

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ.....</b>   | <b>12</b> |
| 1.1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ОСОБЕННОСТЕЙ ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....  | 12        |
| 1.1.1 Структурное представление технологических процессов холодной штамповки .....  | 15        |
| 1.1.2 Структурное представление штамповочного оборудования.....   | 19        |
| 1.2 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСПИСАНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ.....  | 21        |
| 1.2.1 Оперативное планирование и диспетчеризация процессов.....   | 24        |
| 1.2.2 Оперативная корректировка планов с учетом реального текущего состояния производства в автоматическом режиме .....                             | 26        |
| 1.2.3 Сравнительный анализ существующих MES-систем.....   | 27        |
| 1.3 РАНЖИРОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ.....   | 29        |
| 1.4 ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ЭТАПАХ УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ .....                              | 30        |
| 1.5 ВЫВОДЫ.....   | 35        |
| <b>ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ.....</b>                                  | <b>38</b> |
| 2.1 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ БАЗЫ ПРЕЦЕДЕНТОВ В РАМКАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ И ПЛАНИРОВАНИЯ ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА..... | 38        |
| 2.2 ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПО СТРУКТУРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ .....                   | 41        |
| 2.3 МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ.....  | 46        |
| 2.4 МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ПРЕЦЕДЕНТОВ НА ОСНОВЕ МАСШТАБИРУЕМОГО АЛГОРИТМА КЛАСТЕРИЗАЦИИ CLOPE.....   | 50        |
| 2.5 ВЫВОДЫ.....   | 57        |
| <b>ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ РАНЖИРОВАННОГО ПО КОМПЛЕКСНОМУ КРИТЕРИЮ СПИСКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ.....</b> | <b>58</b> |
| 3.1 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ.....   | 58        |
| 3.2 МЕТОДИКА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ В РАБОЧИЕ ЦЕНТРЫ .....  | 60        |
| 3.3 СИСТЕМА ОТБОРА РЦ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .....   | 63        |
| 3.4 МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....  | 67        |
| 3.5 ВЫВОДЫ.....   | 72        |
| <b>ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ С УЧЕТОМ БАЗЫ ПРЕЦЕДЕНТОВ В РАМКАХ MES-СИСТЕМЫ.....</b>                              | <b>74</b> |

|   |    |
|---|----|
| 4.1 СТРУКТУРА ПРЕЦЕДЕНТА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ.....                                     | 74 |
| 4.2 МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ НА ОСНОВЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ ..                                | 76 |
| 4.3 РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ<br>НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРОВ..... | 81 |
| 4.4 ВЫВОДЫ.....   | 88 |

**ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫХ МЕТОДИК В  
РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ДЕТАЛИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ**

|  |            |
|--|------------|
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>  | <b>100</b> |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>   | <b>102</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. МАТРИЦА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПО ТП .....</b>                                   | <b>115</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СРАВНЕНИЕ ЯЧЕЕК МАТРИЦ.....</b>   | <b>116</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ШТАМПОВОЧНОГО ЦЕХА ПО<br/>«НАЧАЛО» .....</b> | <b>129</b> |

## Принятые обозначения

|      |   |  |
|------|---|--|
| ТП   | — | технологический процесс  |
| ТМ   | — | технологический маршрут  |
| ТПП  | — | технологическая подготовка производства  |
| ХШ   | — | холодная штамповка   |
| РЦ   | — | рабочий центр  |
| РМ   | — | рабочее место  |
| СЭ   | — | структурный элемент  |
| ОП   | — | технологическая операция   |
| ПЕР  | — | технологический переход  |
| ЛПР  | — | лицо, принимающее решение  |
| ERP  | — | Enterprise Resource Planning System, система планирования ресурсов предприятия |
| MES  | — | Manufacturing Execution System, производственная исполнительная система        |
| CBR  | — | Case-Based Reasoning, метод рассуждения по прецедентам                         |
| МАИ  | — | метод анализа иерархий   |
| СППР | — | система поддержки принятия решений   |
| БЗ   | — | база знаний  |
| БП   | — | база прецедентов   |
| ЭС   | — | экспертные системы   |

## Введение

В современных рыночных условиях совершенствование автоматизированной системы производственного планирования является одной из важнейших задач повышения эффективности управления, как на крупных машиностроительных предприятиях, так и на предприятиях единичного и мелкосерийного типа производства. Разнообразие номенклатуры выпускаемой продукции, ее частая смена, повышенные требования к качеству, срокам изготовления определяют жесткие ограничения при построении системы производственного планирования, основной задачей которой является рациональное планирование загрузки основного оборудования с учетом технико-экономических показателей [90].

Основными признаками мелкосерийного производства холодной штамповки являются большая номенклатура выпускаемой продукции по отношению к парку оборудования; значительное число переналадок штампов в смену; нестабильность номенклатуры продукции; превышение в несколько раз стойкости штампа времени обработки партии детали. Для одного и того же изделия, изготавливаемого штамповкой, может существовать несколько вариантов технологических маршрутов, отличающихся по ряду показателей, например, стоимость, длительность процесса изготовления и т.д. [8].

Задачу календарного планирования призваны решать системы уровня ERP на основе производственных расписаний, составляемых MES-системами [23]. Основным недостатком систем класса MES, существующих сегодня на рынке корпоративных информационных систем, является то, что они обеспечивают выбор безальтернативного решения на всех промежуточных этапах, предлагая конечному потребителю только одно расписание, не всегда являющееся оптимальным с точки зрения комплекса технико-экономических показателей.

Одной из задач построения производственного расписания является выбор оптимального по комплексу производственно-экономических

показателей технологического маршрута. Высокая трудоемкость ее решения обусловлена необходимостью анализа большого количества вариантов с выбором оптимального, что возможно только в автоматическом режиме. Для решения подобных задач широко применяются комбинаторные методы, основанные на упорядоченном переборе наиболее перспективных вариантов. Однако и в этом случае количество вариантов, подлежащие рассмотрению, остается большим, что предъявляет к нахождению решения высокие требования по временным и ресурсным затратам. Таким образом, наиболее эффективным решением при управлении технологическими маршрутами холодной штамповки в автоматическом режиме является создание системы поддержки принятия решений на основе базы прецедентов. Проблемой представления прецедента в базе является проблема нахождения соответствующей структуры для описания содержания прецедента и выбора способа организации и индексирования базы знаний прецедентов для эффективного поиска и многократного использования. В данной работе принято под прецедентом понимать правило для принятия решения по выбору технологического маршрута в ситуации, характеризуемой определенными условиями.

Решение задач, направленных на повышение эффективности автоматического управления технологическими маршрутами и расписаниями в производстве холодной штамповки за счет применения современных методов поддержки принятия решений, является крайне актуальной.

**Объектом исследования** является производство поковок холодной штамповки.

**Предметом исследования** является автоматизация процесса управления технологическими маршрутами холодной штамповки на этапе подготовки производства.

**Целью работы** является повышение эффективности управления технологическими маршрутами холодной штамповки на этапе подготовки производства за счет разработки интеллектуальной системы поддержки

процесса управления технологическими маршрутами на основе базы прецедентов.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Исследовать современные методы формирования производственных расписаний.
2. Разработать структуру и правила иерархической базы прецедентов.
3. Разработать методику построения производственных расписаний для штамповочного производства на основе современных подходов к построению интеллектуальных систем.
4. Разработать комплексный критерий оценки оптимальности технологических маршрутов штамповочного производства.
5. Разработать алгоритм обработки прецедентов для повышения эффективности их поиска.
6. Разработать методику формирования оптимальных технологических маршрутов по комплексу критериев с учетом базы прецедентов.
7. Разработать алгоритм кластеризации оборудования штамповочного производства в рабочие центры.
8. Разработать динамическую модель построения производственного расписания.

**Методы исследования.** При решении поставленных в работе задач использовались методы системного анализа, организации производства, исследования операций, анализа иерархий, кластерного анализа, динамического программирования, математического и имитационного моделирования, а также элементы теории принятий решений, сетей фреймов, проектирования информационных систем.

**Научной новизной** обладают следующие положения работы:

1. Методика формирования базы прецедентов системы поддержки процесса управления технологическими маршрутами холодной штамповки на этапе подготовки производства в виде иерархических фреймов на основе объектно-ориентированного подхода в рамках MES-системы. Методика

отличается тем, что она содержит формализованное представление технологических процессов в целом и их компонентов в частности в виде классов, позволяет использовать информацию о прецедентах при анализе новых технологических процессов схожей структуры, а также повышает гибкость представления исходных данных для логического вывода.

2. Методика системного подхода к формированию прецедентов технологических маршрутов на основе иерархического представления технологического процесса холодной штамповки и алгоритма CLOPE, позволяющего обеспечить однозначное определение схожести прецедентов, включающих в себя элементы с комплексом критериев технологического маршрута.

3. Комплексный критерий оценки эффективности вариантов технологических маршрутов холодной штамповки для выбора оптимального, на основе метода анализа иерархий. Данный комплексный критерий отличается тем, что учитывает особенности штамповочного производства по производственно-экономическим показателям. Критерий позволяет повысить эффективность оценки вариантов технологических маршрутов и производственных расписаний.

4. Методика кластеризации оборудования штамповочного производства в рабочие центры на основе алгоритма кластеризации CLOPE и системы ограничений на обработку для альтернативности вариантов технологических маршрутов на этапе технологической подготовки и оперативного управления производства.

5. Методика формирования производственного расписания штамповочного производства с учетом базы прецедентов, основанная на методе динамического программирования, и последующего выбора оптимального варианта по комплексному критерию.

**Практическая ценность** работы состоит в том, что ее результаты позволили оперативно формировать и корректировать производственное расписание в автоматическом режиме за счет разработки:

- структуры базы прецедентов по технологическим маршрутам и производственному расписанию;
- алгоритмов оценки вариантов технологических маршрутов и производственных расписаний по комплексному критерию оптимальности;
- алгоритмов формирования альтернативных вариантов технологических маршрутов штамповочного производства;
- алгоритмов построения оптимальных производственных расписаний штамповочного производства;
- реализации базы прецедентов и методик в виде программного обеспечения.

**На защиту выносятся следующие научные положения и выводы:**

1. Методика формирования базы прецедентов для поддержки процесса управления технологическими маршрутами холодной штамповки в виде иерархических фреймов на основе объектно-ориентированного подхода, позволяющая использовать информацию о прецедентах при анализе новых технологических процессов схожей структуры, а также повысить гибкость представления исходных данных для логического вывода.

2. Комплексный критерий оценки эффективности вариантов реализации технологических маршрутов для выбора оптимального на основе метода анализа иерархий. Данный комплексный критерий позволяет повысить эффективность оценки вариантов технологических маршрутов и производственных расписаний.

3. Методика и правила формирования рабочих центров из аналогичного по ряду признаков оборудования штамповочного производства на основе кластерного анализа и ограничений на обработку для обеспечения альтернативности вариантов технологических маршрутов на этапе технологической подготовки производства и оперативного управления технологическими маршрутами.

4. Методика формирования производственного расписания штамповочного производства с учетом базы прецедентов, основанная на методе динамического программирования, и последующего выбора оптимального варианта по комплексному критерию.

**Структура и объём работы.** Работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на *114* страницах машинописного текста, содержит *38* рисунков, *17* таблиц, список литературы включает *114* наименований.

**В первой главе** проведен анализ современных подходов к построению производственных расписаний в автоматическом режиме, разработке современных автоматизированных систем управления предприятием с выявлением их особенностей, их сравнительная оценка, изложены предпосылки и необходимость исследований поставленной задачи, дана характеристика проблемы и определены пути ее решения.

**Вторая глава** посвящена разработке методики формирования базы прецедентов системы поддержки процесса управления технологическими маршрутами холодной штамповки на этапе подготовки производства.

**В третьей главе** рассматриваются методика системного подхода к формализации прецедентов технологических маршрутов на основе иерархического представления технологического процесса холодной штамповки, комплексный критерий оценки эффективности технологических маршрутов, а также методика кластеризации оборудования штамповочного производства в рабочие центры.

**Четвертая глава** посвящена методике формирования производственного расписания с учетом базы прецедентов на основе метода динамического программирования.

**В пятой главе** производится апробация разработанных методик.

**В заключении** приведена общая характеристика работы и основные выводы по результатам работы. Поставленная цель — повышение эффективности управления технологическими маршрутами холодной

штамповки — достигнута за счет разработки интеллектуальной системы поддержки процесса управления технологическими маршрутами на основе базы прецедентов.

# **Глава 1. Анализ проблем планирования штамповочного производства в автоматическом режиме**

## ***1.1 Анализ проблем и особенностей штамповочного производства***

Кузнечно-штамповочное производство является базовой структурой современного машиностроения. В нем производятся в основном заготовки отдельных деталей, из которых в дальнейшем собираются механизмы и узлы машин. От того, насколько эффективно будет функционировать данная сфера производства, зависит успешность развития машиностроения в целом [14].

Также штамповка является одним из наиболее экономичных и производительных способов формообразования. По сравнению с обработкой резанием штамповка позволяет значительно сократить расход металла, так как металл не отделяется в стружку, уменьшить трудоемкость изготовления изделий и повысить производительность труда. Одновременно обработка давлением обеспечивает упрочнение обрабатываемого материала, что позволяет делать детали более легкими, менее металлоемкими и более износостойкими [19].

Процесс обработки давлением листового или сортового металла без нагрева заготовки называется холодной штамповкой (ХШ). При ХШ процесс изготовления деталей расчленяется на операции и переходы, выполняемые в специализированных штампах. ХШ сопровождается упрочнением, т. е. увеличением прочности металла и уменьшением его пластичности, затрудняющим деформирование в последующих операциях. Для устранения вредного влияния упрочнения применяют межоперационную термообработку (рекристаллизационный отжиг). ХШ позволяет получать детали высокой точности, с поверхностью хорошего качества, почти не требующие в процессе изготовления обработки резанием. Отсутствие нагрева при ХШ создаёт благоприятные предпосылки для механизации и автоматизации

технологического процесса, что повышает производительность и улучшает условия труда [58].

Для существования в современных рыночных условиях машиностроительной отрасли, а в том числе и штамповочного производства, необходимо постоянное развитие используемых подходов и применяемых методов. Одним из основных аспектов такого развития, обусловленным возможностями компьютерной техники, является совершенствование методов управления производством в автоматическом режиме. В социалистическую эпоху командно-административного управления штамповочное производство в силу своих технологических возможностей часто носило крупносерийный характер. Однако в современных условиях эффективным становится мелкосерийное быстропереналаживаемое гибкое производство.

В предыдущие десятилетия развитие технологии производства поковок в основном ограничивалось механизацией и автоматизацией штамповочного оборудования и приспособлений [105]. Однако современные рыночные условия и экономическая обстановка требуют и новых схем производственного управления. Согласно [80], основу современной автоматизации составляет концепция гибкой и безлюдной технологии. Безлюдная технология рассматривается как высокоавтоматизированный способ производства с минимальным участием людей в производственных процессах. Гибкая технология предполагает резкое сокращение требуемых объемов подготовительных работ при переходе на новую продукцию.

Старые методы, применяемые ранее, не соответствуют условиям современной ситуации и не могут использоваться для реализации в автоматическом режиме.

Управление предприятием в условиях перехода к рыночной экономике представляет собой нетривиальную задачу, так как используется большое многообразие ресурсов, а скорость изменения влияния окружающей среды довольно высока. Эффективность автоматизации, в первую очередь, зависит от

того, насколько широко и глубоко она охватывает деятельность предприятия [17].

Исходя из этого, возникает вопрос о переосмыслении, дополнении и даже изменении основ управления штамповочным производством и создании новых математических моделей, которые отвечали бы современному положению вещей в машиностроении и экономике в целом.

Действующие методы, разработанные, как правило, только на основе экономических критериев, имеют неприемлемые для нашего времени параметры, такие как:

- планирование производится в основном с учетом массового и крупносерийного производства, отсутствуют инструменты гибкого изменения производственных планов;
- операции технологических процессов жестко закреплены за конкретными единицами оборудования, цеховое регулирование основано исключительно на человеческом факторе;
- отсутствуют методы эффективной оценки выбираемых вариантов технологических маршрутов.

Несоответствие фактического состояния технологии требованиям научно-технического прогресса обуславливает потребность в новых концепциях повышения эффективности штамповочного производства. Становится невозможным отдельно чисто экономический, технический, экологический, организационный метод решения производственных проблем. Необходим переход от так называемых «обходных» технологий с непредсказуемым исходом к системно проектируемым и управляемым, ориентированным на минимизацию ресурсопотребления и повышение общей эффективности.

Общая эффективность, в отличие от экономической эффективности, предполагает оптимизацию параметров технологии с учетом взаимодействия всех факторов технического, экономического, организационного, экологического [42].

Основы использования методов повышения эффективности производства поковок заложены трудами Аксенова Л.Б., Аверкиева А.Ю., Богоявленского К.Н., Головина В.А., Исаченкова Е.И., Колмогорова В.Л., Малова А.Н., Морозова Е.В., Навродского А.Г., Овчинникова А.Г., Попова Е.А., Семенова Е.И., Сторожева М.В., Шibaкова В.Г., Мулюкова Р.И. и др.[1, 3, 4, 12, 13, 25, 31, 32, 36, 44, 46, 54, 57, 62, 63, 64, 71, 97]

Из обобщения результатов исследований указанных ученых следует, что при проектировании новых и совершенствовании действующих технологических маршрутов штамповочного производства должны достигаться результаты, обеспечивающие:

- экологическую чистоту и безопасность производства;
- повышение производительности производства;
- возможность эффективной реализации в автоматическом режиме;
- резкое снижение ресурсоемкости производства, удельных совокупных затрат (живого труда, металла, энергии, основных фондов, капиталовложений).

Кроме того, должно быть обеспечено сокращение сроков разработки и внедрения технологических маршрутов в производство.

Достижение указанных целей вызывает необходимость повышения качества подготовки производства поковок.

### **1.1.1 Структурное представление технологических процессов холодной штамповки**

Согласно [19], холодная штамповка — это один из методов обработки металлов давлением, при котором металл деформируется пластически в холодном состоянии. В зависимости от вида исходного материала и типа изделия холодная штамповка может быть листовой или объемной.

Листовая штамповка применяется для изготовления деталей из листового материала, например деталей автомобилей (крыша, крылья, колпаки и др.),

самолетов, вагонов, химических аппаратов, электроприборов, многих изделий широкого потребления и др.

Холодной объемной штамповкой изготавливают изделия из объемных заготовок — главным образом из пруткового материала. Холодной объемной штамповкой получают крепежные детали (болты, гайки, винты, заклепки), шарики, ролики, кольца подшипников, многие детали автомобилей (например, поршневые пальцы), самолетов, тракторов и других машин [19].

Холодная штамповка по сравнению с горячей имеет ряд преимуществ: отсутствует операция нагрева металла; поверхностный слой металла не окисляется (не образуется окалина); изделия получаются более точными по размерам и с меньшей шероховатостью поверхности. Также холодная штамповка в сравнении с обработкой резанием позволяет значительно сократить расход металла, так как металл не отделяется в стружку, уменьшить трудоемкость изготовления изделий и повысить производительность труда. Одновременно холодная обработка давлением обеспечивает упрочнение обрабатываемого материала, что позволяет делать детали более легкими, менее металлоемкими и более износостойкими [19, 58].

Эти же преимущества позволяют заменять литые детали штампованными. Кроме того, холодноштампованные изделия в отличие от литых почти не требуют последующей обработки резанием.

Штампованные заготовки, полуфабрикаты и детали получают в результате пластического деформирования или разделения исходного материала в специальных инструментах — штампах, устанавливаемых на прессах.

При рассмотрении технологического процесса (ТП) ХШ можно выявить следующие уровни его структуры:

1. Технологический процесс.
2. Операция.
3. Переход.

В работах Шибаква В.Г. и Мулюкова Р.И. представлена система технологии объемной штамповки [41, 42, 98–104]. В соответствии с ней первичным элементом системы ТП ХШ на данный момент может быть признана технологическая операция. Каждая операция характеризуется определенными параметрами, связывающими ее совместно с другими операциями в технологию. Изначально все операции могут быть отнесены к одной из групп:

1. Подготовительные. Их назначение — преобразование предмета обработки для соответствия его последующим операциям
2. Формоизменяющие и разделительные операции, являющиеся основой ТП, предназначенные для преобразования формы и свойств предмета обработки для максимального их соответствия требованиям к продукту обработки.
3. Отделочные и завершающие, применяемые для корректировки, при необходимости, свойств продукта формоизменяющих операций для более полного соответствия требованиям к продукту технологии.
4. Операции контроля, необходимые для проверки соответствия продукта ТП предъявляемым требованиям и, возможно, реализации обратной связи.

Более детально операции представлены в таблицах 1.1, 1.2 и 1.3

Таблица 1.1 — Структура подготовительных операций

| <b>Наименование операций</b> | <b>Функциональное назначение операций</b>   |
|------------------------------|---|
| Очистка поверхности металла  | Удаление с поверхности окислов и загрязнений  |
| Зачистка (заправка) торцов   | Снятие заусенцев и других дефектов торца для обеспечения отрезки качественной заготовки         |
| Калибровка прутка            | Уменьшение поля допуска на диаметр для повышения точности заготовок                             |
| Резка мерных заготовок       | Дозирование объема металла  |
| Смазка штампа (заготовки)    | Повышение стойкости инструмента, снижение усилия деформирования, улучшение заполняемости штампа |

Таблица 1.2 — Структура завершающих и отделочных операций

| Наименование операций                | Функциональное назначение операций  |
|--------------------------------------|---|
| Охлаждение                           | Снижение температуры, формирование свойств металла при ТМО                              |
| Термообработка поковок (деталей)     | Формирование конечных технологических (обрабатываемость резанием) или служебных свойств |
| Очистка поверхности поковки (детали) | Обеспечение чистоты поверхности, улучшение обрабатываемости и товарного вида продукции  |
| Доработка формы поковок              | Повышение точности размеров и формы   |

Таблица 1.3 — Структура контрольных операций

| Наименование операций                             | Функциональное назначение операций   |
|---|--|
| Входной контроль металла                          | Определение соответствия требованиям технических условий на различных стадиях процесса |
| Контроль точности заготовок                       |  |
| Контроль точности поковок                         |  |
| Контроль структуры и механических свойств поковок |  |
| Контроль качества поковок (деталей)               |  |

По виду деформации операции холодной штамповки (согласно ГОСТ 18970-73) делятся на разделительные и формоизменяющие.

К разделительным операциям относятся: отрезка, вырубка, пробивка, обрезка, проколка, ломка. При разделительной операции происходит отделение одной части заготовки от другой по замкнутому или незамкнутому контуру.

При формоизменяющих операциях путем пластической деформации (материала) заготовке придается заданная форма. К формоизменяющим операциям холодной листовой штамповки относятся: гибка, правка, вытяжка, отбортовка, закатка.

При последовательных операциях в штампе изделие-полуфабрикат деформируется по переходам. В последнем переходе, когда заканчивается операция, изделие (деталь) отделяется от заготовки (полосы или ленты).

Совмещенные операции характеризуются тем, что рабочие части штампа (например, матрица) выполняют две функции: вырубку и пробивку. При совмещенной штамповке изделие получают за одну установку заготовки в

штампе. Комбинированную холодную штамповку совмещают в ряд операций, например, последовательно на многопозиционных прессах [15].

Анализируя ХШ в зависимости от уровня структурного элемента и группы можно выделить исходную информацию.

На уровне технологического процесса исходными данными являются:

1. Объект и продукт обработки (наименование детали, ее габариты размеры, тип, агрегатное состояние, вид заготовки, способ получения, масса).
2. Физический процесс операции (способы формообразования).
3. Комплекс средств технического оснащения (технологическая специализация оборудования, конструктивный тип машин).
4. Количественные ограничения (производительность цикла, ритм выпуска, ресурсоемкость, металлоемкость, энергозатраты.).

На уровне операции исходными данными являются:

1. Объект и продукт обработки (габариты заготовки).
2. Физический процесс операции (характер операции, тип операции).
3. Комплекс средств технического оснащения (требуемое усилие).
4. Количественные ограничения (фонд операционного времени).

На уровне перехода исходными данными являются:

1. Объект и продукт обработки (кавалитет точности).
2. Физический процесс формообразующей операции (физические процессы в заготовке).
3. Комплекс средств технического оснащения (конструктивный тип инструмента, материал).
4. Количественные ограничения (фонд времени переходов).

### **1.1.2 Структурное представление штамповочного оборудования**

Прессы относятся к той группе машин-орудий, которые деформируют поковку не ударом, а постепенным продвижением деформирующего инструмента. Скорость подвижных частей гидравлических прессов нарастает в процессе рабочего хода, и в этот период непрерывно подводится энергия. В

зависимости от типа привода прессы делятся на гидравлические, кривошипные и винтовые [2,8].

Наиболее широкое распространение получили кривошипные прессы. Работа кривошипных прессов не сопровождается ударами, поэтому не приводит к сотрясениям почвы и не расшатывает здания; кривошипные прессы не требуют дорогих, громоздких и трудоемких в изготовлении фундаментов. Кривошипные прессы позволяют получать точные изделия с небольшими допусками на дальнейшую обработку. Гидравлические прессы бесшумны и не вызывают сильных сотрясений, однако весьма тихоходны и сравнительно дороги.

Кривошипные прессы, предназначенные для обработки давлением, весьма разнообразны по назначению, особенностям конструкции, развиваемым усилиям и так далее. По важнейшему технологическому принципу — основным операциям, для которых они предназначаются, — кривошипные прессы разделяют на следующие группы: горячештамповочные, листоштамповочные, чеканочные, кривошипные горизонтальные, кузнечные автоматы, ножницы. Кроме этих основных групп выпускаются также обрезающие прессы и другие виды кривошипных машин.

На горизонтально-ковочных машинах получают из заготовок различные изделия осадкой, прошивкой, гибкой и отрезанием. На кузнечно-штамповочных автоматах изготавливают давлением мелкие детали в несколько переходов, следующих друг за другом, без участия рабочего. На ножницах режут как листовую, так и сортовой металл.

Помимо прессов для штамповки некоторых изделий используют иные машины и устройства (для ротационной вытяжки, импульсной штамповки и др.).

В результате анализа оборудования были выбраны следующие характеристики штамповочного оборудования:

- техническая специализация оборудования;
- тип машины

- номинальное усилие;
- размеры рабочего пространства.

В качестве исходного материала для листовой штамповки применяют листы или ленты, а для объемной штамповки — главным образом прутки различного сечения. Материал для штамповки, поступающий в штамповочные цехи, перед обработкой в ряде случаев подвергают специальной подготовке — правке, отжигу, обезжириванию, травлению, промывке, сушке, дрессировке [8].

## **1.2 Анализ проблемы формирования планов производственных расписаний в автоматическом режиме**

При исследованиях в вопросах автоматизации технологической подготовки и управления производственными системами использованы труды отечественных и зарубежных ученых: Соломенцева Ю.М., Митрофанова В.Г., Горнева В.Ф., Коновала Д.Г., Схиртладзе А.Г., Каяшева А.И., Сиразетдинова Т.К., Султан-заде Н.М., Поспелова Д.А. и др. [13, 29, 39, 40, 56, 67–69]

Проектируемое на предприятии изделие в условиях мелкосерийного и серийного производства может иметь множество вариантов технологических процессов, отличающихся по стойкости, качеству, длительности процесса изготовления и подготовки производства. Вопрос правильного выбора варианта технологического маршрута изготовления связан с вопросом успешного функционирования предприятия.

На предприятиях, работающих в рамках ERP-системы (информационная система для идентификации и планирования ресурсов предприятия), при формировании рабочих центров и их классификации используют экспертный метод [65]. В качестве экспертов привлекаются, как правило, технологи участков и цехов, при этом нет единой системы для группирования оборудования, что не всегда дает правильный результат. А также конечный результат напрямую зависит от степени подготовки технолога. При этом выпадает верхний уровень иерархии производства, т.к. не учитывается транспортная связь между рабочими центрами.

При формировании системы ограничений, по которым производится группирование рабочих центров, необходимо учесть типы обрабатываемых деталей, предельные габаритные размеры, материал и др., в том числе и параметры точности для формирования базы исходных данных. Типы детали определяют основной тип прессов. Целесообразность применения конкретной модели оборудования зависит от характера операции.

Для того, чтобы выбрать оптимальный вариант технологических маршрутов при минимальных затратах и выполнении производственных функций, необходимо создать модель, которая, не требуя коренной реструктуризации производства, предоставляла бы возможности расчета в единстве как технологических, так и экономических аспектов.

Это возможно при внедрении информационной системы планирования производства. Для этого необходимо при наличии уже сложившихся автоматизированных систем управления создать на предприятии единое информационное пространство, концепцию системы автоматизированного проектирования технологических маршрутов в рамках планирования ресурсов предприятия (MES-системы), что позволит сократить затраты, уменьшить сроки технологической подготовки производства, снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Используя данные уровней планирования и контроля, MES-системы управляют текущей производственной деятельностью в соответствии с поступающими заказами, требованиями конструкторской и технологической документации, актуальным состоянием оборудования, преследуя при этом цели максимальной эффективности и минимальной стоимости выполнения производственных процессов [96].

MES-системы позволяют оптимизировать производство и сделать его более рентабельным за счет быстрой реакции на происходящие события и применения математических методов компенсации отклонений от плановых заданий [6, 7].

MES-системы, собирая и обобщая данные, полученные от различных производственных систем и технологических линий, выводят на более высокий уровень организацию всей деятельности предприятия, начиная от формирования заказа и заканчивая отгрузкой готовой продукции на склады.

Они также реализуют связь в реальном времени производственных процессов с бизнес-процессами и улучшают финансовые показатели компании, включая повышение отдачи основных фондов, ускорение оборота денежных средств, снижение себестоимости, своевременность поставок, повышение размера прибыли и производительности.

Кроме того, эти системы формируют данные о текущих показателях (в частности, о реальной себестоимости продукции), необходимых для более качественного функционирования ERP-систем.

Таким образом, MES — это связующее звено между ориентированными на финансово-хозяйственные операции ERP-системами и оперативной деятельностью предприятия на уровне цеха, участка или линии [80].

При этом каждая система характеризуется своим уровнем интенсивности циркулирующей в ней информации, масштабом времени и набором функций, но задача у всех общая — собирать, регистрировать, накапливать, обрабатывать и передавать информацию на более высокий уровень.

Любая из этих систем разрабатывается под конкретный класс пользователей, в зависимости от выполняемых функций и решаемых задач (от руководителей высшего звена до рядовых специалистов), и, следовательно, обеспечивает их именно той информацией, которая необходима для решения стратегических, тактических и оперативных задач [6].

При таком подходе к взаимодействию подсистем предприятия внедрение MES-системы на производстве позволяет добиться заданной степени интеграции всех данных о его работе для решения управленческих задач.

Международная ассоциация производителей систем управления производством (MESA) определила одиннадцать типовых обобщенных функций MES систем [81]:

1. Контроль состояния и распределение ресурсов (RAS).
2. Оперативное/Детальное планирование (ODS).
3. Диспетчеризация производства (DPU).
4. Управление документами (DOC).
5. Сбор и хранение данных (DCA).
6. Управление персоналом (LM).
7. Управление качеством продукции (QM).
8. Управление производственными процессами (PM).
9. Управление техобслуживанием и ремонтом (MM).
10. Отслеживание истории продукта (PTG).
11. Анализ производительности (PA).

