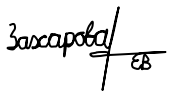
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



ЗАХАРОВА ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА

«Автоматизированное проектирование гильотинного раскроя металлопроката в условиях массового и крупносерийного производства»

2.3.7 – Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., проф. И.Ф. Дьяков

Ульяновск – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Наименование раздела стр.

ВВЕДЕНИЕ....4

Глава 1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСКРОЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА....16

1.1. Анализ состояния проблемы проектирования раскроя....16

1.2. Технологическая подготовка производства холодноштампованных изделий и проектирование гильотинного раскроя....21

1.3. Классификация и анализ методов решения задач раскроя....31

1.4. Постановка задачи проектирования гильотинного раскроя....35

1.5. Применение САПР для проектирования раскроя промышленных материалов....48

1.6. Краткие выводы....55

Глава 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ И АРХИТЕКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ О ПОДЕТАЛЬНОМ РАСКРОЕ....57

2.1. Методологическая основа решения задач оптимального раскроя....57

2.2. Классификация деталей из листового проката при проектировании раскроя....59

2.3. Разработка архитектуры базы данных о подетальном раскрое....66

2.4. Разработка математической модели раскроя металлопроката....70

2.4.1. Описание геометрии плоского контура детали с оптимальным расположением заготовки на материале....70

2.4.2. Выбор оптимального раскроя с наименьшим потреблением металла....75

2.4.3. Оптимальный раскрой по критерию оптимизации и формирование оптимизированного сортамента....87

2.4.4. Раскрой оптимизированного сортамента с применением высокопроизводительного режущего оборудования....90

2.4.5. Разработка модифицированного алгоритма оптимального раскроя с учетом выбора сортамента металла и режущего оборудования....92

2.6. Краткие выводы....102

Глава 3 РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ САПР ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ....104

3.1. Разработка базы данных «Кластер деталей ПРОМ-2013» для управления данными о подетальным раскрое....104
3.2. Разработка программы оптимизации раскроя «ПРОМ-2013» 109
3.3. Разработка информационного обеспечения программы оптимизации раскроя «ПРОМ-2013»....117
3.4. Разработка САПР оптимального раскроя листового металлопроката для производства штампованных деталей и ее функциональные возможности 121
3.5. Краткие выводы....126
Глава 4 ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ 127
4.1. Реализация программно-методического комплекса проектирования ресурсосберегающего раскроя....127
4.1.1. Цель и планирование вычислительных экспериментов 127
4.1.2. Результаты экспериментальных исследований раскроя для номенклатуры деталей холодноштамповочного производства....128
4.1. Сравнительный анализ трудоемкости проектирования раскроя 159
4.2. Расчет экономической эффективности результатов исследования....162
4.3. Краткие выводы....167
ЗАКЛЮЧЕНИЕ....168
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ....171
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 172
ПРИЛОЖЕНИЯ 186
Приложение А 186
Приложение Б....187
Приложение В....188
Приложение Г 190
Приложение Д....191
Приложение Е....198
Приложение Ж....200
Приложение И 203
Приложение К....204

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность машиностроительного производства отчасти определяется снижением потребления металла, затраты на который составляют значительную часть в себестоимости выпускаемой продукции. С конструктивно-технологической точки зрения, в связи с рассматриваемыми вопросами раскроя, подходы к повышению эффективности производства состоят в снижении металлоемкости деталей – с одной стороны, и в оптимизации раскроя и закупок металлопроката с привлечением альтернативных поставщиков проката – с другой.

Проблема экономного потребления металла и снижения металлоемкости в современных конкурентных условиях производства не только не потеряла своей значимости, но и ускорились темпы решения этой задачи, в частности, за счет экономичного раскроя с альтернативным выбором оптимальных типоразмеров сортамента металлопроката с разных металлургических комбинатов в сочетании с оптимальными закупками проката.

Наиболее часто, в условиях массового и крупносерийного производства возникают задачи ортогонального раскроя, представляющие собой многостороннюю теоретическую и практическую проблему. В процессе решения таких задач осуществляется одно- и двухмерное прямолинейное размещение на листовом металлопрокате (рулоне, ленте, полосе, листе) прямоугольных заготовок заданных размеров с учетом производственных, технологических и оптимизационных ограничений. Оптимальное решение задач раскроя, как правило, дает высокий экономический эффект, что обуславливает постоянное внимание ученых и специалистов-производственников к этой проблеме.

Фундаментальные разработки в этой научной области принадлежат ученым Л.В. Канторовичу и В.А. Залгаллеру, которые заложили теоретические основы оптимизации задач раскроя-упаковки на основе применения методов линейного программирования. За рубежом задачи раскроя-упаковки нашли развитие в работах P. Gilmore, R.Gomory, позднее G. Scheithauer, J. Terno, H. Dykhoff, A. Bortfeldt. Дальнейшие исследования задач оптимального раскроя проводились

отечественными учеными Е.П. Бороновским, И.В. Романовским, Э.А. Мухачевой, И.П. Норенковым, А.С. Филипповой, А.Ф. Валеевой, Ю.А. Кочетовым, В.П. Житниковым, В.М. Картак.

При создании, освоении и отработке новой конструкции изделия на технологичность весьма желательным является сотрудничество конструктора и технолога в части определения путей снижения металлопотребления и потерь при раскрое. Поэтому уже на этапе проектирования к раскрою и расчету норм расхода относятся с большим вниманием.

На этапе освоения изделия регулярно проводят анализ потерь металла и отходов, возникающих в производстве, и в первую очередь, рассматриваются операции раскроя, что позволяет обозначить причины неэффективного использования металлопроката и определить резервы его экономии. При проектировании и нормировании раскроя решаются следующие задачи:

- экономия металлопроката с использованием экономико-математических методов оптимального раскроя;

- расчет экономически и технологически обоснованных норм расхода;

- оперативность оптимального раскроя металла, поступившего на замену.

В различных изданиях опубликованы методы и алгоритмы решения задачи оптимизации раскроя, ставшие основой многих программных продуктов по раскрою промышленных материалов. Основным критерием оптимального раскроя является максимальное количество заготовок с наиболее плотным их расположением на раскраиваемом материале. Однако на подход к решению проблемы экономного потребления материала все сильнее воздействуют экономические факторы. И для оценки экономичности раскроя становится недостаточным использование только общепринятых показателей (коэффициента раскроя материала и коэффициента его использования). Для выбора экономически выгодного раскроя с учетом динамично меняющихся экономических показателей, таких как, план производства деталей, стоимостные характеристики металла, необходимо применение нового обобщенного критерия. Это позволит придать более гибкие действия процессу проектирования раскроя,

значительно увеличить экономию металлоресурсов и затрат, связанных с ними, и таким образом повысить эффективность использования материальных и финансовых средств предприятием.

Машиностроительные комплексы относятся к основным потребителям металлопродукции с годовыми объемами потребления металла свыше 50 млн. т. Однако современная политика ценообразования производителей-поставщиков металлургической продукции ограничивает рост металлопотребления. Цена одной тонны листового проката достигает нескольких десятков тысяч рублей. Даже незначительное сокращение потребления металла и расходов на его приобретение принесет отрасли машиностроения существенный экономический эффект.

На производстве успешное решение задачи оптимального раскроя металлопроката зависит от правильной организации, четкости, взаимосвязанности между отдельными службами и подразделениями. Систематический учет металла на складах и в цехах, выдача металлопроката со склада в цех, составление карт раскроя, организация технологического процесса резки, складирование металла и нарезанных заготовок, планомерная подача заявленных заготовок на штамповку связаны с большим и разнообразным по форме объемом документооборота. Для повышения достоверности учета движения и обеспечения сохранности металла, заготовок, готовых деталей; поиска резервов экономного потребления металлопроката и снижения себестоимости выпускаемой продукции необходимо формирование точных информационных банков, кластеризация вводимых данных по деталям, по сортаменту металлопроката (с указанием цены), производимого металлургическими комбинатами, по раскройному оборудованию, своевременное изменение информации, контроль и анализ используемого металла.

Реализация перечисленных задач возможна с помощью современных экономико-математических методов и моделей раскроя, организации на предприятии централизованного раскроя с применением вычислительной техники, создания и использования САПР.

Повышенный интерес к вопросу снижения материалоемкости при одновременном дефиците запасов ресурсов, а также отсутствие адаптированных к

конкретным производствам моделей для оценки экономичности раскроя по критерию, учитывающему современные экономические факторы, свидетельствуют об актуальности и важности темы исследования.

Цель диссертационной работы состоит в повышении эффективности использования материальных и финансовых средств предприятием на основе разработанных математической модели и алгоритма оптимального раскроя металлопроката на прямоугольные заготовки в условиях крупносерийного и массового производства.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе автор предлагает решение следующих **основных задач**:

1. **Разработать** критерий оптимизации раскроя – ресурс-стоимостной показатель для повышения эффективности раскроя и минимизации затрат на металл.

2. **Сформулировать** общие положения построения методики решения задачи оптимального раскроя с минимизацией затрат на металл.

3. **Разработать** классификатор холодноштампованных деталей для создания базы данных о подетальном раскрое металла.

4. **Разработать** архитектуру базы данных для управления данными о раскрое металла.

5. **Разработать** математическую модель гильотинного раскроя оптимизированного металлопроката на основе критерия оптимизации ресурс-стоимостного показателя для подетальной экономии металлоресурсов и финансовых средств.

6. **Разработать** модифицированный алгоритм оптимального раскроя с учетом выбора сортамента металла и режущего оборудования для снижения потребления и минимизации затрат на металл.

7. **Создать** программно-методический комплекс для оптимизации раскроя на основе разработанных и модифицированных модели и алгоритма.

8. **Провести** тестирование, промышленное опробование и внедрить программное обеспечение в производство в составе АРМ технолога по проектированию раскроя и технологии резки металла.

Объектом исследования является номенклатура штампуемых деталей прессового цеха ООО «УАЗ» и сортамент листового металлопроката с различных металлургических комбинатов с указанием стоимостных характеристик металла.

Предметом исследования являются модель, алгоритм и методика проектирования ресурсосберегающего раскроя и их реализация в системах САПР и АСУТПП.

Методы исследований в диссертации основаны на применении математического моделирования, включая математический анализ и дифференциальную геометрию; теоретических основ САПР; алгоритмизации; методов оптимизации, включая линейное программирование. Для реализации предложенных модели и алгоритма использованы программы MathCad2000Pro, Microsoft Visio, Microsoft Excel, MS Access и Delphi.

Разработанные в диссертации модель и алгоритм были проверены с помощью вычислительного эксперимента.

Научная новизна работы заключается в разработке математической модели и алгоритма оптимального раскроя металлопроката. В работе:

1. **Разработан критерий оптимизации раскроя** – ресурс-стоимостной показатель, отличающийся тем, что при определении рационального раскроя с его использованием учитывается минимизация не только потребляемого металла, но и минимизация затрат на приобретение проката с получением ежегодной экономии (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 41-44 страницы диссертационной работы.

2. **Сформулированы общие положения построения методики** оптимального гильотинного раскроя и предложена структурная схема проектирования ресурсосберегающего раскроя металла, отличающаяся применением нового критерия оптимизации РСП и оптимизационным расчетом до достижения оптимального (наименьшего) результата РСП, что позволит

обеспечить наилучшее использование металла с точки зрения оптимизации затрат (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 44-46 и 57-58 страницы диссертационной работы.

3. **Разработан классификатор** деталей, изготавливаемых из листового проката, отличающийся спецификой номенклатуры заготовок холодноштамповочного производства и систематизацией их по новым установленным классификационным признакам, позволяющий определить структуру базы данных о подетальном раскрое металла (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 59-67 страницы диссертационной работы.

4. **Разработана архитектура БД** «Кластер деталей ПРОМ-2013», отличающаяся структурой связей объектов базы и уникальным кодом (пятнадцатизначным номером детали), позволяющими управлять данными о подетальном раскрое, предоставлять оперативную информацию об оптимальных результатах раскроя в виде «Карт раскроя материала», ускорять ввод данных и сокращать время проектирования раскроя (пункт 2 паспорта специальности 2.3.7), 66-69 и 104-109 страницы диссертационной работы.

5. **Разработана математическая модель раскроя** листового проката на прямоугольные заготовки для крупносерийного и массового производства в зависимости от нового критерия оптимизации ресурс-стоимостного показателя, реализованная с применением метода линейного программирования, отличающаяся вводом изменяющихся норм расхода и формированием оптимизированного сортамента, что позволит минимизировать затраты на металл (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 70-92 страницы диссертационной работы.

6. **Разработан модифицированный алгоритм оптимального раскроя**, отличающийся использованием расширенного сортамента с разных металлургических заводов с учетом их стоимостных показателей; ведением расчета раскроя для деталей, принадлежащих к одной группе (по толщине и марке металла); выбором оптимального варианта раскроя по минимальному значению ресурс-стоимостного показателя, что позволит произвести необходимое количество деталей с наименьшим потреблением металлопроката и

минимальными финансовыми затратами (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 92-102 страницы диссертационной работы.

7. **Создан программно-методический комплекс для оптимизации раскроя** с использованием разработанных и модифицированных на основе ресурс-стоимостного показателя модели и алгоритма, что позволяет произвести оценку затрат при раскрое листового проката, и выбрать наилучший вариант с минимизацией затрат на металл и получением экономии по каждой детали (пункт 2 паспорта специальности 2.3.7), 109-126 страницы диссертационной работы.

Решение поставленных задач позволяет автору вынести на защиту следующие **основные положения**:

1. Ресурс-стоимостной показатель в качестве критерия оптимизации при определении рационального раскроя.

2. Структурная схема проектирования раскроя с минимизацией затрат на металл.

3. Классификатор параметров деталей, штампуемых из листового проката, для создания базы данных о подетальном раскрое.

4. Архитектура БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» для управления данными о раскрое металла.

5. Математическая модель гильотинного раскроя оптимизированного металлопроката на основе критерия оптимизации ресурс-стоимостного показателя.

6. Модифицированный алгоритм оптимального раскроя для снижения потребления металлопроката и минимизации затрат на металл.

Практическая значимость результатов диссертационной работы определяется созданием программно-методического комплекса проектирования оптимального раскроя, в состав которой входят разработанные программа оптимизации раскроя и база данных о подетальном раскрое. БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» позволяет систематизировать, ускорить ввод данных и сократить время проектирования раскроя. Программа ПРОМ-2013» оптимизации раскроя листового металлопроката с учетом технологических ограничений и

производственных условий, обеспечивающая наилучшее использование металла с точки зрения оптимизации затрат по металлу, может быть использована в качестве рабочего прототипа универсального программного обеспечения, реализующего предложенные модель и алгоритм расчета раскроя. ПМК позволит проанализировать затраты при раскрое и выбрать экономически выгодный вариант. Прогнозируемая ежегодная экономия составит порядка 3–5 % от годовых расходов на приобретение металла.

