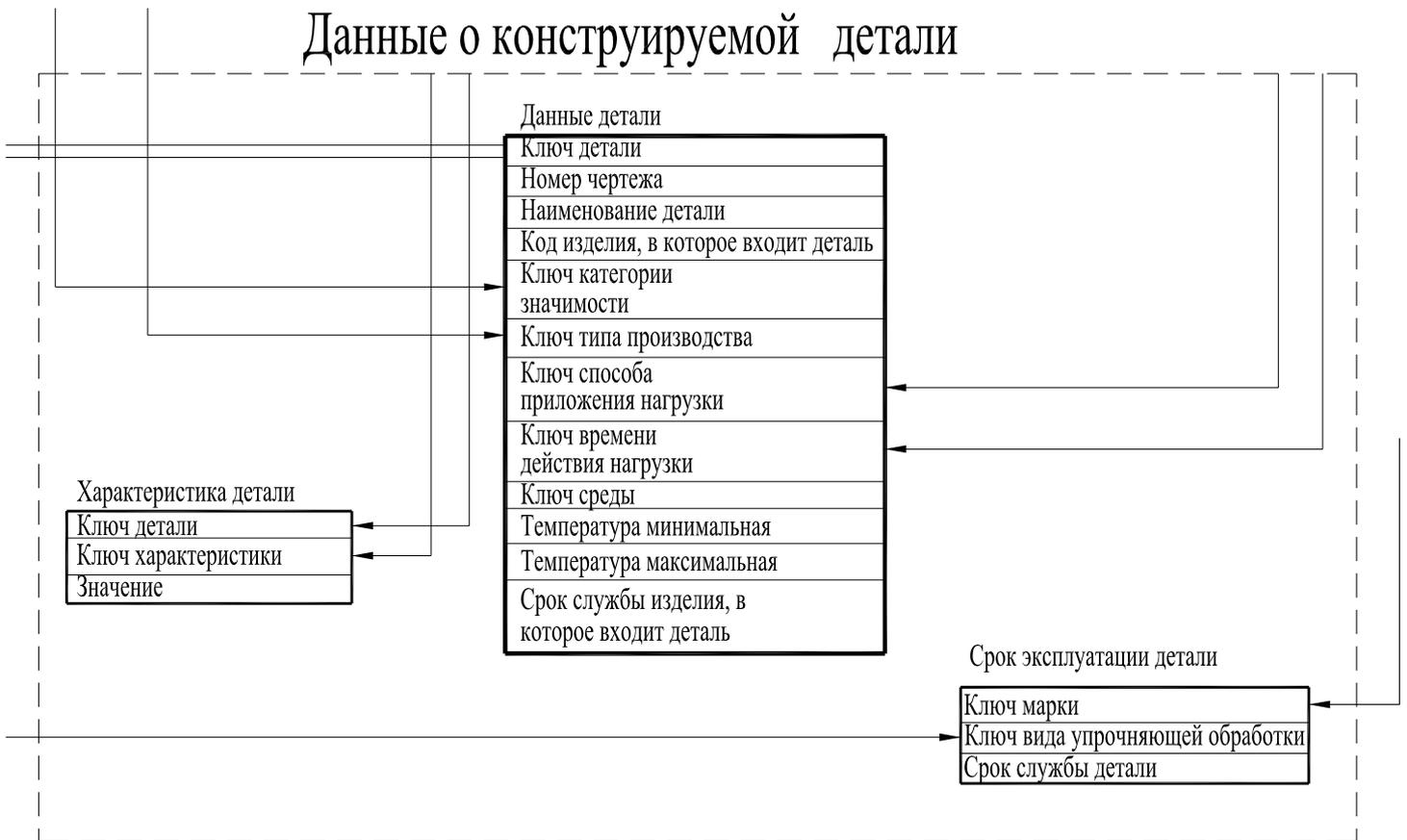


Рис. 5.9. Фрагмент структуры базы данных (технологический процесс)