Остановимся на некоторых из них подробнее.

### **1.2.1 Оперативное планирование и диспетчеризация процессов**

Процесс функционирования производственной системы характеризуется, в частности, степенью загрузки технологического оборудования ее составляющих. В реальных условиях, при выполнении производственных заданий, неизбежен простой технологического оборудования. Это объясняется следующими факторами: невозможность подбора оборудования по технологическим возможностям, однозначно соответствующим требованиям выполняемых ТП; неритмичностью прохождения плановых производственных заданий; некоторым запасом по количеству и технологическим возможностям технологического оборудования с целью гарантированного обеспечения требуемых условий функционирования производственной системы и др. Все это приводит к появлению определенного объема избыточности производственных ресурсов. Размер и состав ресурсов, а также характер их изменения во времени являются определяемыми параметрами производственной системы [26].

Для расчета производственного расписания на отечественных предприятиях используются либо статические инструменты, такие, как сетевые

графики, бумажные таблицы, доски планирования, либо подобные инструменты не применяются. События, вносящие существенные изменения в расписание, происходят столь часто и в таком количестве, что возможности статического инструмента, и тем более человека, не позволяют учитывать их в полном объеме и поддерживать расписание в оптимальном состоянии [6].

В результате оперативный план, если таковой имеется, очень быстро перестает соответствовать действительности и теряет свою актуальность в среднем по истечении 20% планируемого периода. Уровень организации производства резко падает, снижается его рентабельность [7].

Для внутрицехового управления производственными процессами необходим инструмент, который обеспечит учет всех происходящих событий в режиме реального времени.

Этот инструмент должен отражать достоверную картину текущего состояния производства, а также обладать возможностью многократной корректировки и расчета расписаний в течение рабочих смен.

Для решения задачи оперативного планирования в MES-системах строится динамическая компьютерная модель производства. Она реализует непрерывное имитационное моделирование движения материальных потоков внутри цеха в соответствии с технологическими маршрутами [6, 72].

Производственное расписание наглядно описывается диаграммой Ганта, где каждой операции ставится в соответствие отрезок прямой, длина которого пропорциональна ее длительности. Эти отрезки, именуемые линиями Ганта, располагаются напротив инвентарных номеров основного технологического оборудования в последовательности, соответствующей расписанию [38].

Встроенный механизм диспетчеризации производства обеспечивает своевременную доставку и ввод информации о совершаемых действиях, происходящих событиях и отклонениях от составленного оперативного плана. Производственное расписание поддерживается в оптимальном состоянии за счет непрерывной компенсации отклонений методом коррекции либо полного перерасчета.

В результате все процессы, происходящие в цехе, становятся прозрачными, достигается «прозрачность», управляемость и идентифицируемость материальных потоков производства в соответствии с требованием международных стандартов.

### **1.2.2 Оперативная корректировка планов с учетом реального текущего состояния производства в автоматическом режиме**

Слабость большинства систем автоматизированного планирования заключается в том, что ресурсы производства оцениваются ориентировочно либо вообще считаются неисчерпаемыми [7]. Разбивая заказы на части и рассчитывая дату начала их изготовления, эти системы не учитывают доступность ресурсов в конкретный момент времени.

Абстрактное наличие ресурса вовсе не означает его доступность для выполнения каждого заказа в каждый момент времени. Таким образом, расписание, составленное без учета информации о фактическом состоянии ресурсов производства, не соответствует действительности и не может быть выполнено [6].

Одним из основных принципов, положенных в основу рассматриваемых систем, является принцип конечного планирования ресурсов [30]. Суть данного принципа заключается в том, что ресурсы (как основные, так и дополнительные) всегда ограничены и выполнение работ планируется только тогда, когда достоверно известно, что ресурсы доступны.

Так, помимо незапланированного выхода станков из строя и влияния других неожиданных воздействий, изменяющих доступный объем ресурсов производства, в цехах существует регламент проведения профилактических ремонтов оборудования [6]. MES-система позволяет моделировать текущую ситуацию, представить набор сценариев ее развития и добиться такого расписания, при котором профилактический ремонт оборудования минимальным образом скажется на своевременности выполнения плана. В качестве ограничений может выступать предел потребления электроэнергии,

необходимость присутствия оператора на определенных рабочих местах, наличие специфической оснастки и т.п.

В случае превышения или нехватки ресурсов система, прежде всего, проинформирует об этом диспетчера, а затем предложит принять либо отклонить условия этого варианта плана [7].

### **1.2.3 Сравнительный анализ существующих MES-систем**

В настоящее время на рынке существует много различных программных продуктов, позиционируемых как системы класса MES, в описаниях которых декларируется, что они умеют планировать производство, составлять производственные расписания. Ниже приводится перечень анализируемых систем:

- ФОБОС;
- YSB.Enterprise.Mes;
- PolyPlan;
- Omega Production;
- Спрут-ОКП;
- Zenith SPPS.

Анализ проводился по следующим критериям:

1. Формирование и коррекция оперативных производственных планов цеха.
2. Расчет производственного расписания загрузки оборудования по различным критериям.
3. Визуализация данных без возможности внесения изменений.
4. Возможность маршрутно-операционных описаний технологических процессов.
5. Представление производственного расписания в виде диаграммы Ганта.
6. Расчет и построение оптимального производственного расписания на основе множества критериев.
7. Формирование рабочих центров в автоматическом режиме.
8. Накопление опыта.

Результаты сравнительного анализа систем на основе источников [11, 46–49] представлены в таблице 1.4:

Таблица 1.4 — Сравнительный анализ MES систем

| Возможности   | ФОБОС | YSB.Enterprise.Mes | PolyPlan | Omega Production | Спрут-ОКП | Zenith SPPS |
|---|-------|--------------------|----------|------------------|-----------|-------------|
| Формирование и коррекция оперативных производственных планов цеха                           | +     | +                  | +        | +                | +         | +           |
| Расчет производственного расписания загрузки оборудования по различным критериям            | +     | +                  | +        | +                | +         | +           |
| Визуализация данных без возможности внесения изменений                                      | +     | +                  | +        | +                | +         | +           |
| Возможность маршрутно-операционных описаний технологических процессов                       | +     | -                  | +        | -                | -         | +           |
| Представление производственного расписания в виде диаграммы Ганта                           | +     | +                  | +        | +                | +         | +           |
| Расчет и построение оптимального производственного расписания на основе множества критериев | -     | -                  | -        | -                | -         | -           |
| Формирование рабочих центров в автоматическом режиме  | -     | -                  | -        | -                | -         | -           |
| Накопление опыта  | -     | -                  | -        | -                | -         | -           |

В таблице приняты следующие обозначения: «+» — реализация соответствующей функции представлена в системе, «-» — отсутствие данной возможности в системе.

Анализ MES-систем выявил, что оптимизация графика работ оборудования осуществляется с учетом не всех показателей, связанных с организацией штамповочного производства.

Также было определено, что в связи с отсутствием возможности накопления опыта ответственность за принятие решений на каждом этапе выбора вариантов реализации лежит на конкретном специалисте. Подобный подход значительно ограничивает количество рассматриваемых вариантов. Для построения производственного расписания по каждому технологическому процессу выбирается только один оптимальный маршрут. Таким образом, альтернативные варианты расписаний, основанные на других, не оптимальных

на этапе технологической подготовки производства, маршрутах, не рассматриваются.

Внедрение в существующие подходы компоненты систем поддержки принятия решений, таких как база прецедентов, повысит вариативность выбора технологического маршрута на этапах подготовки и управления производством, что, в свою очередь, позволит повысить качество принимаемых решений.

### **1.3 Ранжирование альтернативных вариантов технологических маршрутов на основе комплексной оценки**

В большинстве случаев при рассмотрении альтернативных вариантов выбор производится, исходя из оптимизации по какому-либо критерию (параметру), при этом на остальные накладываются ограничения. Но такой подход не всегда целесообразен, так как оптимизация одного параметра может привести к нерациональному использованию других. При этом при изменении приоритетов в политике предприятия возникает необходимость в разработке новой методики, что в условиях постоянно изменяющегося производства может привести к большим потерям вследствие неотлаженности нового метода планирования. Поэтому возникает необходимость в разработке методов, позволяющих при выборе варианта из альтернативных опираться на рассмотрение сразу по нескольким показателям [65].

При обработке конкретного производственного заказа может возникнуть ситуация, когда часть критериев не играет значительной роли при выборе маршрута для запуска в производство, а какой либо критерий имеет первостепенную важность. Предложено использовать для оценки сравнительной важности критериев метод анализа иерархий Саати [50]. Полученные с помощью этого метода веса критериев по приоритетам учитываются при вычислении комплексного показателя для ранжирования альтернативных технологических маршрутов.

Часть рассматриваемых критериев относится к количественным и имеет зарекомендовавший себя математический аппарат для расчетов численных

значений, а часть — к качественным, т.е. для их обработки необходимо применять эвристические методы и привлекать знания экспертов. Однако, как эвристические методы, так и экспертиза обладают большой долей вероятности дать ошибочную оценку (так как в их основе лежит человеческий фактор). Поэтому в качестве информационной основы для системы принятия решений предлагается использовать базу прецедентов, которая учитывает аналогичные ситуации, происходящие в производстве, в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации для решения данной проблемы.

Анализ производства показал, что каждое проектируемое на предприятии изделие в условиях мелкосерийного и серийного производства может иметь множество вариантов технологических процессов, отличающихся по стоимости, качеству, длительности процесса изготовления и подготовки производства, то есть при выборе оптимального технологического процесса необходимо учесть совокупное влияние множества факторов и рассмотреть все альтернативные варианты хода технологического процесса.

Выбор оптимального варианта маршрута ТП основан на ранжировании альтернатив ТМ по комплексным оценкам. Чтобы получить комплексную оценку маршрута необходимо определить количественные оценки качественных критериев и определить приоритетность критериев. Метод анализа иерархий позволяет реализовать технологию ранжирования маршрутов с применением экспертных оценок.

#### ***1.4 Применение интеллектуальных систем на этапах управления и планирования производством в автоматическом режиме***

При исследованиях в вопросах применения и разработки интеллектуальных систем использованы труды отечественных и зарубежных ученых Элти Дж., Кумбса М., Таунсенда К., Фохта Д., Рома М.,

Полищука Ю.М., Хона В.Б., Евгенева Г.Б., Гавриловой Т.А., Хорошевского В.Ф. и др. [10, 18, 53, 57, 73, 106]

Сложность и многосвязность факторов, влияющих на процесс производства поковок, не позволяет в процессе проектирования основываться только на аналитической информации и требует привлечения эмпирических данных. Эффективной формой поддержки принятия рациональных решений при проектировании процессов обработки металлов давлением (ОМД) с привлечением обширной эмпирической информации являются экспертные системы (ЭС) [70, 111, 112].

С функциональной точки зрения под ЭС понимается информационно-вычислительная человеко-машинная система, которая использует знания о конкретной области и в пределах этой области способна принимать решения на уровне эксперта-профессионала. Свойства, присущие ЭС, характеризуют ее как систему искусственного интеллекта, основным ядром которой является база знаний [10, 55, 57, 73].

Традиционные экспертные системы имеют лишь один механизм поддержки принятия решений — логический вывод, и лишь одно средство представления знаний — правила. В последнее время активно развивается новое поколение ЭС — экспертные системы поддержки принятия решений (СППР) [97]. Для использования СППР в качестве средства поддержки принятия управленческих решений необходимо предусмотреть возможность учета характеристик лица, принимающего решения (ЛПР). Предлагается не использовать в системе единую жесткую схему логического вывода, а поддержку принятия решений осуществлять в соответствии с конкретной аналитической моделью пользователя.

Выделены следующие требования к СППР на этапе подготовки производства:

- производить анализ альтернативных технологических маршрутов на наличие прецедентов по заданным критериям;

- оценить альтернативы по каждому из заявленных критериев оптимальности;
- ранжировать все возможные в условиях данного производства маршруты по интегральному критерию оптимальности и выбрать оптимальный вариант;
- обеспечить взаимодействие с экспертной группой;
- обрабатывать экспертную информацию;
- контролировать процесс наполнения базы прецедентов и предотвращать ее перенасыщение.

Основная цель использования аппарата прецедентов в СППР заключается в выдаче готового решения ЛПР, для текущей ситуации на основе прецедентов, которые уже имели место в прошлом [77].

Прецедент — это описание проблемы или ситуации в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации для решения данной проблемы. Вместо манипулирования общими знаниями в прикладной области БП использует специфические знания относительно конкретных проблемных ситуаций из предыдущего опыта. Решение в новой проблемной ситуации осуществляется путем нахождения похожего прецедента в прошлом, и затем это решение многократно используется в последующих проблемных ситуациях.

Рассуждения на основе прецедентов (case-based reasoning, CBR) является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную задачу, используя или адаптируя решение уже известной задачи [21]. Это метод формирования умозаключений, опирающийся не на логический вывод от исходных посылок (логические рассуждения), а на поиск и анализ случаев формирования подобных умозаключений в прошлом. Такие умозаключения не являются достоверными и требуют верификации. Проверка корректности умозаключения может являться частью CBR-процесса [76]. Метод рассуждения на основе прецедентов в работах [20, 56, 108–110].

С точки зрения решения задач, рассуждения по прецедентам — это метод получения решения путем поиска подобных проблемных ситуаций в памяти, хранящей прошлый опыт решения задач, и адаптации найденных решений к новым условиям. Применение CBR для решения задач оправдано в случае выполнения следующих условий, касающихся природы прикладной области. Во-первых, подобные задачи должны иметь подобные решения (принцип регулярности). В этом случае накопленный опыт решения задач может служить отправной точкой процесса поиска решения для новых подобных задач. Во-вторых, виды задач, с которыми сталкивается решатель, должны иметь тенденцию к повторению. Это условие гарантирует, что для многих проблем в будущем будет существовать аналог в прошлом опыте [20].

Метод рассуждений по прецедентам имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с другими методами получения решений. Среди преимуществ можно выделить следующее:

- легкость приобретения знаний (в противоположность системам, основанным на правилах). Создание системы, основанной на правилах, требует таких трудоемких этапов как получение, формализация и обобщение экспертных знаний, верификация системы на корректность и полноту. В CBR-системах приобретение знаний происходит путем формального описания случаев из практики (нет необходимости обобщения, и вытекающей отсюда угрозы переобобщения);
- возможность объяснения полученного решения (в противоположность системам, основанным на нейронных сетях). CBR-система может объяснить полученное решение путем демонстрации успешного прецедента с отражением показателей сходства и рассуждений, использовавшихся при адаптации прецедента к новой ситуации. Такое объяснение может быть даже лучше, чем объяснения, выдаваемые системами, основанными на правилах. Последние иногда выдают очень длинные последовательности рассуждений, а сами правила

- конечному пользователю (в отличие от эксперта) могут казаться неочевидными или слишком сложными;
- возможность работы в предметных областях, которые невозможно полностью понять, объяснить или смоделировать;
  - возможность обучения в процессе работы. Причем обучение будет происходить только в определенных направлениях, которые реально встречаются на практике и востребованы (нет избыточности);
  - возможность избежать повторения ошибки (обучение сбоям и их причинам для избегания их появления в дальнейшем);
  - возможность получения решений путем модификации прецедентов позволяет уменьшить объем вычислений в предметных областях, где генерация решения «с нуля» требует больших усилий.

Основными недостатками являются:

- метод применим только в областях, где выполняется принцип регулярности и имеет место повторяемость видов задач. Если все время решаются принципиально новые задачи или если решения сходных задач различны, то CBR-метод неприемлем;
- некомпактное (без обобщения) хранение знаний (опыта);
- методы вообще не создают каких-либо моделей или правил, обобщающих предыдущий опыт, — в выборе решения они основываются на всем массиве доступных исторических данных, поэтому невозможно сказать, на основе каких конкретно факторов системы вывода по прецедентам строят свои конкретные ответы.

CBR в общем случае представляет собой циклический процесс: решение проблемы, запоминание этого решения в качестве прецедента, решение новой проблемы и так далее. CBR-цикл может быть описан следующими тремя процессами:

- поиск похожего прецедента (retrieve) — поиск прецедентов, у которых постановка задачи наиболее похожа на описание новой задачи;

- адаптация (reuse + revise) — получение на базе найденного прецедента решения для новой задачи. Этот этап может также включать проверку полученного нового решения на корректность и толерантность к ошибкам и, возможно, дополнительную коррекцию решения;
- сохранение прецедента (retain) — сохранение той части полученного опыта, которая может оказаться полезной для решения новых задач (пополнение или корректировка библиотеки прецедентов).

Таким образом, решение каждой задачи в CBR сводится к последовательному решению подзадач поиска схожих прецедентов, получения из них (путем адаптации) решения для новой задачи и сохранения нового случая решения задачи в библиотеке прецедентов.

### **1.5 Выводы**

Из анализа подходов к планированию и управлению штамповочным производством в автоматическом режиме следует, что:

1. Для оперативной корректировки производственных планов в автоматическом режиме необходима непрерывная генерация предварительных производственных расписаний. Традиционные подходы, используемые в штамповочном производстве, являются устаревшими и нуждаются в пересмотре для реализации указанной задачи.

2. Развитие современных систем управления производством характеризуется появлением в их составе интеллектуальных подсистем, таких как СППР, базы знаний, а также базы прецедентов, позволяющих использовать накопленный опыт для повышения качества принимаемых решений. Разработка подобных подсистем является трудоемкой задачей, так как требует создания сложных информационных и математических моделей производства.

3. Анализ MES-систем показал, что автоматическое формирование альтернативных вариантов технологических маршрутов и их последующее ранжирование не реализуется. Следовательно, построение производственных

расписаний, основанное на статических технологических маршрутах, не имеет альтернатив, что снижает качество принимаемых решений.

4. Оценка оптимальности технологических маршрутов и производственных расписаний основана на каком-либо одном критерии, чаще всего на временном или стоимостном показателе. Однако существуют подходы, например, метод Саати, позволяющие при оценке учесть набор показателей на основе комплексного критерия.

5. На основе анализа систем управления производством класса ERP и MES было выяснено, что для решения задач распределения производственных мощностей применяется логическая группировка оборудования в рабочие центры. В соответствии с методологией ERP, рабочий центр представляет собой группу взаимозаменяемого оборудования, территориально расположенного на локальном производственном участке. Группировка оборудования в современных производственных системах управления осуществляется вручную.

6. Аппарат принятия решений современных интеллектуальных систем основан на имитационной модели, алгоритмы которой соответствуют алгоритмам, используемым экспертами при выборе решения. Постоянно изменяющиеся показатели производства являются входными данными для имитационной модели, непрерывное циклическое использование которой позволяет принимать эффективные решения в реальном режиме времени.

Исходя из результатов проведенного анализа, поставлена цель работы: повышение эффективности управления технологическими маршрутами холодной штамповки на этапах технологической подготовки и оперативного планирования за счет разработки автоматизированной системы управления технологическими маршрутами на основе базы прецедентов, и определены следующие основные задачи:

- разработать методику построения производственных расписаний для штамповочного производства на основе современных подходов к построению интеллектуальных систем;

- разработать структуру и правила иерархической базы прецедентов;
- разработать комплексный критерий оценки оптимальности технологических маршрутов штамповочного производства;
- разработать методику формирования оптимальных по комплексному критерию технологических маршрутов с учетом базы прецедентов;
- разработать алгоритм автоматической группировки оборудования штамповочного производства в рабочие центры;
- разработать динамическую модель построения производственного расписания.

## **Глава 2. Методика формирования базы знаний показателей технологического маршрута на основе прецедентов**

### ***2.1 Разработка структуры базы прецедентов в рамках информационной системы технологической подготовки и планирования штамповочного производства***

Эффективная работа современного промышленного предприятия, в том числе и штамповочного производства, невозможна без автоматизированных систем управления предприятием (АСУП). При наличии единого информационного пространства подобные системы, охватывающие все функции предприятия, осуществляют информационную поддержку изделий на всех этапах жизненного цикла, что позволяет сокращать затраты, уменьшать сроки технологической подготовки производства, снижать себестоимость выпускаемой продукции [64].

При возникновении необходимости проведения неотложных и глубоких изменений в деятельности предприятия, вплоть до переработки его стратегии, АСУП обеспечивают оперативный расчет комплекса показателей деятельности в новых условиях внешней среды при любом из возможных вариантов изменений множества внутренних факторов для определения оптимального варианта [65].

Кроме того, на этапе подготовки производства необходимо решение вопроса по включению в план производства нового изделия с учетом мощностей предприятия, финансовых ресурсов, жестких временных рамок.

Существуют несколько классов подобных систем, реализующих разные уровни управления предприятием. Функции верхнего стратегического уровня, а также финансово-хозяйственной деятельности, реализуются системами класса ERP. Данный класс систем оперирует большими объемами административно-хозяйственной и учетно-финансовой информации и осуществляет изменение

планов в течение продолжительного промежутка времени (например, раз в сутки) [80].

Класс MES-системы реализует функции управления производством и оперирует исключительно производственной информацией, позволяя полностью корректировать производственные расписания в течение рабочей смены столько раз, сколько это необходимо.

Низшие уровни технологического управления решают классические задачи управления технологическими процессами АСУТП.

Задача формирования и корректировка производственного расписания в автоматическом режиме относится к функциям оперативного планирования АСУП класса MES. Одними из основных исходных данных для формирования производственных расписаний являются технологические маршруты на изготовление изделий. Задачу проектирования множества альтернативных вариантов технологических маршрутов с последующим их ранжированием по комплексу критериев относят к этапу технологической подготовки производства (ТПП), что является функцией систем класса ERP.

Единое информационное пространство предприятия, представляющее собой банки данных по всей производственной и экономической деятельности, позволяет совместное использование систем разных уровней.

С целью повышения эффективности нахождения оптимальных вариантов на указанных уровнях предлагается поддержка принятия решений на основе базы знаний по прецедентам. Внедрение базы знаний в любую современную систему управления производством позволит повысить качество формируемых технологических маршрутов и производственных расписаний за счет выбора оптимальных вариантов по каждой задаче. База знаний системы включает в себя базу прецедентов по технологическим маршрутам и производственным расписаниям.

На основе анализа систем оперативного планирования и штамповочного производства была разработана общая структура информационной системы

формирования производственных расписаний на основе базы прецедентов (рисунок 2.1).

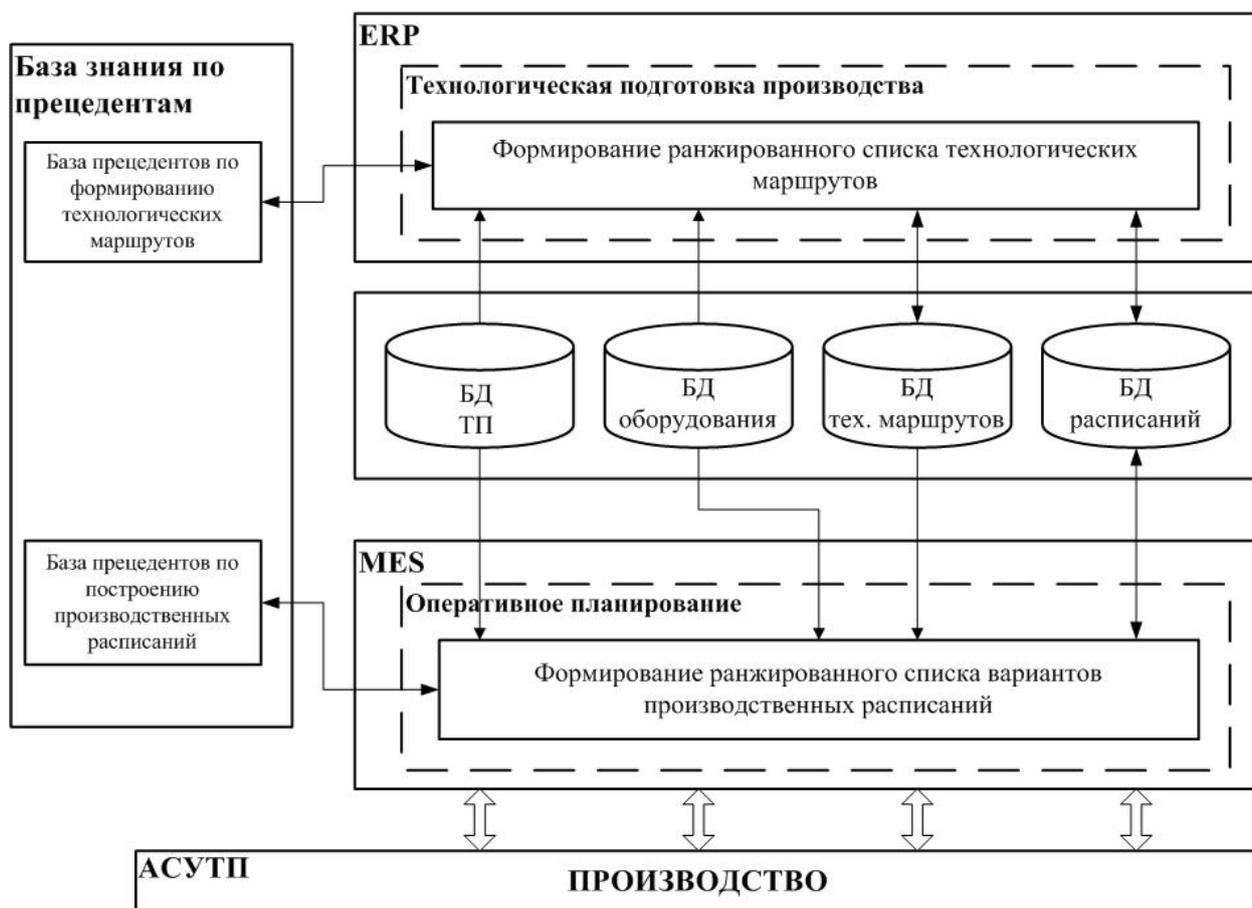


Рисунок 2.1 — Структура базы прецедентов

Предлагаемая структура информационной системы состоит из трех основных блоков:

1. Блок формирования множества технологических маршрутов на этапе технологической подготовки производства (ТПП).
2. Блок формирования множества производственных расписаний на этапе управления производством (Оперативное планирование).
3. Блок «база прецедентов» для поддержки обоих этапов управления технологическими маршрутами (СППР).

Исходными данными для корректировки календарных производственных планов является план-график реализации продукции предприятия, содержащий перечень изделий, сроки по выполнению заказов на изготовление изделий и размеры партий.

Каждому изделию соответствует определенный технологический процесс на изготовление. На этапе ТПП для каждого технологического процесса формируются альтернативные технологические маршруты. На этапе оперативного планирования из альтернативных маршрутов формируются варианты производственных расписаний, наиболее оптимальный из которых является основой для корректировки календарного плана.

## **2.2 Формирование системы исходных данных по структурным элементам технологического процесса производства холодной штамповки**

Как было указано выше, под прецедентом в данной работе понимается правило для принятия решения по выбору технологического маршрута в ситуации, характеризуемой определенными условиями. Описание ситуации представляет собой структурное описание нового технологического процесса, а под подробным указанием действий — ранжированный по комплексному критерию список технологических маршрутов для вводимого технологического процесса.

Любая производственная система разделяется на функциональные модули — структурные элементы технологического процесса, при этом каждый из них занимает в этой иерархии строго определенное место. Технология штамповки реализуется на трех иерархических уровнях, которые выделяются в результате системной дифференциации ее функций [88, 89].

Высший уровень, существующий в рамках производства — производственный процесс (ПП) изготовления изделия в целом. Элементами его структуры являются все технологические процессы, необходимые для обеспечения соответствия каждой из выпускаемых единиц изделия требованиям чертежа.

Техпроцесс (ТП) изготовления детали. Каждый ТП состоит из отдельных операций.

Операция (ОП) характеризуется постоянством рабочего места. Ее структурными элементами являются переходы.

Переход (ПЕР) характеризуется постоянством используемого инструмента (например, штампа) и параметрами рабочих движений, выполняемых при формообразовании.

Уровень ПП можно исключить и рассматривать разделение параметров только на уровнях ТП, так как интерес представляют отдельные технологические процессы. Необходимо определить параметры, по которым будет происходить классификация внутри каждого уровня ТП, то есть выявить соответствующие группы признаков.

Моделирование содержания целостного процесса функционирования производства [65] представляет собой наглядное дифференцированное отображение содержания рабочих процессов и элементарных действий, выполняемых в простейших технологических модулях и структурных элементах соответствующей технологии на всех уровнях. Дифференциация функций выполняется во взаимосвязи с иерархической организационной структурой предприятия, планируемый объем деятельности распределяется по структурным модулям, за каждым из которых распределены наборы функций. Деятельность каждого из элементов является целостной совокупностью функционально связанных между собой разнокачественных процессов — последовательных изменений состояния преобразовываемых ресурсов и материальных средств технологии.

Основные положения функционально-структурной дифференциации и моделирования ТП изготовления деталей позволяют по-новому подойти к проектированию оптимального варианта реализации маршрутной технологии. В рамках предприятия дифференциация ТП реализуется на трех иерархических уровнях структурных элементов (СЭ).

За основу было принято структурное разделение технологического процесса (ТП) на иерархические уровни (ТП, ОП, ПЕР). Каждый уровень характеризуется определенными признаками, которые могут принимать

конкретные значения. Таким образом, каждый иерархический уровень разбивается на соответствующие классы, и модель ТП представляет собой древовидную иерархическую структуру.

Классификацию прецедентов в базе прецедентов (БП) предлагается организовать аналогичным способом — разделять комплексные технологические критерии на более простые составляющие в соответствии со структурой ТП.

Совокупность всех технологических процессов, осуществляемых в производстве и хранящихся в базе прецедентов, можно представить в виде множества. Каждый ТП представляет собой элемент множества ПП:

$$ПП = \{ТП_i | i \in N\}, \quad (2.1)$$

Технологические процессы являются пересекающимися подмножествами, так как конкретные ТП могут иметь совпадающие характеристики, которые и определяют их пересечение.

$$ТП_{i1} \cap ТП_{i2} = \{x | x \in ТП_{i1}, x \in ТП_{i2}\}, \quad (2.2)$$

где  $x$  — совпадающие значения критериев для двух рассматриваемых ТП.

В свою очередь, каждый ТП представляет собой множество ОП. Операции также являются пересекающимися подмножествами. Аналогично происходит разбиение всей БП на всех уровнях ТП. Таким образом, множество всех значений критериев, хранящихся в БП, можно организовать подобным образом, где каждый конкретный вектор критериев представляет собой элемент множества.

Элементы множества определяются характеристиками СЭ, каждый элемент представляет собой кластер, центром которого является конкретное значение вектора критериев (наиболее типичное значение для кластера).

Исходные данные для ТМ в соответствии с предложенной методикой [88] дифференциации процесса обработки деталей холодной штамповкой по структурным элементам ТП можно представить в виде следующей матрицы (таблица 2.1). Такая дифференциация позволяет подробно представить все признаки деталей и ограничений производства на их обработку.