Реализация и внедрение результатов работы. Апробирование результатов работы (в виде методики оптимального раскроя с минимизацией затрат на металл и рабочего прототипа программного обеспечения для оптимизации раскроя) осуществлено в ООО «УАЗ» (г. Ульяновск) (приложение В). Апробирование было выполнено при подготовке производства холодноштампованных деталей новых образцов автомобилей с целью перспективного прогнозирования конкурентоспособности, а также для анализа действующих вариантов раскроя и технологий резки по обеспечению минимальных затрат по металлу.

Востребованность результатов диссертационного исследования подтверждается их внедрением в производственно-технологическую деятельность дирекции по производству в ООО «УАЗ» (г. Ульяновск). На основании предложенной методики и алгоритма решения задачи раскроя с применением нового критерия оптимизации автором диссертации подано и внедрено более 200 предложений в статусе рационализаторских, Кайдзен-предложений и заявлений по снижению издержек с экономическим эффектом более 25 млн. рублей. За высокие производственно-экономические показатели и внесение в экономику Ульяновской области значительного экономического эффекта автору присвоены звания «Лучший рационализатор ОАО «УАЗ»» и «Лучший рационализатор области».

Материалы диссертационной работы используются на Ульяновском автомобильном заводе, на курсах повышения квалификации руководителей и ИТР, а также в учебном процессе Ульяновского государственного технического

университета. Разработанная методика решения задачи оптимального раскроя может быть адаптирована под конкретное производство и, безусловно, актуальна для промышленной индустрии.

Апробация результатов исследования. Полученные в ходе диссертационного исследования научные и практические результаты представлены на конференциях, таких, как: 47-ой научно-технической конференции УлГТУ (г. Ульяновск, 2013 г.); Международной научно-технической конференции «Современные технологии обработки металлов давлением: моделирование, проектирование, производство» (Москва, 2013 г.); 48-ой научно-технической конференции УлГТУ (г. Ульяновск, 2014 г.); VII-ой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2014г.); Международной научно-технической конференции «Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением» (Санкт-Петербург, 2014г.); Международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении–основа технологического развития России» (Барнаул, 2014г.).

Публикации. Согласно темы диссертационного исследования опубликованы 12 печатных работ, в их числе 4 статьи – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2016611103, приложение А) и базы данных (№2017620130, приложение Б).

Личный вклад автора. Результаты диссертационной работы, перечисленные в основных положениях, выносимых на защиту, их апробация и внедрение в производство получены или выполнены лично автором. В соавторстве разработана база данных, создана программа оптимизации гильотинного раскроя. Подготовка к публикации некоторых результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим.

Структура и объем работы. Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела и заключение, изложенные на 205 страницах, содержит 79

рисунков, 32 таблицы, 134 наименования используемых источников и приложения.

Во введении диссертационной работы поставлена цель работы; обоснована актуальность проведения исследований по оптимизации гильотинного раскроя в диссертационной работе; описаны основные научные положения, выносимые на защиту; сформулирована научная новизна диссертационного исследования и практическая значимость результатов; приведены сведения об апробации результатов проведенной работы на научных конференциях, их реализации и внедрении; дано краткое описание содержания разделов диссертации.

В первом разделе диссертационной работы на основе анализа состояния современных проблем проектирования листового металлопроката выявлено, что составление планов раскроя и выбор наилучшего варианта раскроя на заданном материале является одним из сложных и трудоемких процессов. С целью повышения эффективности гильотинного раскроя и минимизации затрат на металл автором предлагается рассматривать допустимые варианты раскроя сортамента металла всех типоразмеров с разных металлургических комбинатов с учетом уровня их цен и выбирать оптимальный раскрой с получением наиболее экономичной заготовки с наименьшей себестоимостью. Представлена постановка задачи проектирования оптимального раскроя с минимизацией финансовых затрат и сформирована целевая функция с использованием комплексного критерия затрат или ресурс-стоимостного показателя. Создана автором структурная схема проектирования ресурсосберегающего гильотинного раскроя металла, основанная на использовании предложенного автором показателя. Выполнен анализ методов решения задач раскроя, программ и автоматизированных систем, широко применяемых в условиях единичного и мелкосерийного производства большой номенклатуры деталей с использованием группового раскроя. В условиях массового и крупносерийного производства для линейного и гильотинного раскроя предложен эффективный метод решения с применением линейного программирования и создание нового программного

продукта с применением нового критерия оптимизации.

Во втором разделе рассмотрена методологическая составляющая исследования. Автором проанализирована номенклатура деталей, изготавливаемых из листового металла, установлены отличительные признаки, в соответствии с которыми создан классификатор холодноштампованных деталей, ставший базой для создания программного продукта по оптимизации раскроя металлопроката. Автором разработана архитектура базы данных для управления данными о подетальном раскрое. Автором разработана модель гильотинного раскроя с минимизацией финансовых затрат, основанная на применении ресурс-стоимостного показателя. В общем виде решение задачи раскроя разделено на три этапа. Для реализации оптимизации раскроя автором предложен модифицированный алгоритм раскроя листового проката для деталей, принадлежащих к одной группе по толщине и марке металла, имеющий по сравнению с существующим алгоритмом раскроя существенные отличия.

В третьем разделе описана последовательность решения задачи оптимального раскроя с определением ресурс-стоимостного показателя и формированием выходных документов наилучшего варианта раскроя. На основании выполненной автором классификации деталей, изготавливаемых из листового металла, создана база данных о подетальном раскрое. Для автоматизированного проектирования раскроя в условиях массового и крупносерийного производства создана программа раскроя металлопроката на основе ресурс-стоимостного показателя, которая позволяет произвести оценку затрат при раскрое листового проката, и выбрать оптимальный вариант с минимизацией финансовых затрат. Разработанные база данных и программа оптимизации раскроя листового материала являются основными компонентами программно-методического комплекса создаваемой САПР, работающей в двух режимах (на стадии ТПП и на стадии изготовления).

В четвертом разделе рассмотрено тестирование нового программного продукта, созданного на основе модели и алгоритма, разработанных автором в результате выполнения диссертационной работы, и проходившее на базе ООО

«УАЗ». В процессе автоматизированного раскроя исследованы заготовки-представители с разной проблематикой раскроя и проведены 5 экспериментов. Полученные в ходе апробации технико-экономические показатели раскроя сопоставлены с технологическими данными гильотинного раскроя на производстве. По результатам экспериментальных исследований установлено, что использование средств автоматизированного проектирования раскроя эффективно снижает трудоемкость расчета раскроя и трудоемкость разработки карт раскроя по сравнению с ручным методом. Выполненный автором расчет экономической эффективности результатов исследования по оптимизации металлопроката с применением программы свидетельствует об эффективности разработанного алгоритма и программного комплекса.

В заключении представлены основные выводы и результаты проведенного диссертационного исследования.

В приложении приведены свидетельства о государственной регистрации БД, программы для ЭВМ, копии актов об использовании результатов работы, удостоверения на рационализаторские предложения автора, разработанные и внедренные в ходе диссертационного исследования.

Глава 1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСКРОЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА

1.1. Анализ состояния проблемы проектирования раскроя

Важнейшим резервом экономии материалов [1] и, в частности, листового металла является оптимальный раскрой проката, преимущественно с использованием ЭВМ [2]. Поэтому для материалопотребляющих производств разных отраслей промышленности (металлургии, машиностроении, химической, швейной, стекольной и бумажной индустрии) задачи раскроя являются важнейшими, и им уделяется повышенное внимание. К **задачам раскроя** относятся [3]:

- раскрой листового материала на прямоугольные заготовки;
- продольная резка рулона на ленты (слиттинг);
- раскрой листового материала на заготовки сложной формы (нестинг);
- раскрой изделий для разных типов производства (единичного, серийного и массового);
- задача о выборе для раскроя материала с оптимальными размерами;
- покрытие поверхности объектами случайных размеров и др.

Общим для задач раскроя является наличие малых и крупных объектов соответственно с меньшими и большими значениями некоторой характеристики (например, длина, площадь, вес и т.д.). В качестве малых объектов рассматриваются заготовки (полосы, карточки), а в качестве крупных объектов – материал для раскроя в виде листов и рулонов. Между элементами этих групп необходимо установить и оценить соответствие. В условиях производства холодноштампованных изделий задача раскроя листового металла (рулонов, лент, полос, листов) на прямоугольные заготовки заданных размеров относится к задачам генерации одно- и двухмерного прямолинейного размещения с учетом производственных, технологических и оптимизационных ограничений.

С помощью задач раскроя-упаковки C&P (Cutting and Packing) решается значительный класс проблем [4], представленных в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Применение задач раскроя-упаковки

Вид задачи раскроя-упаковки	Содержание решаемой проблемы
Задача раскроя запаса материала	Минимизация исходного материала
Задача плотного размещения геометрических объектов в заданной области	Размещение грузов, товаров на складе
Задача загрузки рюкзака	Выбор множества элементов с максимальной суммарной ценностью, по объему не превосходящих объем рюкзака
Задача упаковки контейнеров	Размещение предметов в ограниченной области
Задача выбора ассортимента	Выбор при заказе одного размера из стандартных
Задача планировки помещений	Максимизация полезных площадей при планировании с учетом технологических требований
Задача распределения производственных мощностей	Распределение памяти вычислительной машины
Задача обеспечения ритмичности производственного процесса	Составление расписания многопроцессорных систем
Раскрой листового материала на случайные заготовки	Раскрой с учетом опережения-запаздывания производства заготовок
Максимальное (минимальное) геометрическое покрытие	Расстановка минимального количества единиц оборудования на заданной площади

В поисках оптимального решения задач раскроя основополагающими стали труды Л.В. Канторовича и В.А. Залгаллера [5 – 7]. В решаемых задачах, выполненных без учета формы размещаемых объектов и названных линейными, необходимо было определить минимум линейной функции при линейных ограничениях. В работе [8] решена проблема одномерного раскроя-упаковки методами линейного программирования и впоследствии использован математический линейный аппарат в задачах раскроя бумаги. При рассмотрении гильотинного раскроя [9] была решена двумерная задача раскроя. Авторы применили динамическое программирование к решению задач раскроя.

Типологический анализ задач C&P проводился известными авторами исследований в области раскроя [10, 7, 3]. Качественная классификация задач

раскроя предложена немецким ученым H. Dykhoff [4]. На рисунке 1.1 представлены основные классификационные факторы в задачах раскроя [4]: мерность областей; ассортимент объектов; вид назначения; ассортимент элементов; оптимизация; размерность объектов и областей; геометрия объектов; вид реализации; геометрия области (серым цветом выделены объекты, соответствующие нашему рассмотрению).

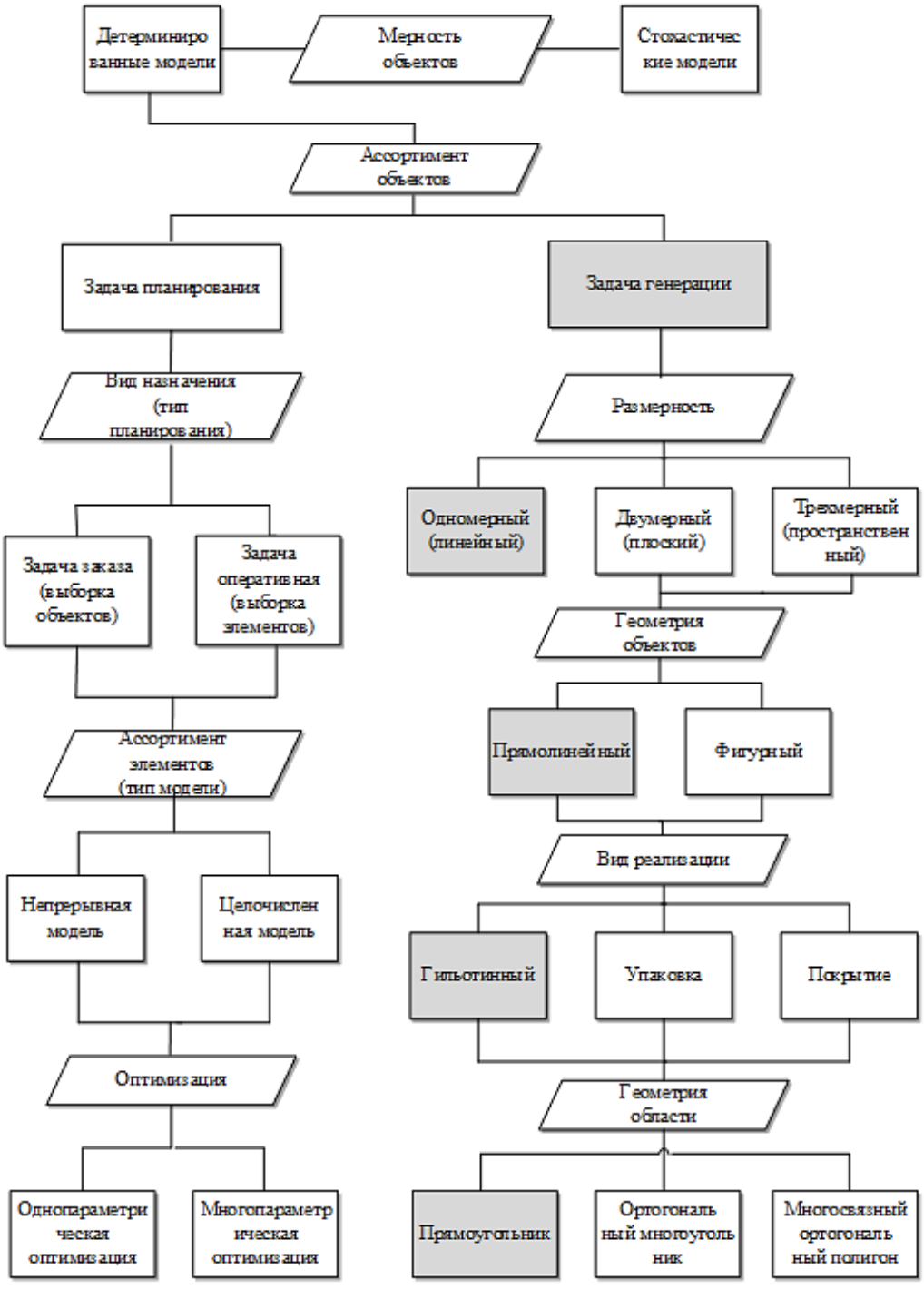


Рисунок 1.1 - Классификация моделей задач раскроя-упаковки

Основная классификационная характеристика мерность областей расположена на верхнем уровне и разделяет исходные данные на детерминированные и стохастические модели, соответствующие областям с фиксированными и случайными параметрами.

Предметные области для применения задач раскроя различные, со своими требованиями и дополнительными ограничениями, обусловленными спецификой производства, с конкретизацией раскроя и своим способом решения путем адаптации известных алгоритмов.

Наиболее часто решаемые **одномерные задачи** C&P:

- задача загрузки рюкзака KP (Knapsack Packing), для решения которой известен псевдо-полиномиальный алгоритм [11]. В рюкзак известной вместимостью необходимо уложить заданное множество элементов. Элементы имеют определенные свойства веса (длины) и ценности. Требуется заполнить рюкзак элементами максимальной суммарной ценности при одновременном соблюдении ограничения суммарного веса.