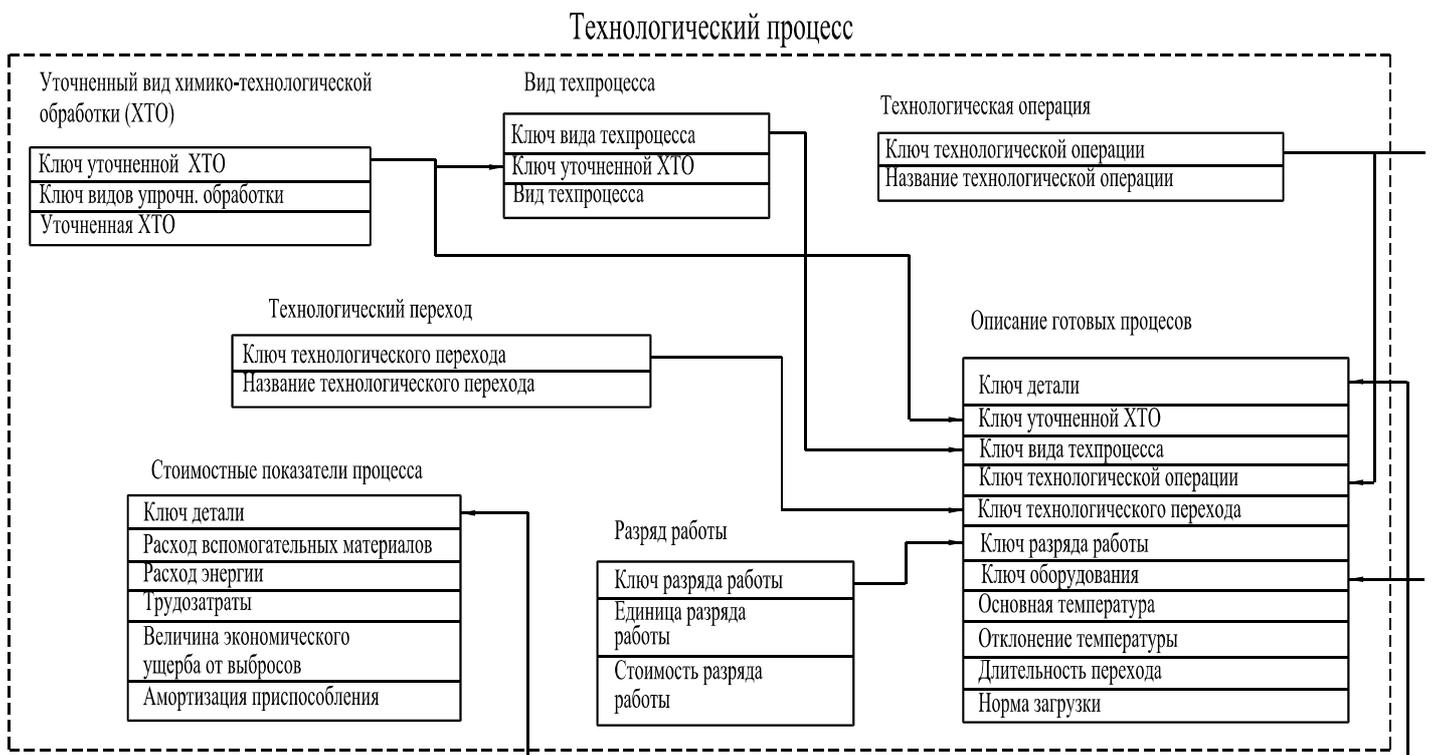


Рис. 5.10. Фрагмент структуры базы данных (оборудование)

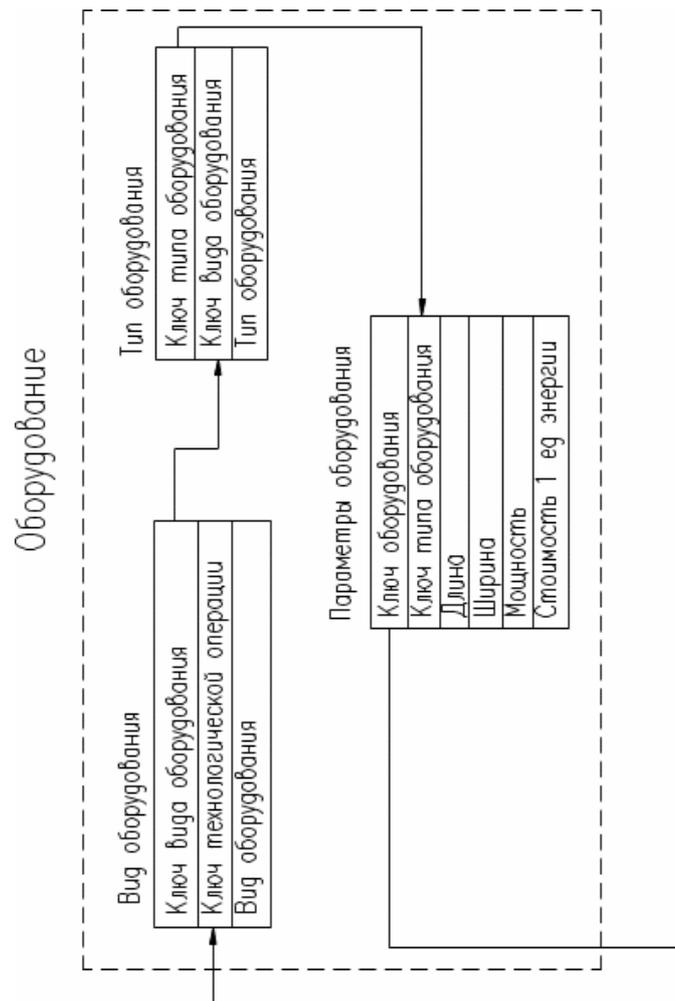


Рис. 5.11. Фрагмент структуры базы данных (приспособления и вспомогательные материалы)