Таблица 2.1 — Матрица исходных данных

| СЭ  | Объект обработки   | Характеристики процесса обработки | Комплекс средств технологического оснащения | Внешние условия  | Количественные ограничения   |
|-----|--|-----------------------------------|---|--|--|
| ТП  | Наименование, тип детали, габариты, вид заготовки, масса детали. | Количество операций               | —   | Агрегатн. состояние, хим. активность, давление и температура среды | Фонд технологического времени, ресурсоемкость, металлоемкость, энергозатраты |
| ОП  | Габариты заготовки   | Характер операции, тип операции.  | Требуемое усилие пресса                     | —  | Фонд операционного времени   |
| ПЕР | Квалитет точности  | Распределение деформации          | Геометрические параметры инструмента        | —  | Фонд переходного времени   |

Технологический маршрут состоит из определенной последовательности выполняемых операций. Наименование операции присваивается в зависимости от станка, на котором обрабатывается деталь на этой операции.

Параметры и значения СЭ для каждого предприятия являются уникальными в зависимости от характера деятельности. Количественные параметры, такие как размеры заготовок и поковок, количество операций, временные и ресурсные затраты, квалитет точности и др., выражаются численными значениями. Для более эффективного использования разработанных в работе методик и алгоритмов численные значения могут быть представлены диапазонами в виде категорийных.

В работе [2] рассмотрено 180 типовых поковок, которые можно объединить в четыре группы в зависимости от формы и технологических особенностей изготовления (таблица 2.2).

Таблица 2.2 — Классификация поковок

| Группа поковок | Масса, кг | КИМ       | Номинальное усилие пресса, МН |
|----------------|-----------|-----------|-------------------------------|
| 1              | 2         | 3         | 4                             |
| 1-1            | 0,5-1,0   | 0,78-0,92 | 10-16                         |
| 1-2            | 0,6-28,6  | 0,54-0,91 | 2,5-63                        |
| 1-3            | 0,6-15,5  | 0,60-0,99 | 10-63                         |
| 1-4            | 1,6-6,0   | 0,60-0,90 | 16-40                         |
| 1-5            | 0,1-4,6   | 0,20-0,83 | 10-25                         |
| 2-1            | 1,36-23,6 | 0,50-0,86 | 8-63                          |
| 2-2            | 7,0-29,9  | 0,80-0,92 | 12,5-40                       |

| Продолжение таблицы 2.2 |           |          |           |
|-------------------------|-----------|----------|-----------|
| 1                       | 2         | 3        | 4         |
| 2-3                     | 1,0-7,8   | 0,6-0,91 | 10-63     |
| 2-4                     | 0,46-11,7 | 0,7-0,95 | 0,25-12,5 |
| 2-5                     | 1,85-22,8 | 0,4-0,86 | 25-63     |
| 3-1                     | 1,8-6,7   | 0,99     | -         |
| 3-2                     | 9,8       | 0,99     | 6,3       |
| 3-3                     | 11,8-12,3 | 0,9      | 12,5-25   |
| 4-1                     | 0,4-3,1   | 0,5-0,8  | 16-25     |
| 4-2                     | 0,25-1,7  | 0,5-0,6  | 0,25-25   |
| 4-3                     | 0,38-5,6  | 0,5-0,8  | 16-40     |
| 4-4                     | 0,38-3,2  | 0,7-0,8  | 10-25     |
| 4-5                     | 0,1-10    | 0,45-0,7 | 10-25     |

Значения блока «внешние условия» представлены в таблице 2.3 ( $T_k$ ,  $T_c$ ,  $T_p$  – температуры абсолютного нуля, рекристаллизации, среды) [42]:

Таблица 2.3 — значения блока «Внешние условия»

| Код | Агрегатное состояние  | Химическая активность | Давление     | Температура среды              |
|-----|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------------------------|
| 1   | Газ                   | Нейтральная           | Вакуум       | Низкая ( $T_k < T_c < 0$ )     |
| 2   | Плазма                | Защитный газ          | Нормальное   | Нормальная ( $0 < T_c < T_p$ ) |
| 3   | Упругая               | Обмазки               | Высокое      | Высокая ( $T_c > T_p$ )        |
| 4   | Эластичная            | Окислительная         | Сверхвысокое | —                              |
| 5   | Сыпучая               | Восстановительная     | —            | —                              |
| 6   | Жидкая                | Поверхностно-активная | —            | —                              |
| 7   | Электромагнитное поле | —                     | —            | —                              |

Значения блока «Характеристика процесса обработки» на уровне ОП, полученные в результате анализа деятельности штамповочного цеха ПО «Начало», представлена в таблице 2.4.

Набор операций, осуществляемый на другом предприятии, например на прессово-рамном заводе КамАЗа, может отличаться от предыдущего примера по причине другой номенклатуры выпускаемых изделий.

Значение показателя «распределение деформации» может быть:

- по всему объему;
- по части объема;
- по поверхности.

Таблица 2.4 — Значения блока «Характеристика процесса обработки»

| Код | Характер операции | Тип операции  |
|-----|-------------------|---|
| 1.1 | Подготовительная  | Очистка поверхности металла                           |
| 1.2 |                   | Зачистка торцов                                       |
| 1.3 |                   | Калибровка прутка                                     |
| 1.4 |                   | Резка мерных заготовок                                |
| 1.5 |                   | Смазка заготовки (штампа)                             |
| 2.1 | Формообразующая   | Мелкая штамповка                                      |
| 2.2 |                   | Средняя штамповка                                     |
| 2.3 |                   | Крупная штамповка                                     |
| 2.4 |                   | Пробивка  |
| 3.1 | Отделочная        | Охлаждение  |
| 3.2 |                   | Очистка поверхности поковок                           |
| 3.3 |                   | Доработка формы поковок (повышение точности размеров) |

Таким образом, для каждого уровня модели ТП можно выделить основные признаки, согласно которым будет происходить разбиение на кластеры по уровням.

### **2.3 Методика формирования прецедентов**

В соответствии с подходом CBR прецедент включает в себя следующую информацию:

- заголовок;
- таблицу условий;
- таблицу решений.

Заголовок представляет собой имя прецедента. Таблица условий содержит описание входных параметров (матрица исходных данных) и содержит следующие поля: наименование условия и их значения. Значения условий могут представляться в виде конкретных значений или их интервалов. Таблица решений представляет данные по выходным параметрам прецедента — ранжированный список технологических маршрутов.

Можно выделить два основных режима работы базы прецедентов:

- наполнение базы прецедентов;
- использование базы прецедентов.

Наполнение базы прецедентов выполняется при отсутствии схожего прецедента при поиске. Процесс наполнения представлен в виде диаграммы потоков данных [9, 94] на рисунке 2.2.

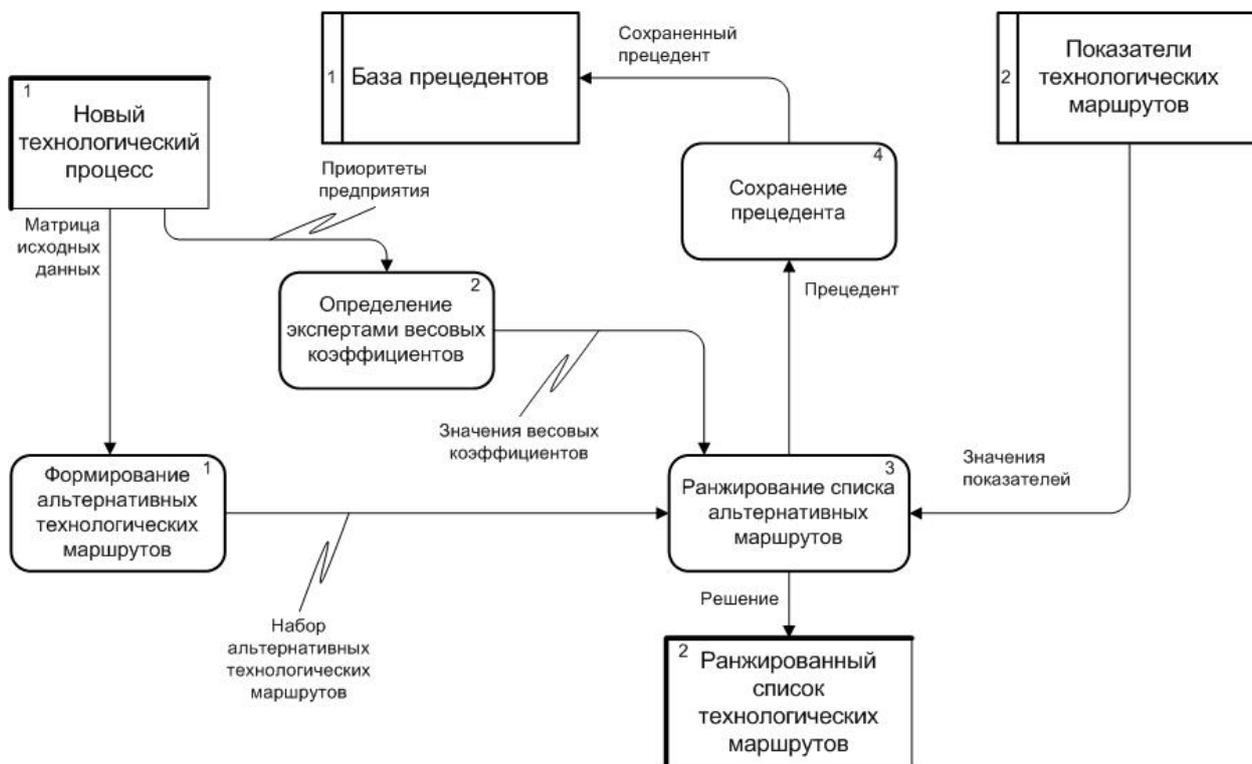


Рисунок 2.2 — Описание процесса добавления прецедента

Диаграмма потока данных моделирует систему как набор действий и их связь с внешним миром через объекты «хранилище данных» и «внешние сущности». Стрелки представляют собой объекты (потоки данных) [94].

Первая внешняя сущность «Новый технологический процесс» содержит в себе описание ТП, представленное в виде матрицы исходных данных. На основании матрицы в соответствии с методикой формирования технологических маршрутов в автоматическом режиме создается набор альтернативных технологических маршрутов (действие 1). Более подробное описание методики представлено в главе 3. Вторым действием является определение экспертами весовых коэффициентов комплексного критерия оценки эффективности технологического маршрута в соответствии с методикой комплексного критерия, основанного на методе анализа иерархий Саати. Ранжирование альтернативных маршрутов производится на основании набора маршрутов, значений показателей маршрутов и весовых коэффициентов

показателей, полученных экспертами (действие 3). Результатом является ранжированный список технологических маршрутов (внешняя сущность 2). Полученное решение определяется как прецедент, в таблицу условий помещаются данные матрицы исходных данных, в таблицу решений — полученный список ранжированных маршрутов с экспертными оценками (действие 4).

Таблица условий для прецедента по технологическому процессу, состоящему из трех операций, имеет следующий вид:

Таблица 2.5 — Таблица условий

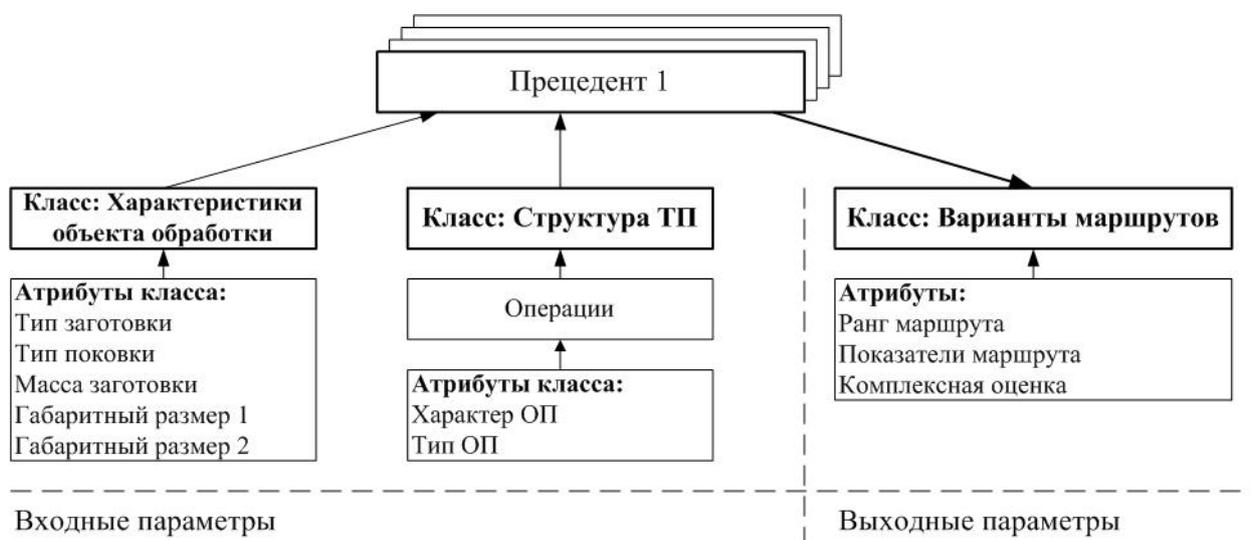
| Наименование:                              |                        | Прецедент 1         |  |
|--|------------------------|---------------------|--|
| №  | Наименование параметра | Значение            |  |
| <b>Структура технологического процесса</b> |                        |                     |  |
| 1  | Количество операций:   | 3                   |  |
| <b>Операция 1</b>                          |                        |                     |  |
| 2  | Характер операции 1:   | Подготовительная    |  |
| 3  | Тип операции 1:        | Резка заготовок     |  |
| <b>Операция 2</b>                          |                        |                     |  |
| 4  | Характер операции 2:   | Формоизменяющая     |  |
| 5  | Тип операции 2:        | Средняя штамповка   |  |
| <b>Операция 3</b>                          |                        |                     |  |
| 6  | Характер операции 3:   | Завершающая         |  |
| 7  | Тип операции 3:        | Очистка поверхности |  |
| <b>Характеристики объекта обработки</b>    |                        |                     |  |
| 8  | Масса заготовки        | [, 15]              |  |
| 9  | Тип заготовки          | Пруток              |  |
| 10   | Габаритный размер 1    | [,150]              |  |
| 11   | Габаритный размер 2    | [,400]              |  |

Варианты альтернативных технологических маршрутов в таблице решений упорядочены по значению комплексного критерия, расчет которого осуществляется по показателям маршрута  $k_1 - k_6$  (подробное описание комплексного критерия дано в главе 3):

Таблица 2.6 — Таблица решений

| Ранг | Наименование маршрута | Показатели маршрута |          |     |          |          | Комплексная оценка |
|------|-----------------------|---------------------|----------|-----|----------|----------|--------------------|
|      |                       | $k_1$               | $k_2$    | ... | $k_5$    | $k_6$    |                    |
| 1    | $TM I_1$              | $k_{11}$            | $k_{12}$ | ... | $k_{15}$ | $k_{16}$ | $K_1$              |
| 2    | $TM I_2$              | $k_{21}$            | $k_{22}$ | ... | $k_{25}$ | $k_{26}$ | $K_2$              |
| 3    | $TM I_3$              | $k_{31}$            | $k_{32}$ | ... | $k_{35}$ | $k_{36}$ | $K_3$              |
| 4    | $TM I_4$              | $k_{41}$            | $k_{42}$ | ... | $k_{45}$ | $k_{46}$ | $K_4$              |
| 5    | $TM I_5$              | $k_{51}$            | $k_{52}$ | ... | $k_{55}$ | $k_{56}$ | $K_5$              |
| ...  | ...                   | ...                 | ...      | ... | ...      | ...      | ...                |

Представление структуры базы прецедентов в соответствии с объектно-ориентированным подходом будет иметь вид, представленный на рисунке 2.3 [83].



**Рисунок 2.3 — Представление структуры базы прецедентов для формирования технологических маршрутов в автоматическом режиме**

На рисунке 2.4 представлен процесс использования базы прецедентов в виде диаграммы потоков данных:



**Рисунок 2.4 — Описание процесса использования базы прецедентов**

По значению матрицы исходных данных нового технологического процесса (Внешняя сущность 1) осуществляется поиск похожего прецедента в базе. В случае отсутствия полного совпадения по таблице условий из базы

выбирается максимально близкий прецедент (действие 1). В зависимости от степени близости таблицы условий прецедента и описания нового техпроцесса производится адаптация прецедента (действие 2), т.е. создание нового прецедента на основе существующего и характеристик разрабатываемого техпроцесса. Производственные показатели, по которым производится ранжирование альтернативных маршрутов, являются динамическими, и таблица решений выбранного прецедента требует корректировки в соответствии с актуальными значениями показателей технологических маршрутов (действие 3). Скорректированный прецедент сохраняется в базе (действие 4).

#### **2.4 Методика обработки прецедентов на основе масштабируемого алгоритма кластеризации CLOPE**

Для повышения эффективности поиска прецедентов в базе было предложено их кластерное разбиение. Кластерные методы являются наиболее подходящими для анализа сложных многомерных объектов, не требуют предварительной структуризации информации, то есть можно классифицировать объекты, не имея данных о предварительном их разбиении (анализ неструктурированной совокупности прецедентов) [77].

Среди исходных данных технологического процесса большая часть относится к типу категориальных данных. Задача кластеризации больших массивов категориальных данных весьма актуальна для систем анализа данных. Применять для кластеризации объектов с категориальными признаками традиционные алгоритмы неэффективно, а часто – невозможно [51].

Основные трудности связаны с высокой размерностью и гигантским объемом, которыми часто характеризуются такие базы данных. Алгоритмы, основанные на парном вычислении расстояний (k-средних и аналоги) эффективны в основном на числовых данных. Их производительность на массивах записей с большим количеством нечисловых факторов неудовлетворительная, на каждой итерации алгоритма требуется попарно

сравнивать объекты между собой, а итераций может быть очень много. Для таблиц с миллионными записями и тысячами полей это неприменимо [52].

По этой причине в последнее десятилетие ведутся активные исследования в области разработки масштабируемых алгоритмов кластеризации категорийных и транзакционных данных. К ним предъявляются особые требования [52], а именно:

- минимально возможное количество «сканирований» таблицы базы данных;
- работа в ограниченном объеме оперативной памяти компьютера;
- работу алгоритма можно прервать с сохранением промежуточных результатов, чтобы продолжить вычисления позже;
- алгоритм должен работать, когда объекты из базы данных могут извлекаться только в режиме однонаправленного курсора.

На сегодняшний день предложено свыше десятка методов для работы с категорийными данными, например, семейство иерархических кластерных алгоритмов. Но не всегда они удовлетворяют перечисленным выше требованиям. Одним из эффективных считается алгоритм *LargeItem*, который основан на оптимизации некоторого глобального критерия [107]. Этот глобальный критерий использует параметр поддержки. Вычисление глобального критерия делает алгоритм кластеризации во много раз быстрее, чем при использовании локального критерия при парном сравнении объектов, поэтому «глобализация» оценочной функции – один из путей получения масштабируемых алгоритмов.

Алгоритм *CLOPE*, предложенный в 2002 году группой китайских ученых [45, 112, 113], является развитием *LargeItem*. Он обеспечивает более высокую производительность и лучшее качество кластеризации в сравнении с алгоритмом *LargeItem* и многими иерархическими алгоритмами. Для классификации данных в базе прецедентов предлагается использовать метод кластеризации прецедентов, основанный на алгоритме *CLOPE* [52].

Алгоритм позволяет разбивать на кластеры любые категорийные данные, работая с ними как с транзакционными. Под термином транзакция понимается некоторый произвольный набор объектов (прецедент, описанный множеством характеристик). Задача кластеризации прецедентов состоит в получении такого разбиения всего множества прецедентов, чтобы похожие прецеденты оказались в одном кластере, а отличающиеся друг от друга — в разных.

В основе алгоритма кластеризации CLOPE лежит идея максимизации глобальной функции стоимости, которая повышает близость транзакций в кластерах при помощи увеличения параметра кластерной гистограммы.

Пусть имеется база прецедентов  $D$ , состоящая из множества прецедентов  $\{p_1, \dots, p_n\}$ . Каждый прецедент характеризуется набором уникальных показателей  $\{i_1, \dots, i_m\}$ , значения которых представлены в таблице 2.7. Множество кластеров  $\{C_1, \dots, C_k\}$  есть разбиение множества  $\{p_1, \dots, p_n\}$ , такое, что  $C_1 \cup \dots \cup C_k = \{p_1, \dots, p_n\}$  и  $C_i \cap C_j = \emptyset \quad \forall i \geq 1, k \geq j$ . Каждый элемент  $C_i$  называется кластером, а  $n$ ,  $m$ ,  $k$  — количество прецедентов, количество показателей в базе прецедентов и число кластеров соответственно.

Таблица 2.7 — Значения показателей прецедента

| Показатели:        | Код | Значение показателя |       |       |       |       |     |
|--------------------|-----|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
|                    |     | 1                   | 2     | 3     | 4     | 5     | ... |
| Масса заготовки    | $a$ | $a_1$               | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_6$ | ... |
| Тип заготовки      | $b$ | $b_1$               | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ | ... |
| Размер 1           | $c$ | $c_1$               | $c_2$ | $c_3$ | $c_4$ | $c_5$ | ... |
| Размер 2           | $d$ | $d_1$               | $d_2$ | $d_3$ | $d_4$ | $d_5$ | ... |
| Характер операции  | $f$ | $f_1$               | $f_2$ | $f_3$ | —     | —     | —   |
| Тип операции $f_1$ | $g$ | $g_1$               | $g_2$ | $g_3$ | $g_4$ | $g_5$ | —   |
| Тип операции $f_2$ | $j$ | $j_1$               | $j_2$ | $j_3$ | $j_4$ | —     | —   |
| Тип операции $f_3$ | $k$ | $k_1$               | $k_2$ | $k_3$ | —     | —     | —   |

Каждый кластер  $C$  имеет следующие характеристики:

$D(C)$  — множество уникальных показателей;

$Occ(i, C)$  — количество вхождений (частота) показателя  $i$  в кластер  $C$ ;

$$S(C) = \sum_{i \in D(C)} Occ(i, C) = \sum_{t_i} |p_i|, \quad (2.3)$$

$$W(C) = |D(C)|, H(C) = S(C)/W(C). \quad (2.4)$$

Гистограмма кластера  $C$  представляет собой графическое изображение его расчетных характеристик: по оси  $OX$  откладываются объекты кластера в порядке убывания величины  $Occ(i, C)$ , а сама величина  $Occ(i, C)$  — по оси  $OY$  (рис. 2.5) [52].

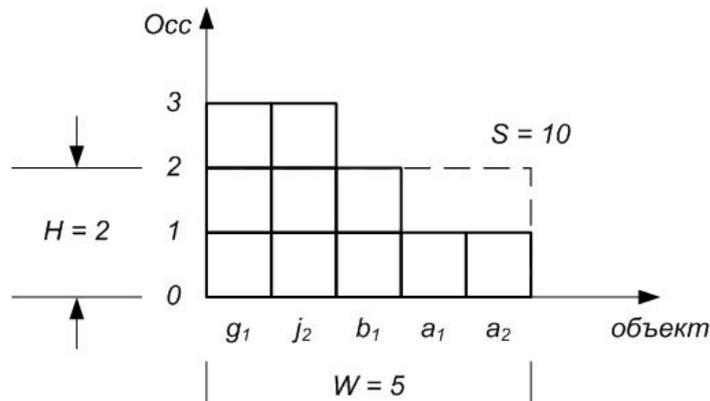


Рисунок 2.5 — Гистограмма кластера

На рис. 2.5  $S(C)$ , равное 10, соответствует площади прямоугольника, ограниченного осями координат и пунктирной линией. Чем больше значение  $H$ , тем большее сходство между двумя прецедентами. Поэтому алгоритм выбирает такое разбиение, которое максимизирует  $H$  [52].

Формула вычисления глобального критерия — функции стоимости:

$$Profit(C) = \frac{\sum_{i=1}^k G(C_i) \cdot |C_i|}{\sum_{i=1}^k |C_i|} = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{S(C_i)}{W(C_i)^r} \cdot |C_i|}{\sum_{i=1}^k |C_i|}, \quad (2.3)$$

где  $|C_i|$  — количество объектов в  $i$ -м кластере,  $k$  — количество кластеров,  $r$  — коэффициент отталкивания [52].

Коэффициент  $r$  позволяет регулировать уровень сходства прецедентов внутри кластера, и, как следствие, финальное количество кластеров. Этот коэффициент подбирается экспертом. Чем больше  $r$ , тем ниже уровень сходства и тем больше кластеров будет сгенерировано.

Формальная постановка задачи кластеризации алгоритмом CLOPE выглядит следующим образом: для заданных  $D$  и  $r$  найти разбиение  $C: Profit(C, r) \rightarrow \max$  [52].

Рассмотрим пример из 5 транзакций:

| Прецеденты<br>(транзакции): | Значение показателей |                    |                    |
|-----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|                             | параметр 1 ( $a$ )   | параметр 2 ( $b$ ) | параметр 3 ( $c$ ) |
| Прецедент 1                 | $a_1$                | $b_2$              | $c_1$              |
| Прецедент 2                 | $a_1$                | $b_2$              | $c_2$              |
| Прецедент 3                 | $a_1$                | $b_1$              | $c_1$              |
| Прецедент 4                 | $a_2$                | $b_2$              | $c_2$              |
| Прецедент 5                 | $a_2$                | $b_2$              | $c_3$              |

Требуется сравнить между собой два разбиения на кластеры:

1.  $(\{a_1, b_2, c_1\}, \{a_1, b_2, c_2\}, \{a_1, b_1, c_1\})$  и  $(\{a_2, b_2, c_2\}, \{a_2, b_2, c_3\})$ .
2.  $(\{a_1, b_2, c_1\}, \{a_2, b_2, c_3\})$  и  $(\{a_1, b_1, c_1\}, \{a_1, b_2, c_2\}, \{a_2, b_2, c_2\})$ .

Для первого и второго вариантов разбиения в каждом кластере требуется рассчитать количество вхождений в него каждого показателя прецедента, затем вычислить высоту  $H$  и ширину  $W$  кластера. На рисунке 2.6 результаты представлены геометрически в виде гистограмм.

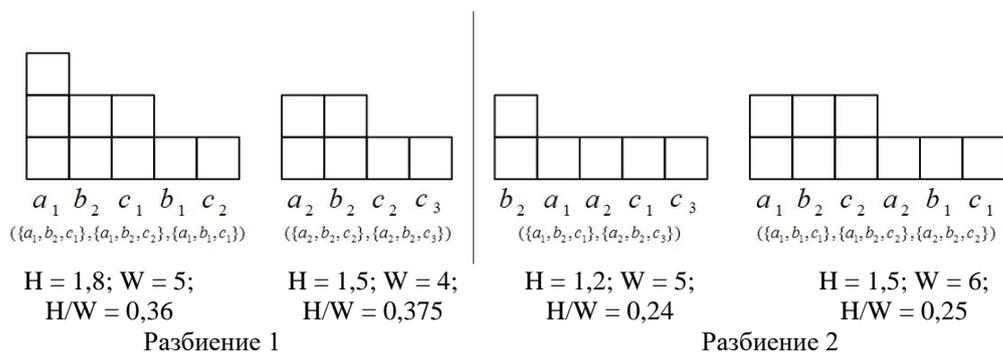


Рисунок 2.6 — Гистограммы двух разбиений

Качество двух разбиений можно оценить, проанализировав их высоту  $H$  и ширину  $W$ . Разбиение 1 обеспечивает больше наложение прецедентов друг на друга, что находит свое выражение в оценке  $H/W$ . Следовательно, первый вариант разбиения является более предпочтительным.

Реализация алгоритма кластеризации представлена в виде блок-схемы на рисунке 2.7.

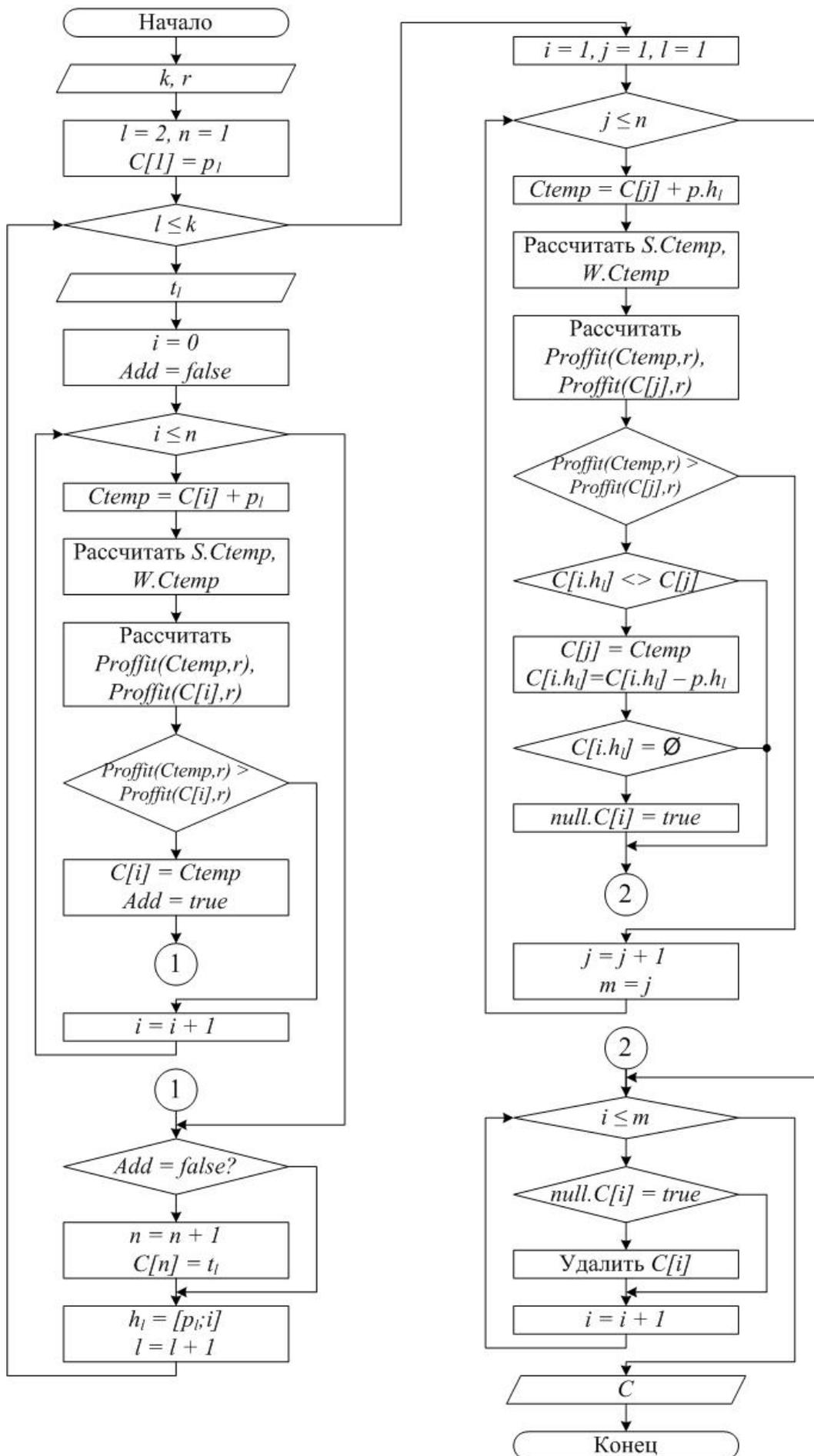


Рисунок 2.7 — Алгоритм кластеризации

В блок-схеме представлены следующие обозначения:  $k$  — количество прецедентов в базе,  $r$  — коэффициент отталкивания,  $p_l$  —  $l$ -й прецедент,  $n$  — количество кластеров,  $C[i]$ ,  $C[j]$  —  $i$ -й и  $j$ -й кластеры,  $Ctemp$  — временный кластер,  $S.Ctemp$  и  $W.Ctemp$  — площадь и ширина временного кластера по формулам (2.3–2.4),  $Proffit(C,r)$  — стоимость кластера по формуле (2.5),  $h_l$  — характеризует принадлежность  $l$ -го прецедента к  $i$ -му кластеру.