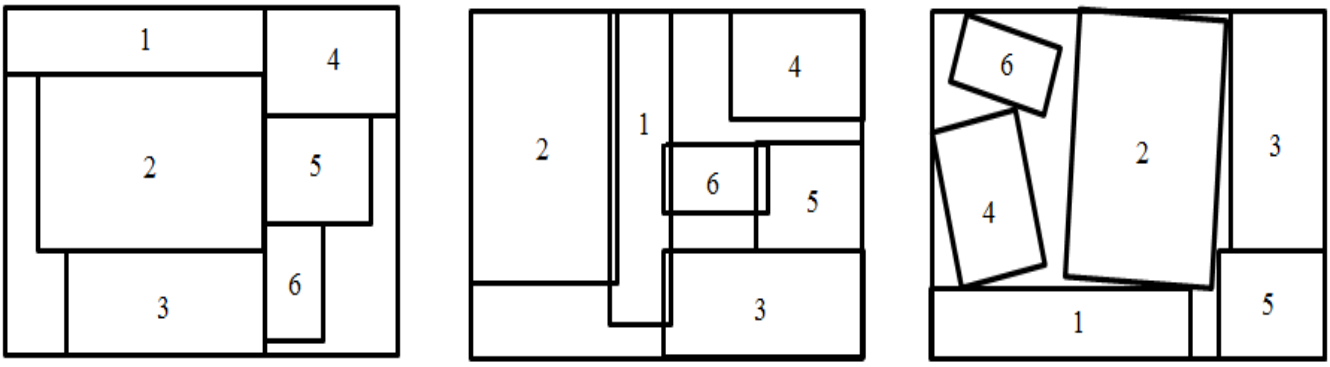
- задача одномерного раскроя 1DCS (1 Dimensional Cutting Stock). Необходимо раскроить комплект одинакового материала (прутков, стержней, полос, рулонов) на заготовки заданной длины с минимальными материальными затратами.

В 30-х – 40-х годах прошлого века Л.В. Канторович и В.А. Залгаллер [7], позднее в 1951 году Данциг [12], в 1961 году P. Gilmore, R. Gomory [8] представили решение задачи 1DCS с использованием методов линейного программирования. Первые задачи размещения геометрических объектов без учета формы получили название линейных. В этих задачах необходимо было определить минимум линейной функции при линейных ограничениях.

- задача одномерной упаковки 1DBP (1 Dimensional Bin Packing) Необходимо раскроить материал на заготовки, каждая из которых раскраивается в единственном экземпляре. Задачу одномерной упаковки, принадлежащую к классу NP-сложности, представили Н. Гэри и Д. Джонсон [13].

Задачи с двухмерными областями и объектами относят к более высокому уровню сложности. В этой категории чаще всего рассматриваются задачи прямоугольной упаковки и гильотинного раскроя. Опубликованные работы [14, 15, 16] представляют большой интерес к поиску эффективных методов оптимального раскроя. В качестве основного критерия оптимального раскроя выбирается наиболее плотное расположение заготовок на заданном материале [17, 18, 19, 20].

В **задачах прямоугольной упаковки** решается задача размещения PP (Packing Problem) малых объектов внутри больших областей без взаимного пересечения и перекрытия, при условии достижения заданной целевой функцией максимума или минимума. На рисунке 1.2 изображены примеры прямоугольной упаковки. Эти задачи также относятся по своей сложности к классу NP-задач, для которых не существует точных методов их решения.



а) *б*) *в*)

Рисунок 1.2 - Примеры прямоугольного раскроя: *а*) допустимый прямоугольный раскрой; *б*) недопустимый прямоугольный раскрой; *в*) неортогональная упаковка

- задача упаковки прямоугольников в полосу 2DSP (2 Dimensional Strip Packing Problem) минимальной длины. Требуется упаковать прямоугольник в полосу заданной ширины (W) и переменной длины (L).В 1980 году A. Hinxman [20] называет задачу прямоугольной ортогональной упаковки в полубесконечную полосу как 1.5-размерную задачу 1.5DBP (1.5 Dimensional Bin Packing). Для решения этой задачи на множестве допустимых упаковок рулона требуется минимизировать длину занятой части полосы.

- задача упаковки прямоугольников в контейнеры 2DBP (2 Dimensional Bin Packing Problem) заданных размеров: шириной (W) и длиной (L). Для упаковки прямоугольных заготовок необходимо найти минимальное число контейнеров (листов).

- задача упаковки прямоугольников в открытую область (квадрант) 2DAP (2 Dimensional Area Packing Problem) переменных размеров: шириной (W) и длиной (L) при условии, что площадь описывающего элементы прямоугольника достигает минимума.

В представленной классификации особое внимание уделяется задаче гильотинного раскроя и проблеме нестинга – расположения деталей сложной формы в заданных областях. Главным условием успешного решения этих задач является точное информационное описание и кодирование фигуры с тем, чтобы избежать пересечения и перекрытия объектов между собой и с границей области размещения. Гильотинный раскрой, являющийся главным в рамках данной работы, представлен отдельно.

1.2. Технологическая подготовка производства холодноштампованных изделий и проектирование гильотинного раскроя

В процессе технологической подготовки рассматриваются все возможные варианты изготовления холодноштампованных изделий с выполнением оптимального соотношения «затраты – эффект», сравниваются натуральные показатели и себестоимость, рассчитанные при разных вариантах. Предпочтительно выбирается технология с минимальной себестоимостью продукции при условии обеспечения планируемого качества изготовления и производительности труда [21].

При индивидуальном и мелкосерийном производствах на себестоимость продукции оказывает влияние стоимость штамповой оснастки. В этом случае для производства малозатратной штамповки применяют универсальные штампы со сменными рабочими частями. В крупносерийном и массовом производстве при проектировании технологии важное оценочное значение отдается трудоемкости

изготовления и расходу металла, т.к. при производстве многотысячной номенклатуры с годовой программой в десятки или сотни тысяч эти показатели могут достигать астрономических значений [22, 23].

В крупносерийном и массовом производстве изделий автомобильной промышленности больше применяется сварных конструкций из штампованных деталей простой формы. Например, узел, формирующий проем дверей, на автомобиле УАЗ-469 состоит из четырех деталей с последующей сваркой. Несложная конструкция деталей автомобилей старого модельного ряда отчасти объясняет более экономное использование металлопроката при их производстве. В конструкции современных автомобилей содержится значительное количество цельноштампованных деталей с повышенной глубиной вытяжки и сложной пространственной геометрией. Тот же рассматриваемый узел, формирующий проем дверей, на автомобиле УАЗ-«Patriot» состоит из одной цельноштампованной детали. Примеры сложных деталей, изготовленных методом холодной штамповки, представлены на рисунке 1.3.

Согласно классификатору деталей [24, 25, 26], изготавливаемых из листовой стали, разработанного Комитетом по штампуемости США, детали современных автомобилей относятся к наиболее сложным и соответствуют 6, 7 группам сложности (всего 7 групп сложности). Качественное изготовление таких деталей требует сложной технологической надстройки, сложной геометрии заготовки и повышенного расхода металла.

Первоначальной операцией производства холодноштампованных деталей является раскрой листового металлопроката на заготовки.

Раскрой металлопроката заключается в определении экономически выгодных вариантов размещения заготовок на поставляемом материале с применением существующего режущего оборудования [27]. Заготовки могут иметь различную форму от прямоугольника или близкого к нему до сложной конфигурации, состоящей из прямых и кривых линий.

Рисунок 1.3 - Примеры сложных холодноштампованных деталей, изготавливаемых на предприятиях автомобильной тематики

При гильотинном раскрое рез выполняется параллельно кромкам раскраиваемого листа. В ***единичном*** и ***мелкосерийном*** производстве применяется метод ***группового раскроя,*** при котором на листе размещаются детали различного наименования (рисунок 1.4).

Гильотинная резка наиболее эффективно применяется в ***крупносерийном и массовом*** производствах с использованием ***индивидуального раскроя*** на одноименные заготовки, что не требует частой переустановки упоров и переналадки автоматического режущего оборудования.

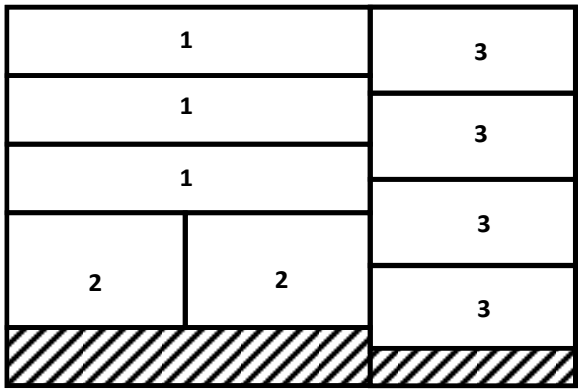


Рисунок 1.4 - Гильотинный раскрой листа (одинаковые заготовки отмечены одним и тем же номером)

При гильотинном раскрое проката на заготовки возможны ***3 варианта схем***:

1. ***Схема продольного раскроя*** – раскраиваемые заготовки размещают вдоль листа/ рулона (по длине). Продольную резку применяют для получения полос, лент, штрипсов – заготовок для сварных труб, рисунок 1.5.

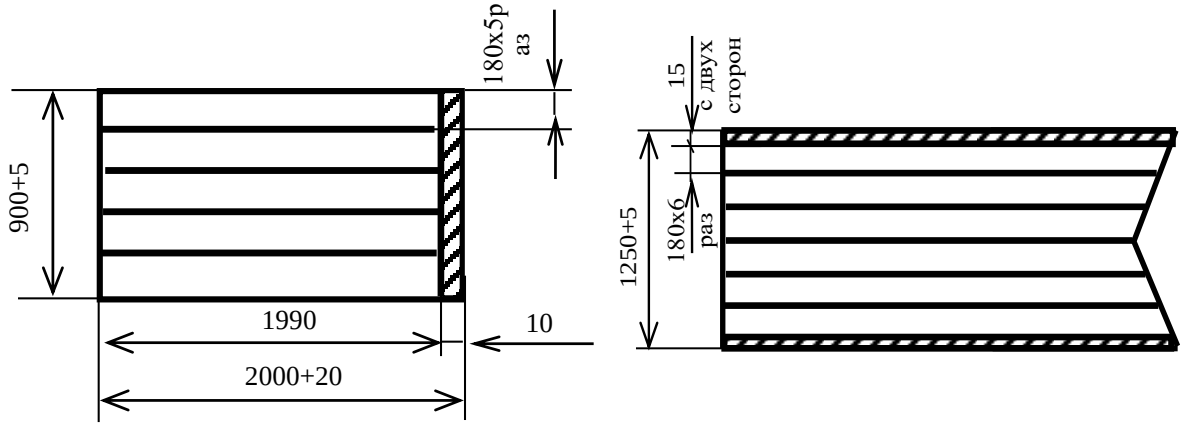


Рисунок 1.5 - Схема продольного раскроя листа/рулона

2. ***Схема поперечного раскроя*** – заготовки располагают по ширине листа/ рулона, в основном поперек линии проката, рисунок 1.6.

3. ***Комбинированный раскрой – сочетание продольного и поперечного*** раскроя одноименных заготовок, рисунок 1.7.

Для каждого варианта поперечного, продольного и комбинированного определяются показатели раскроя. Исходя из производственного опыта, при одинаковых результатах раскроя по нескольким вариантам принимается к раскрою схема с большими по ширине и длине размерами полосы. При таких

схемах производится большее количество деталей, т.к. шаг вырубки меньше и, соответственно, сокращается трудоемкость на разделительных операциях. Результаты раскроя металла учитываются в подетальных нормах расхода.

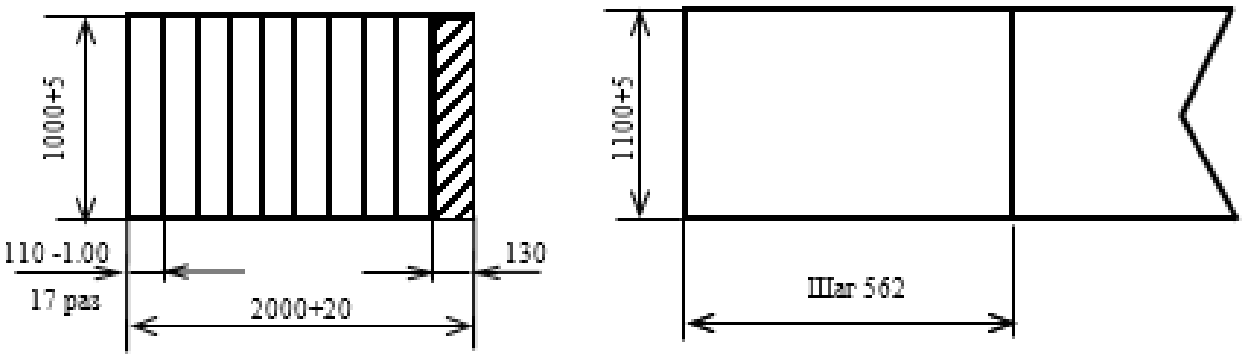


Рисунок 1.6 - Схема поперечного раскроя листа/ рулона

Также существует раскрой листового проката с отходом и безотходный. ***Безотходный раскрой*** применяется для простых по форме деталей, невысокой точности, с различным, но сопрягающимся контуром (рисунок 1.8, а). Для деталей сложной конфигурации и повышенной точности, соответствующей 10-13 квалитету, применяют ***раскрой с отходами*** (рисунок 1.8, б) в виде перемычек двух видов: между деталями – по шагу вырубки («*a*») и боковых перемычек («*b*»). Из такой заготовки детали получают вырубкой по замкнутому контуру.

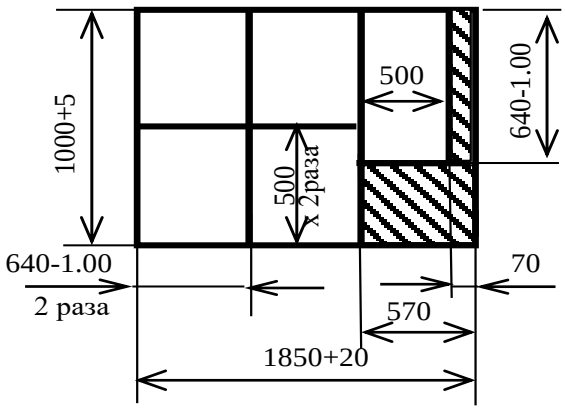


Рисунок 1.7 - Схема комбинированного раскроя листа

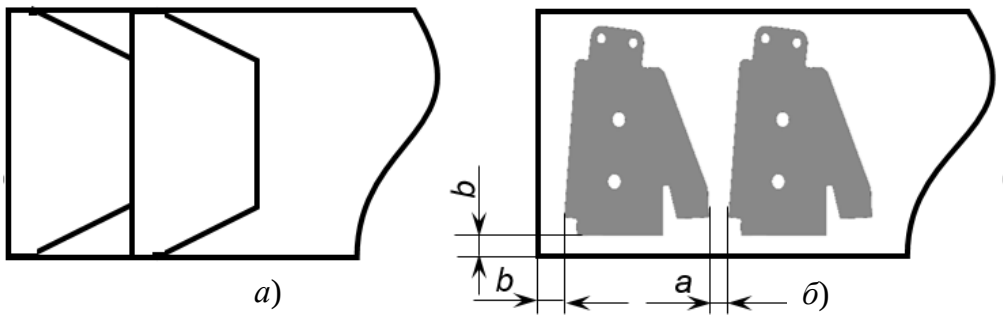


Рисунок 1.8 - Примеры раскроя металла: а) безотходный раскрой; б) раскрой с отходом

Величина перемычек определяется толщиной и твердостью материала, размерами и конфигурацией вырубаемых деталей, конструктивными особенностями оснастки [28]. Отходы металла на перемычки должны быть минимальными.