Приспособления и вспомогательные материалы



Рис. 5.12. Фрагмент структуры базы данных (вредные выбросы)
Вредные выбросы



Рис. 5.13. Фрагмент структуры базы данных (данные о конструируемой детали для термообработки)

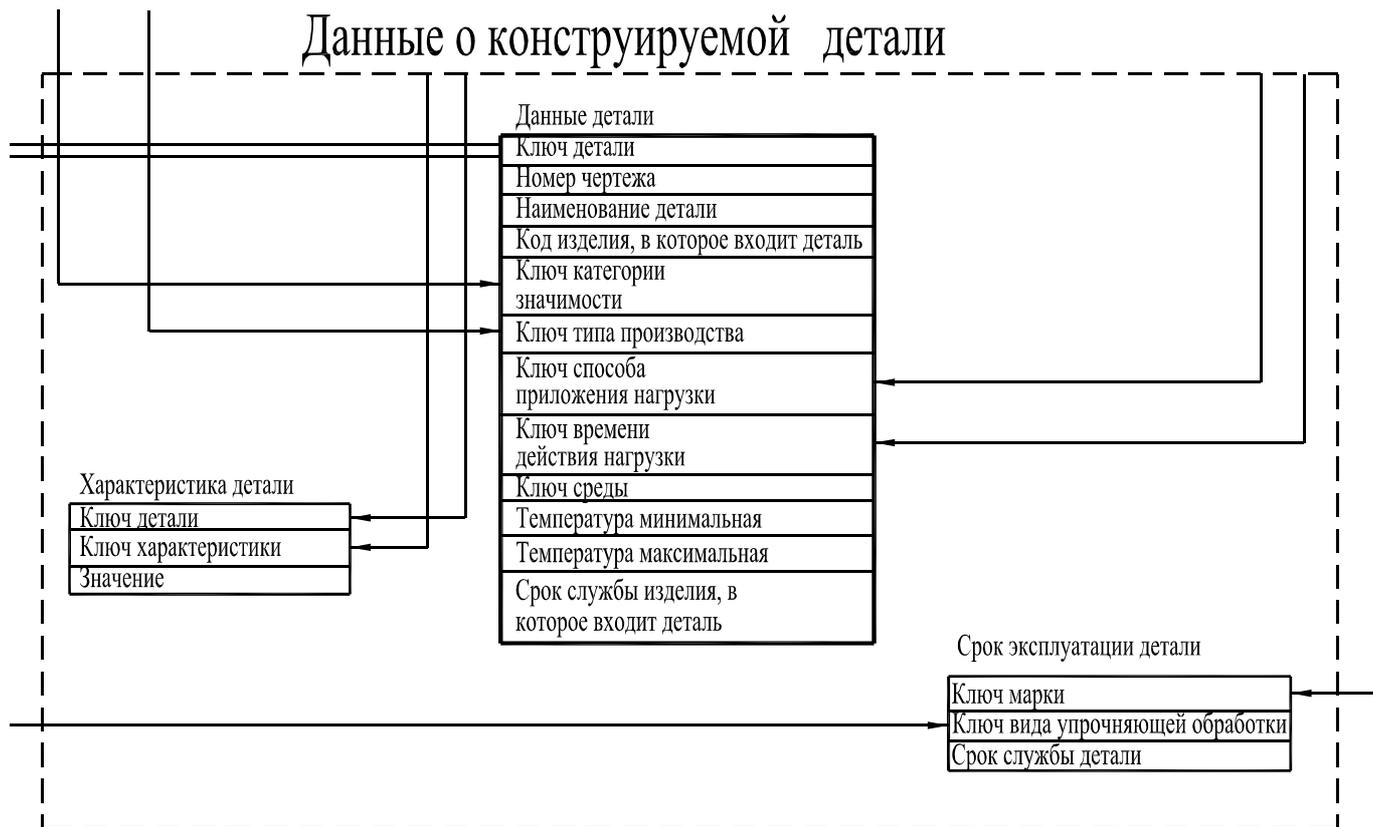


Таблица 3.8. Химизм технологических процессов ХТО

№	Вид технологического процесса <i>т_и</i>	Химизм процесса	Выделяющиеся вещества
1	Цементация	<p align="center"><i>ТВЕРДАЯ</i></p> <p>Сталь (Fe₃C) + древесный уголь (C). В результате взаимодействия древесного угля с кислородом воздуха образуется окись углерода, при последующем разложении которой возникает активный углерод: $2C + O_2 = 2CO; \quad 2CO = C + CO_2\uparrow.$ Освободившаяся двуокись углерода взаимодействует с древесным углем, и вновь образуется окись углерода и т.д.</p> <p>Добавки-активизаторы: 1) BaCO₃: BaCO₃ = BaO + CO₂↑; 2) Na₂CO₃: Na₂CO₃ = Na₂O + CO₂↑; 3) ацетат натрия CH₃COONa, ацетат бария Ba(CH₃COO)₂: $2Ba(CH_3COO)_2 = 2BaCO_3 + 2(CH_3)_2CO \text{ (ацетон);}$ $2(CH_3)_2CO = 3CH_4 + 2CO + C.$</p> <p align="center"><i>Газовая</i></p> <p>Сталь (Fe₃C) + метан CH₄; Сталь (Fe₃C) + CH₄ + CO. Распад метана и окиси углерода: $CH_4 = C + 2H_2; \quad 2CO = C + CO_2\uparrow.$</p> <p align="center"><i>В жидкой среде</i></p> <p>В соляной ванне с составом: Na₂CO₃ + NaCl + SiC (карборунд). В ванне протекает реакция: $2Na_2CO_3 + SiC = Na_2SiO_3 + Na_2O + CO + C;$</p>	<p align="center">CO CO₂</p> <p align="center">CO</p> <p align="center">CO₂</p> <p align="center">CO CO₂</p>

**Таблица 3.12. Фрагмент базы данных технологического процесса (цементация твердая).
Выбор режимных характеристик**

Вид технологической операции <i>op</i>	Оборудование <i>o_n</i>	Технические условия (ТУ)	Технологические переходы	Приспособления <i>p_n</i>	Режимные характеристики $x^{t_{na}}$		Количество <i>n</i> , шт.
					Температура, °С	Время, ч	