Алгоритм состоит из двух основных фаз: инициализация и итерация. Для работы алгоритма необходимо ввести два значения:  $k$  и  $r$ . Первый прецедент сразу заносится в первый кластер, счетчик кластеров приравнивается единице, счетчик прецедентов — двум. Затем следует первый цикл, в котором перебираются все прецеденты базы (пока  $l \leq k$ ). Вводится  $l$ -й прецедент, добавляется в  $i$ -й кластер, производится расчет значений  $S$ ,  $W$  и  $Proffit$  для кластера  $i$ . В случае, если стоимость кластера увеличивается, то прецедент добавляется в кластер, и алгоритм переходит к следующему прецеденту ( $l=l+1$ ). Иначе, алгоритм проверяет изменение следующего кластера при добавлении в него прецедента  $l$ . Если ни один кластер не увеличивает значение своей стоимости при добавлении прецедента, то формируется новый кластер. Для каждого прецедента  $l$  создается запись  $h_l$ , в которой указывается принадлежность  $l$ -го прецедента к новому кластеру. Фаза инициализации характеризуется распределением прецедентов по кластерам.

Для повышения качества кластеризации следует провести 2–3 дополнительных сканирования — фазы итераций. Прецеденты сверяются с другими кластерами и, в случае увеличения стоимости кластера новой конструкции прецедент переносится в новый кластер, а из старого удаляется. Пустые кластеры помечаются как  $null.C[i]=true$ , в завершение алгоритма все кластеры с такой пометкой удаляются.

Временная сложность одной итерации равна  $N \cdot K \cdot A$ , где  $N$  — общее число прецедентов,  $K$  — максимальное возможное число кластеров,  $A$  — средняя длина прецедента. Скорость работы алгоритма растет линейно с

увеличением размера массивов исходных данных, что характеризует его как быстрый и эффективный на больших объемах [52].

## **2.5 Выводы**

1. Структура базы прецедентов основана на иерархическом представлении элементов технологического процесса. Прецедент включает в себя заголовок, таблицу условий и таблицу решений. Таблица условий составляется из матрицы исходных данных, таблица решений представляет собой ранжированный по комплексному критерию список альтернативных технологических маршрутов.

2. Методика кластеризации на основе алгоритма CLOPE позволяет повысить эффективность работы с базой прецедентов и, в отличие от других методов кластеризации, позволяет работать с большими объемами категорийных данных.

3. Использование комплексного подхода, основанного на накоплении знаний о прецедентах, позволит повысить эффективность нахождения оптимального варианта технологического маршрута в штамповочном производстве.

## **Глава 3. Методика формирования ранжированного по комплексному критерию списка технологических маршрутов производства холодной штамповки**

### ***3.1 Разработка методики формирования технологических маршрутов***

Принципиальным решением проблемы поддержки уровня конкурентоспособности производственного предприятия является непрерывное обновление ряда предлагаемой предприятием продукции и освоение новых изделий. При появлении новых технологических процессов на этапе технологической подготовки формируются технологические маршруты. В идеальном случае технологу с целью выбора оптимального желательно проанализировать еще на самом первом этапе предпроектной подготовки все принципиально возможные варианты маршрутов, каждый из которых отличается от других хотя бы одним значением количественных параметров [65].

Анализ штамповочного производства показал, что большой объем появляющихся вновь технологических маршрутов, потребностей в ресурсах невозможно проанализировать вручную, а, следовательно, спрогнозировать последствия выбора того или иного пути.

Кроме того, необходимо повышение качества производимой продукции. Это возможно не только в процессе изготовления, но и на этапах проектирования и подготовки производства при внедрении соответствующих автоматизированных систем управления. При этом необходимо обеспечить выбор оптимального маршрута по набору технико-экономических показателей с учетом предъявляемых требований к качеству, по затратам, срокам изготовления.

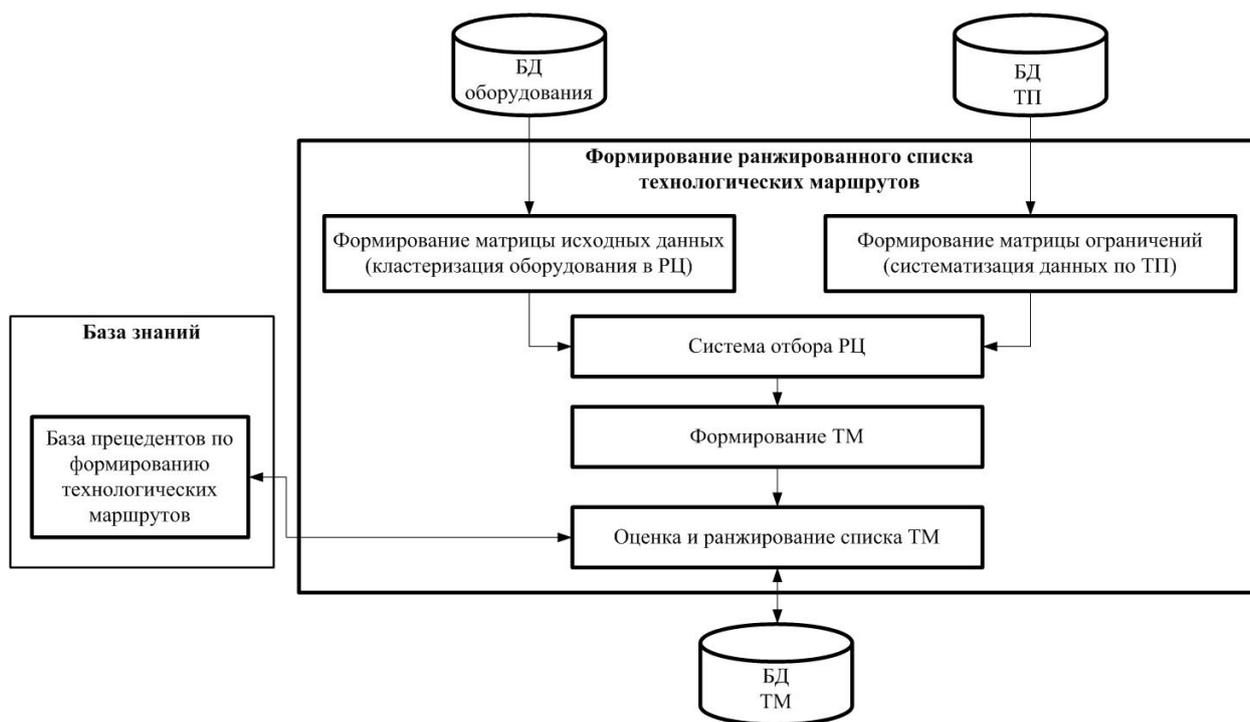
В информационной структуре, представленной в главе 2, этап проектирования технологического процесса представлен во взаимосвязи с

другими этапами системы через единую базу данных предприятия и включает ввод данных, таких, как характеристики детали и оборудования, технологический процесс, информацию о стоимости использования оборудования, инструментов, приспособлений, транспортных операций и т.д. Составление характеристических матриц производится для предварительного выбора оборудования, соответствующего параметрам детали и нахождения оптимального варианта оборудования по времени и стоимости.

Выбор альтернативных вариантов технологического процесса производится путем сравнения соответствующих исходных данных с ограничениями. Составляются пара матриц: матрица ограничений, описывающая оборудование, и соответствующая ей матрица исходных данных, описывающая технологический процесс [88].

Предлагаемая методика позволяет формировать альтернативные технологические маршруты в автоматическом режиме, позволяя выбрать из них оптимальный по комплексу критериев маршрут для заданного набора оборудования с учетом экономических и технологических показателей [91]. Ее последовательность представлена на рисунке 3.1 и состоит из следующих этапов:

- кластеризация оборудования в рабочие центры (РЦ) (формирование системы исходных данных);
- систематизация исходных данных по технологическому процессу в виде матрицы ограничений;
- система отбора РЦ для реализации операций технологического процесса;
- формирование списка ТМ;
- формирование комплексного критерия оценки эффективности маршрутов;
- оценка и ранжирование списка ТМ по комплексному критерию;
- формирование прецедента на основании расчетов.



**Рисунок 3.1 — Последовательность формирования альтернативных технологических маршрутов**

Методика формирования ранжированного по комплексному критерию набора технологических маршрутов на основе кластеризации оборудования в рабочие центры позволит произвести наполнение базы прецедентов для этапа технологической подготовки производства.

### **3.2 Методика кластеризации оборудования в рабочие центры**

На основе анализа систем управления производством класса ERP и MES было выяснено, что для решения задач распределения производственных мощностей применяется логическая группировка оборудования в рабочие центры. В соответствии с методологией ERP, рабочий центр представляет собой группу взаимозаменяемого оборудования, территориально расположенного на локальном производственном участке. Для организации планирования загрузки мощностей он может рассматриваться как одна производственная единица [65].

Для решения задачи группировки оборудования (рабочие места) в рабочие центры была разработана соответствующая методика на основе

алгоритма кластеризации CLOPE, описание которого представлено в разделе 2.4.

В результате проведенного анализа оборудования производства холодной штамповки были выделены признаки, представленные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Показатели кластеризации

| Признаки                               | Код      | Возможные значения   |
|--|----------|--|
| Техническая специализация оборудования | <i>a</i> | $a_1$ — резка, $a_2$ — мелкая, $a_3$ — крупная штамповка, $a_4$ — пробивка, $a_6$ — пробивка и т.д.            |
| Тип машин                              | <i>b</i> | $b_1$ — прессы, $b_2$ — автоматические линии, $b_3$ — ножницы, $b_4$ — зачистные машины и т.д.                 |
| Номинальное усилие, т.                 | <i>c</i> | $c_1$ — до 63 т., $c_2$ — до 100 т., $c_3$ — до 250 т., $c_4$ — до 500 т. и т.д.                               |
| Размеры рабочего пространства, мм      | <i>d</i> | $d_1$ — ширина стола до 270, $d_2$ — до 300, $d_3$ — до 340, $d_4$ — 1000 на 1000, $d_5$ — 1250 на 1250 и т.д. |

В соответствии с условиями формирования РЦ, в один кластер группируется оборудование только с равными значениями признаков. В основе метода лежит алгоритм кластеризации CLOPE, представленный в разделе 2.4, основным отличием которого является условие вхождения оборудования в кластер — максимально возможное значение высоты  $H$  кластера, что характеризуется идентичностью всех признаков оборудования в кластере. Под кластером в данной методике понимается РЦ, транзакцией — оборудование, а объектами транзакции — показатели РЦ.

В графической интерпретации кластер представляется в виде гистограммы (рис. 3.2).

В математическом виде функция глобального критерия имеет вид:

$$G(C) = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{S(C_i)}{W(C_i)}}{\sum_{i=1}^k |C_i|} \rightarrow 1, \quad (3.1)$$

где  $|C_i|$  — количество объектов в  $i$ -м кластере,  $k$  — количество кластеров,

$\frac{S(C_i)}{W(C_i)}$  — высота  $i$ -го кластера.

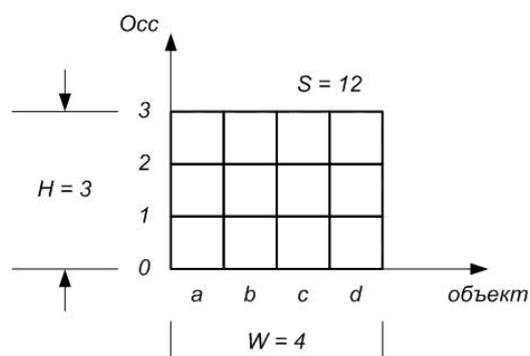


Рисунок 3.2 — Гистограмма кластера

При реализации алгоритма требуется всего один проход по списку оборудования для кластерного распределения (рис. 3.3). Первое оборудование  $p_1$  помещается в первый кластер  $C_1$ . Следующее оборудование добавляется в кластер и проверяется, равно ли единице отношение высоты  $H$  и количество оборудования в кластере  $|C_i|$ . Если да, то оборудование остается в кластере и алгоритм переходит к следующему  $p_i$ . Если нет, то сравнивается со следующим кластером  $C_i$ . В случае, если при добавлении  $p_i$  к существующим кластерам не удовлетворяется ни одно  $G(C_i)$ , то формируется новый кластер.

Таким образом, все оборудование распределяется по кластерам, представляющим собой рабочие центры. Каждый РЦ описывается матрицей исходных данных и содержит все показатели, необходимые для последующего отбора (таблица 3.2).

Таблица 3.2 — Матрица исходных данных

| Рабочие центры | Объект обработки              | Комплекс средств технического оснащения           | Характеристики процесса обработки |
|----------------|-------------------------------|---|-----------------------------------|
| РЦ 1           | Размеры рабочего пространства | Техническая специализация оборудования. Тип машин | Номинальное усилие                |
| ...            | ...                           | ...   | ...                               |
| РЦ $n$         | Размеры рабочего пространства | Техническая специализация оборудования. Тип машин | Номинальное усилие                |

Разработанная методика позволит в автоматическом виде производить группировку оборудования в рабочие центры в соответствии с требованиями ERP-систем.

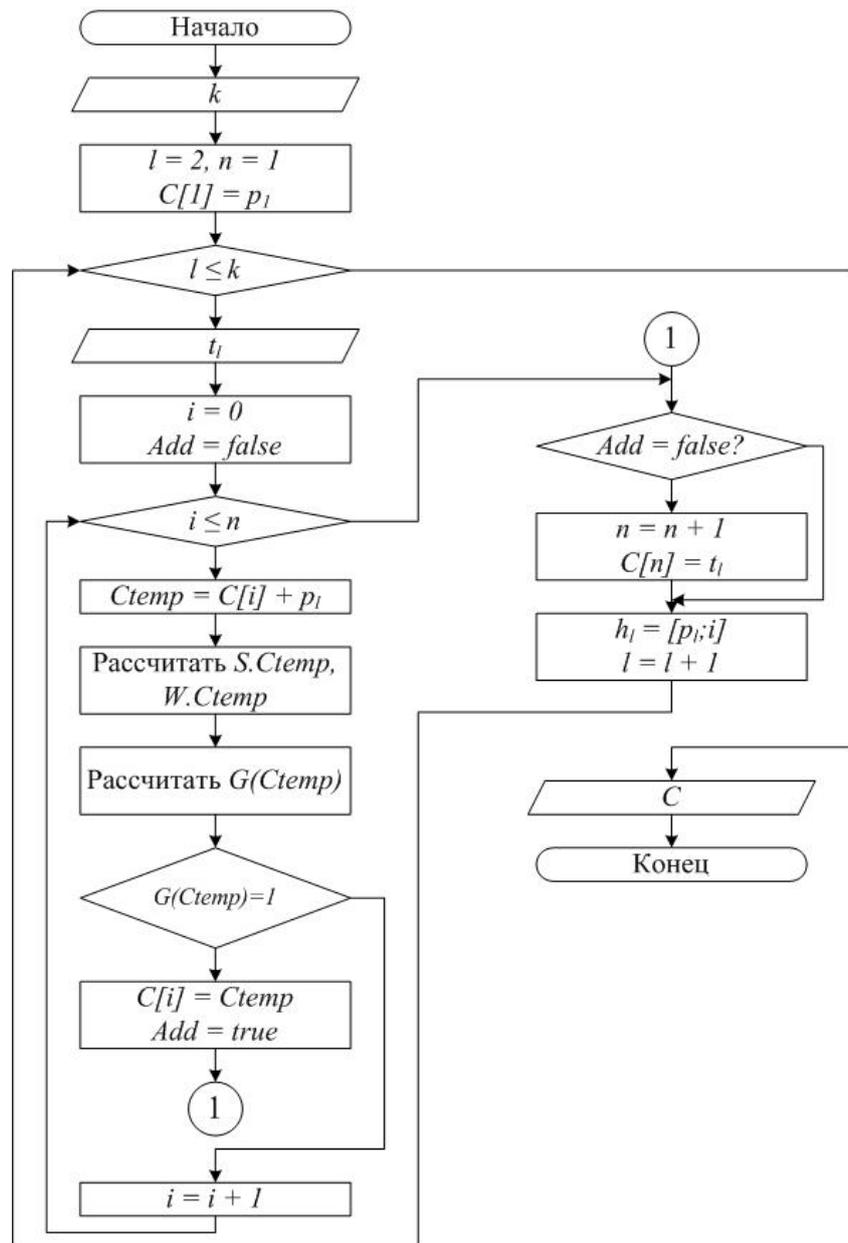


Рисунок 3.3 — Алгоритм формирования РЦ

### 3.3 Система отбора РЦ для реализации операций технологического процесса

Для формирования технологического маршрута в автоматическом режиме на этапе технологической подготовки штамповочного производства существует необходимость преобразования его в систематизированный вид. Разработано удобное для реализации и работы с базой данных представление технологического процесса в виде модели структуры и модели содержания [4].

Модель структуры несет в себе всю информацию о составе технологического процесса и последовательности структурных элементов в нем.

Модель содержания технологического процесса строится на основе модели структуры. Моделирование содержания техпроцесса функционирования производства представляет собой наглядное дифференцированное отображения содержания [65]:

- как простейших процессов, происходящих в отдельной простейшей ячейке организационной структуры, так и объединенных в группы по каждой ячейке в группы более высоких уровней;
- как рабочих процессов и элементарных действий, выполняемых в простейших технологических модулях, так и всех структурных элементов соответствующей технологии на более высоких уровнях.

В результате анализа штамповочного производства было выявлено три уровня для модели структуры:

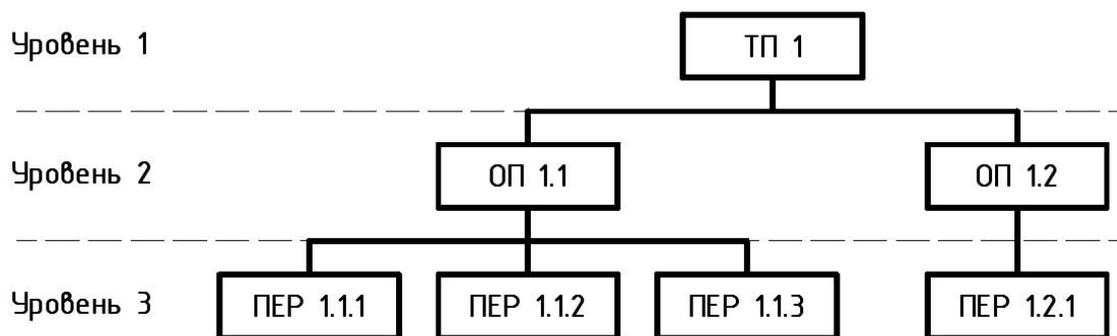
- уровень технологического процесса (ТП);
- уровень операции (ОП);
- уровень перехода (ПЕР).

Уровень ТП несет в себе общую информацию о технологическом процессе. Выявляется состав технологического процесса, количество операций и последовательность их выполнения.

Уровень ОП несет в себе информацию о составе операции. Выявляется количество переходов последовательность их выполнения.

Уровень ПЕР несет в себе информацию о переходе.

Построением модели структуры является последовательный ввод в систему исходных данных по технологическому процессу и формирование иерархии технологических блоков. На уровне ТП задается количество и наименование операций. На уровне ОП количество и наименование переходов (Рис. 3.4).



**Рисунок 3.4 — Модель структуры**

По разработанной модели структуры далее строится модель содержания. На уровне технологического процесса операции выстраиваются в строгую последовательность вспомогательных и основных операций (рис. 3.5).

### Штамповка

|   |                                       |  |                                    |  |                                  |   |
|---|---------------------------------------|--|------------------------------------|--|----------------------------------|---|
| Переложить заготовку осадочную площадку |                                       | Переложить заготовку в предварительный ручей |                                    | Переложить заготовку окончательный ручей |                                  | Удалить поковку из зоны штампа на транспортер |
| $T_{вс}$                                | $T_{осн}$                             | $T_{вс}$                                     | $T_{осн}$                          | $T_{вс}$                                 | $T_{осн}$                        | $T_{вс}$                                      |
|   | Осадить заготовку в фигурных вставках |  | Штамповать в предварительном ручье |  | Штамповать в окончательном ручье |   |

**Рисунок 3.5 — Фрагмент модели содержания технологического процесса поковки «Шестерня»**

Модель содержания включает в себя время выполнения технологического процесса без привязки к операциям транспортировки между оборудованием и цехами. Время выполнения технологического маршрута меняется в зависимости от взаимного расположения оборудования в окончательном варианте реализации маршрута.

По моделям структуры и содержания формируется матрица ограничений на выбор оборудования. В соответствии с представлением в штамповочном производстве основным структурным уровнем технологического процесса при выборе оборудования является уровень операции. Матрица ограничений представлена в таблице 3.3:

Таблица 3.3 — Матрица ограничений

| Операции ТП | Объект обработки   | Комплекс средств технического оснащения | Характеристики процесса обработки |
|-------------|--------------------|---|-----------------------------------|
| ОП 1        | Габариты заготовки | Характер операции, тип операции         | Требуемое усилие пресса           |
| ...         | ...                | ...                                     | ...                               |
| ОП $m$      | Габариты заготовки | Характер операции, тип операции         | Требуемое усилие пресса           |

Дифференциация процесса обработки по структурным элементам ОП позволяет представить все признаки объекта обработки и ограничения на обработку наиболее подробно и сравнивать их пошагово, в соответствии с порядком прохождения ячеек матрицы.

В соответствии с методикой формирования альтернативных вариантов маршрутов для механического и литейного производства [65] предложена ее адаптация к холодной штамповке.

Расчет осуществляется путем сравнения содержимого ячеек матрицы исходных данных (по РЦ) с содержимым соответствующих ячеек матрицы ограничений (по технологическому оборудованию)

Результатом отбора является множества РЦ, отобранных для операций нового технологического процесса (рис. 3.6). Системное представление элементов технологического оборудования и содержания процесса обработки позволяет осуществить отбор альтернативных вариантов на этапе технологической подготовки производства.

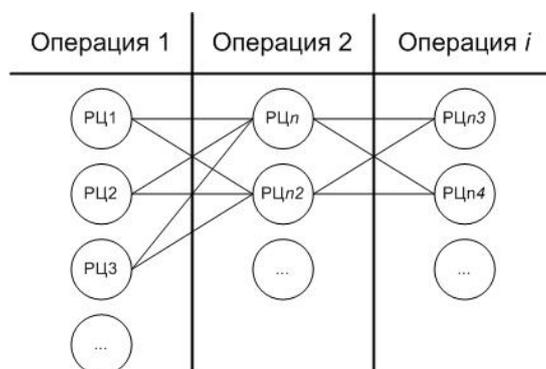


Рисунок 3.6 — Распределение рабочих центров по операциям

Согласно ГОСТ 14.004-83, внутрицеховой технологический маршрут представляет собой последовательность прохождения заготовки по

производственным участкам цеха при выполнении технологического процесса изготовления детали, т. е. структуру маршрута можно описать как  $TM(PM_1, PM_2, \dots, PM_n)$ . Следующим этапом методики является разгруппировка РЦ на рабочие места (РМ) и составление из них цепочек в соответствии с последовательностью технологического процесса (рис. 3.7).



**Рисунок 3.7 — Распределение рабочих мест по операциям**

Пусть  $A$  — множество оборудования,  $A = \{PM_1, PM_2, \dots, PM_m\}$ , где  $m$  — общее количество единиц оборудования на предприятии. Тогда  $B_i = \{b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,j}\}$  — это множество оборудования  $j$ , реализующее  $i$ -ю операцию. Все множества  $B$  являются подмножествами  $A$  —  $B_i \subseteq A, i = \overline{1, n}$ . В таком случае, для нахождения оптимального маршрута необходимо рассмотреть все возможные альтернативные варианты прохождения заготовки, т. е. все комбинации элементов множеств  $B_i$ . Альтернативные варианты в общем виде выглядят как  $TM_i = b_{1,j_1}, b_{2,j_2}, \dots, b_{n,j_n}$ .

### **3.4 Методика комплексной оценки эффективности технологических маршрутов штамповочного производства**

Для выбора оптимального маршрута из альтернатив необходимо провести комплексную оценку каждого варианта. Для решения данной задачи предложена методика оценки технологического маршрута по комплексному критерию на основе метода анализа иерархий (МАИ), разработанного американским ученым Т. Саати [65]. Для комплексной оценки используются независимые показатели вариантов и весовые коэффициенты, учитывающие степень взаимного влияния показателей.

Данный метод с помощью построения дополнительной модели для согласования различных мнений посредством определения их приоритетов позволяет учесть то обстоятельство, что в реальных ситуациях при принятии решения для одной и той же проблемы имеется целый спектр мнений. Таким образом, метод позволяет учитывать «человеческий фактор» при подготовке принятия решения [75].

В соответствии с МАИ необходимо выбрать независимые характеристики технологических маршрутов штамповочного производства [82]. Критериями эффективности технологических маршрутов являются:

- технологические характеристики варианта производства (показатели ресурсоемкости, надежности, производительности, гибкости, уровня автоматизации);
- показатели экономичности варианта, которые характеризуют эффективность использования материальных, энергетических и финансовых ресурсов при производстве поковок;
- характеристики, связанные с условиями труда и экологичностью производства.

В результате анализа производства холодной штамповки были выбраны следующие показатели, приведенные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 — Частные показатели оптимальности

| Показатель | Характеристика   | Тенденция показателя |
|------------|------------------|----------------------|
| k1         | Время выполнения | min                  |
| k2         | Себестоимость    | min                  |
| k3         | Надежность       | max                  |
| k4         | Качество         | max                  |
| k5         | Условия труда    | max                  |
| k6         | Экологичность    | max                  |

Для перехода от многокритериальной задачи к однокритериальному виду необходимо привести разнородные показатели к безразмерному виду. Под тенденцией частного показателя понимается стремление его к максимуму или минимуму при согласованном устремлении обобщенного глобального критерия

к минимуму. В зависимости от значения тенденции для нормализации значения показателя используются разные формулы:

$$\bar{k} = \frac{k - k_{\min}}{k_{\max} - k_{\min}} \text{ — в случае стремления показателя к } \min, \quad (3.2)$$

$$\bar{k} = \frac{k_{\max} - k}{k_{\max} - k_{\min}} \text{ — в случае стремления показателя к } \max. \quad (3.3)$$

Здесь,  $k$  — значение показателя,  $\bar{k}$  — нормализованное значение показателя,  $k_{\min}$  и  $k_{\max}$  — соответственно минимальное и максимальное значения показателя.

Структура модели принятия решений в МАИ представляет собой граф (рис. 3.8), который включает:

1. Набор альтернативных решений (варианты реализации технологического маршрута  $TM_1 \dots TM_N$ ).
2. Главный критерий рейтингования решений (оптимальность).
3. Набор однотипных факторов, влияющих на рейтинг (показатели  $k_1 \dots k_6$ ).
4. Множество направленных связей, указывающих на влияние решений, критерия и факторов друг на друга ( $s_{11}, s_{12} \dots s_{N8}$ ). На данной схеме каждая связь представлена как  $s_{ij}$ , где  $i$  — номер варианта альтернативного решения, а  $j$  — фактор, влияющий на рейтинг.

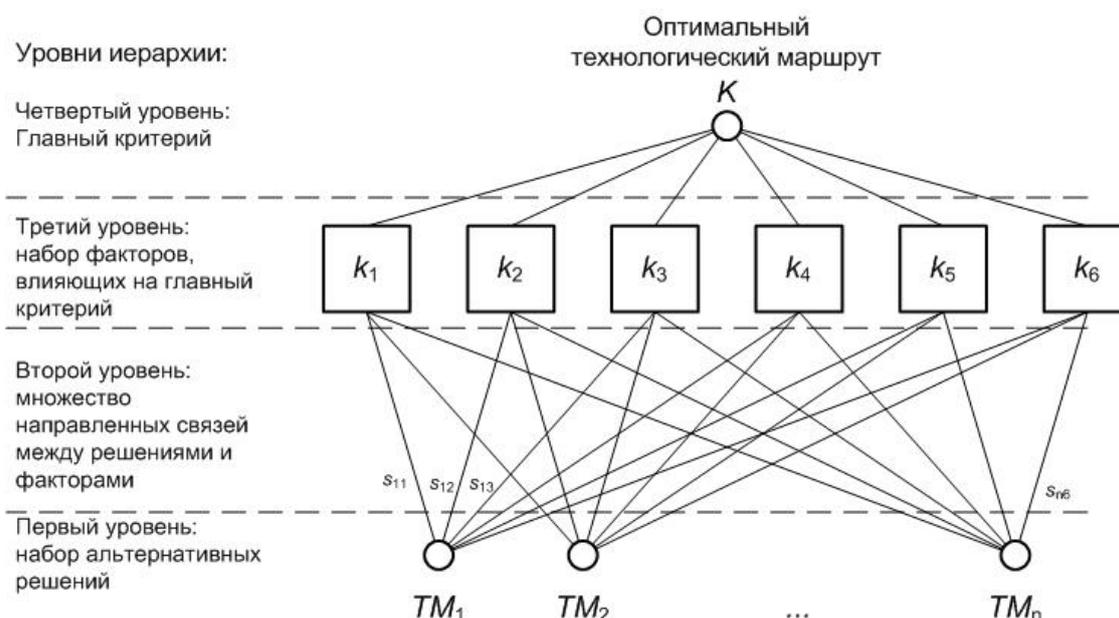


Рисунок 3.8 — Модель иерархии комплексной оценки маршрута

В соответствии с МАИ следующим этапом является формирование матрицы попарных сравнений выбранных критериев. Формирование матрицы осуществляет ЛПР, т. е. экспертная группа на основании накопленного опыта. Степень важности критериев относительно друг друга может отличаться при различных условиях производства, что повышает гибкость принятия решения при выборе оптимального варианта маршрута.

Размерность матрицы попарных сравнений в общем случае зависит от количества частных показателей, в данном случае, для холодной штамповки количество столбцов и строк равно шести (таблица 3.5), что определяется набором показателей в таблице 3.4.