В процессе решения раскройных задач составляются варианты раскроя листового материала на заготовки (полосы и/ или карты), а также варианты укладки деталей в полосе. Как уже отмечено, в массовом и крупносерийном производстве выполняется раскрой прямоугольного листового проката на прямоугольные заготовки с применением метода индивидуального раскроя, т.е. на заготовки одного наименования. При последующей металлообработке из заготовки может производиться одна деталь или одновременно несколько одноименных деталей (в случае их совместного «спаренного» изготовления с последующей и разрезкой). В зависимости от габаритов такая заготовка называется индивидуальной заготовкой, картой или карточкой. При получении из заготовки последовательно нескольких деталей называется полосой или «интегральной» заготовкой. На рисунке 1.9 приведены примеры размещения деталей в заготовке, применяемые в действующем производстве.

На этапе технологической подготовки производства формируется наилучший способ расположения заготовки на заданном материале с определением оптимальных размеров и норм расхода. Однако, при ограниченных сроках выполнения раскроя значительной номенклатуры типоразмеров раскраиваемого металлопроката и деталей, проектирование раскроя становится весьма трудной задачей.

На производстве стремятся к рациональному использованию металла с получением наивыгоднейшего варианта раскроя с минимальным количеством отходов. ***Отходы*** раскроя обусловлены отсутствием кратности размеров заготовки размерам листа, формой заготовки, и подразделяются на используемые (деловые) и неиспользуемые. Из деловых отходов изготавливают небольшие детали. Неиспользуемые отходы отправляются в цех сбора металлолома и затем на переплав.

Потери – это часть металла, безвозвратно теряемая в процессе производства деталей. Потери обусловлены техническим состоянием производства и причинами, не зависящими от технологического процесса.

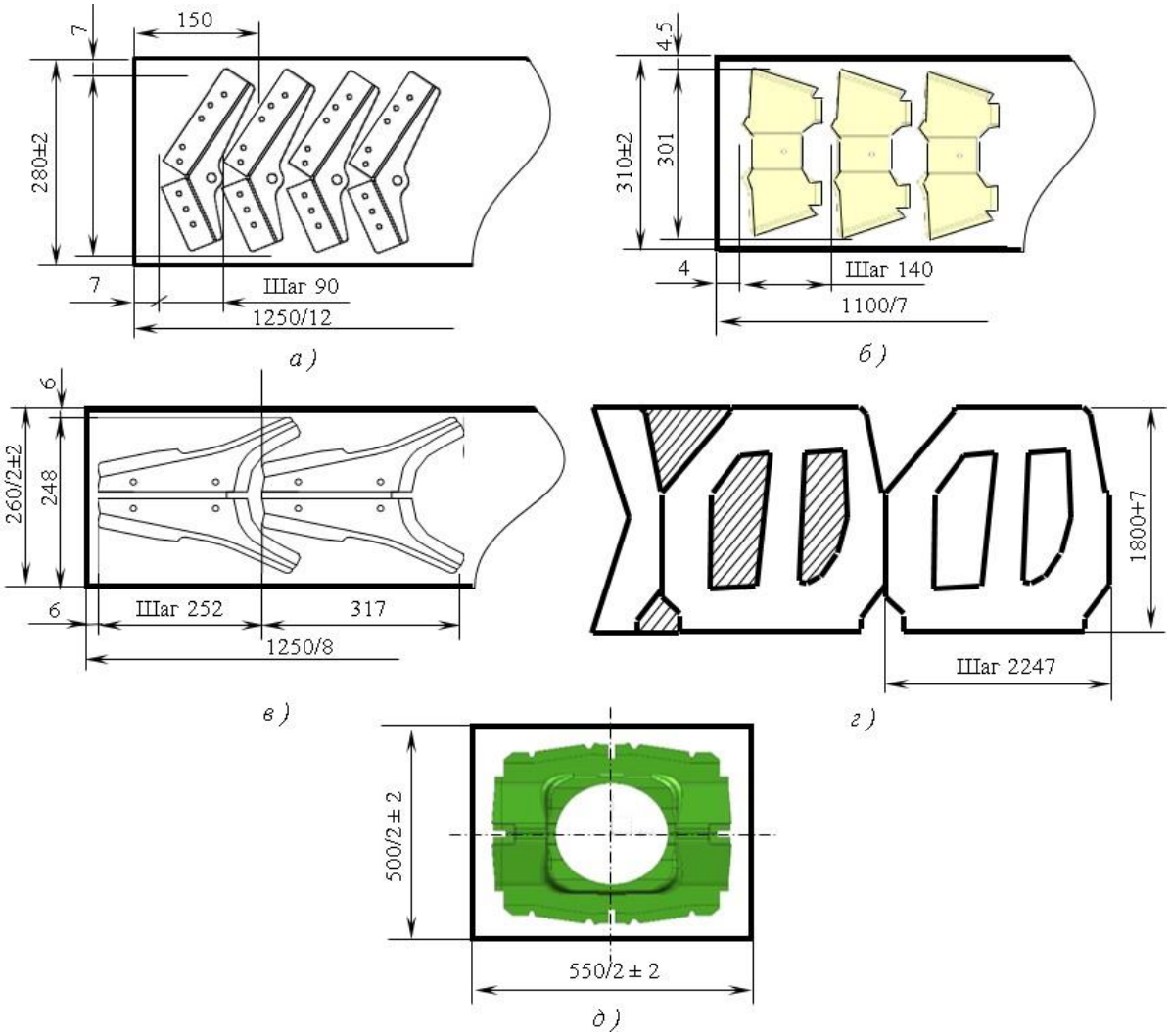


Рисунок 1.9- Примеры укладки деталей в заготовке из листовой стали:
а) наклонный раскрой в полосе; б) прямой раскрой в полосе; в) прямой раскрой в полосе с вложением деталей (с вырубкой заготовки на две детали для совместного изготовления и с последующей их разрезкой); г) раскрой рулона на индивидуальные фасонные заготовки; д) индивидуальная заготовка на четыре детали для совместного изготовления с последующей их разрезкой

Потери металла и отходы учитываются в норме расхода, содержащей массу детали по чертежу и потери нормируемого металлопроката, связанные с ее изготовлением. О совершенстве технологического процесса можно судить по тому, насколько тщательно разработаны специалистами производств нормы расхода и эффективно используется металл (т.е. следует стремиться к увеличению полезной составляющей в норме).

Результаты раскроя металла учитываются в подетальных нормах расхода. Под ***нормой расхода (подетальной)*** понимается максимально допустимое количество металлопроката, которое требуется для качественного изготовления заданной детали в производственных условиях и рассчитывается по формуле [29]:

$$Н_р = М + О + П,$$

где $М$ − масса детали − полезное потребление металла для изготовления продукции; $О$ – технологические отходы; $П$ − потери металла – часть металла, безвозвратно теряемая в процессе производства деталей.

Отходы подразделяются на используемые (деловые) и неиспользуемые. Из деловых отходов изготавливают небольшие детали. Неиспользуемые отходы отправляются в цех сбора металлолома и затем на переплав. Потери обусловлены техническим состоянием производства и причинами, не зависящими от технологического процесса. О совершенстве технологического процесса можно судить по тому, насколько тщательно разработаны специалистами производств нормы расхода и эффективно используется металл (т.е., следует стремиться к увеличению полезной составляющей в норме).

Для оценки эффективности раскроя металла применяются следующие технико-экономические показатели (ТЭП): КРМ – коэффициент раскроя листового металла ($К_р$) и КИМ – коэффициент использования металла ($К_и$) [27].

Коэффициент раскроя металла на одноименные заготовки в массовом производстве определяется по формуле [27]:

$$K_р = \frac{n\,S}{B\,L}100\%, \qquad (1.1)$$

где $К_р$ – коэффициент раскроя металла; n – количество деталей из листа; S – площадь поверхности детали; B – ширина листа; L – длина листа.

Вариант расположения заготовок с максимальным значением коэффициента раскроя ($К_р$ должен приближаться к 1,0 или 100 %) считается самым выгодным.

Коэффициент использования металла характеризует использование металла при механической обработке и определяется по формуле [27]:

$$K_и = \frac{М}{Н_р}100\%, \qquad (1.2)$$

где $К_и$ – коэффициент использования металла; $М$ – масса детали; $Н_р$ – норма расхода металла на одну деталь.

Максимальное значение коэффициента использования металла, как и коэффициента раскроя, равно 1,0 или 100 %. В машиностроении коэффициент использования металла в среднем составляет 0,7. И чем меньше серийность производства, тем $К_и$ ниже. На значение КИМ также влияет выбор рационального раскроя, основными принципами которого являются: 1) Обеспечение наивыгоднейшего использования металла с наибольшим значением КИМ и наименьшим потреблением металла, получение безотходных и малоотходных способов раскроя; 2) Применение образующихся при резке отходов для производства других небольших деталей, что позволит сократить заказ металлопроката и повысить общий КИМ около 7–10 %.

Выбор наивыгоднейшего раскроя для конкретного материала (типоразмера, марки) сводится к сравнению вариантов раскроя (по норме расхода, КИМ). Выбирается оптимальный раскрой с наименьшей нормой, наибольшим КИМ и минимальными отходами по некратности.

Раскрой, позволяющий получить заготовку с минимальными затратами по трудоемкости и материалоемкости на имеющемся режущем оборудовании и с минимальной стоимостью оснастки, называется ***рациональным*** или ***оптимальным***. Вариант раскроя можно представить графически в виде ***карты раскроя,*** в которой содержится информация о раскраиваемой заготовке, характеристики металла, схема раскроя проката, сведения об остатках металла при раскрое.

С целью повышения эффективности раскроя и минимизации затрат на металл необходимо рассматривать допустимые варианты раскроя всех типоразмеров сортамента с разных металлургических комбинатов-поставщиков с учетом их разных стоимостных показателей. По результатам сравнительного анализа выбирать оптимальный раскрой с получением наиболее экономичной заготовки с наименьшей себестоимостью.

Для управления процессом раскроя и подготовки данных необходима

классификация деталей, подлежащих раскрою. В различных источниках предложены разные классификации деталей, для которых заготовки получаются вырубкой на штампах. В работе [2] представлена классификация заготовок, изготавливаемых из листа, и классификация основных видов раскроя (таблицы 1.2 и 1.3) для определенной номенклатуры деталей.

Таблица 1.2 - Классификация заготовок по конфигурации [2]

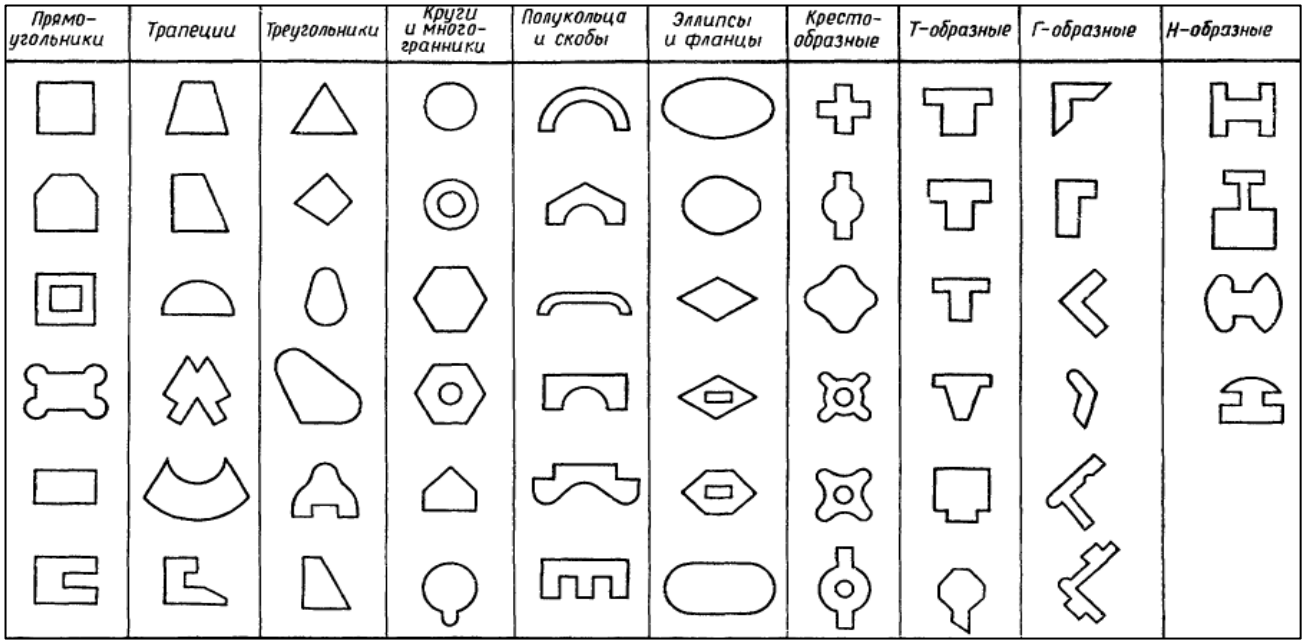
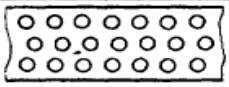
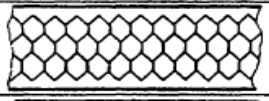
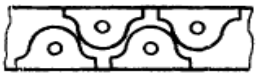
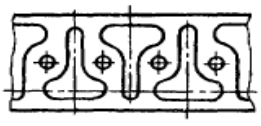
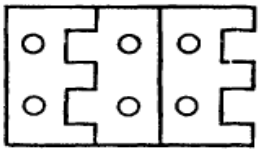


Таблица 1.3 - Классификация видов раскроя [2]

Вид раскроя	Эскиз раскроя		Группа заготовок
Прямой			Прямоугольники
Однорядный			Треугольники и трапеции
Многорядный			Круги и многогранники
Наклонный			Г-образные эллипсы, фланцы крестообразные
Встречный прямой			Полукольца и скобы Т-образные, Г-образные
Встречный наклонный			Т-образные
Комбиниро-ванный			Н-образные, крестообраз-ные, Т-образные

С точки зрения раскроя их систематизация является сложным процессом, хотя от нее зависит качество и время реализации раскроя. Однако, во-первых, приведенные классификации не являются исчерпывающими, а во-вторых, для специфичной номенклатуры определенного производства (например, автомобильного производства) требуется исходный классификатор деталей основного и сопутствующих производств.

1.3. Классификация и анализ методов решения задач раскроя

Необходимость экономии затрат (материальных, финансовых, трудовых, временных) при производстве продукции способствовало развитию технологии инженерного проектирования и постоянному росту интереса к вопросам раскроя и упаковки.