Цементация	Электропечь шахтная окислительная СШО 8.18/10-ИЗ	ПАЛЕЦ Наружный диаметр $d_n = 38$ мм Внутренний диаметр $d_b = 15$ мм Длина $L = 120$ мм Вес $G = 0,8$ кг ТУ: <i>Глубина</i> <i>слоя</i> $h = 1,6 \dots 1,8$ Твердость $HRC_3 = 57 \dots 64$	Загрузить детали на приспособление	Корзина-кассета	–	0,5	500
				Корзина с подвеской		0,4	400
				Елочка		0,3	300
			Загрузить приспособление с деталями в печь	Корзина-кассета	–	0,2	500
				Корзина с подвеской		400	
				Елочка		300	
			Нагреть до температуры	Корзина-кассета	920 ± 10	9	500
				Корзина с подвеской		7,5	400
				Елочка		6	300
			Выдержать при температуре	Корзина-кассета	920 ± 10	13	500
				Корзина с подвеской		400	
				Елочка		300	
			Охладить на воздухе	Корзина-кассета	–	1,5	500
				Корзина с подвеской		1,2	400
				Елочка		1	300

Таблица 5.3. Коррозионная стойкость стали

	Воздействующая среда	Потери в весе f , Г/м ² ·день					
		Сталь	Нержавеющая сталь	Азотирование	Алитирование	Цинкование	Хромирование
1	Дистиллированная вода	6,15	0	0,08	0	0	0
2	Водопроводная вода	10,49	0	0,2	0,02	0,04	0,05
3	То же, при температуре 93 °С	3,65	0,03	0,67	0,04	0,05	Огр.
4	Водопроводная вода, насыщенная СО ₂	4,18	0,04	0,23	0,06	0,05	0,91
5	То же с 0,1 % сернистого алюминия	2,37	0	0,43	0,04	0,03	0,65
6	То же с 0,1 % медного купороса	15,98	0	0,68	0,07	0,12	0,74
7	Водопроводная вода с 0,7 % хлористого кальция	5,29	0	0,06	0,04	0,03	0,04
	То же с 0,1 % калийных квасцов	2,48	0,03	0,78	0	0,13	-0,04
8	То же с 0,1 % фосфорнокислого натрия	0,61	0,02	0,91	0	0,21	0,07
9	То же с 0,7 % кальцинированной соды	3,18	0,01	0,87	0	0,02	Огр.
10	То же, при температуре 93 °С	2,1	0,04	0,21	0	0,07	0,45
11	Речная вода	3,93	0,01	0,45	0,06	0,26	Огр.
12	То же, при температуре 93 °С	3,14	0,01	0,45	0,02	0,34	0,8
13	Морская вода	4,14	0	0,67	0,03	0,56	0,8
14	То же, при температуре 93 °	2,35	0,02	0,85	0,01	0,8	Огр.
15							