Таблица 3.5 — Матрица попарных сравнений

|       | $k_1$      | $k_2$      | $k_3$      | $k_4$      | $k_5$      | $k_6$    |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| $k_1$ | 1          | $a_{12}$   | $a_{13}$   | $a_{14}$   | $a_{15}$   | $a_{16}$ |
| $k_2$ | $1/a_{12}$ | 1          | $a_{23}$   | $a_{24}$   | $a_{25}$   | $a_{26}$ |
| $k_3$ | $1/a_{13}$ | $1/a_{23}$ | 1          | $a_{34}$   | $a_{35}$   | $a_{36}$ |
| $k_4$ | $1/a_{14}$ | $1/a_{24}$ | $1/a_{34}$ | 1          | $a_{45}$   | $a_{46}$ |
| $k_5$ | $1/a_{15}$ | $1/a_{25}$ | $1/a_{35}$ | $1/a_{45}$ | 1          | $a_{56}$ |
| $k_6$ | $1/a_{16}$ | $1/a_{26}$ | $1/a_{36}$ | $1/a_{46}$ | $1/a_{56}$ | 1        |

Эксперты оценивают важность критериев относительно друг друга и проставляют значения важности в местах пересечения строк и столбцов соответствующих критериев. Ячейка значения  $a_{mn}$  описывает важность показателя  $k_m$  относительно показателя  $k_n$ . В качестве значений важности показателей относительно друг друга были выбраны величины, представленные в таблице 3.6.

Таблица 3.6 — Показатели важности

|         |  |
|---------|--|
| 1       | — в случае если $k_m$ и $k_n$ одинаково важны;                     |
| 3       | — если $k_m$ незначительно важнее $k_n$ ;                          |
| 5       | — если $k_m$ значительно важнее $k_n$ ;                            |
| 7       | — если $k_m$ явно важнее $k_n$ ;                                   |
| 9       | — если $k_m$ по своей значительности абсолютно превосходит $k_n$ ; |
| 2,4,6,8 | — промежуточные решения между двумя соседними суждениями           |

Главная диагональ матрицы состоит из единиц, так как при сравнении элемента с самим собой получается равная значимость. Значение элемента  $a_{nm}$  равно обратной величине элемента  $a_{mn}$ .

Следующим шагом, согласно МАИ, является вычисление вектора приоритетов путем нормализации главного собственного вектора матрицы. В работе [60] предложено четыре способа нахождения главного собственного вектора. В данной работе главный собственный вектор рассчитывается по четвертому методу, который обеспечивает самую высокую точность расчетов даже в случае несогласованности матрицы.

Элементы каждой строки перемножаются, и из полученного произведения извлекается корень шестой степени (по числу элементов в строке):

$$y_1 = \prod_{i=1}^6 a_{1i}, \dots, y_6 = \prod_{i=1}^6 a_{6i}; Y = \sum_{j=1}^6 y_j; y_1^{норм} = \frac{\sqrt[6]{y_1}}{6}, \dots, y_6^{норм} = \frac{\sqrt[6]{y_6}}{6}$$

Полученные элементы нормализуются, т. е. элементы столбца делятся на сумму элементов столбца. Результатом вычислений является вектор приоритетов  $(y_1^{норм} \dots y_6^{норм})$ , представляющий собой набор весовых коэффициентов.

Для оценки степени согласованности результата, отражающего уровень адекватности распределения весов между критериями, рассчитывается максимальное собственное значение  $\lambda_{max}$ , индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС) [60].

Комплексный критерий оптимизации маршрута основан на линейном объединении всех частных показателей:

$$K = \sum_{i=1}^6 \omega_i \cdot k_i \rightarrow \min, \omega_i \geq 0 \quad (3.5)$$

где  $\omega_i$  — вектор весовых коэффициентов  $(y_1^{норм} \dots y_6^{норм})$ .

Использование МАИ позволяет решить задачу оценки альтернативных вариантов технологических маршрутов по комплексному критерию. Возможность изменения вектора приоритетов в зависимости от рыночных и

производственных условий увеличивает гибкость нахождения оптимального варианта маршрута.

После оценки варианты маршрутов ранжируются по значению комплексного показателя, и выбирается оптимальный технологический маршрут.

Построение вариантов технологических маршрутов и расписаний является высокочрезвычайно затратным процессом, так как даже при малом количестве исходных данных для нахождения оптимального варианта необходимо рассмотреть большое количество альтернатив. Данная методика была отработана для конкретного мелкосерийного производства на технологических процессах, содержащих от 3 до 6 операций, количество кластеров-расписаний – около трехсот, а вариантов расписаний – более 7 тысяч.

Для оптимизации решения задачи формирования вариантов было предложено использовать базу прецедентов, процесс наполнения которой представлен в главе 2. В таблицу условий записываются характеристики технологического процесса, в таблицу решений — альтернативные варианты маршрутов. Так как количество вариантов может быть слишком большим, то количество помещаемых может быть определено эмпирически.

При возникновении необходимости расчета оптимального маршрута по обработанному технологическому процессу производится поиск схожего прецедента. После его нахождения пересчитываются комплексные оценки маршрутов и варианты ранжируются. Повторный расчет комплексных оценок связан с непостоянством показателей, которые со временем могут менять свое значение, чаще всего, в худшую сторону, что объясняется устареванием оборудования.

### **3.5 Выводы**

1. В современных условиях производственное предприятие должно непрерывно обновлять номенклатуру продукции и осваивать новые изделия. Для эффективного решения этой задачи на этапе технологической подготовки

необходимо проанализировать все возможные варианты альтернативных маршрутов, что возможно при использовании методики формирования комплексной оценки технологического маршрута при отборе оптимального варианта на этапе подготовки производства холодной штамповки. Разработанная методика на базе методологии управления предприятием класса ERP позволяет сократить количество вариантов выбора при определении оптимального технологического маршрута, временные и материальные затраты на реализацию технологических процессов, оперативно вводить корректировки в процессе автоматизированного проектирования.

2. Анализ систем управления производством класса ERP и MES показал, что для решения задач распределения производственных мощностей необходима кластеризация оборудования в рабочие центры. Методика формирования рабочих центров на основе алгоритма кластеризации CLOPE позволяет производить группировку в автоматическом виде.

3. Методика оценки технологических маршрутов на основе метода анализа иерархий позволяет решить задачу оценки альтернативных маршрутов по комплексному критерию. Возможность изменения вектора приоритетов в зависимости от рыночных и производственных условий увеличивает гибкость нахождения оптимального варианта маршрута.

## **Глава 4. Методика формирования производственного расписания с учетом базы прецедентов в рамках MES-СИСТЕМЫ**

### ***4.1 Структура прецедента при формировании производственного расписания***

Основными признаками мелкосерийного штамповочного производства являются большая номенклатура выпускаемой продукции по отношению к парку оборудования, в результате чего на каждый пресс приходится не менее 50 наименований деталей в месяц; значительное число переналадок штампов в смену; нестабильность номенклатуры продукции; общее число деталей каждого наименования, подлежащих изготовлению до прекращения выпуска изделия, в несколько раз меньше полной стойкости стационарных штампов, выполняющих операции по их обработке [8]. Также особенностью штамповочного производства является высокая производительность и стоимость стационарных штампов, что требует, особенно в условиях мелкосерийного производства, определение критериев и их количественных границ, отличающихся, например, от обработки на металлорежущих станках. Каждое изделие, изготавливаемое на предприятии, также может иметь несколько вариантов технологических маршрутов, отличающихся по ряду показателей, например, стоимость, длительность процесса изготовления и т.д.

Как было указано выше, задачу объемно-календарного планирования призваны решать системы уровня ERP на основании производственных расписаний, составляемых MES-системами. Для устранения этого недостатков, выявленных в результате анализа, предложена методика формирования оптимального производственного расписания на основе альтернативных вариантов и базы прецедентов.

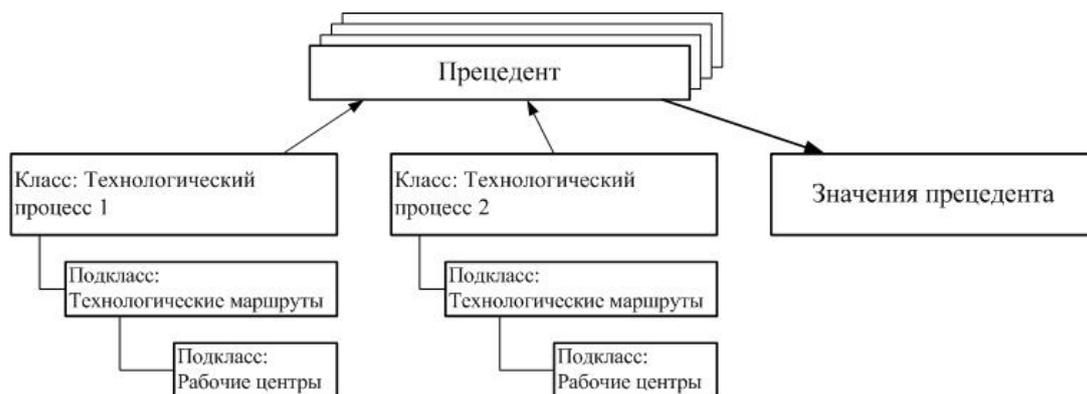
Согласно методике, задачу формирования оптимального производственного расписания можно разбить на несколько частей (рис. 2.1):

1. Формирование множества ТМ.
2. Формирование множества производственных расписаний.
3. Заполнение БП по формированию маршрутов и расписаний.

На первом этапе производится формирование ранжированного списка ТМ [91]. На втором этапе, на основании разработанных маршрутов формируются ранжированные списки производственных расписаний. С целью повышения эффективности нахождения оптимальных вариантов на предыдущих уровнях для обеспечения поддержки принятия решений на третьем этапе используется база прецедентов. Внедрение БП в любую современную MES-систему позволит повысить качество формируемых производственных расписаний за счет выбора оптимальных вариантов по каждой задаче.

Для оптимизации решения задачи формирования вариантов было предложено использовать базу знаний, включающую БП по ТМ и производственному расписанию.

За основу БП по производственным расписаниям было взято иерархическое представление связей ТП, технологических маршрутов и рабочих центров [65]. Каждый уровень характеризуется определенным набором признаков (рис. 4.1).



**Рисунок 4.1 — Структура прецедента технологических маршрутов**

Таким образом, общая структура БП представляет собой древовидную иерархию, в основании которой находится набор прецедентов. Каждый прецедент определяется двумя основными классами — технологическими процессами 1 и 2, которые входят в конфликтный домен, когда технологические маршруты могут иметь претензии на одновременное

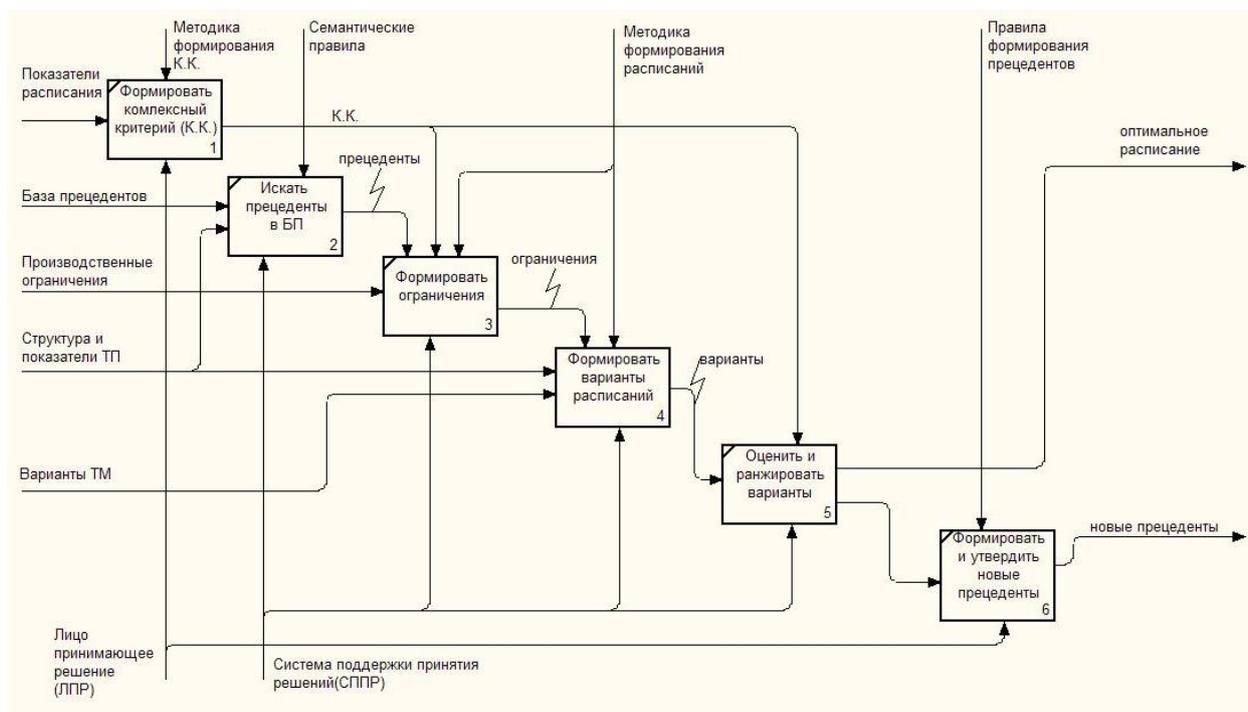
использование одних и тех же рабочих центров. Каждый класс в иерархии содержит набор атрибутов, определяющих этот класс.

#### **4.2 Методика формирования производственного расписания на основе декомпозиции**

Для формирования ранжированного списка производственных расписаний была разработана соответствующая методика, основные этапы которой представлены на рисунке 4.2.

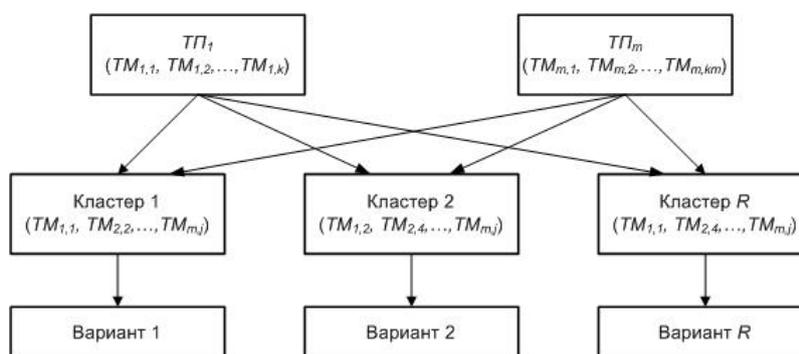
При формировании оптимального расписания необходимо знать структуру и показатели технологических процессов, альтернативные варианты технологических маршрутов по каждому техпроцессу, производственные ограничения на расписания (сроки, затраты, ограничения по экологичности и т.д.).

В соответствии с последовательностью, на первом этапе для нахождения оптимального расписания вводятся исходные данные по всем технологическим процессам, варианты технологических маршрутов по каждому ТП и параметры всех ТМ. Для обозначения исходных данных был введен локальный термин «задание». Каждое задание представляет собой производственный заказ на изготовление какой-либо детали, характеризующийся технологическим процессом, альтернативными вариантами технологических маршрутов и сроком отгрузки – временем, когда задание должно быть завершено. С точки зрения системы, заданиями являются как новые заказы, так и еще не завершенные на момент составления расписания. Планово-ремонтные работы должны быть учтены при составлении расписания и включаются в набор как отдельные задания. Для реализации каждого технологического процесса существует набор рациональных технологических маршрутов [91].



**Рисунок 4.2 — Декомпозиция процесса формирования производственного расписания**

Из набора маршрутов формируются всевозможные комбинации, формирующие кластеры-расписания. Каждый кластер-расписание представляет собой набор технологических маршрутов по каждому заданию. Комбинации элементов кластеров представляют собой варианты производственных расписаний (рис. 4.3). Каждый вариант оценивается по комплексному критерию, затем формируется ранжированный список, на верхней позиции которого находится оптимальное производственное расписание.



**Рисунок 4.3 — Иерархия производственного расписания**

Методика формирования оптимального производственного расписания представлена на рисунке 4.4 [90].

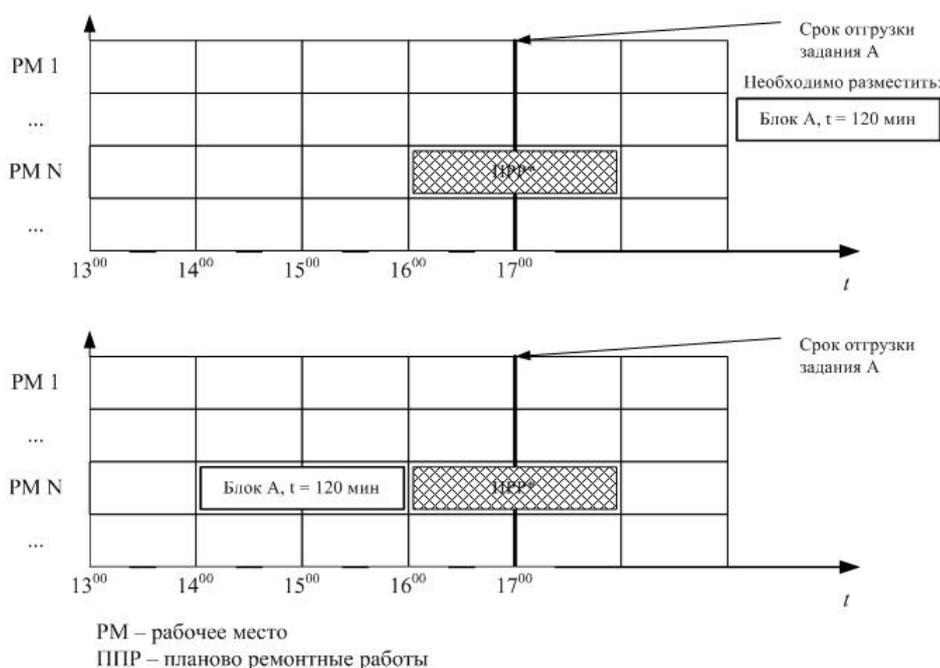


**Рисунок 4.4 — Методика формирования производственного расписания**

При формировании расписания из элементов кластера используется метод динамического программирования, при этом в качестве первого критерия был введен приоритет «ближайший срок отгрузки». Технологические маршруты в кластере ранжируются по приоритету «срок отгрузки» и разбиваются на блоки — операции, характеризующиеся постоянством рабочего места. Время каждого блока рассчитывается исходя из основного времени и размера партии ( $t_{um} \times n$ ), а также вспомогательного времени — время на переналадку и транспортные операции.

Из блоков маршрутов формируется очередь  $B$ , представляющая собой набор всех операций всех технологических маршрутов. На основании очереди  $B$  формируется граф возможных связей между операциями. Более подробное описание методики представлено в следующем разделе.

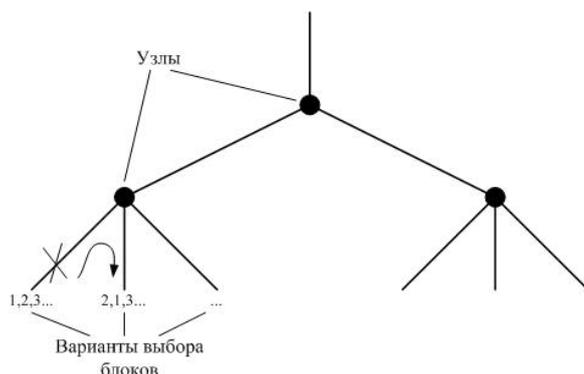
Блоки размещаются на диаграмме Ганта в соответствии с последовательностью прохождения графа. В общем случае, если позиции графика являются несвободными (планово-ремонтные работы или операция другого задания), то блок сдвигается влево до первых свободных ячеек и занимает их в соответствии с рассчитанным временем (рис. 4.5).



**Рисунок 4.5 — Размещение блока на диаграмме Ганта**

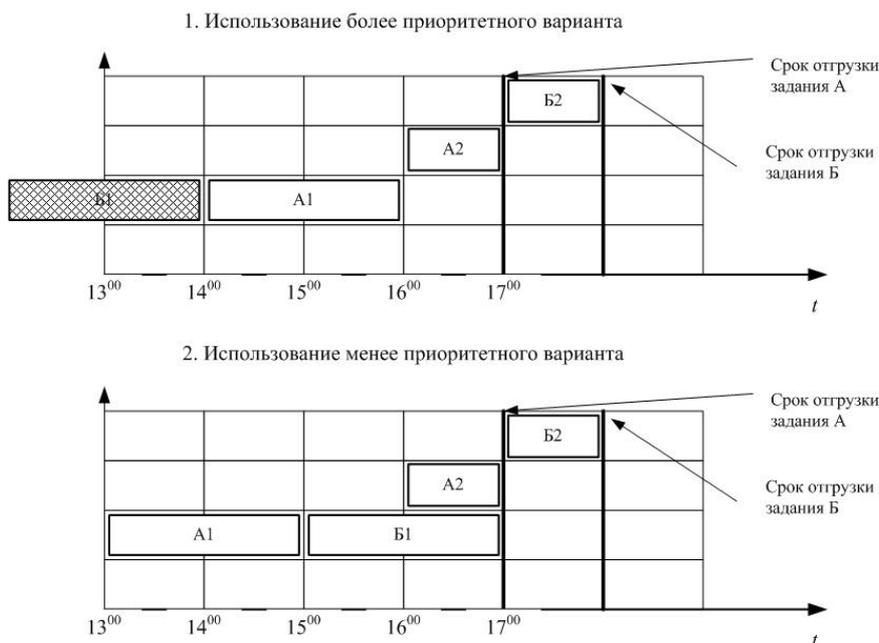
Если возникает ситуация, когда очередной блок выходит за границы графика, то производится возвращение к ближайшей развилке графа и выбирается следующее по приоритету значение функции дохода. Процедуру принятия решения можно представить в виде дерева, где узлы — точки выбора альтернатив, а ребра — альтернативные решения (рис. 4.6). Левая ветвь любого узла обозначает выбор первым самого приоритетного варианта. Каждая следующая ветвь при движении вправо — альтернатива, в которой первым блоком рассматривается менее приоритетный вариант. В случае, если при всех

вариантах в узле нарушаются границы графика, следует возвратиться на узел верхнего уровня.



**Рисунок 4.6 — Дерево решений**

На рисунке 4.7 представлен пример, когда выбор менее приоритетной операции позволит удовлетворить условиям построения графика.



**Рисунок 4.7 — Пример применения альтернативы**

Два задания *A* и *B* разделены на две операции каждый. Срок отгрузки задания *A* раньше, поэтому оно имеет больший приоритет. Следовательно, блоки задания *A* помещаются на диаграмме первыми. После их расположения на диаграмму помещаются блоки задания *B*. В этом случае один из блоков задания *B* выходит за границы графика работ, что является недопустимым. Альтернативный вариант, при котором блок *B1* выбирается раньше чем *A1*, является успешным.

Если во всем дереве нет варианта, при котором границы графика не нарушались бы, то формируется вывод о невозможности реализации данного кластера-расписания.

Для оценки вариантов расписаний используется методика формирования комплексного критерия на основе метода анализа иерархий, предложенная для оценки технологических маршрутов. Отличием является добавление показателя, характеризующего коэффициент загрузки оборудования. Общая нагрузка оборудования по расписанию рассчитывается как суммарная нагрузка по всем используемым рабочим местам. Методика предусматривает возможность выбора приоритета с максимальной или равномерной загрузкой оборудования.

Результатом методики является ранжированный список расписаний, верхнюю позицию которого занимает оптимальный вариант по значению комплексного критерия. На основании информации о вариантах с худшими оценками и кластерах, чья реализация невозможна, формируются прецеденты.

Разработанная методика на основе базы прецедентов позволит автоматизировать и оптимизировать решение трудоемкой задачи построения вариантов производственных расписаний с последующим выбором оптимального.

#### ***4.3 Разработка динамической модели процесса построения производственного расписания на основе кластеров***

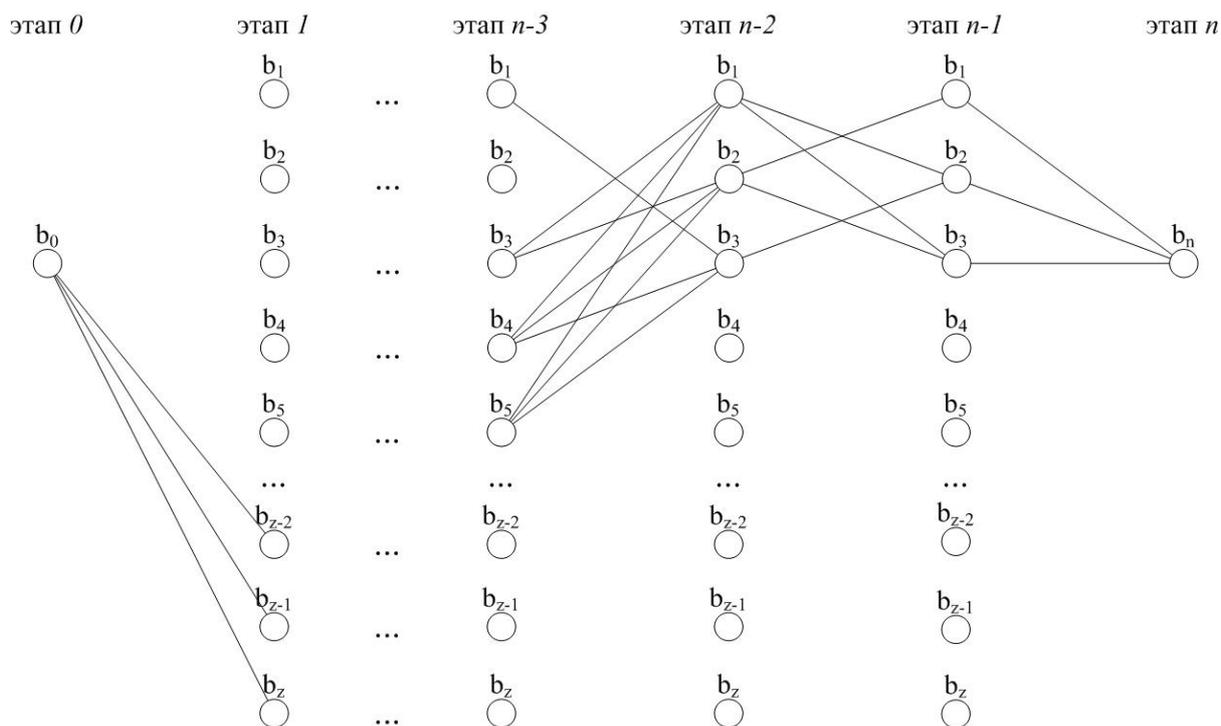
Задача построения расписания относится к задачам NP-сложным. В теории алгоритмов классом NP (от англ. non-deterministic polynomial) называют алгоритмы, время работы которых зависит от размера входных данных; в то же время, если предоставить алгоритму некоторые дополнительные сведения (так называемых свидетелей решения), то он сможет достаточно быстро (за время, не превосходящее многочлена от размера данных) решить задачу [5, 16, 27, 28, 33, 34, 78, 92, 95].

Решение задачи построения производственного расписания основано на методе динамического программирования для решения NP-сложной задачи о коммивояжере, предложенного Р. Беллманом [5, 95].

Задача построения производственного расписания имеет следующую постановку: имеется множество  $R$  рабочих мест (оборудование)  $PM = \{PM_1, PM_2, \dots, PM_r\}$ , множество  $S$  технологических маршрутов  $TM = \{TM_1, TM_2, \dots, TM_s\}$ . Каждый  $TM$  представляет собой набор  $L$  операций  $TM_i = \{On_{i1}, On_{i2}, \dots, On_{il}\}$  и характеризуется временем завершения  $d_i$ . Каждая операция характеризуется последовательностью в соответствии с технологическим маршрутом, занимаемым рабочим местом  $PM_j$  и временем выполнения  $t_{sl}$ , где  $r, s, l \geq 1$ , и  $i, j > 0$ . Необходимо найти такую последовательность операций  $\sigma_n = \langle i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_n \rangle$ , для которой время выполнения  $t_{i_1 i_2} + t_{i_2 i_3} + \dots + t_{i_{n-1} i_n}$  будет минимальной.

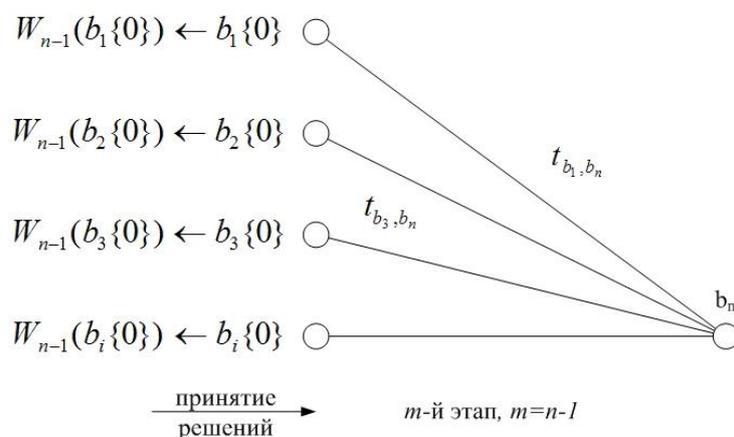
*Шаг 0.* На предварительном этапе из операций маршрутов формируется очередь  $B$  следующим образом: выбирается технологический маршрут с минимальным временем завершения, его последняя операция первой заносится в очередь  $B = \{b_1\}$ . Выбирается следующий маршрут с минимальным временем завершения из оставшихся, и его последняя операция заносится в очередь  $B = \{b_1, b_2\}$  и т.д. В результате формируется очередь  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_z\}$ , представляющая собой набор всех операций всех технологических маршрутов, последним элементом которого  $b_z$  является первая операция маршрута с наибольшим временем завершения.

На основании очереди  $B$  формируется граф возможных связей между операциями (рис. 4.8). Построение графа основано на нескольких правилах: переход к операции невозможен, пока не были закончены предыдущие операции того же технологического процесса, повторное прохождение операции недопустимо.



**Рисунок 4.8** — Графическое представление последовательности операций

*Шаг 1.* Решение задачи начинается с последнего этапа производственного расписания. Предполагается, что на этом этапе принятия решения могут быть задействованы только последние операции технологических маршрутов. В качестве состояния для этого этапа выбирается конструкция  $b_i\{0\}$ , где  $b_i$  указывает операцию на последнем этапе принятия решения, а наличие нуля в фигурных скобках соответствует отсутствию промежуточных операций. Последний этап связан с числом операций соотношением  $m = n - 1$  (рис. 4.9).



**Рисунок 4.9** — Графическое представление  $m$ -го этапа,  $m=n-1$

Для каждого состояния  $b_i\{0\}$  в соответствии с методом динамического программирования вводится функция условного оптимального дохода, которая

равна времени выполнения операции  $b_i$  перед завершением расписания  $b_n$ , т.е.

$$W_{n-1}(b_i\{0\}) = t_{b_i, b_n}.$$

Для каждого состояния существует единственное управление, предполагающее переход от операции  $b_i$  к завершению построения расписания  $b_n$ .

*Шаг 2.* Соответствует  $m-1$  этапу принятия решения. На этом этапе осуществляется операция  $b_i$ , необходимо выполнить одну промежуточную операцию, а затем после промежуточной операции завершить построение расписания  $b_n$ . В качестве состояния вводится конструкция  $b_i\{b_{U_1}\}$ , где  $b_i$  – операция, выполняемая на  $m-1$ -м этапе, а  $b_{U_1}$  – промежуточная операция, необходимая для завершения. Также,  $b_{U_1} \in B \setminus (b_i \vee b_n)$ , где  $B$  – множество всех операций (рис. 4.10).