Советский ученый Канторович Л.В. занимался проблематикой составления наилучшего плана загрузки производственного оборудования и опубликовал работу [30], в которой предложил эффективный метод решения экстремальных задач с ограничениями (метод разрешающих множителей), позднее сформировавшийся как метод линейного программирования. Предложенный метод был описан в книге Л.В. Канторовича и В.А. Залгаллера [7]. В 60-е годы прошлого века зарубежные ученые P. Gilmore, R. Gomory и H. Forster [31, 8], а впоследствии J. Terno, R. Lindeman & G. Scheithauer [3, 16] предложили аналогичные методы решения задачи раскроя.

Для генерирования раскроя российскими исследователями Э.А. Мухачевой [32, 10] и И.В. Романовским [33, 34] были разработаны сеточный метод и метод склейки. Для решения раскройных задач в условиях производства с применением линейного программирования Э.А. Мухачевой были разработаны алгоритмы условной оптимизации [35, 36]. Для поиска точного решения задач раскроя-упаковки, относящихся к классу NP-трудных задач комбинаторной оптимизации, необходимо осуществлять перебор всех решений [30].

Это способствовало применению и дальнейшему развитию при размещении объектов и конструировании рациональных раскроев приближенных методов, эвристик и метаэвристик (рисунок 1. 10).

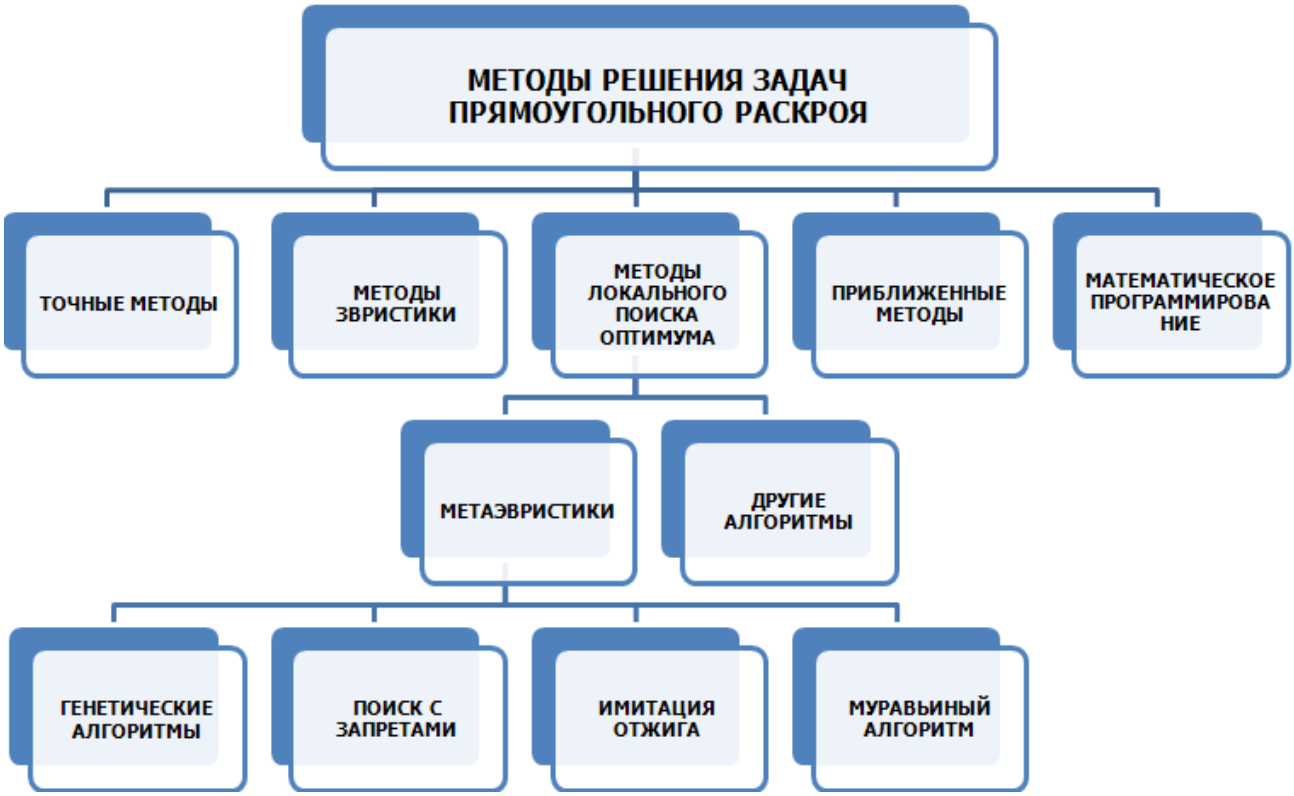


Рисунок 1.10 - Классификация методов решения задач прямоугольного раскроя

Точные методы и математическое программирование.

Фундаментальные исследования проблем раскроя-упаковки начаты советскими учеными Л.В. Канторовичем и В.А. Залгаллером [7]. Для решения задач они применили линейное программирование с генерацией столбцов на каждом шаге процесса. Метод оказался эффективным для линейного и гильотинного раскроя. Позднее развитие этих методов продолжили P.Gilmore & R. Gomory [15], G. Scheithauer & J. Terno [16], Э.Х. Гимади [37]. И.В. Романовский предлагает идею перебора всех допустимых решений задачи упаковки, решаемую методом «ветвей и границ» МВБ (Method Branchand Bound) [33]. В дальнейшем Э.А. Мухачева и В.М. Картак в своих работах [32] улучшают метод МВБ с помощью процедуры сокращения перебора.

Для решения задач 1,5DBPP и 2DBPP А.И. Липовецкий реализует метод зон [38, 39], состоящий в том, что для упаковки прямоугольников задается последовательность их размещения и каждый следующий прямоугольник не должен пересекаться с предыдущими зонами. В дальнейшем метод усовершенствован В.В. Бухваловой [40].

До сегодняшнего дня отсутствует возможность определения эффективной нижней границы и размерность решаемых задач на основе точных алгоритмов невысокая (редко больше 20). Получение оптимального решения задач раскроя осуществляется за счет перебора всех допустимых решений. Для этого требуется применение ЭВМ большой мощности и значительная трудоемкость вычислений. По мнению некоторых исследователей данной области раскройных задач, эти методы имеют ограниченное применение, как изжившие себя. Точные методы и математическое программирование эффективно применяются в решении задач массового раскроя.

Приближенные и эвристические методы.

Эвристические методы широко используются для решения наиболее сложных задач раскроя, учитывающих дополнительные особенности размещения объектов. В результате ограничения поиска несколько снижается оптимальность полученных результатов, но значительно сокращается трудоемкость решения. Поэтому эвристические методы часто применяются в решении производственных проблем.

При создании методов решения задач раскроя важное место уделяется рюкзачной задаче 1DBPP, решаемой с помощью приближенных однопроходных методов упаковки контейнеров [41], описанных в работе E. Coffman, M. Garrey & D. Jonson, и обобщенной проблеме загрузке рюкзака, представленной S. Martello & P. Toth [42].

В 2003 г. опубликован разработанный А. Ф. Валеевой и И.Р. Гареевым [43]. метод перебора с усечением. Метод работает с недопустимыми упаковками до окончания размещения в контейнеры всех предметов (от 20 до 1000) с эффективностью, приближенной к 100 %.

Дальнейшее развитие вероятностных методов локального поиска оптимума оказало влияние на разработку декодеров (алгоритмов конструирования упаковки) в многопроходных алгоритмах. Среди декодеров широкое распространение получили алгоритмы, такие, как «нижний левый угол»; «улучшенный нижний левый», предложенный D. Liu & H.Teng в 1999г. [44] и используемый в решениях И.П. Норенковым [45], E. Hopper & B. Turton [46]; блочный декодер, разработанный А.В. Чиглинцевым [47].

Эвристические жадные алгоритмы использовалась Г. Аккуратовым, В. Березневым и О. Брежневой [48], А.Ф. Валеевой [49, 50], Э.А. Мухачевой [47] и Р.И. Файзрахмановым [51, 52]. В задачах одномерной, двумерной и трехмерной упаковки, фигурного раскроя реализуется метод последовательного уточнения оценок SVC (Sequentative Value Correction).

Методы локального поиска оптимума.

С вводом случайных параметров значительно повышается эффективность детерминированных алгоритмов раскроя. Применение метаэвристик для решения NP-проблем способствовало возрастающему применению в задачах раскроя вероятностных методов локального поиска оптимума: поиска с запретами, имитация отжига и генетических алгоритмов.

Для решения задач прямоугольного и фигурного раскроя в качестве первых метаэвристических методов использовались генетические алгоритмы с разными способами кодирования и идентификацией простейших структур [53]. Классический генетический алгоритм применили в своих трудах E. Folkenauer [54, 55], D. Liu & H. Teng [44]; H. Gehring & A. Bortfeld [56]; А.С. Мухачева, М.А. Смагин [57].

В 1996г. F. Glover применил метод «поиска с запретами» TS (Tabu Search), [58], заключающийся в локальном поиске решений в пространстве, для чего устанавливаются списки запретов. Каждый шаг поиска соответствует переходу из текущего в одно из соседних состояний, называемых окрестностью, с определенным набором состояний. А.И. Ермаченко, Ю.А. Кочетов и А.Р.

Усманова, применив метод «поиска с запретами», разработали алгоритмы для решения задач линейного и гильотинного раскроя [59, 60, 61].

Метаэвристика «имитация: отжига» SA (Simulated Armeling), при которой моделируется физический процесс отжига (нагрев до высокой температуры и затем медленное охлаждение). На раскрой задается последовательность деталей и таким образом формируется приоритетный список (состояние). В процессе генерации на элементы матрицы раскроя оказывает влияние изменение текущего состояния. H. Forster & G. Wascher [31], Loris Faina [62] использовали метод SA при решении задач C&P.

Алгоритм муравьиной колонии AC (Ant Colony), новая метаэвристика, появившаяся в середине 80-х годов и названная изобретателем алгоритма M. Dorigo [63]. Данный метод позволяет быстро найти эффективные решения с помощью положительной обратной связи. Тогда как распределенное вычисление препятствует ранней сходимости, эвристика же помогает определить возможные решения на первых этапах поиска. Впоследствии в научных трудах А.Ф. Валеевой и М.Н. Аглиуллиным [64] применен метод Ant System для решения задач раскроя-упаковки. В настоящее время решением задач раскроя занимается искусственный интеллект [65, 66, 67].

Применение эвристического программирования в решении задач C&P позволяет уменьшить объем и время выполнения вычислительных работ [63]. Еще одно направление объединения возможностей человека и вычислительных комплексов для решения задач раскроя – диалоговое взаимодействие. Это позволяет человеку изменять исходные данные, вводить ограничения, и тем самым влиять на промежуточные результаты и формирование решения задачи раскроя.

1.4. Постановка задачи проектирования гильотинного раскроя

Анализ информационных источников показал, что для получения оптимального раскроя листового металла при производстве холодноштампованных деталей необходимо решить две **основные задачи**:

I – задача. Исходный материал одного типоразмера L нужно раскроить на заготовки длиной l_1, l_2, ..., l_i, ..., l_n в количествах p_i (i=1, 2, ..., n). Необходимо составить оптимальный план раскроя с соблюдением комплектности и с наименьшим количеством отходов.

II – задача. Из исходного материала нескольких типоразмеров L_1, L_2, ..., L_j, ..., L_m требуется выкроить заготовки длиной l_1, l_2, ..., l_i, ..., l_n в количествах p_i (i=1, 2, ..., n). Необходимо составить оптимальный план раскроя, удовлетворяющий требованиям комплектности, минимальному количеству отходов и потреблению материала с определением оптимальной номенклатуры для заказа.

Данные задачи реализуются при раскрое листового металлопроката на прямоугольные заготовки на гильотинном оборудовании и заготовки сложной формы с помощью штамповой оснастки или с применением термической резки.

Постановка задачи <u>гильотинного раскроя</u> 2DGCS (2 Dimensional Guillotine Cutting Stock)**:**

- задача гильотинного раскроя <u>листов</u> 2DGBC (2 Dimensional Guillotine Bin Cutting), для решения которой необходимо определить все возможные варианты гильотинного раскроя с минимизацией расхода листового материала [41].

Формулировка задачи: Листовой прокат с заданными размерами B_j*L_j требуется раскроить на прямоугольные заготовки размерами b_i*l_i в количестве p_i (i=1, 2, ..., n). Необходимо найти совокупность гильотинных раскроев и минимизировать расход листов [41]. Раскрой листового проката осуществляется гильотинными ножницами. Для получения заготовок заданных размеров количество гильотинных резов может быть от одного до четырех.

Решение задачи раскроя на прямоугольные заготовки:

1. Заготовка – прямоугольник размещается на листе.

2. Последовательно лист разделяется на одноименные (в массовом производстве) полосы определенной ширины, соответствующей одному из размеров заготовки.

3. Затем полоса по длине делится на заготовки, отвечающие второму размеру заготовки, если карточка, или кратно шагу вырубки, если полоса.

Заготовка располагается на листе и по ширине листа B_j, и по длине L_j при условии $B>l$, $L>b$; B, L – целые числа.

4. Выбирается схема раскроя (продольная или поперечная), которой соответствует минимальная норма расхода и число разрезаемых листов, минимальные отходы.

5. Эффективность раскроя оценивается коэффициентом раскроя K_p, определяемый по формуле (1.1).

Алгоритм раскроя листа на одинаковые прямоугольные заготовки [69]:

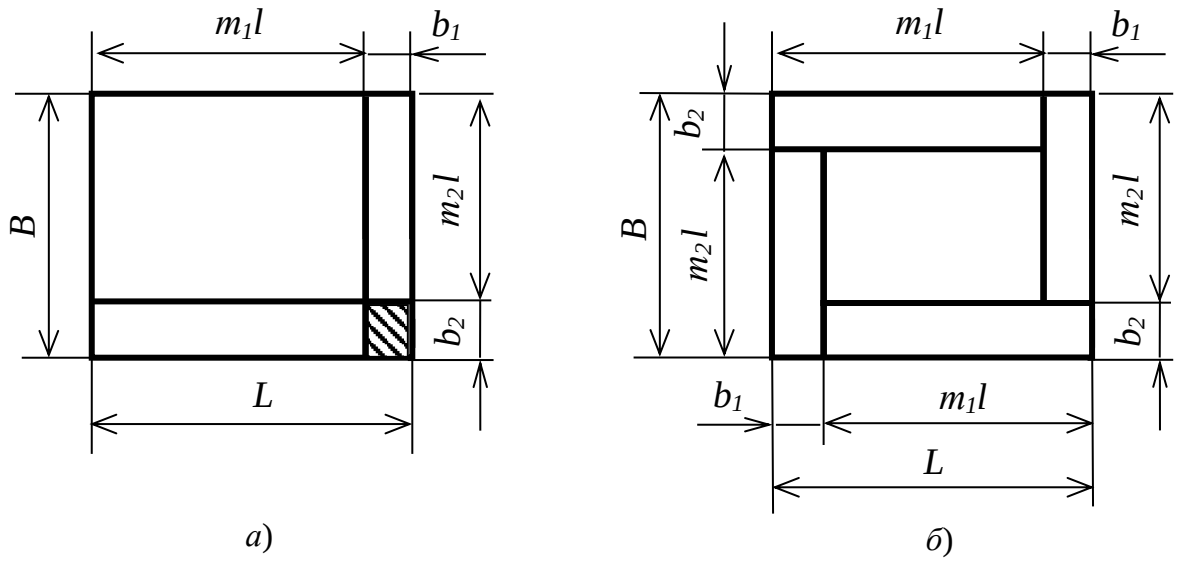
1. Определение числа заготовок размером l по длине L и ширине B листа: $m_1=[L/l]$, $m_2=[B/l]$. Тогда размеры b_1 и b_2 можно выразить через L и B следующим образом:

$$b_1 = L - m_1 l; \quad b_2 = B - m_2 l,$$

где m_1, m_2 – целые положительные числа;

b_1, b_2 – целые числа, такие, что $l>b_1 \geq 0$, $l>b_2 \geq 0$.