Для каждого состояния  $b_i\{b_{U_1}\}$  вычисляется функция оптимального дохода  $W_{n-2}(b_i\{b_{U_1}\}) = t_{b_i, b_{U_1}} + W_{n-1}(b_{U_1}\{0\})$  в случае, если операции  $b_i$  и  $b_{U_1}$  либо принадлежат одному технологическому маршруту, либо используют одно рабочее место. Иначе оптимальный доход рассчитывается как  $W_{n-2}(b_i\{b_{U_1}\}) = \max(t_{b_i, b_{U_1}}, W_{n-1}(b_{U_1}\{0\}))$ .

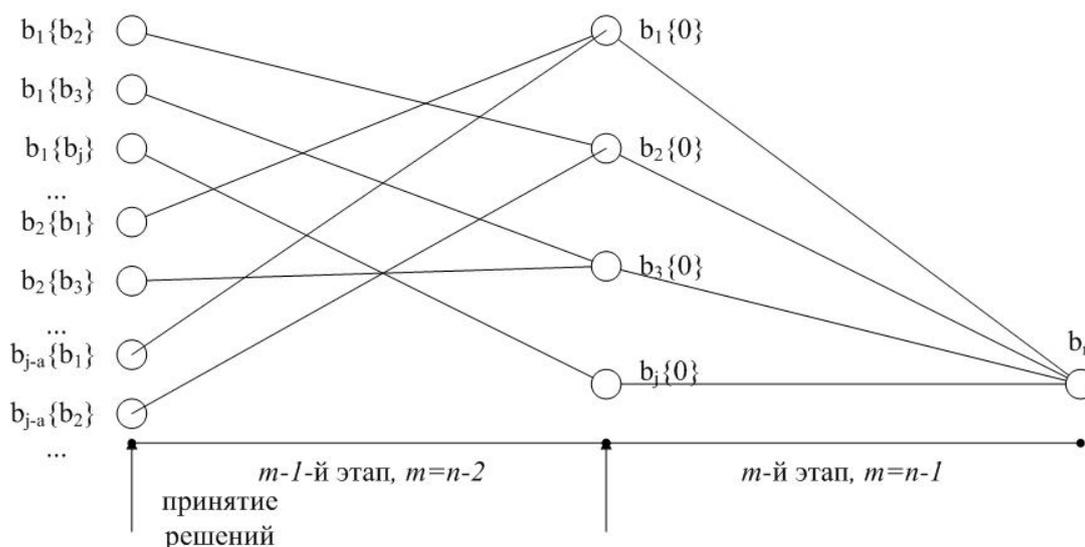


Рисунок 4.10 — Графическое представление  $m-1$ -го этапа,  $m=n-2$

*Шаг 3.* Соответствует ситуации, в которой рассматривается операция  $b_i$  и до завершения расписания  $b_n$  необходимо выполнить две промежуточных операции.

Состояние представляется в виде следующей конструкции:  $b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}\}$ . Для компонент состояния справедливо следующее условие:  $b_{U_1} \neq b_{U_2} \neq b_i$ , где  $b_i$  – операция, рассматриваемая на данном этапе;  $b_{U_1}$ ,  $b_{U_2}$  – промежуточные операции. Состояния  $b_1\{b_2, b_3\}$  и  $b_1\{b_3, b_2\}$  являются одинаковыми. В каждом из состояний  $b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}\}$  существует два варианта принятия решений: первый вариант предполагает переход от операции  $b_i$  к  $b_{U_1}$  с дальнейшим выполнением  $b_{U_2}$  и завершением  $b_n$ ; второй вариант основан на переходе от  $b_i$  к  $b_{U_2}$  с дальнейшим выполнением  $b_{U_1}$  и  $b_n$  (рис. 4.11). Из этих двух альтернатив необходимо выбрать такой вариант управления, для которого функция условного оптимального дохода будет минимальной, т.е. если:

- $b_i$ ,  $b_{U_1}$  и  $b_{U_2}$  используют одно оборудование или являются операциями одного маршрута, то

$$W_{n-3}(b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}\}) = \min(t_{b_i, b_{U_1}} + W_{n-2}(b_{U_1}\{b_{U_2}\}), t_{b_i, b_{U_2}} + W_{n-2}(b_{U_2}\{b_{U_1}\}));$$

- $b_i$  и  $b_{U_1}$  не являются операциями одного маршрута и не используют одно оборудование, то

$$W_{n-3}(b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}\}) = \min(\max(t_{b_i, b_{U_1}}, W_{n-2}(b_{U_1}\{b_{U_2}\})), t_{b_i, b_{U_2}} + W_{n-2}(b_{U_2}\{b_{U_1}\}));$$

- $b_i$  и  $b_{U_2}$  не являются операциями одного маршрута и не используют одно оборудование, то

$$W_{n-3}(b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}\}) = \min(t_{b_i, b_{U_1}} + W_{n-2}(b_{U_1}\{b_{U_2}\}), \max(t_{b_i, b_{U_2}}, W_{n-2}(b_{U_2}\{b_{U_1}\}))).$$

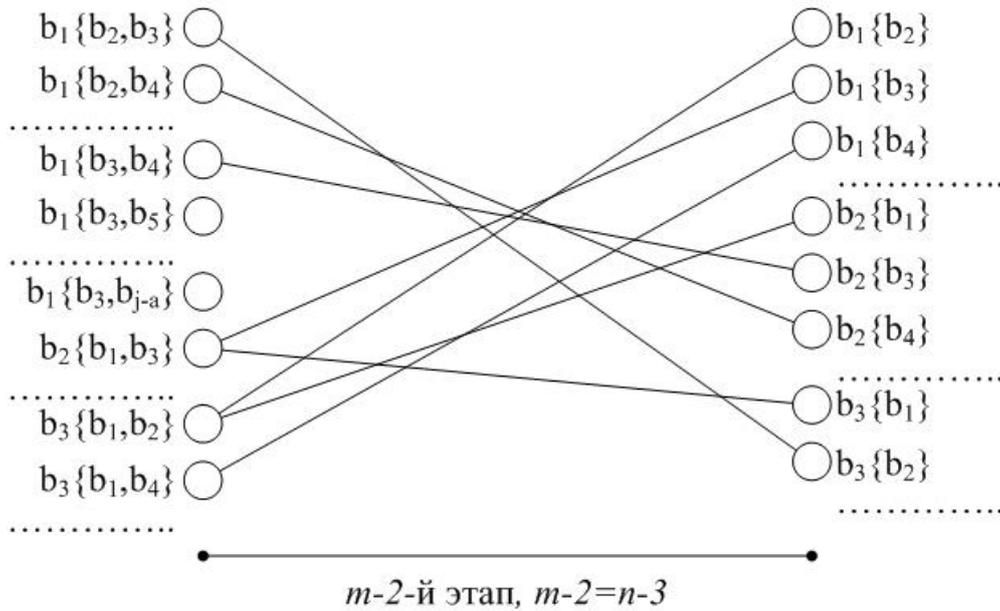


Рисунок 4.11 — Выбор управления на  $m-2$ -м шаге

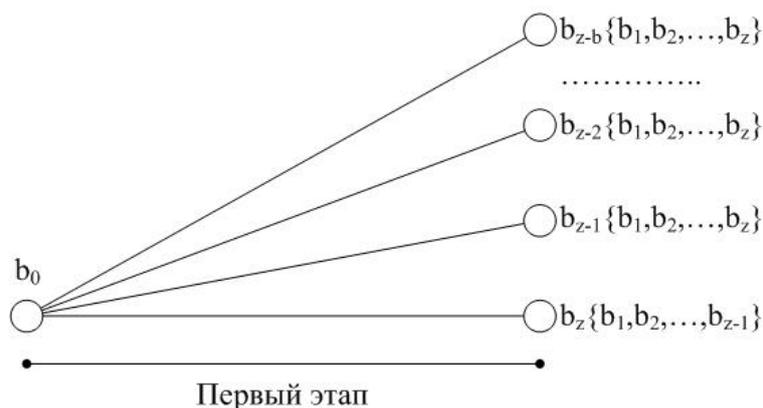
Функция условного оптимального дохода  $W_{n-3}(b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}\})$  представляет собой минимальное время между последовательностью операций  $b_i$  и  $b_n$  с обязательным выполнением промежуточных операций  $b_{U_1}$  и  $b_{U_2}$ . Последовательность определяется только условием минимизации времени маршрута.

*Шаг  $k$ .* Этап принятия решений на этом шаге характеризуется тем, что после операции  $b_i$  требуется выполнить  $k-1$  операций, прежде чем расписание будет завершено. Состояние задается конструкцией:  $b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}, \dots, b_{U_{k-1}}\}$ , где  $b_i$  – рассматриваемая операция, а  $b_{U_1}, b_{U_2}, \dots, b_{U_{k-1}}$  – промежуточные операции, также  $b_{U_1} \neq b_{U_2} \neq b_{U_{k-1}} \neq b_i$ . В каждом из состояний  $b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}, \dots, b_{U_{k-1}}\}$  существует  $k-1$  вариант принятия решений: первый вариант предполагает переход от операции  $b_i$  к  $b_{U_1}$  с последующим выполнением  $b_{U_2}, b_{U_3}, \dots, b_{U_{k-1}}$ ;  $k-1$ -й вариант включает переход от  $b_i$  к  $b_{U_{k-1}}$  с последующим выполнением операций  $b_{U_1}, b_{U_2}, \dots, b_{U_{k-2}}$ .

Функциональное уравнение для этого этапа представляется следующим образом:  $W_{n-k}(b_i\{b_{U_1}, b_{U_2}, \dots, b_{U_{k-1}}\}) = \min(t_{b_i, b_{U_1}} + W_{n-k+1}(b_{U_1}\{b_{U_2}, b_{U_3}, \dots, b_{U_{k-1}}\}), t_{b_i, b_{U_2}} + W_{n-k+1}(b_{U_2}\{b_{U_1}, b_{U_3}, \dots, b_{U_{k-1}}\}), t_{b_i, b_{U_3}} + W_{n-k+1}(b_{U_3}\{b_{U_1}, b_{U_2}, \dots, b_{U_{k-1}}\}), \dots, t_{b_i, b_{U_{k-1}}} + W_{n-k+1}(b_{U_{k-1}}\{b_{U_1}, b_{U_2}, \dots, b_{U_{k-2}}\}))$ .

В случае, если две операции  $b_i$  и  $b_{U_j}$  не принадлежат одному оборудованию или не принадлежат одному маршруту, операция суммирования заменяется выбором максимального времени из них.

*Шаг n.* Это последний шаг алгоритма, соответствует начальному этапу построения расписания и характеризуется тем, что необходимо выполнить все операции множества  $B$  (рис. 4.12).



**Рисунок 4.12 — Выбор управления на первом этапе принятия решений**

Функциональное уравнение имеет следующий вид:

$$W_1(b_0\{b_1, b_2, \dots, b_z\}) = \min(t_{b_0, b_z} + W_2(b_z\{b_1, b_2, \dots, b_{z-1}\}), t_{b_0, b_{z-1}} + W_2(b_{z-1}\{b_1, b_2, \dots, b_z\}), t_{b_0, b_{z-2}} + W_2(b_{z-2}\{b_1, b_2, \dots, b_z\}), \dots, t_{b_0, b_{z-b}} + W_2(b_{z-b}\{b_1, b_2, \dots, b_z\})).$$

Решение уравнения позволяет вычислить длину оптимального с точки зрения минимизации времени расписания. В случае, если значение времени превышает время завершения одного из маршрутов, то делается вывод о невозможности выполнения расписания и формировании прецедента.

После формирования расписаний из всех кластеров-расписаний производится оценка каждого варианта на основе комплексного критерия (3.7), предложенная для оценки технологических маршрутов. Для более полной оценки маршрута комплексный критерий дополняется показателем, характеризующим загрузку оборудования.

Для определения значений показателей используется АВС-анализ, суть которого заключается в привязке значений показателей к конкретным инвентарным номерам технологического оборудования и реализуемым процессам. Без точного представления о распределении производственных

процессов во времени и по оборудованию осуществить такой анализ не представлялся возможным. Использование точной динамической модели производства позволит обеспечить подробную калькуляцию производственных затрат, как в привязке к конкретным рабочим местам, так и в разрезе отдельных выполняемых заказов.

#### **4.4 Выводы**

1. Для корректировки производственных планов необходимо формировать производственные расписания. Большое количество исходных данных и, соответственно, еще большее количество возможных альтернатив делает невозможным построение эффективного расписания в ручном режиме. Разработанная методика построения производственного расписания в автоматизированном режиме позволяет повысить эффективность решения данной задачи за счет использования базы прецедентов.

2. Построение расписания основано на решении задачи о коммивояжере методом динамического программирования. Разработанная математическая модель позволяет построить динамическую компьютерную модель производства для реализации непрерывного имитационного моделирования движения материальных потоков внутри цеха в соответствии с технологическими маршрутами.

## Глава 5. Практическое применение представленных методик в разработке технологического маршрута детали в автоматическом режиме

В качестве примера был рассмотрен процесс проектирования технологического маршрута для изготовления детали «Диск сцепления ведомый 2108» в штамповочном цехе ПО «Начало». Для автоматизации расчетов была разработана прикладная программа, экранные формы которой представлены в данной главе.

В соответствии с методикой, описанной в главе 3, первоначально необходимо произвести кластеризацию оборудования в рабочие центры. Штамповочный цех ПО «Начало» насчитывает 70 единиц оборудования (рис. 5.1)

| Код | Модель   | Тип машин | Специализация | Усилие | Размеры, мм | k1  | k2 |
|-----|----------|-----------|---------------|--------|-------------|-----|----|
| 502 | PKZZ-500 | Пресс     | Ср. штамповка | 500    | 1500 x 2800 | 180 | 25 |
| 503 | PKZZ-500 | Пресс     | Ср. штамповка | 500    | 1500 x 2800 | 185 | 25 |
| 504 | PKZZ-500 | Пресс     | Ср. штамповка | 500    | 1500 x 2800 | 200 | 20 |
| 505 | PKZZ-500 | Пресс     | Ср. штамповка | 500    | 1500 x 2800 | 202 | 20 |
| 506 | PKZZ-500 | Пресс     | Ср. штамповка | 500    | 1500 x 2800 | 194 | 20 |
| 602 | K3540    | Пресс     | Кр. штамповка | 1000   | 1800 x 3150 | 200 | 16 |
| 603 | K3540    | Пресс     | Кр. штамповка | 1000   | 1800 x 3150 | 210 | 14 |
| 604 | K3540    | Пресс     | Кр. штамповка | 1000   | 1800 x 3150 | 222 | 14 |
| 608 | K3540    | Пресс     | Кр. штамповка | 1000   | 1800 x 3150 | 230 | 14 |
| 609 | KA3540   | Пресс     | Кр. штамповка | 1000   | 1800 x 3150 | 180 | 25 |
| 605 | KA4537   | Пресс     | Ср. штамповка | 500    | 1800 x 3150 | 185 | 25 |
| 606 | KA4537   | Пресс     | Ср. штамповка | 500    | 1800 x 3150 | 200 | 20 |

Рисунок 5.1 — Парк оборудования штамповочного цеха

Для разбиения на кластеры были выделены следующие признаки кластеризации, представленные в таблице 5.1. В значение признака «Номинальное усилие» указан диапазон от 0 до указанной величины включительно. Нуль в значениях четвертого признака означает, что данное поле может принимать любое значение. Ввод признаков в программе представлен на рисунке 5.2.

Таблица 5.1 — Признаки кластеризации

| № | Признаки                               | Возможные значения  |
|---|--|---|
| 1 | Техническая специализация оборудования | Порезка, мелкая штамповка, средняя штамповка, крупная штамповка, пробивка, резка  |
| 2 | Тип машин                              | Прессы, автоматические линии, ножницы, зачистные машины   |
| 3 | Номинальное усилие, т.с.               | До 100, до 160, до 250, до 315, до 400, до 500, до 1000   |
| 4 | Размеры рабочего пространства, мм      | 0x0, 0x100, 0x270, 0x340, 560x800, 700x3150, 800x1600, 1000x1000, 1250x1250, 1500x2800, 1640x2700, 1800x3150, 2800x4000 |

В результате проведения методикой кластеризации оборудования было сформировано 17 рабочих центров (рис. 5.3). Завершающей стадией преобразования данных по оборудованию является представление информации по рабочим центрам в виде матрицы исходных данных (таблица 5.2).

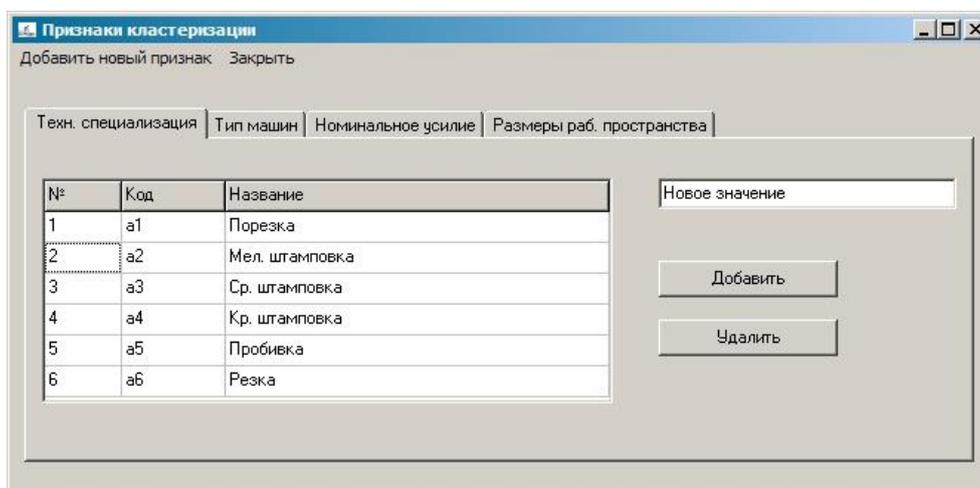


Рисунок 5.2 — Введение значений признаков кластеризации

| № | Название | Техн. специализации РЦ | Тип машин  | Номинальное усилие, с.т. | Размеры, мм | Кол-во РМ |
|---|----------|------------------------|------------|--------------------------|-------------|-----------|
| 1 | РЦ1      | Порезка                | Прессы     | 500                      | 1500 x 2800 | 5         |
| 2 | РЦ2      | Кр. штамповка          | Прессы     | 1000                     | 1800 x 3150 | 5         |
| 3 | РЦ3      | Ср. штамповка          | Прессы     | 500                      | 1800 x 3150 | 2         |
| 4 | РЦ4      | Мел. штамповка         | Прессы     | 400                      | 1640 x 2700 | 5         |
| 5 | РЦ5      | Ср. штамповка          | Прессы     | 500                      | 1250 x 1250 | 2         |
| 6 | РЦ6      | Мел. штамповка         | Прессы     | 315                      | 1000 x 1000 | 4         |
| 7 | РЦ7      | Мел. штамповка         | Авт. линия | 250                      | 0 x 300     | 2         |
| 8 | РЦ8      | Пробивка               | Прессы     | 250                      | 0 x 270     | 3         |

Рисунок 5.3 — Рабочие центры штамповочного цеха ПО «Начало»

На определенных прессах есть возможность осуществлять разные типы операций (например, мелкая штамповка, резка или пробивка), что определяется используемым инструментом.

Таблица 5.2 — Матрица исходных данных

| Рабочие центры | Объект обработки | Комплекс средств технического оснащения | Характеристики процесса обработки |
|----------------|------------------|---|-----------------------------------|
| РЦ1            | 1500 x 2800      | Порезка. Прессы                         | 500                               |
| РЦ2            | 1800 x 3150      | Крупная штамповка. Прессы               | 1000                              |
| ...            | ...              | ...                                     | ...                               |

Следующим этапом методики является систематизация исходных данных по технологическому процессу в виде матрицы ограничений. На рисунке 5.4 представлена экранная форма ввода данных по новому технологическому процессу.

**Добавление нового технологического процесса**

Идентификатор: Новый идентификатор

Название: Новое название

Количество операций: 5 Сформировать структуру

**Структура технологического процесса**

Операция 1  
 Характер операции: Подготовительная  
 Тип операции: Резка мерных заготовок

Операция 2  
 Характер операции: Формоизменяющая  
 Тип операции: Мел. штамповка

Операция 3  
 Характер операции: Отделочная  
 Тип операции: Зачистка торцов

Операция 4  
 Характер операции: Т\обработка  
 Тип операции: -

Операция 5  
 Характер операции: Формоизменяющая  
 Тип операции: Пробивка

**Характеристики объекта обработки**

Тип заготовки: Лист

Размеры заготовки  
 Ширина: Введите значение  
 Длина: Введите значение  
 Толщина: Введите значение

Тип детали: Диск

**Штучное время**

Операция 1: 0,08  
 Операция 2: 0,133  
 Операция 3: 0,12  
 Операция 4: 0,4807  
 Операция 5: 0,1412

**Управление**

Сохранить  
 Отчистить  
 Выход

Рисунок 5.4 — Ввод данных по новому технологическому процессу

На первых стадиях формируются модели структуры и содержания рассматриваемого технологического процесса.

Техпроцесс диска сцепления ведомого включает пять операций:

1. Резка заготовок.
2. Мелкая штамповка.
3. Зачистка поверхности.
4. Термообработка.
5. Пробивка отверстия.

Четвертая операция является термической и выполняется на оборудовании другого цеха. Данный тип операций не включен в разрабатываемую для холодной штамповки методику. Однако расширение методики допускает операции любого типа, в том числе и включение соответствующего оборудования при составлении структурного описания элементов включаемой технологии. Декомпозиция данной операции в данном примере будет пропущена, однако, так как ее полное игнорирование внесло бы изменение в технологический процесс, она будет представлена в расчетах.

Модель структуры представляет иерархию технологического процесса (рис. 5.5).



**Рисунок 5.5 — Модель структуры**

Для решения задачи выбора оборудования достаточно декомпозиции технологического процесса до уровня операции. Методика рассматривает декомпозицию до уровня перехода для решения задачи выбора инструмента (штампа) и в данном примере не рассматривается.

Модель содержания включает штучное время по каждой операции и представлена на рисунке 5.6.

|                         |                     |                                |                                |                                |                        |                           |                           |                             |                        |                           |
|-------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|
| Трансп. в цех штамповки |                     | Трансп. к след. рабочему месту |                                | Трансп. к след. рабочему месту |                        | Трансп. в цех т/обработки |                           | Трансп. из цеха т/обработки |                        | Трансп. из цеха штамповки |
| $T_{ТР11}$              | 0,08                | $T_{ТР12}$                     | 0,133                          | $T_{ТР22}$                     | 0,12                   | $T_{ТР34}$                | 0,4807                    | $T_{ТР45}$                  | 0,1412                 | $T_{ТР51}$                |
|                         | Операция 1<br>Резка |                                | Операция 2<br>Мелкая штамповка |                                | Операция 3<br>Зачистка |                           | Операция 4<br>Т/обработка |                             | Операция 5<br>Пробивка |                           |

Рисунок 5.6 — Модель содержания

В данной модели указаны все технологические операции и транспортные связи между ними, а также время на обработку одной заготовки по каждой операции. После третьей операции заготовки покидают штамповочный цех и перемещаются в цех термообработки, после чего возвращаются для прохождения пятой операции. Время на транспортировку на данном этапе является неизвестным и рассчитывается для каждого варианта маршрута.

На следующей стадии формируется матрица ограничений (рис 5.7).

| ОП   | Объект обработки | Компл. средств техн. оснащения    | Характеристики процесс. |
|------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| ОП 1 | 250              | Подготовительная. Резка           | До 100                  |
| ОП 2 | 210              | Формообразующая. Мелкая штамповка | До 250                  |
| ОП 3 | -                | Отделочная. Очистка поверхности   | -                       |
| ОП 5 | 210              | Формообразующая. Пробивка         | До 250                  |

Рисунок 5.7 — Матрица ограничений

На следующем этапе осуществляется наложение матрицы ограничений на матрицу исходных данных (рис. 5.8).

| РЦ  | Объект обработки | Компл. средств техн. оснащения | Характеристики процесс. |
|-----|------------------|--------------------------------|-------------------------|
| РЦ1 | 1500 x 2800      | Порезка. Прессы                | 500                     |
| РЦ2 | 1800 x 3150      | Кр. штамповка. Прессы          | 1000                    |
| РЦ3 | 1800 x 3150      | Ср. штамповка. Прессы          | 500                     |
| РЦ4 | 1640 x 2700      | Мел. штамповка. Прессы         | 400                     |
| РЦ5 | 1250 x 1250      | Ср. штамповка. Прессы          | 500                     |
| РЦ6 | 1000 x 1000      | Мел. штамповка. Прессы         | 315                     |
| РЦ7 | 0 x 300          | Мел. штамповка. Авт. линия     | 250                     |
| РЦ8 | 0 x 270          | Пробивка. Прессы               | 250                     |

Рисунок 5.8 — Матрица исходных данных

Результатом является набор рабочих центров по каждой операции технологического процесса (таблица 5.3).

Таблица 5.3 — Распределение рабочих центров по операциям

| № | Операция           | Рабочий центр      |
|---|--------------------|--------------------|
| 1 | Резка заготовок    | РЦ 7, РЦ 8, РЦ 18, |
| 2 | Мелкая штамповка   | РЦ 7, РЦ 8         |
| 3 | Зачистка           | РЦ 17              |
| 5 | Пробивка отверстия | РЦ 8               |

Рабочий центр РЦ 7 содержит два прессы А6134А (идентификационные номера 610 и 611), предназначенные для многопозиционной штамповки. Таким образом, на этом рабочем центре можно осуществить первые две операции.

Рабочий центр РЦ 8 содержит три прессы К 04.160.134 (ид. номера 103, 108, 301), на которых реализуются операции 2 и 5.

Рабочий центр РЦ 18 содержит один пресс К 2132А (902) и два прессы К 2132 (903, 1001), предназначенные для первой операции.

Рабочий центр РЦ 17 содержит одну зачистную машину (2001) и позволяет осуществить третью операцию.

Таким образом, возможен следующий набор последовательностей использования рабочих центров для технологического процесса «Диск сцепления ведомый 2108»:

1. РЦ 7 — РЦ 7 — РЦ 17 — РЦ 8.
2. РЦ 18 — РЦ 8 — РЦ 17 — РЦ 8.
3. РЦ 8 — РЦ 8 — РЦ 17 — РЦ 8.

При разгруппировке рабочих центров формируются варианты технологических маршрутов. Общее количество возможных маршрутов в соответствии с методикой составило 60.

С целью выбора оптимального маршрута в соответствии с методикой необходимо провести ранжирование по комплексной оценке. Помимо основных характеристик каждое оборудование имеет уникальные технико-экономические эксплуатационные показатели. Для упрощения примера был выбран набор из четырех показателей, характеризующих время выполнения,

себестоимость, условия труда и экологичность маршрута  $(k_1, k_2, k_3, k_4)$ . Условные значения показателей для каждого оборудования представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 — Показатели оборудования

| Оборудование | Показатели |       |       |       |
|--------------|------------|-------|-------|-------|
|              | $k_1$      | $k_2$ | $k_3$ | $k_4$ |
| 610          | 180        | 250   | 100   | 100   |
| 611          | 185        | 250   | 100   | 100   |
| 103          | 200        | 200   | 85    | 85    |
| 108          | 202        | 200   | 85    | 85    |
| 301          | 194        | 200   | 85    | 85    |
| 2001         | 2000       | 160   | 85    | 85    |
| 902          | 210        | 140   | 80    | 80    |
| 903          | 222        | 145   | 80    | 80    |
| 1001         | 230        | 146   | 80    | 80    |

В соответствии с формулой оценки (3.5), помимо значений показателей необходимо сформировать вектор приоритетов по методу анализа иерархий. Экспертной группой была сформирована матрица попарных сравнений (рис. 5.9).

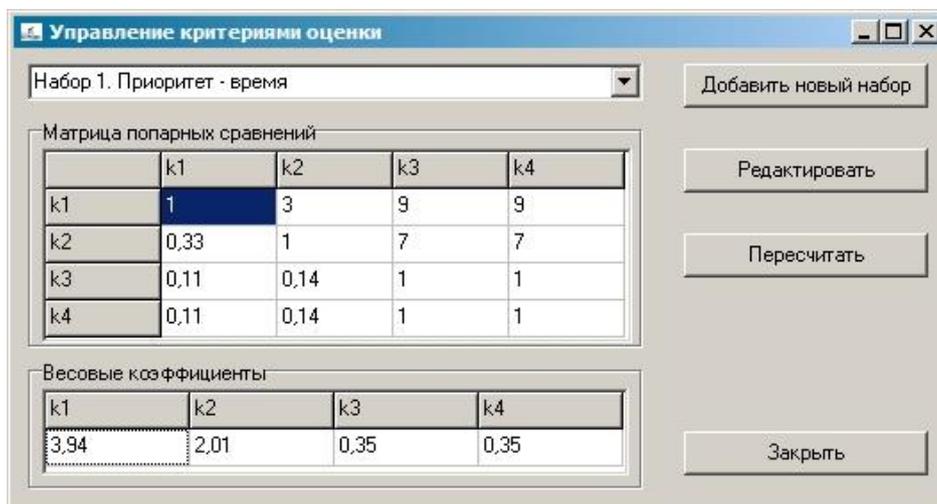


Рисунок 5.9 — Расчет весовых коэффициентов по матрице попарных сравнений

Наиболее приоритетным показателем экспертная группа выбрала первый показатель. Вектор приоритетов для данной матрицы сравнений выглядит следующим образом:  $(3,94; 2,01; 0,35; 0,35)$ . В зависимости от внешних условий предусмотрено формирование нескольких наборов весовых коэффициентов, отличающихся приоритетами входящих в них показателей.

Для нормализации значений показателей оборудования необходимо провести их преобразование по формулам (3.2 – 3.3). Новые значения показателей представлены в таблице 5.5.

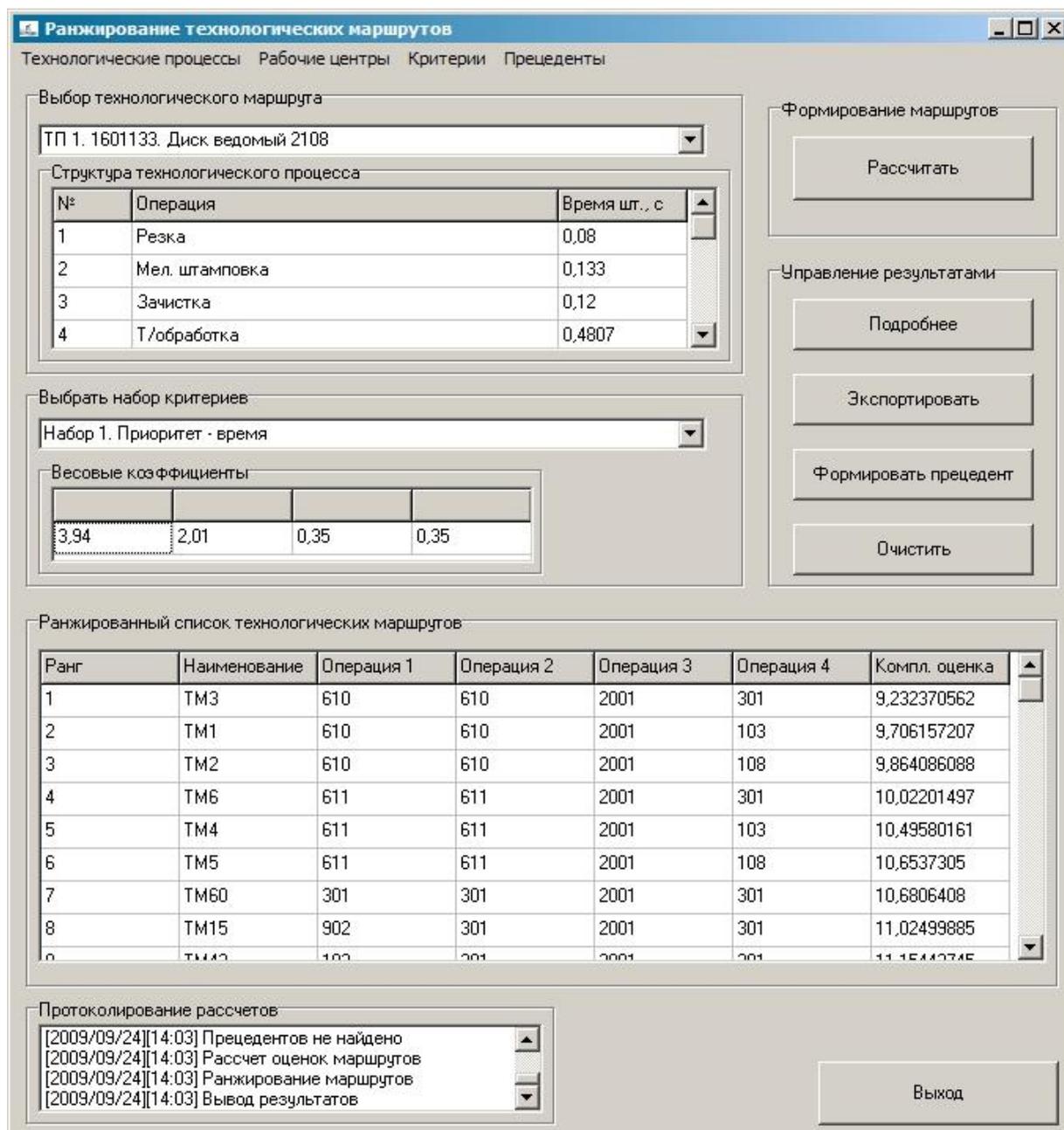
Таблица 5.5 — Нормализованные значения показателей

| Оборудование | Показатели |       |       |       |
|--------------|------------|-------|-------|-------|
|              | $k_1$      | $k_2$ | $k_3$ | $k_4$ |
| 610          | 0          | 1     | 0     | 0     |
| 611          | 0,1        | 1     | 0     | 0     |
| 103          | 0,4        | 0,54  | 0,75  | 0,75  |
| 108          | 0,44       | 0,54  | 0,75  | 0,75  |
| 301          | 0,28       | 0,54  | 0,75  | 0,75  |
| 2001         | 0,4        | 0,18  | 0,75  | 0,75  |
| 902          | 0,6        | 0     | 1     | 1     |
| 903          | 0,84       | 0,045 | 1     | 1     |
| 1001         | 1          | 0,054 | 1     | 1     |

Следующим шагом является оценка каждого маршрута по формуле (3.5) и сортировка по значению рассчитанной оценки. Результатом сортировки является ранжированный список маршрутов, на верхней позиции которого находится оптимальный по комплексной оценке технологический маршрут на обработку детали «Диск сцепления ведомый 2108» (рис. 5.10).

Таким образом, при указанных производственных условиях и технико-экономических показателях оборудования оптимальным по комплексной оценке технологическим маршрутом является маршрут ТМЗ. С помощью разработанной методики было проанализировано и полностью оценено 60 вариантов маршрутов.

Для дальнейшего использования полученных результатов необходимо сформировать прецедент в соответствии с методикой, представленной во второй главе.



**Рисунок 5.10 — Результаты ранжирования**

Таблица условий содержит данные по технологическому процессу (таблица 5.6).

Таблица 5.6 — Таблица условий формируемого прецедента

|  |                               |                     |  |
|--|-------------------------------|---------------------|--|
| <b>Наименование:</b>                       |                               | Прецедент 1         |  |
| <b>№</b>                                   | <b>Наименование параметра</b> | <b>Значение</b>     |  |
| <b>Структура технологического процесса</b> |                               |                     |  |
| 1  | <b>Количество операций:</b>   | 4                   |  |
| <b>Операция 1</b>                          |                               |                     |  |
| 2  | <b>Характер операции 1:</b>   | Подготовительная    |  |
| 3  | <b>Тип операции 1:</b>        | Резка заготовок     |  |
| <b>Операция 2</b>                          |                               |                     |  |
| 4  | <b>Характер операции 2:</b>   | Формоизменяющая     |  |
| 5  | <b>Тип операции 2:</b>        | Мелкая штамповка    |  |
| <b>Операция 3</b>                          |                               |                     |  |
| 6  | <b>Характер операции 3:</b>   | Завершающая         |  |
| 7  | <b>Тип операции 3:</b>        | Очистка поверхности |  |
| <b>Операция 5</b>                          |                               |                     |  |
|  | <b>Характер операции 5:</b>   | Формоизменяющая     |  |
|  | <b>Тип операции 5:</b>        | Пробивка            |  |
| <b>Характеристики объекта обработки</b>    |                               |                     |  |
| 8  | <b>Масса заготовки</b>        | (, 5]               |  |
| 9  | <b>Тип заготовки</b>          | Лист                |  |
| 10   | <b>Габаритный размер 1</b>    | (,250]              |  |
| 11   | <b>Габаритный размер 2</b>    | (,10]               |  |

Таблица решений содержит результаты расчетов по выбору оптимального маршрута. В рассматриваемом примере было проанализировано 60 вариантов, в ходе отработки методики были рассмотрены варианты процессов, насчитывающие несколько сотен и тысяч вариантов маршрутов. Логично было бы предположить, что для накопления опыта по технологическому процессу нет необходимости хранить такие большие объемы ненужной информации. Количество сохраняемых маршрутов определяется эмпирически. В данном примере в таблицу решений будет помещено первые восемь результатов (табл. 5.7).

Таблица 5.7 — Таблица решений

| Ранг | Технологический маршрут | Значения показателей маршрута |       |       |       | Компл. оценка |
|------|-------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|---------------|
|      |                         | $k_1$                         | $k_2$ | $k_3$ | $k_4$ |               |
| 1    | ТМ3                     | 0,68                          | 2,72  | 1,5   | 1,5   | 9,232371      |
| 2    | ТМ1                     | 0,8                           | 2,72  | 1,5   | 1,5   | 9,706157      |
| 3    | ТМ2                     | 0,84                          | 2,72  | 1,5   | 1,5   | 9,864086      |
| 4    | ТМ6                     | 0,88                          | 2,72  | 1,5   | 1,5   | 10,02201      |
| 5    | ТМ4                     | 1                             | 2,72  | 1,5   | 1,5   | 10,4958       |
| 6    | ТМ5                     | 1,04                          | 2,72  | 1,5   | 1,5   | 10,65373      |
| 7    | ТМ60                    | 1,24                          | 1,818 | 3     | 3     | 10,68064      |
| 8    | ТМ15                    | 1,56                          | 1,27  | 3,25  | 3,25  | 11,025        |

На экранной форме (5.11) представлено добавление нового прецедента в систему.

**Добавить прецедент**

Название прецедента:  
Новый прецедент 1

Таблица условий

| Наименование параметра              | Значение            |
|-------------------------------------|---------------------|
| Структура технологического процесса | ***                 |
| Количество операций:                | 5                   |
| Характер операции 1:                | Подготовительная    |
| Тип операции 1:                     | Резка заготовок     |
| Характер операции 2:                | Формоизменяющая     |
| Тип операции 2:                     | Мелкая штамповка    |
| Характер операции 3:                | Завершающая         |
| Тип операции 3:                     | Очистка поверхности |
| Характер операции 5:                | Формоизменяющая     |

Управление

Сохранить

Отменить

Таблица решений

| Ранг | Наименование | Операция 1 | Операция 2 | Операция 3 | Операция 4 | Компл. оценка |
|------|--------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| 1    | ТМ3          | 610        | 610        | 2001       | 301        | 9,232370562   |
| 2    | ТМ1          | 610        | 610        | 2001       | 103        | 9,706157207   |
| 3    | ТМ2          | 610        | 610        | 2001       | 108        | 9,864086088   |
| 4    | ТМ6          | 611        | 611        | 2001       | 301        | 10,02201497   |
| 5    | ТМ4          | 611        | 611        | 2001       | 103        | 10,49580161   |
| 6    | ТМ5          | 611        | 611        | 2001       | 108        | 10,6537305    |
| 7    | ТМ60         | 301        | 301        | 2001       | 301        | 10,6806408    |
| 8    | ТМ15         | 902        | 301        | 2001       | 301        | 11,02499885   |
| 9    | ТМ12         | 103        | 301        | 2001       | 301        | 11,15443745   |

**Рисунок 5.11 — Добавление нового прецедента в систему**

При возникновении необходимости разработки маршрута для нового технологического процесса будет произведен поиск в базе прецедентов. После нахождения подобного прецедента производится корректировка значений показателей маршрута и перерасчет комплексной оценки. После повторного ранжирования значения показателей в базе прецедентов актуализируются.

Апробация данной методики показала, что использование методики не только сокращает время на формирование технологического маршрута в 7... 15 раз, но и позволяет повысить точность отбора маршрута по комплексу критериев.

## Заключение

В результате выполнения работы решены задачи, имеющие существенное значение:

1. Методика формирования базы прецедентов основана на иерархическом представлении элементов технологического процесса. Они представлены в виде классов, что позволяет использовать информацию о прецедентах при анализе новых технологических процессов схожей структуры. Таблица условий заполняется на основании матрицы исходных данных, таблица решений представляет собой ранжированный по комплексному критерию список альтернативных технологических маршрутов.
2. Разработанная методика кластеризации прецедентов на основе алгоритма CLOPE повышает эффективность работы с базой прецедентов и, в отличие от других методов кластеризации, позволяет работать с большими объемами категориальных данных.
3. Разработанная методика формирования технологических маршрутов в рамках MES-системы позволяет сократить количество вариантов выбора при определении оптимального технологического маршрута, временные и материальные затраты на реализацию технологических процессов, оперативно вводить корректировки в процессе автоматизированного проектирования.
4. Использование комплексного подхода к формированию технологических маршрутов, основанного на накоплении знаний о прецедентах, повышает эффективность нахождения оптимального варианта маршрута в штамповочном производстве.
5. Методика формирования рабочих центров на основе алгоритма кластеризации CLOPE позволяет выбрать оборудование в автоматическом режиме с учетом определенных условий технологического процесса, возможностей производства.

6. Методика оценки технологических маршрутов на основе метода анализа иерархий позволяет решить задачу оценки альтернативных маршрутов по комплексному критерию. Весовые коэффициенты критерия могут отличаться при различных условиях производства. Изменение вектора коэффициентов повышает гибкость принятия решения при выборе оптимального варианта маршрута.
7. Разработанная методика построения производственного расписания в автоматизированном режиме повышает эффективность решения данной задачи за счет использования базы прецедентов.
8. Для построения производственного расписания холодной штамповки внутри цеха в соответствии с ранжированными технологическими маршрутами разработана математическая модель, основанная на методе динамического программирования.
9. Апробация разработанных методик и алгоритмов была проведена на конкретных примерах в условиях ПО «Начало» (г. Набережные Челны) и показала, что можно сократить сроки подготовки производства в 7...15 раз, а также повысить точность отбора технологического маршрута по комплексу критериев.

## Список использованной литературы

1. Аверкиев, А.Ю. Технология холодной штамповки: Учебн. для вузов. — М.: Машиностроение, 1989. — 304 с.
2. Акаро, И.Л. Классификация поковок и технологических переходов горячей штамповки кузнечно-штамповочного производства. — М.: Машиностроение, 1988.
3. Аксенов, Л.Б. Системное проектирование процессов штамповки. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1990. — 240 с.
4. Аксенов, Л.Б., Богоявленский, К.Н. Современные методы проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки. — Л.: ЛПИ, 1982. — 92с.
5. Беллман, Р. Дрейфус, С. Прикладные задачи динамического программирования. — М.: Наука, 1965.
6. Будник, Р.А, Куминов, В. MES-системы в дискретном производстве // PCWeek — 2003 — №46.
7. Будник. Р.А. MES системы: задачи и решения [Электронный ресурс] // MESA — Системы оперативного управления производством: [сайт]. [2003] URL: <http://www.mesa.ru/?p=600013> (дата обращения: 26.10.2009).
8. Вайнтрауб, Д.А., Клепиков, Ю.М. Холодная штамповка в мелкосерийном производстве. Справочное пособие. — Л.: Машиностроение, 1975.
9. Вендров, А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: учебник. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 544 с.
10. Гаврилова, Т.А., Червинская, К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. — М.: Радио и связь, 1992. — 199 с.

11. Гараева, Ю., Загидуллин, Р.Р, Сун Кай Цинн. Российские MES-системы или Как вернуть производству оптимизм // САПР и графика — 2005 — №11.
12. Головин, В.А., Митькин, А.И., Резников, Л.Г. Технология холодной штамповки выдавливанием. — М.: Машиностроение, 1970.
13. Горнев, В.Ф. Оперативное управление в ГПС / В.Ф. Горнев, В.В. Емельянов, М.В. Овсянников. — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.
14. Горячева, О.Е. Управление развитием кузнечно-штамповочного производства предприятия на основе минимизации затрат: автореферат канд. экон. наук: 08.00.05 / Горячева Ольга Евгеньевна. — Челябинск, 2005.
15. Гусев, А.Н. Устройство и наладка холодноштамповочного оборудования. Учебное пособие / А.Н. Гусев, В.П. Линц — М.: Высш. школа, 1983.
16. Гэри, М., Джонсон, Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир. — 1982. — 416 с.
17. Дмитриевский, Б.С. Автоматизированные информационные системы управления инновационным наукоемким предприятием. — М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. — 156 с.
18. Евгеньев, Г.Б. Системология инженерных знаний: учеб. пособие для вузов. — М. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2001. — 376 с.
19. Еленев, С.А. Холодная штамповка — М.: Высшая школа, 1988.
20. Еремеев, А.П., Варшавский, П.Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Журнал "Искусственный интеллект и принятие решений". — № 2. — 2009.
21. Еремеев, А.П., Варшавский, П.Р. Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. №1. С.97—109.

22. Загидуллин, Р.Р. Оперативно-календарное планирование в гибких производственных системах. — М.: Изд-во МАИ, 2004.
23. ЗАО «СПРУТ-Технология» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sprut.ru> (дата обращения: 30.10.2009).
24. Исаченков, Е.И., Морозова, Е.В. Основы обработки металлов давлением: Учеб. пособие. [В 2-х ч.] / Е. И. Исаченков, Е. В. Морозова; Под ред. В. Г. Бовина. — М.: Изд-во МАИ, 1980.
25. Калинина, В.М., Соловьев, В.И. Введение в многомерный статистический анализ: учебное пособие. / В.М Калинина, В.И Соловьев. — М.: ГУУ, 2003.
26. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для вузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; Под ред. Н.М. Капустина. — М.: Высш. шк., 2004. — 415 с.
27. Карп, Р.М. Сводимость комбинаторных проблем. — Кибернетический сборник, новая серия. — 1975. — Вып.12. — С.16–38.
28. Карпов, Ю. Теория автоматов. — Спб.: Питер, 2002.
29. Каяшев, А.И. Методы адаптации при управлении автоматизированными станочными системами / А.И. Каяшев, В.Г. Митрофанов, А.Г. Схиртладзе. — М.: Машиностроение, 1995. — 239 с.
30. Кобец, Е. А. Планирование на предприятии. Учебное пособие. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006.
31. Колмогоров, В.Л. Механика обработки металлов давлением. — Екатеринбург: Уральский государственный технический университет (УПИ), 2001. — 836 с.
32. Коновал, Д.Г. Технология и проектирование автоматизированных станочных систем / Д.Г. Коновал, А.И. Каяшев, В.Г. Митрофанов, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе. — М.: Станкин, 1998. — 254 с.
33. Кук, С.А. Сложность процедур вывода теорем. — Кибернетический сборник, новая серия. — 1975. — Вып.12. — С.5–15.

34. Левин, Л.А. Универсальные задачи перебора. — Проблемы передачи информации. — 1973. — Т.9, N 3. — С.115–116.
35. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — Спб.: БХВ — Петербург, 2005.
36. Малов, А.Н. Технология холодной штамповки. — М: Машиностроение, 1969. — 568 с.
37. Мандель, И.Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988.
38. Мауэргауз, Ю.Е. Автоматизация оперативного планирования в машиностроительном производстве. — М.: Экономика, 2007 — 287с.
39. Митрофанов, В.Г. Групповая технология машиностроительного производства: в 2 т. Т 1. Организация группового производства. — М.: Машиностроение, 1983. — 407 с.
40. Митрофанов, В.Г. САПР в технологии машиностроения / Митрофанов В.Г., Калачев О.Н., Схиртладзе А.Г. и др. — Ярославль: ЯГТУ, 1995. — 265 с.
41. Мулюков, Р.И. Методология создания САПР технологических процессов горячештамповочного производства с применением современных вычислительных комплексов // Информационные и социально-экономические аспекты создания современных технологий: Межвузовский сборник научных трудов / Под редакцией проф. В.Г. Шibaкова. — Набережные Челны: Камский политехнический институт, 1997, 147 с. — с. 81–85.
42. Мулюков, Р.И. Системная модель для автоматизации технологической подготовки производства поковок объемной штамповкой: дис. канд. тех. наук: 05.13.06: защищена : утв. / Мулюков Рустем Ирекович. — Набережные Челны, 2002. — 165 с. — Библиогр.: с. 155–165.
43. Мушик, Э., Мюллер, П. Методы принятия технических решений. — М.: Мир, 1990.
44. Навродский, А.Г. Холодная объемная штамповка. Справочник под ред. А. Г. Навродского. — М.: Машиностроение, 1979.

45. Нейский, И.М. Классификация и сравнение методов кластеризации. // Выпуск 8. — М.: Эликс +, 2008. — с.111–122.
46. Овчинников, А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. — М.: Машиностроение, 1983. — 200 с.
47. Официальный сайт MES-системы «PolyPlan» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.polyplan.ru/> (дата обращения: 30.10.2009).
48. Официальный сайт компании «Omega Production» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omegasoftware.ru/> (дата обращения: 30.10.2009).
49. Официальный сайт компании «ФОБОС» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fobos-mes.ru/> (дата обращения: 30.10.2009).
50. Официальный сайт системы календарного планирования и диспетчерского контроля «Zenith SPPS (Зенит СППС)» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zspps.com/> (дата обращения: 30.10.2009).
51. Паклин, Н. Алгоритмы кластеризации на службе Data Mining [Электронный ресурс] // BaseGroup Labs — Технологии анализа данных: [сайт] [2004] URL: <http://www.basegroup.ru/clusterization/datamining.htm> (дата обращения: 30.10.2009).
52. Паклин, Н. Кластеризация категорийных данных: масштабируемый алгоритм CLOPE. [Электронный ресурс] // BaseGroup Labs — Технологии анализа данных: [сайт] [2004] URL: <http://www.basegroup.ru/clusterization/clope.htm> (дата обращения: 30.10.2009).
53. Полищук, Ю.М., Хон, В.Б. Теория автоматизированных банков информации. — М.: Высшая школа, 1989.
54. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки. — М.: Машиностроение, 1977. — 278 с.
55. Попов, Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. — М.: Наука, 1987. — 283с.

56. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М., 1989.
57. Ром, М. Интеллектуальный автомат: компьютер в качестве эксперта. Пер. с нем. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 80 с.
58. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979.
59. Рыжов, А.П. Элементы теории нечетких множеств и их приложений. — М.: Диалог-МГУ, 1998.
60. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993.
61. Семендий, В.И., Акаров, И.Л., Волосов, Н.Н. Прогрессивные технологии, оборудование и автоматизация кузнечно-штамповочного производства КамАЗ. — М.: Машиностроение, 1989.
62. Семенов, Е.И. Ковка и объемная штамповка. — М.: Высшая школа, 1972. — 352 с.
63. Семенов, Е.И. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х т. // Ред. совет: Е.И. Семенов и др. — Т.2. Горячая штамповка / Под ред. Е.И. Семенова. — М.: Машиностроение, 1986. — 592 с.
64. Симонова, Л.А. Разработка автоматизированной системы формирования рабочих центров для дискретного производства механообрабатывающего производства в рамках системы ERP // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвып.: Математическое моделирование и компьютерные технологии. — 2004. — С. 162–165.
65. Симонова, Л.А., Руднев, М.П. Интегрированное информационное обеспечение процесса управления технологическими маршрутами в рамках ERP-системы. — М.: Academia, 2005.
66. Симонова, Л.А., Хамадеев, Ш.А., Костюк, И.В. Методика выбора технологического маршрута по комплексу критериев // Кузнечно-штамповочное производство – обработка материалов давлением. 2007. №7. С. 38 – 45.

67. Сиразетдинов, Т. К. Оптимизация систем с распределенными параметрами. — М.: Наука, 1977г. — 480 с.
68. Соломенцев, Ю. М. Основы автоматизации машиностроительного производства / Ю. М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, .Н.М. Султанзаде и др. — М.: Высшая школа, 1999. — 312 с.
69. Соломенцев, Ю.М. Автоматизированная разработка структуры оборудования технологических систем / Соломенцев Ю.М., Прохоров А.Ф., Калинин В.В. // Вестник машиностроения. — 1984. — № 10. — С.46–48.
70. Соломенцев, Ю.М., Максин, Ю.А, Позднеев, В.М. Интеграция конструкторско-технологического проектирования на основе экспертной системы машиностроительных технологий // Проблемы интеграции образования и науки.— М.: ВНИИТЭМР. 1990. — с. 3–4.
71. Сторожев, М.В., Попов, Е.А. Теория обработки металлов давлением. — М.: Машиностроение, 1977. — 423 с.
72. Сюч, Э.О. MES — эффективное управление производством в металлургии [Электронный ресурс] // ИНДАСОФТ Промышленная автоматизация: [сайт] [2007]. URL: <http://www.indusoft.ru/articles.php?id=381> (дата обращения: 30.10.2009).
73. Таунсенд, К., Фохт, Д. Проектирование и реализация экспертных систем на персональных электронных вычислительных машинах / Пер. с англ. В.А. Кондратенко, С.В. Трубицына: предисл. Т.С. Осипова. — М.: Финансы и статистика, 1990. — 318 с.
74. Таунсенд, К., Фохт, Д. Проектирование и реализация экспертных систем на ПЭВМ. — М.: Финансы и статистика, 1991.
75. Технологии принятия решений: метод анализа иерархий. [Электронное издание] // CIT Forum: [сайт]. [2004] URL: <http://www.citforum.ru/consulting/BI/resolution/> (дата обращения: 30.10.2009).

76. Трофимов, И.В. Значимый контекст рассуждений в задаче планирования. //Труды Первой международной конференции «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2005: В 2-х томах. — М.: КомКнига, 2005.
77. Унтила, Т.Н. Структура базы знаний для СППР по выбору оптимального ТП из альтернатив // Современные проблемы машиностроения труды III Международной научно-практической конференции. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
78. Фалевич, Б.Я. Теория алгоритмов. — М.: Машиностроение, 2004.
79. Федотов, А.В. Автоматизация управления в производственных системах: Учеб. пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. — 368 с.
80. Фролов, Е.Б. Отличия MES систем от ERP [Электронный ресурс] // MESA — Системы оперативного управления производством: [сайт]. [2003] URL: <http://www.mesa.ru/?p=1006> (дата обращения: 30.10.2009).
81. Фролов, Е.Б., Загидуллин, Р.З. MES-системы, как они есть или эволюция систем планирования производства [Электронный ресурс] // ERP News: [сайт]. [2007] URL: <http://erpnews.ru/doc2592.html/> (дата обращения: 30.10.2009).
82. Хамадеев, Ш.А. Разработка методики комплексной оценки альтернативных вариантов технологических маршрутов объемной штамповки на основе МАИ // Камские чтения. Сборник материалов межрегиональной научно-практической конференции. Набережные Челны. 2009. №1. Часть 3. С. 155 – 160.
83. Хамадеев, Ш.А. Разработка структуры базы прецедентов комплексной оценки технологических маршрутов в кузнечно-штамповочном производстве // «Проектирование и исследование техн. систем». Межвуз. научн.сб. — Наб.Челны: Изд-во КамПИ. — 2009. Вып. №13. — с.77–84.
84. Хамадеев, Ш.А. Формирование альтернативных маршрутов технологических процессов обработки металлов давлением // «VII

- Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Материалы Всероссийской конференции». — Красноярск: Изд-во ИВТ СО РАН. — 2006. — с. 98.
85. Хамадеев, Ш.А., Каримов, Т.Н. Выбор оптимального технологического маршрута на этапе технологической подготовки производства // «Студенческая наука в России на современном этапе. Материалы межвузовской конференции». Наб. Челны: Изд-во КамПИ. — 2008. с. 129-131.
86. Хамадеев, Ш.А., Костюк И.В. Календарное планирование на этапе технологической подготовки производства // «VIII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Материалы Всероссийской конференции». — Новосибирск: Изд-во ИВТ СО РАН. — 2007. — с. 112-113.
87. Хамадеев, Ш.А., Симонова, Л.А. Использование кластерного анализа при формировании рабочих центров // «Проектирование и исследование техн. систем». Межвуз. научн.сб. – Наб.Челны: Изд-во КамПИ. – 2007. Вып. №10. – с.116-122.
88. Хамадеев, Ш.А., Симонова, Л.А., Галимов, Р.Р. Методика формирования систем исходных данных и ограничений в кузнечно-штамповочном производстве [Электронный ресурс] // Социально-экономические и технические системы: сетевой журнал. 2006. – №7 URL: <http://www.sets.ru/base/23nomer/add/hamadeeva/1.pdf> (дата обращения: 30.10.2009).
89. Хамадеев, Ш.А., Симонова, Л.А., Галимов, Р.Р. Построение модели структуры и модели содержания технологического процесса объемной штамповки [Электронный ресурс] // Социально-экономические и технические системы: сетевой журнал. 2006. – №9. URL:

<http://www.sets.ru/base/25nomer/hamadeev/1.pdf> (дата обращения: 30.10.2009).

90. Хамадеев, Ш.А., Симонова, Л.А., Илюхин, А.К. База прецедентов технологических маршрутов в рамках MES-систем // «Кузнечно-штамповочное производство — Обработка металла давлением». Научно-технический и производственный журнал — М. — 2009. Вып №8 — с. 29–35.
91. Хамадеев, Ш.А., Симонова, Л.А., Костюк, И.В. Методика выбора технологических маршрутов по комплексу критериев // «Кузнечно-штамповочное производство — Обработка металла давлением». Научно-технический и производственный журнал — М. — 2007. Вып №11 — с. 38-45.
92. Хопкрофт, Д., Мотвани, Р., Ульман, Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений — Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation. — М.: «Вильямс», 2002. — С. 528.
93. Хорошевский, В.Ф., Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник. — СПб.: Питер, 2001. — 284 с.
94. Черемных, С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум. / Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 192 с.: ил.
95. Черноморов, Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. — Новочеркасск: Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2002 — 276 с.
96. Шашенкова, Е. Интеллектуальное оснащение промышленного производства // Computerworld Россия — 2006 — №39.
97. Шеховцов, О.И., Шифрин, Б.М. Организация и использование гибридных экспертных систем поддержки принятия решений в условиях неопределенности [Электронный ресурс] // Информационные Технологии: [сайт]. [2000]  
URL:

<http://inftech.webservis.ru/it/conference/scm/2000/session1/shehov.htm>

(дата обращения: 30.10.2009).

98. Шibaков, В.Г. Структурно-параметрическая оптимизация при обеспечении эффективности технологических процессов объемной штамповки: дис. докт. техн. наук: 05.03.05: защищена : утв. / Шibaков Владимир Георгиевич. — М., 1993. — 480 с. — Библиогр.: с. 466–480.
99. Шibaков, В.Г., Мулюков, Р.И. . Системный подход к описанию предметной области (технология объемной обработки металлов давлением) // Под общей редакцией проф. В.Г. Шibaкова, доц. А.Ю.Барыкина. — Набережные Челны: Изд-во Камского политехнического института, 1999, 185 с. — с. 110–114.
100. Шibaков, В.Г., Мулюков, Р.И. Обработка металлов давлением как техническая система // Онлайн-научно-технический журнал «Информационные и социально — экономические аспекты создания современных технологий» — 1999 г. — № 1 — с. 7–17.
101. Шibaков, В.Г., Мулюков, Р.И. Приложение принципов системного подхода к проектированию и реализации технологии объемной обработки металлов давлением // Проблемы конструирования, производства и эксплуатации колесных машин / Под общей редакцией проф. В.Г. Шibaкова, доц. А.Ю.Барыкина. — Набережные Челны: Изд-во Камского политехнического института, 1999, 185 с. — с. 105–109.
102. Шibaков, В.Г., Мулюков, Р.И. Система автоматизированного проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки // Тезисы докладов межвузовской научно-практической конференции (24-25 апреля 2002 г.). — Набережные Челны: Изд-во Камского государственного политехнического института, 2002, 160 с. — с 43–44.
103. Шibaков, В.Г., Мулюков, Р.И. Система технологии объемной обработки металлов давлением и ее структура // Труды 1

- международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера» (Казань, 16-20 июня 1999 г.) / Под ред. Г.Л. Дегтярева и В.С. Терещука — Казань: Издательство Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, 1999, 348 с. — с. 244–247.
104. Шибиков, В.Г., Мулюков, Р.И. Технология объемной обработки металлов давлением как техническая система // Материалы Международной конференции и Российской научной школы «Системные проблемы качества, математического моделирования и информационных технологий». Часть 8. — М.: НИИ «Автоэлектроника», 1999, 205 с. — с. 125–136.
  105. Шишмарев, В.Ю. Автоматизация технологических процессов: Учеб. пособие для студ. сред. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 352 с.
  106. Элти, Дж., Кумбс, М. Экспертные системы: концепции и примеры. Пер. с англ. — М.: Финансы и статистика, 1987.
  107. Bradley, P., Fayyad, U., Reina, C. Scaling Clustering Algorithms to Large Databases, Proc. 4th Int'l Conf. Knowledge Discovery and Data Mining, AAAI Press, Menlo Park, Calif., 1998.
  108. Carbonell J.G. Learning by Analogy: Formulating and Generalizing Plans from Past Experience // Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach. V.1. Tioga; Palo Alto, 1983. P.137—161.
  109. Gentner D. The mechanisms of analogical learning // Knowledge acquisition and learning. L., 1993. P.673—694.
  110. Long D., Garigliano R. Reasoning by analogy and causality: a model and application // Ellis Horwood Series in Artificial Intelligence. 1994.
  111. Ramalingham S. Expert System for Manufacturing: example of tools to access manufacturability.—Proceedings of 13'th North American Manufacturing Research Conference, ASM, Dearborn, USA, 1985, p. 411–417.