Алгоритм гильотинного раскроя листа проиллюстрирован рисунком 1.11,*а*.



а) *б*)

Рисунок 1.11 - Планы раскроя листового материала:
а) на одинаковые заготовки прямоугольной формы; *б*) на две заготовки с одинаковой шириной и различными длинами

2. Проверка условия $b_1+b_2 \leq l$. При выполнении условия от листа $B*L$ отрезается полоса вдоль B шириной b_1. В этом случае получаются два остатка: $(L - b_1)*B$ и b_1*B.

Первый остаток $(L - b_1)*B$ режется на полосы единичной длины вдоль стороны $(L - b_1)$; каждая полоса разрезается на m_1 прямоугольников длиной l. От второго остатка b_1*B вдоль стороны b_1 отрезаем кусок шириной b_2, получаются остатки $b_1*(B - b_2)$ и b_1*b_2. Остаток $b_1*(B - b_2)$ режется на полосы единичной длины вдоль $(B - b_2)$; каждая полоса разрезается на m_2 прямоугольников длиной l. Остаток b_1*b_2 представляет собой отход.

3. Проверка условия $b_1 + b_2 > l$. При выполнении условия от листа $B*L$ сверху вдоль L отрезается полоса шириной b_2 и длиной $m_1 l$; справа вдоль B отрезается полоса шириной b_1 и длиной $m_2 l$. Снизу вдоль L отрезается полоса шириной b_2 и длиной $m_1 l$ и слева полоса шириной h_1 и длиной $m_2 l$. Каждая из отрезанных полос режется на полосы единичной длины, из которых получается целое число заданных прямоугольников длиной l (рисунок 1. 11, *б*). Прямоугольник со сторонами $L' = L - 2b_1$ и $B' = B - 2b_2$ принимают за исходный и повторяют итерации.

Математическая модель имеет вид [2]:

$$\sum_{j=1}^{n} (B_j L_j) \sum_{k=1}^{\tau} x_{jk} \rightarrow \min$$

При условиях:

$$\sum_{j=1}^{m} \left\{ \sum_{k=1}^{n_j} \left(\left[\frac{B_j}{l_i} \right] y_{ijk} + \left[\frac{H_j}{b_i} \right] z_{ijk} \right) x_{jk} + \sum_{k=n_{j+1}}^{\tau_j} \left(\left[\frac{L_j}{l_i} \right] y_{ijk} + \left[\frac{L_j}{b_i} \right] z_{ijk} \right) x_{jk} \right\} = p_i,$$

где $i = 1, \dots, n$

$$\sum_{i=1}^{n} \left(b_i y_{ijk} + l_i z_{ijk} \right) \leq L_j$$

$j = 1, \dots, m$

$$\sum_{i=1}^{n} \left(b_i y_{ijk} + l_i z_{ijk} \right) \leq B_j$$

$k = n_{j+1}, \dots, \tau_j$

$y_{ijk} \geq 0$ и целые числа; $x_{jk} \geq 0$ и целые числа; $z_{jik} \geq 0$ и целые числа,

где L_j – длина j-типа листа; B_j – ширина j-типа листа; p_i – количество нарезаемых заготовок i-типа; x_{jk} – число листов j-го типа в k-варианте раскроя; y_{ijk} – число полос шириной h_i в k-варианте раскроя j-типа листа.

Главным условием успешного решения этой задачи является точное информационное описание и кодирование фигуры с тем, чтобы избежать пересечения и перекрытия объектов между собой и с границей области размещения.

В условиях крупносерийного и массового производства данная задача может быть решена с использованием алгоритма, основанного на приеме П. Гильмора и Р. Гомори [2]. Также для решения задачи раскроя листового проката возможно применение метода размерной последовательности [2], при котором сортируют заготовки по убыванию их площади. Основную заготовку раскраивают из наибольшего по площади листа, на остаточных размерах материала раскраивают очередную заготовку с соблюдением комплектности. Блок-схема алгоритма раскроя на прямоугольные заготовки методом размерной последовательности приведена в приложении Г.

- **задача гильотинного раскроя полубесконечной полосы** 2DGSC (2 Dimensional Guillotine Strip Cutting), для решения которой составляется гильотинный раскрой рулонного материала на заданные прямоугольные объекты.

Формулировка задачи оптимального раскроя рулонного проката на ленты [17]: рулонный материал шириной $B_1, B_2, ..., B_j, ..., B_m$ и длиной $L_1, L_2, ..., L_j, ..., L_m$, необходимо раскроить на полосы заданной ширины b_1, b_2, ..., b_i, ..., b_n в количествах p_i (i=1, 2, ..., n). Необходимо составить оптимальный план раскроя рулона. Образующимися отходами в каждой полосе по длине рулона из-за малых потерь пренебрегаем. Схема раскроя показана на рисунке 1. 12.

Постановка задачи продольного раскроя рулонного материала на полосы сводится к задаче одномерного раскроя 1DCS и решается методами линейного программирования или размерной последовательности с исключением из рассмотрения заготовок, для которых план выполнен. Варианты раскроя составляются при укладке заготовки на рулоне сначала большой стороной l, а затем меньшей b. Выбирается вариант с минимальными отходами. Затем подбирается остаток для раскроя какой-либо заготовки также с минимальными отходами.

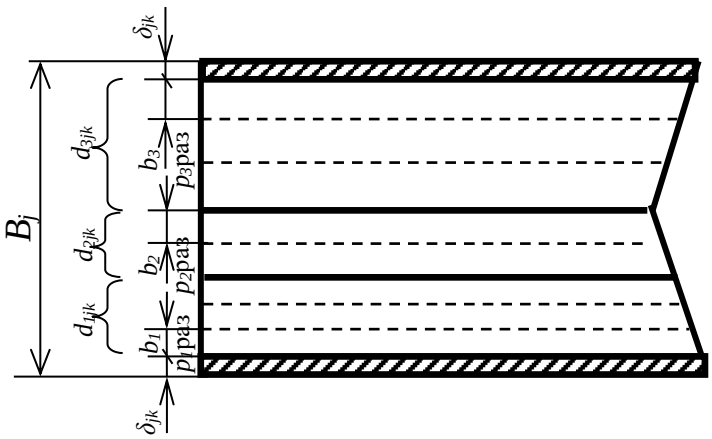


Рисунок 1.12 - Продольный раскрой рулона на ленты (d_{ijk} – число заготовок *i*-вида, раскраиваемых из *j*-типа рулона по *k*-варианту; δ_{jk} – отходы по боковой кромке)

Рассмотренные виды раскроя в той или иной степени использованы в работе в качестве соответствующих модулей рабочей программы.

По общепринятой схеме проектирования раскроя [70, 71] расчет базируется на определении эффективного использования металла, соответствующего максимальному КИМ и минимальному потреблению материала [1, 2], по каждой детали в отдельности и не позволяет произвести оптимальный раскрой всей номенклатуры деталей (рисунок 1.13). На данный момент заказ листового проката осуществляется с учетом решения двух задач: 1) Определение минимального потребления металла, исходя из действующего сортамента, применяемого на перерабатывающих производствах, например, на автомобильных заводах; 2) Формирование сортамента металлопроката под габариты основных металлоемких деталей.

Эти недостатки устраняются с применением современных методов и новой схемы проектирования, учитывающих воздействие на процесс раскроя изменяющихся экономических факторов и реализуемых в разрабатываемом автоматизированном проектировании.

Существенным фактором роста затрат на металл является увеличение закупочных цен на сырье, материалы и услуги. Даже если выпуск металлопродукции не увеличивается, затраты могут расти в абсолютном и относительном выражении [72]. Несмотря на то, что себестоимость проката

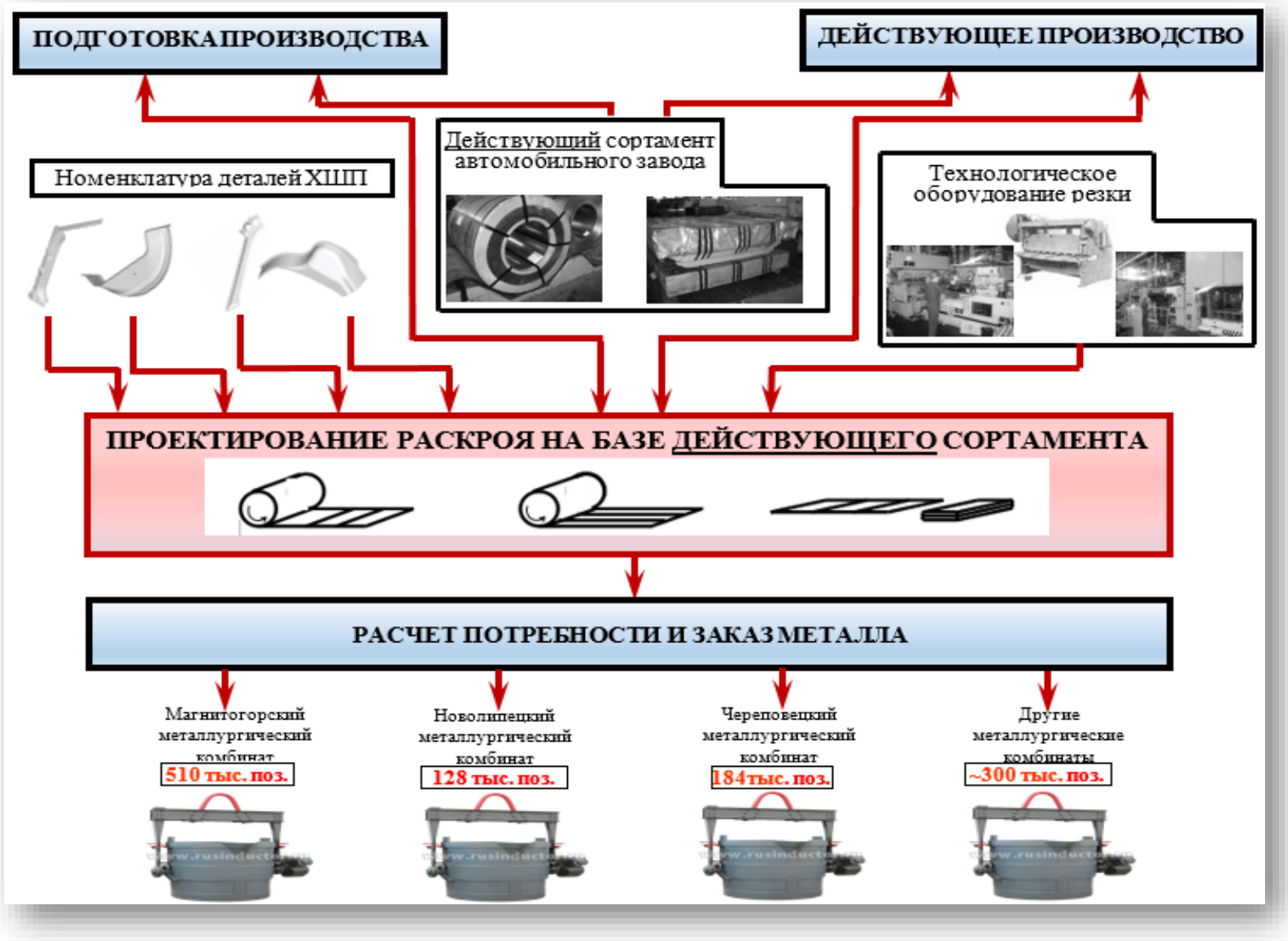


Рисунок 1.13 - Структурная схема проектирования подетального раскроя с заказом металлопроката

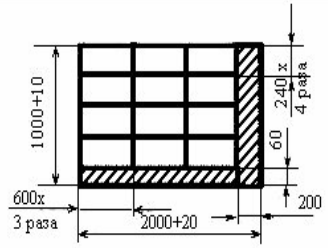
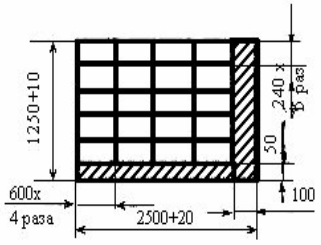
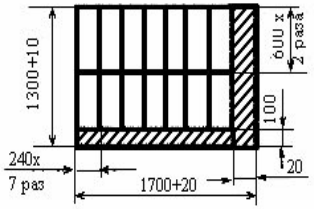
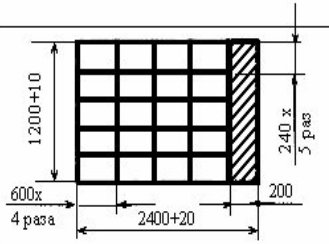
у различных производителей примерно одинаковая, на рынке производства и продаж металлургической продукции существует большая конкуренция. При ценообразовании на металлопродукцию значительную роль играет логистическая составляющая. Затраты, связанные с транспортировкой, складированием и хранением, могут повышать цену металлургической продукции порядка 40 %.

Между натуральными и стоимостными характеристиками существует взаимосвязь. На основании натуральных показателей определяются стоимостные. При этом стоимостная оценка затрат позволяет более детально проанализировать экономное использование металла на производстве и дать более эффективную оценку экономической деятельности предприятия [73].

Применение для оценки оптимальности раскроя стоимостных показателей в комплексе с натуральными способствует более рациональному применению металлоресурсов и подъему эффективности производства. Расширение списка альтернативных производителей-поставщиков металлопродукции обеспечивает возможность увеличения перечня сортамента раскраиваемого металла с учетом стоимостных характеристик. Вместе с тем может возникнуть ситуация, когда при определении наиболее выгодного раскроя будет выбран вариант не с наименьшей нормой расхода или с наименьшей ценой проката, а с минимальными затратами на приобретение металлопроката [74].