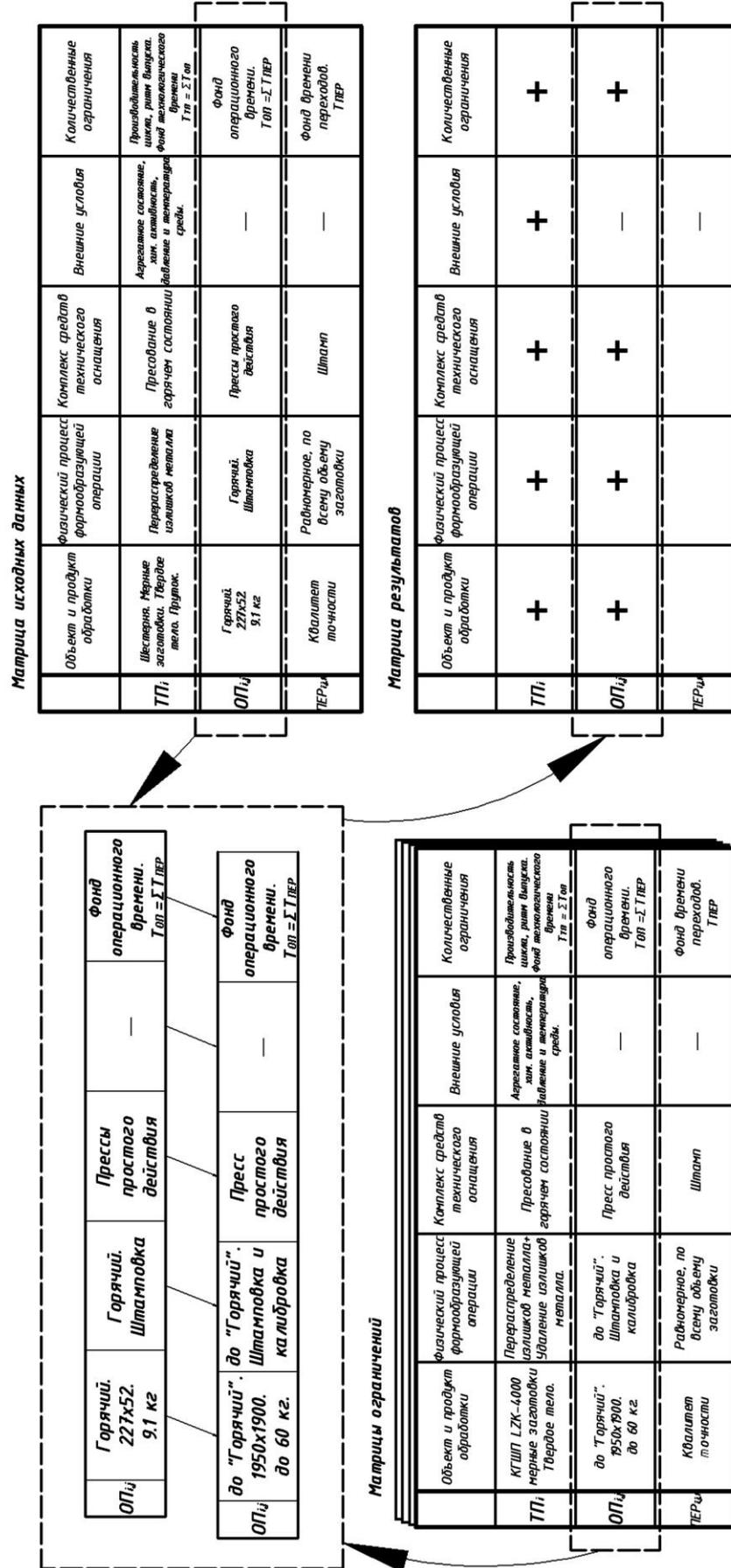
112. Tang J., Oh S. Altan T. The Application of expert system to automatic forging.—Proceedings of 13'th North American Manufacturing Research Conference, ASM, Dearborn, USA, 1985, p. 449–455.
113. Wang, K., Xu, C., Liu, B. Clustering transactions using large items. // Proc. CIKM'99, Kansas, Missouri, 1999.
114. Yang, Y., Guan, H., You. J. CLOPE: a fast and effective clustering algorithm for transactional data // Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, Edmonton, Alberta, Canada. 2002. p. 682 – 687.

# Приложение 1. Матрица исходных данных по ТП

|                          | Объект и продукт обработки  | Физический процесс формообразующей операции     | Комплекс средств технического оснащения                     | Внешние условия  | Количественные ограничения   |
|--------------------------|---|---|---|--|--|
| <b>ТП<sub>i</sub></b>    | Наименование. Габариты.<br>Тип детали. Агрегат. сост-е<br>Структ. сост-е.<br>Вид, заготовки.<br>Способ получения.<br>Масса. | Способы<br>формообразования.                    | Технологическая<br>специализация<br>оборудования.           | Агрегатное состояние, хим.<br>активность, давление и<br>температура среды. | Производительность цикла,<br>ритм выпуска.<br>Фонд технологического<br>времени<br>$T_{тп} = \sum T_{оп}$ |
| <b>ОП<sub>ij</sub></b>   | Температурный режим<br>заготовки.<br>Размеры.<br>Масса.   | Температурный режим<br>обработки. Вид процесса. | Конструктивный тип машин.<br>Количество переходов.          | -----  | Фонд операционного времени.<br>$T_{оп} = \sum T_{пер}$   |
| <b>ПЕР<sub>ijk</sub></b> | Квалитет точности.  | Распределение деформации                        | Конструктивный тип<br>инструмента. Материал<br>инструмента. | -----  | Фонд времени переходов.<br>$T_{пер}$   |

# Приложение 2. Сравнение ячеек матриц

## Пример сравнения ячеек матрицы исходных данных с матрицами ограничения



### Приложение 3. Листинг главного модуля программы

Программный комплекс, реализующий разработанные алгоритмы, написан на языке объектно-ориентированного программирования Delphi 2007.

Листинг основного модуля программы:

```
unit MyUnit;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, Menus,  
StdCtrls, Grids, Upre, UTM, UPS, UAddPre, Math;
```

```
type
```

```
TMyRec = class  
public  
Filds:array of String;  
N:Integer;  
constructor Create(n1:Integer);  
destructor Destroy();  
function Clone():TMyRec;  
end;
```

```
TArray = class  
public  
ArOfRec:array of TMyRec;  
constructor Create();  
function Get(n:Integer):TMyRec;  
procedure Add(MyRec:TMyRec);  
procedure Del(n:Integer);  
function Len():Integer;  
function LenRec():Integer;  
end;
```

```
TPS =class  
public  
PM:TArray;  
PS1,PS2:TMyRec;  
constructor Create();  
function Len():Integer;  
end;
```

```
ROP = record  
TypeOP,ChaOP,Size,power,Time:String;  
end;
```

```
TGeneral=class  
public
```

```

Equipment:TArray;
ListR:TArray;
Indication:array of TArray;
PS:Array of TPS;
TM:array of TArray;
TMM:array of TArray;
constructor Create();
procedure Clustering();
procedure CreateTM();
procedure CreateList();
procedure Group();
end;

```

```

TMyIO =class
class function GetRec(var F:textfile;n:Integer):TArray;
class procedure GetRecInd(var F:textfile;var g:TGeneral);
class procedure SetRec(rec:TArray; TSG: TStringGrid);
class procedure GetRecSG(rec: TArray; TSG: TStringGrid);
class procedure WriteRec(var F: textfile; ar1:TArray);
class procedure WriteRecN(var F: textfile; ar1: TArray;N:integer);
class procedure WriteRecInd(var F: textfile; ar1:array of TArray);
class function CreateRec( arr:array of String;n1:Integer):TMyRec;
class function Srt(s:String;n:Integer):Integer;
class function Equal1(s1,s2:String):Boolean;
class function Equal2(s1,s2:String):Boolean;
class function Equal3(s1,s2:String):Boolean;
class function Equal4(s1,s2:String):Boolean;
end;

```

```

var
i:Integer;
Gen:TGeneral;
F:textfile;
TP,temp,TOT,Pre:TArray;
Rec,Priz:TMyRec;
implementation

```

```
{ TArray }
```

```

procedure TArray.Add(MyRec: TMyRec);
begin
Setlength(ArOfRec,length(ArOfRec)+1);
ArOfRec[High(ArOfRec)]:=MyRec;
end;

```

```

constructor TArray.Create;
begin
Setlength(ArOfRec,0);
end;

```

```

procedure TArray.Del(n: Integer);
begin

```

```

ArOfRec[n].Destroy;
for i:=n to High(ArOfRec)-1 do
  ArOfRec[i]:= ArOfRec[i+1];
Setlength(ArOfRec,High(ArOfRec));
end;

```

```

function TArray.Get(n: Integer): TMyRec;
begin
  Result:=ArOfRec[n];
end;

```

```

function TArray.Len: Integer;
begin
  Result:=length(ArOfRec);
end;

```

```

function TArray.LenRec: Integer;
begin
  Result:=length(ArOfRec[0].Filds);
end;

```

```

{ General }

```

```

procedure TGeneral.Clustering;
label
  W;
var
  i,v,b,n,m,t:Integer;
  bol,qwer:Boolean;
begin
  SetLength(PS,0);
  for I := 0 to EQUIPMENT.Len - 1 do
    if Length(PS)=0 then begin
      Qwer:=True;
      if qwer then
        for v := 0 to Indication[0].Len - 1 do
          for b := 0 to Indication[1].Len - 1 do
            for n := 0 to Indication[2].Len - 1 do
              for m := 0 to Indication[3].Len - 1 do
                if TMyIO.Equal1(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[3],Indication[0].ArOfRec[v].Filds[0])
                  and
TMyIO.Equal2(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[2],Indication[1].ArOfRec[b].Filds[0])
                  and
TMyIO.Equal3(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[4],Indication[2].ArOfRec[n].Filds[0])
                  and
TMyIO.Equal4(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[5],Indication[3].ArOfRec[m].Filds[0]) and Qwer
                then
                  begin
                    SetLength(PS,Length(PS)+1);
                    PS[High(PS)]:=TPS.Create;
                    PS[High(PS)].PM.Add(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Clone);
                    PS[High(PS)].PS1.Filds[0]:=Indication[3].ArOfRec[m].Filds[0];

```

```

PS[High(PS)].PS1.Filds[1]:=Indication[0].ArOfRec[v].Filds[0]+' '+Indication[1].ArOfRec[b].Filds[
0];
    PS[High(PS)].PS1.Filds[2]:=Indication[2].ArOfRec[n].Filds[0];
    PS[High(PS)].PS2.Filds[0]:=Indication[0].ArOfRec[v].Filds[0];
    PS[High(PS)].PS2.Filds[1]:=Indication[1].ArOfRec[b].Filds[0];
    PS[High(PS)].PS2.Filds[2]:=Indication[2].ArOfRec[n].Filds[0];
    PS[High(PS)].PS2.Filds[3]:=Indication[3].ArOfRec[m].Filds[0];
    Qwer:=False;
end;
end
else
begin
    bol:=True;
    for t:=0 to Length(PS)-1 do
        if TMyIO.Equal1(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[3],PS[t].PS2.Filds[0])
            and TMyIO.Equal2(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[2],PS[t].PS2.Filds[1])
            and TMyIO.Equal3(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[4],PS[t].PS2.Filds[2])
            and TMyIO.Equal4(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[5],PS[t].PS2.Filds[3])and bol then
            begin
                PS[t].PM.Add(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Clone);
                bol:=False;
            end;
        if bol then
            for v := 0 to Indication[0].Len - 1 do
                for b := 0 to Indication[1].Len - 1 do
                    for n := 0 to Indication[2].Len - 1 do
                        for m := 0 to Indication[3].Len - 1 do
                            if
TMyIO.Equal1(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[3],Indication[0].ArOfRec[v].Filds[0])
                                and
TMyIO.Equal2(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[2],Indication[1].ArOfRec[b].Filds[0])
                                and
TMyIO.Equal3(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[4],Indication[2].ArOfRec[n].Filds[0])
                                and
TMyIO.Equal4(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Filds[5],Indication[3].ArOfRec[m].Filds[0]) and bol
                            then
                                begin
                                    SetLength(PS,Length(PS)+1);
                                    PS[High(PS)]:=TPS.Create;
                                    PS[High(PS)].PM.Add(EQUIPMENT.ArOfRec[i].Clone);
                                    PS[High(PS)].PS1.Filds[0]:=Indication[3].ArOfRec[m].Filds[0];

PS[High(PS)].PS1.Filds[1]:=Indication[0].ArOfRec[v].Filds[0]+' '+Indication[1].ArOfRec[b].Filds[
0];
                                PS[High(PS)].PS1.Filds[2]:=Indication[2].ArOfRec[n].Filds[0];
                                PS[High(PS)].PS2.Filds[0]:=Indication[0].ArOfRec[v].Filds[0];
                                PS[High(PS)].PS2.Filds[1]:=Indication[1].ArOfRec[b].Filds[0];
                                PS[High(PS)].PS2.Filds[2]:=Indication[2].ArOfRec[n].Filds[0];
                                PS[High(PS)].PS2.Filds[3]:=Indication[3].ArOfRec[m].Filds[0];
                                Bol:=False;
                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

end;
end;

constructor TGeneral.Create;
begin
EQUIPMENT:=TArray.Create;
ListR:=TArray.Create;
SetLength(Indication,4);
SetLength(TM,4);
TM[0]:= TArray.Create;
TM[1]:= TArray.Create;
TM[2]:= TArray.Create;
TM[3]:= TArray.Create;
SetLength(TMM,4);
TMM[0]:= TArray.Create;
TMM[1]:= TArray.Create;
TMM[2]:= TArray.Create;
TMM[3]:= TArray.Create;
Indication[0]:=TArray.Create;
Indication[1]:=TArray.Create;
Indication[2]:=TArray.Create;
Indication[3]:=TArray.Create;
SetLength(PS,0);
end;

```

```

procedure TGeneral.CreateList;
var
t,r,y,u:Integer;
temp:TMyRec;
x1,x2,x3,x4:Double;
Min,Max:array[0..3] of Double;
begin
ListR:=Tarray.Create;
min[0]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[6]);
max[0]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[6]);
min[1]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[7]);
max[1]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[7]);
min[2]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[8]);
max[2]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[8]);
min[3]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[9]);
max[3]:=StrTofLoat(TM[0].ArOfRec[0].Filds[9]);
for r:=0 to 3 do
for t:=0 to TM[r].Len-1 do begin
if min[0]>StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[6]) then
min[0]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[6]);
if max[0]<StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[6]) then
max[0]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[6]);
if min[1]>StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[7]) then
min[1]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[7]);
if max[1]<StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[7]) then
max[1]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[7]);

```

```

    if min[2]>StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[8]) then
min[2]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[8]);
    if max[2]<StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[8]) then
max[2]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[8]);
    if min[3]>StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[9]) then
min[3]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[9]);
    if max[3]<StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[9]) then
max[3]:=StrTofLoat(TM[r].ArOfRec[t].Filds[9]);
    end;
for t:=0 to TMM[0].Len-1 do begin
    temp:=TMyRec.Create(6);
    temp.Filds[0]:='TM'+IntTOSTr(t+1);
    temp.Filds[1]:=TMM[0].ArOfRec[t].Filds[0];
    temp.Filds[2]:=TMM[1].ArOfRec[t].Filds[0];
    temp.Filds[3]:=TMM[2].ArOfRec[t].Filds[0];
    temp.Filds[4]:=TMM[3].ArOfRec[t].Filds[0];
    x1:=StrTofLoat(Priz.Filds[0])*((StrTofLoat(TMM[0].ArOfRec[t].Filds[6])-min[0])/(max[0]-
min[0])+(StrTofLoat(TMM[1].ArOfRec[t].Filds[6])-min[1])/(max[1]-min[1])+(max[2]-
StrTofLoat(TMM[2].ArOfRec[t].Filds[6]))/(max[2]-min[2])+(max[3]-
StrTofLoat(TMM[3].ArOfRec[t].Filds[6]))/(max[3]-min[3])));
    x2:=StrTofLoat(Priz.Filds[1])*((StrTofLoat(TMM[0].ArOfRec[t].Filds[7])-min[0])/(max[0]-
min[0])+(StrTofLoat(TMM[1].ArOfRec[t].Filds[7])-min[1])/(max[1]-min[1])+(max[2]-
StrTofLoat(TMM[2].ArOfRec[t].Filds[7]))/(max[2]-min[2])+(max[3]-
StrTofLoat(TMM[3].ArOfRec[t].Filds[7]))/(max[3]-min[3])));
    x3:=StrTofLoat(Priz.Filds[2])*((StrTofLoat(TMM[0].ArOfRec[t].Filds[7])-min[0])/(max[0]-
min[0])+(StrTofLoat(TMM[1].ArOfRec[t].Filds[8])-min[1])/(max[1]-min[1])+(max[2]-
StrTofLoat(TMM[2].ArOfRec[t].Filds[8]))/(max[2]-min[2])+(max[3]-
StrTofLoat(TMM[3].ArOfRec[t].Filds[8]))/(max[3]-min[3])));
    x2:=StrTofLoat(Priz.Filds[3])*((StrTofLoat(TMM[0].ArOfRec[t].Filds[8])-min[0])/(max[0]-
min[0])+(StrTofLoat(TMM[1].ArOfRec[t].Filds[9])-min[1])/(max[1]-min[1])+(max[2]-
StrTofLoat(TMM[2].ArOfRec[t].Filds[9]))/(max[2]-min[2])+(max[3]-
StrTofLoat(TMM[3].ArOfRec[t].Filds[9]))/(max[3]-min[3])));
    temp.Filds[5]:=FloatToStr(Math.RoundTo(x1+x2+x3+x4,-3));
    ListR.Add(temp);
end;

end;

```

```

procedure TGeneral.CreateTM;

```

```

var

```

```

    t,r,y,u:Integer;

```

```

begin

```

```

    SetLength(TMM,4);

```

```

    TMM[0]:= TArray.Create;

```

```

    TMM[1]:= TArray.Create;

```

```

    TMM[2]:= TArray.Create;

```

```

    TMM[3]:= TArray.Create;

```

```

if (TM[0].Len<>0)and(TM[1].Len<>0)and(TM[2].Len<>0)and(TM[3].Len<>0) then

```

```

    for t := 0 to TM[0].Len - 1 do

```

```

        for r := 0 to TM[1].Len - 1 do

```

```

            for y := 0 to TM[2].Len - 1 do

```

```

                for u := 0 to TM[3].Len - 1 do

```

```

begin
  TMM[0].Add(TM[0].ArOfRec[t]);
  TMM[1].Add(TM[1].ArOfRec[r]);
  TMM[2].Add(TM[2].ArOfRec[y]);
  TMM[3].Add(TM[3].ArOfRec[u]);
end
else
  ShowWMessage('Не найдено ни одного TM');
end;

procedure TGeneral.Group;
var
  l,i,t:Integer;
begin
  SetLength(TM,4);
  TM[0]:= TArray.Create;
  TM[1]:= TArray.Create;
  TM[2]:= TArray.Create;
  TM[3]:= TArray.Create;
  for I := 0 to Length(PS)-1 do begin
    if TmyIO.Equal1(TOT.ArOfRec[0].Filds[1],PS[i].PS2.Filds[0])
      and TmyIO.Equal3(TOT.ArOfRec[0].Filds[2],PS[i].PS2.Filds[2])
      and TmyIO.Equal4(TOT.ArOfRec[0].Filds[0],PS[i].PS2.Filds[3])then
      for t:=0 to PS[i].Len-1 do
        TM[0].Add(PS[i].PM.ArOfRec[t]);
    if TmyIO.Equal1(TOT.ArOfRec[1].Filds[1],PS[i].PS2.Filds[0])
      and TmyIO.Equal3(TOT.ArOfRec[1].Filds[2],PS[i].PS2.Filds[2])
      and TmyIO.Equal4(TOT.ArOfRec[1].Filds[0],PS[i].PS2.Filds[3])then
      for t:=0 to PS[i].Len-1 do
        TM[1].Add(PS[i].PM.ArOfRec[t]);
    if TmyIO.Equal1(TOT.ArOfRec[2].Filds[1],PS[i].PS2.Filds[0])
      and TmyIO.Equal3(TOT.ArOfRec[2].Filds[2],PS[i].PS2.Filds[2])
      and TmyIO.Equal4(TOT.ArOfRec[2].Filds[0],PS[i].PS2.Filds[3])then
      for t:=0 to PS[i].Len-1 do
        TM[2].Add(PS[i].PM.ArOfRec[t]);
    if TmyIO.Equal1(TOT.ArOfRec[3].Filds[1],PS[i].PS2.Filds[0])
      and TmyIO.Equal3(TOT.ArOfRec[3].Filds[2],PS[i].PS2.Filds[2])
      and TmyIO.Equal4(TOT.ArOfRec[3].Filds[0],PS[i].PS2.Filds[3])then
      for t:=0 to PS[i].Len-1 do
        TM[3].Add(PS[i].PM.ArOfRec[t]);
  end;

end;

{ TMyRec }

function TMyRec.Clone: TMyRec;
var
  temp: TMyRec;
begin
  temp:=TMyRec.Create(N);
  for I := 0 to N - 1 do

```

```
    temp.Filds[i]:=Filds[i];
    Result:=temp;
end;
```

```
constructor TMyRec.Create(n1: Integer);
begin
    N:=n1;
    SetLength(Filds,N);
end;
```

```
destructor TMyRec.Destroy;
begin
    Filds:=nil;
end;
```

```
{ TMyIO }
```

```
class function TMyIO.CreateRec( arr: array of String; n1: Integer): TMyRec;
var temp:TMyRec;
begin
    temp:=TMyRec.Create(n1);
    for i:=0 to n1-1 do
        temp.Filds[i]:=arr[i];
    Result:= temp;
end;
```

```
class function TMyIO.Equal1(s1, s2: String): Boolean;
var
    bol:Boolean;
begin
    bol:=False;
    if (s1=s2) or (s2='Любое')then
        bol:=True;
    Result:=bol;
end;
```

```
class function TMyIO.Equal2(s1, s2: String): Boolean;
var
    bol:Boolean;
begin
    bol:=False;
    if (s1=s2) or (s2='Любое')then
        bol:=True;
    Result:=bol;
end;
```

```
class function TMyIO.Equal3(s1, s2: String): Boolean;
var
    bol:Boolean;
    x1,x2:Integer;
begin
    bol:=False;
```

```

x1:=StrToInt(s1);
x2:=StrToInt(s2);
if (x1<=x2) or (x2=0) or (x1=0)then
  bol:=True;
Result:=bol;
end;

```

```

class function TMyIO.Equal4(s1, s2: String): Boolean;
var
  bol:Boolean;
  x1,x2,y1,y2:Integer;
begin
  bol:=False;
  x1:=Srt(s1,1);
  y1:=Srt(s1,2);
  x2:=Srt(s2,1);
  y2:=Srt(s2,2);
  if ((x1<=x2) or (x2=0) or (x1=0))and((y1<=y2) or (y2=0)or (y1=0))then
    bol:=True;
  Result:=bol;
end;

```

```

class function TMyIO.GetRec(var F: textfile; n: Integer): TArray;
var
  S,xS:string;
  j,k:integer;
  temp:TMyRec;
  ar:Tarray;
begin
  reset(F);
  ar:=Tarray.Create;
  while not Eof(F) do
    begin
      ReadLn(F,S);
      j:=1;
      k:=0;
      temp:=TMyRec.Create(n);
      while j<=length(S) do begin
        if S[j]=chr(9) then begin
          temp.Filds[k]:=xS;
          k:=k+1;
          xS:="";
        end
        else begin
          xS:=xS+S[j];
        end;
        inc(j);
      end;
      ar.Add(temp);
    end;
  CloseFile(F);
  Result:=ar;
end;

```

```

end;

class procedure TMyIO.GetRecInd(var F: textfile; var g: TGeneral);
var
  S,xS:string;
  v,j:integer;
  temp:TMyRec;
begin
  reset(F);
  v:=0;
  while not Eof(F) do
    begin
      ReadLn(F,S);
      j:=1;
      while j<=length(S) do begin
        if S[j]=chr(9) then begin
          temp:=TMyRec.Create(1);
          temp.Filds[0]:=xS;
          g.Indication[v].Add(temp);
          xS:="";
        end
        else begin
          xS:=xS+S[j];
        end;
        inc(j);
      end;
      inc(v);
    end;
  CloseFile(F);
end;

class procedure TMyIO.GetRecSG(rec: TArray; TSG: TStringGrid);
var i,j:Integer;
begin
  for i:=0 to rec.Len-1 do
    for j:=0 to rec.LenRec-1 do
      rec.ArOfRec[i].Filds[j]:=TSG.Cells[j,i+1];
    end;
end;

class procedure TMyIO.SetRec(rec: TArray; TSG: TStringGrid);
var i,j:Integer;
begin
  TSG.RowCount:= rec.Len+1;
  for i:=0 to rec.Len-1 do
    for j:=0 to rec.LenRec-1 do
      TSG.Cells[j,i+1]:=rec.Get(i).Filds[j];
    end;
end;

class function TMyIO.Srt(s: String; n: Integer): Integer;
label
  Q;
var

```

```

s1:String;
begin
s1:="";
for I := 1 to length(s) do
begin
if (s[i]<>'x') and(s[i]<>'x') then
s1:=s1+s[i]
else
if n=1 then
goto Q
else
s1:="";
end;
Q:Result:=StrToInt(s1);
end;

```

```

class procedure TMyIO.WriteRec(var F: textfile; ar1: TArray);
var
j:integer;
S:String;
begin
Rewrite(F);
for i:=0 to ar1.Len-1 do begin
S:="";
for j:=0 to ar1.LenRec-1 do
S:=S+ar1.ArOfRec[i].Filds[j]+chr(9);
WriteLn(F,S);
end;
CloseFile(F);
end;

```

```

class procedure TMyIO.WriteRecInd(var F: textfile; ar1: array of TArray);
var
j:integer;
S:String;
begin
Rewrite(F);
for i:=0 to 3 do begin
S:="";
for j:=0 to ar1[i].Len-1 do
S:=S+ar1[i].ArOfRec[j].Filds[0]+chr(9);
WriteLn(F,S);
end;
CloseFile(F);
end;

```

```

class procedure TMyIO.WriteRecN(var F: textfile; ar1: TArray; N: integer);
var
j:integer;
S:String;
begin
Rewrite(F);

```

```
for i:=0 to n-1 do begin
  S:="";
  for j:=0 to ar1.LenRec-1 do
    S:=S+ar1.ArOfRec[i].Filds[j]+chr(9);
  WriteLn(F,S);
end;
CloseFile(F);
end;
{ TPS }
```

```
constructor TPS.Create;
begin
  PM:=TArray.Create;
  PS1:=TMyRec.Create(3);
  PS2:=TMyRec.Create(5);
end;
```

```
function TPS.Len: Integer;
begin
  Result:=Length(PM.ArOfRec);
end;
```

```
end.
```

**Приложение 4. Технологическое оборудование  
штамповочного цеха ПО «Начало»**

| № п/п | Наименование и тип оборудования                      | Изготовитель       | Краткая характеристика   | Кол-во |
|-------|--|--------------------|--|--------|
| 1     | 2  | 3                  | 4  | 5      |
| 1     | Пресс двойного действия РКпVT-1000                   | «Erfurt», Германия | ус. 630/400 т.с.; стол 2800х4000; з.в. внутр.1060-1620; з.в. нар.840–1400                      | 1      |
| 2     | Пресс двойного действия К7038-00-001                 | г. Воронеж         | Ус. 630/400 т.с.; стол 2800х4000 з.в.; внутр. 1300–1800; з.в. нар.1200–1700                    | 1      |
| 3     | Пресс К3540  | г. Воронеж         | ус. 1000 т.с.; стол 1800х3150; з.в. 550–870  | 4      |
| 4     | Пресс КА3540   | г. Воронеж         | ус. 1000 т.с.; стол 1800х3150; з.в.550–870   | 1      |
| 5     | Пресс КА4537   | г. Воронеж         | ус. 500 т.с.; стол 1800х3150; з.в. 730–1230  | 2      |
| 6     | Пресс РКZV-500                                       | «Erfurt», Германия | ус 500 т.с.; стол 2100х3150; з.в. 580–1060   | 1      |
| 7     | Пресс РКZZ-500                                       | «Erfurt», Германия | ус. 500 т.с.; стол 1500х2800; з.в. 600–1100  | 5      |
| 8     | Пресс четырехрычажный F4E40х2,7 с выдвигными столами | «SPIERTZ», Франция | ус. 400 т.с.; стол 2700х1640; з.в. 940–1300  | 5      |
| 9     | Пресс РКZZ-315                                       | «Erfurt», Германия | ус. 315 т.с.; с подачей ВZ 1600х800; стол 1400х2500; з.в. 510–890                              | 1      |
| 10    | Пресс многопозиционный А6134А                        | г. Барнаул         | ус. 250 т.с.; 8 позиций, расстояние между позициями 300 мм, мах; ширина ленты 300 мм           | 2      |
| 11    | Пресс КД 2326  | г. Сальск          | ус. 40 т.с.; ЗВШ=250 мм.   | 1      |
| 12    | Пресс КД 2128  | г. Сальск          | ус. 63 т.с.; ЗВШ=255   | 12     |
| 13    | Пресс К 2130 А                                       | г. Барнаул         | ус. 100 т.с.; ЗВШ=300  | 22     |
| 14    | Пресс КВ 2132  | г. Ивано-Франковск | ус. 160 т.с.; ЗВШ=340  | 7      |
| 15    | Пресс К 04160 134                                    | г. Воронеж         | ус. 250 т.с.; ЗВШ=420  | 3      |
| 16    | Пресс К 04160 134 с клещевой подачей                 | г. Воронеж         | ус. 250 т.с.; ЗВШ=420; уровень подачи 180; ширина ленты — 270; шаг подачи — 250; толщина — 2,5 | 2      |
| 17    | Пресс КА 2535 А                                      | ВЗТМП              | ус. 315 т.с.; закрытая высота: 430–570 мм; ход ползуна: 400мм; усилие маркета 7(63) т.с.       | 6      |
| 18    | Пресс К 2538   | ВЗТМП              | ус. 630 т.с.; закрытая высота: 440–620 мм; ход ползуна, мм: 400; усилие маркета 7,8(105) т.с.  | 6      |
| 19    | ХВА двух ударный однопозиционный АВ1221              | г. Чемкент         | ус. 100 т.с., диаметр стержня 12 мм  | 1      |

| 1  | 2   | 3                        | 4                                   | 5 |
|----|---|--------------------------|-------------------------------------|---|
| 20 | ХВА многопозиционный<br>TPZ-6 YZ                      | Чехословакия,<br>г. Брно | ус. 50 т.с., диаметр проволоки 8 мм | 1 |
| 21 | ХВА многопозиционный<br>TPZ8 YZ                       | Чехословакия,<br>г. Брно | ус. 78 т.с., диаметр проволоки 8 мм | 1 |
| 22 | ХВА для изготовления<br>пустотелых заклепок<br>AB0216 | Украина,<br>г. Одесса    | ус. 25 т.с.                         | 1 |
| 23 | ХВА многопозиционный<br>для гаек AB1821               | г. Азов                  | ус. 200 т.с.                        | 1 |