Например, для изготовления условной детали массой 1 кг приобретается листовой прокат четырех типоразмеров от разных поставщиков с разной ценой. Необходимо раскроить листовой металл на прямоугольные заготовки шириной B (240 мм) и длиной L (600 мм). В таблице 1.4 представлены возможные варианты раскроя. По результатам анализа полученных данных оптимальному раскрою с наименьшей нормой расхода 1,234 кг и наибольшим значением K_u=0,81 отвечает вариант №4. При этом раскрой по варианту №3 является более рациональным с точки зрения минимальных затрат на металл в размере 24,775 руб. на 1 деталь. Для рассмотренных вариантов раскроя №3 и №4 отличие в затратах на металлопрокат составляет 0,185 руб. на 1 деталь. Однако с увеличением плана

Таблица 1.4 - Варианты раскроя заготовки из сортамента, предлагаемого металлургическими комбинатами

№п/п	Наименование поставщика	Габариты листового металлопроката	Схема раскроя	Вес листа с учетом половины допуска на размеры, кг	Количество деталей из листа, шт.	Масса детали, кг	Норма расхода, кг	КИМ	Цена 1 кг металла, руб.	Затраты по металлу на 1 дет., руб.
1	Металлургический комбинат №1	Лист 1,0х1000х2000		15,818	12	1,000	1,318	0,759	20,1	26,495
2	Металлургический комбинат №2	Лист 1,0х1250х2500		24,728	20	1,000	1,236	0,809	20,1	24,852
3	Металлургический комбинат №3	Лист 1,0х1300х1700		17,518	14	1,000	1,251	0,799	19,8	24,775
4	Металлургический комбинат №4	Лист 1,0х1200х2600		24,689	20	1,000	1,234	0,810	20,22	24,960

производства деталей разница в затратах на металл *Δ3м* изменится более весомо [75].

Стремиться к высоким показателям раскроя, снижать норму расхода металла и увеличивать коэффициент его использования необходимо, но это должно быть экономически целесообразно. Для сокращения затрат на металл и снижения себестоимости всей номенклатуры раскройной продукции для массового и крупносерийного производства необходимо при выборе оптимального раскроя учитывать не только традиционные, но и современные, не менее значимые показатели, такие, как программа изготовления деталей и стоимость металла. В связи с этим для оценки эффективности раскроя металлопроката на заготовительных участках машиностроительных предприятий в условиях крупносерийного и массового производства автором предлагается использовать сочетание нескольких показателей с определением комплексного показателя затрат или ресурс-стоимостного показателя (РСП). Ресурс-стоимостной показатель определяется для каждого плана раскроя, как произведение нормы расхода, необходимой для изготовления детали, и цены металла. Из многообразия возможных альтернативных решений по раскрою выбор будет осуществляться в пользу максимально выгодного варианта, соответствующего минимальному значению показателя РСП.

Проектирование экономически выгодного раскроя с применением комплексного показателя затрат в качестве основного показателя ресурсосбережения и критерия оптимизации, а также с помощью математических методов [76] позволит получать ежегодную экономию за счет снижения затрат на металл около 3–5 %.

В этой связи автором разработана структурная схема проектирования ресурсосберегающего раскроя (рисунок 1.14) в зависимости от показателя РСП, с введением обратной связи с процессом заказа металла и сортаментом листового проката, выпускаемым металлургическими комбинатами-поставщиками, с учетом его стоимостных характеристик. Оптимизационный расчет раскроя осуществляется с циклическим повтором до достижения наилучшего

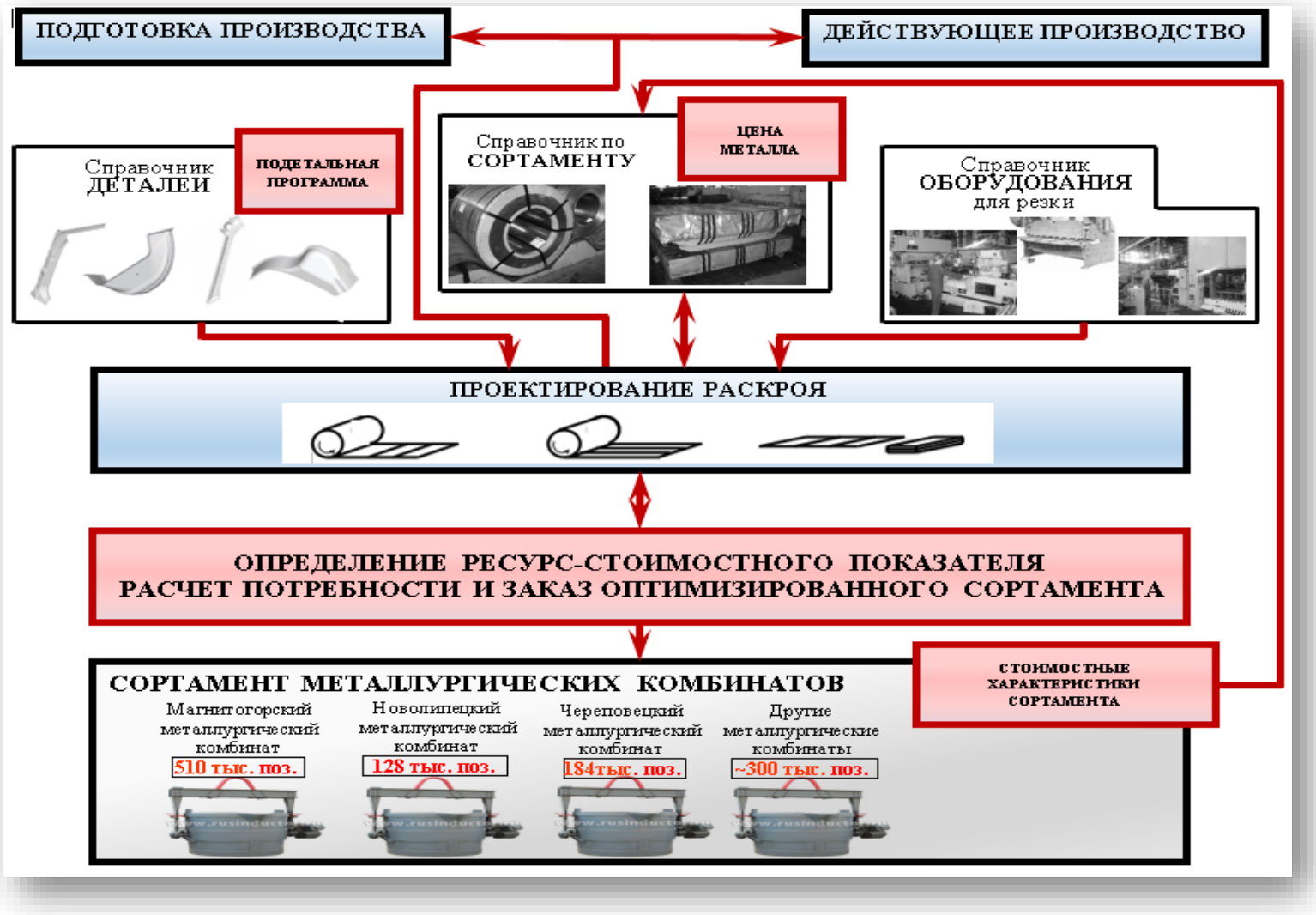


Рисунок 1.14 - Структурная схема проектирования ресурсосберегающего раскроя **для группы деталей** (авторская разработка)

(наименьшего) результата ресурс-стоимостного показателя при постоянном обновлении исходных данных (деталей, сортамента, оборудования). При этих условиях нормы расхода станут более активными, динамично изменяющимися и «прозрачными», что позволит вести их тщательный учет и контроль, обеспечит наилучшее использование металла и тем самым повысит эффективность использования материальных и финансовых средств предприятием.

Преобразование внутренних параметров происходит в случае изменения технологических ограничений (максимальная длина отрезаемой полосы, возможность поворота листа при резке, минимальный размер делового отхода и др.), оптимизационных ограничений (минимально допустимый процент обеспеченности детали отходом, максимальное число видов отходов под деталь и др.), набора оборудования для раскроя с различными техническими возможностями, номенклатуры деталей по всем цехам с подетальной годовой программой.

Новая модель проектирования раскроя определяет основные характеристики раскроя и раскрывает их в современной интерпретации, устанавливает взаимодействие различных элементов системы (деталь – оборудование – металл) и влияние внешних воздействий (конъюнктура рынка – программа производства, цена металла). В результате предлагаемая модель позволяет выбрать наилучший вариант раскроя с учетом сформулированных ограничений и нового критерия оптимизации с минимизацией затрат на металл.

Для сокращения периода ТПП, реализации оптимальных вариантов раскроя металла на постоянной основе и при соблюдении производственных изменений необходимо осуществлять проектирование и управление анализом раскроя с помощью средств автоматизации.

Применение новых эффективных информационных технологий позволит также ускорить и рационально реструктурировать процессы разработки раскроя, однако при разработке соответствующих алгоритмов необходимо учитывать особенности производства [77, 21]: 1) тип производства (единичный, серийный, массовый); 2) производственную программу; 3) информацию о раскраиваемом

прокате (марка материала, габариты, вес, дефицитность); 4) способ резки металлопроката (продольный, поперечный, комбинированный); 5) вид оборудования для резки и его технические характеристики; 6) трудоемкость раскроя; 7) трудоемкость решения раскройной задачи.

На раскройно-заготовительных участках машиностроительных предприятий с крупносерийным производством и номенклатурой холодноштамповочных изделий более 4 тыс. наименований ежегодно перерабатывается свыше 50 тыс. тонн металлопроката, поступающего от разных производителей. Для формирования оптимальных типоразмеров сортамента с учетом всей группы деталей заданной марки и толщины, оперативного раскроя металла на замену с максимальным значением КРМ и эффективного использования отходов необходимо составить несколько десятков тысяч планов раскроя. Учитывая масштабность проблемы, ограничение сроков и изменения экономических и технических характеристик, реализация задачи раскроя возможна только с применением автоматизированных систем [78 – 80]. Внедрение САПР раскроя обеспечит:

– выполнение расчета раскроя на всех этапах производства (например, при составлении заказа листового металла, оперативной замены дефицитного металла и др.).

– минимизацию затрат на металл за счет проектирования рационального раскроя и формирования оптимального сортамента листового проката с учетом данных базы сортамента от металлургических комбинатов и их стоимостных характеристик.

– сокращение потребления металла и повышение значения общего КИМ за счет рационального применения отходов.

– сокращение трудоемкости работы технологов по проектированию и расчету показателей раскроя и создание возможностей для решения других сопутствующих оптимизационных и логистических задач.

1.5. Применение САПР для проектирования раскроя промышленных материалов

По степени автоматизации раскрой бывает неавтоматизированным и автоматизированным. Применение неавтоматизированных методов расчета существенно увеличивает сроки ТПП холодноштампованных изделий, но также не позволяет определить рациональный раскрой с учетом изменяющихся технических и экономических характеристик.

В производстве зачастую возникает ситуация замены дефицитного металла, когда поступивший на раскрой прокат с показателями, не соответствующими требованиям технологии. В этом случае технологу необходимо оперативно составить карты раскроя на замену и обеспечить высокий коэффициент раскроя листа. Для наивыгоднейшего использования листового металлопроката, сокращения сроков ТПП новых изделий и модернизации действующей продукции за счет точного и четкого формирования информации на всех этапах технологического проектирования раскроя, выполнения с помощью ЭВМ наиболее трудоемкого и сложного процесса раскроя листа и проектирования технологии резки его на заготовки необходима автоматизированная система (рисунок 1.15) [21, 22].

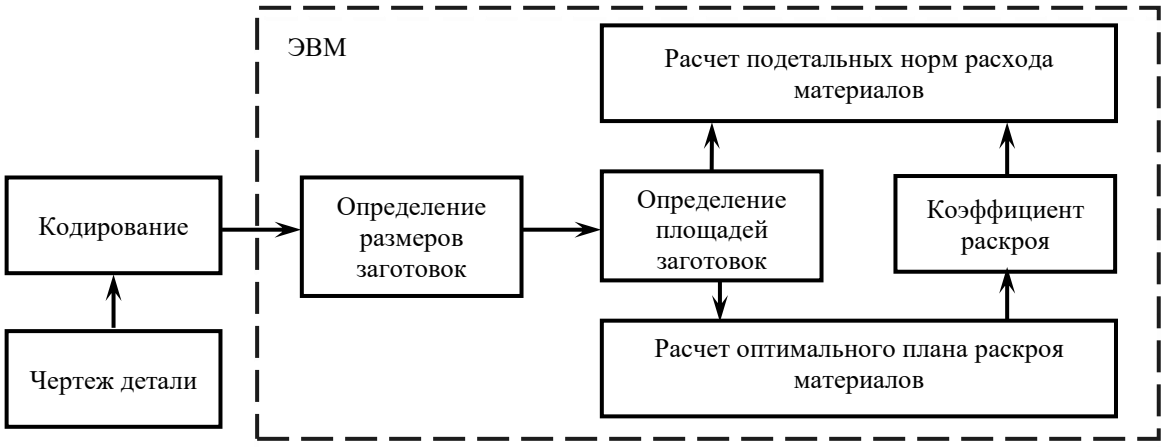


Рисунок 1. 15 - Этапы процесса автоматизированного расчета подетальных норм расхода материалов [21, 22]

Бесспорно, что промышленные предприятия, применяющие САПР, являются более конкурентоспособными.

САПР раскроя-упаковки включает в себя комплекс математических, программных, организационно-технических средств, необходимых для расчета оптимального плана раскроя и его реализации. Структура системы автоматизированного проектирования раскроя с выделением основных подсистем представлена на рисунке 1.16.

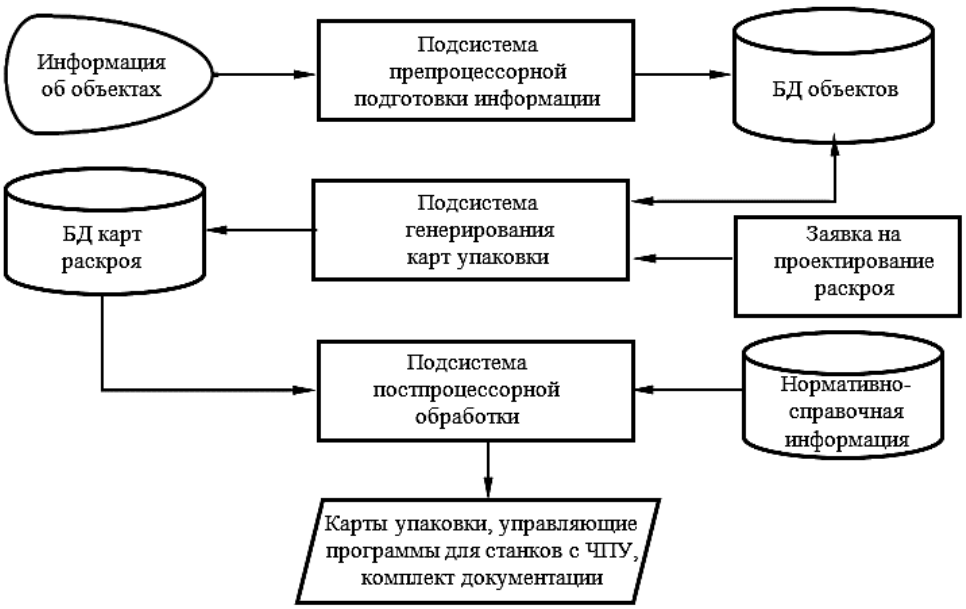


Рисунок 1.16 - Структура САПР раскроя-упаковки

Автоматизированные процессы ввода, хранения, систематизации и редактирования геометрических параметров объектов выполняются подсистемой препроцессорной обработки исходной информации. Построение наиболее плотного расположения геометрических объектов в автоматическом режиме осуществляется подсистемой генерирования карт раскроя. Подсистемой постпроцессорной обработки информации на основе исходной информации нормативно-справочного характера и полученных планов раскроя автоматически формируются управляющие программы для машин с ЧПУ и создаются карты раскроя.

Далее рассмотрены системы автоматизированного проектирования и программы раскроя по теме исследования, имеющие практическое применение в различных промышленных областях. В частности, для оптимизации раскроя

листового материала используется T-FLEX/Раскрой [81]. Общая схема проектирования раскроя в системе T-FLEX/Раскрой приведена на рисунке 1.17.

Системой решаются задачи регулярного и нерегулярного (фигурного) раскроя, раскроя листов на полосы (карты) при условии экономного использования материала. Для сравнительной оценки по коэффициенту использования материала по завершении расчета определяются варианты раскроя, на основании которых автоматически создается выбранная пользователем схема раскроя с нанесением необходимых размеров.

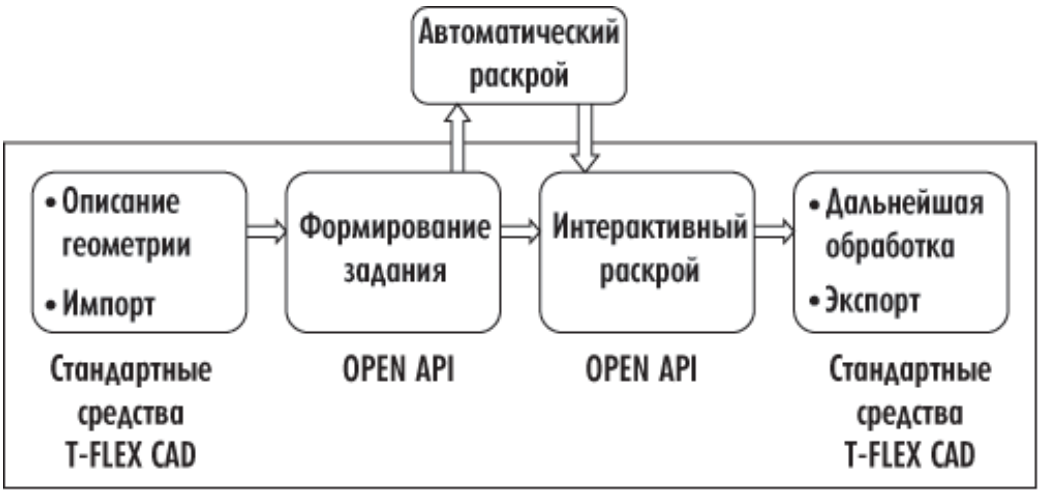


Рисунок 1.17 - Общая схема проектирования раскроя в системе T-FLEX/Раскрой

САПР «Сириус» (г. Екатеринбург) предназначена для оптимального раскроя заготовок с произвольной геометрией и разработки программ для режущего оборудования с ЧПУ с созданием карт раскроя материала [82 – 85]. Система «Сириус» используется для проектирования раскроя металлопродукции и других промышленных материалов в стекольной и мебельной промышленности.

Современная система «Техтран-Раскрой» (НИП Информатика–г. Новосибирск), объединяющая производственные возможности и CAM-системы [86 – 90], создает программы раскроя листового материала для машин термической резки [91]. Основные этапы разработки технологического процесса резки: а) создание базы данных по деталям, включая графическое изображение контура детали; б) формирование задания на раскрой с соблюдением комплектности; в) выбор раскройного оборудования; г) разработка программы раскроя. Для оптимизационного раскроя деталей прямоугольной формы

предназначена программа «ORION – Раскрой листовых материалов» с формированием карт раскроя с учетом минимизации отходов материала.

Для разработки раскроя деталей из листового проката применяется система Pro/ENGINEER (Corporation-PTC (США)) Pro/PDX с использованием модели, разработанной в PRO/E, а также с возможностью импортирования из других CAD-систем.

Среди систем, предназначенных для оптимального гильотинного раскроя, выделяются eCutout [92] и Cutting 3 (Cutting Optimization PRO [93]. Для решения задач раскроя листовых материалов в металло-, деревообрабатывающей, легкой, аэрокосмической, стекольной областях промышленности предназначены «ItasNesting» [51, 52], «Астра Раскрой» [94], «Optimum» [95], FieryCut [96].

Автоматизация проектирования раскроя также широко применяются в легкой промышленности в ТПП швейных изделий [97 – 100] с применением САПР, являющихся разработками зарубежных фирм («Инвестроника»-Испания, «Лектра»-Франция, «Гербер»-США; «АВТОКРОЙ»-г. Минск), и отечественных систем ЛЕКО (ЦНИИШП); АССОЛЬ (ЦКТ при МФТИ) и др.

Программные продукты по раскрою материалов от зарубежных компаний представлены небольшим количеством. Канадская компания Magic Logic OptimizationInc предлагает программные обеспечения для двумерного раскроя PlanlQ и для трехмерного раскроя CubelQ. Программный продукт CubelQ является единственным на рынке авиационных контейнеров (по типу «параллелепипед», «с вырезанным» углом) и осуществляет упаковку контейнеров с учетом веса и оптимального центра тяжести. Программа CutPlanner от новозеландской компании Remarkable Ideas предназначена для резки заготовок из различных материалов (металла, пластмассы, дерева, стекла) с определением времени раскроя.

Среди рассмотренных программных продуктов имеют отличительные преимущественные возможности для оптимизации раскроя листового материала Техтран-Раскрой и T-FLEX/Раскрой с раскроем, как на прямоугольные заготовки, так и на заготовки сложной конфигурации с автоматическим формированием

раскройных карт. Высокая стоимость данных систем ограничивает применение на промышленных предприятиях. На рисунке 1.18 показаны примеры формирования задания и размещения деталей на листах в существующих САПР раскроя.

Широкое разнообразие предлагаемых программ по раскрою позволяет оценить и выбрать конкретную систему или программный продукт не только по возможностям решения раскроя, но и трудоемкости проектирования, степени удобства и эксплуатации, а также стоимости.

Применяемые САПР и программы рассмотрены для возможной адаптации к решению задач оптимизации раскроя с минимизацией затрат по металлу в условиях крупносерийного и массового производства. Основной критерий сравнительного анализа – возможность применения предлагаемых методов и алгоритмов для проектирования оптимального раскроя, базирующегося на достижении наименьшего потребления проката $G_{пр}$, максимального $K_{и}$ и минимизации затрат по металлу $\sum З_{м}$, представленных в виде

$$G_{пр} \rightarrow min;\ K_{и} \rightarrow max;\ \sum З_{м} \rightarrow min.$$

Рассмотренные программные продукты наиболее эффективно применяются для группового раскроя заготовок произвольной формы в условиях многономенклатурного и единичного производства с определением технико-экономических показателей по каждой детали в отдельности. Что является ограничивающим фактором их применения для индивидуального раскроя по всей номенклатуре деталей в условиях крупносерийного и массового производства. Результаты сравнения программ для раскроя листового материала представлено в таблице 1.5.

Для решения поставленной задачи раскроя по критерию минимизации затрат не существует моделей, опубликованных в открытых источниках. Таким образом, проблема автоматизации проектирования экономически выгодного раскроя с целью минимизации затрат на металл требует дальнейшего развития.

В данной исследовательской работе рассматривается автоматизация проектирования ресурсосберегающего (экономически выгодного) раскроя

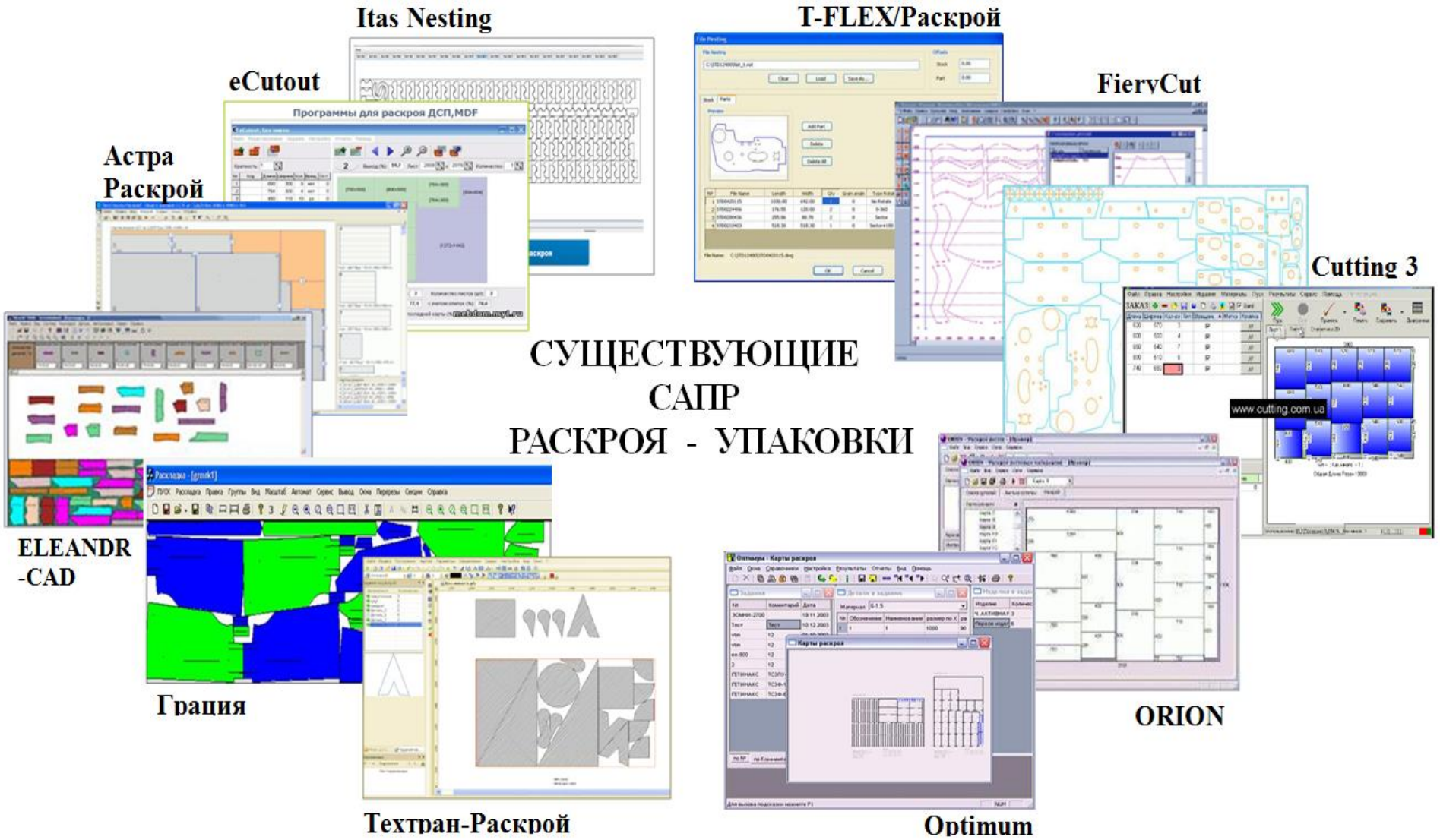


Рисунок 1.18 - Примеры размещения деталей на листах и формирования задания в существующих САПР раскроя

Таблица 1.5 – Результаты сравнения программ оптимального раскроя листового материала, применяемых в промышленности

Характеристика		ПРОГРАММЫ										
		T-FLEX/ Раскрой	Техтран Раскрой	Астра-Д	ORION	Cutting 3	eCutout	Оптимум	Раскрой-2002	FieryCut	2D-Place	BestCut
Вид раскроя	заготовки с прямоугольным контуром	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	заготовки одинаковые с фигурным контуром	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-
	заготовки различные с фигурным контуром	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Автоматическое формирование карт раскроя с учетом характеристик детали, технологических ограничений и выбора оборудования		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Определение суммарной площади деталей, остатков, отходов, коэффициента использования для каждого материала		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Формирование выходной документации: спецификаций, карт раскроя с предварительным просмотром		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Редактирование карт раскроя в ручном режиме		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Наличие баз данных (по заказам, материалам, остаткам)		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Автоматическое формирование и учет остатков		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Учет дополнительной обработки деталей		+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+
Обмен базой данных с СУБД		-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Импорт графического изображения деталей из AutoCAD и других источников		+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Импорт данных в формат Excel		+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+
Работа в локальной сети		-	-	-	-	-	+	-	-	-		+
Изменение оптимизационных ограничений		+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
Формирование программы для оборудования с числовым программным управлением		+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Описание последовательности раскроя и карты раскроя на языке программирования		+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

металла на прямоугольные заготовки для изготовления холодноштампованных деталей в условиях крупносерийного и массового производства с применением нового критерия оптимизации.

1.6. Краткие выводы

1. Проведен анализ состояния проблемы и возможных перспектив решения задачи раскроя листового металлопроката в условиях крупносерийного и массового производства холодноштампованных деталей. Обозначены основные проблемы при проектировании раскроя.

2. Представлена постановка задачи проектирования оптимального раскроя с минимизацией затрат на металл на основе использования нового комплексного критерия оптимизации – ресурс-стоимостного показателя (РСП), позволяющего из многообразия предлагаемых возможных вариантов раскроя металла выбрать наиболее выгодный по минимальному значению нового показателя с получением рациональной заготовки с наименьшей себестоимостью. Создана структурная схема проектирования оптимального раскроя металла, основанная на применении предложенного показателя оптимизации РСП и оптимизационном расчете до достижения наименьшего результата РСП.

3. Проведен обзор и сравнительный анализ существующих методов решения задач раскроя. Для выполнения проектирования оптимального раскроя с минимизацией затрат на металл в условиях крупносерийного и массового производства автор предлагает использовать метод линейного программирования с определением минимума линейной целевой функции (минимизации затрат на металл). Выбор метода обусловлен постановкой задачи и возможностью ее реализации в производственных условиях.

4. Проведен обзор и сравнительный анализ существующих САПР и программ по проектированию раскроя, выделены их преимущества и недостатки. Проанализированные программы и автоматизированные системы эффективны в условиях многономенклатурного (единичного и мелкосерийного) производства, но имеют ограниченное применение для массового и

крупносерийного производства. С целью оптимизации затрат по металлу в условиях массового и крупносерийного производства автором предлагается создание новой системы.

Глава 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ И АРХИТЕКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ О ПОДЕТАЛЬНОМ РАСКРОЕ

2.1. Методологическая основа решения задач оптимального раскроя

В условиях экономии ресурсов процедуры раскроя совершенствуются по двум направлениям: 1) Разработка математических методов для решения оптимизационных задач раскроя; 2) Создание ПО для автоматизированного формирования технологической документации [101].

Необходимость совершенствования методов оптимального раскроя заключается в установлении связей процесса раскроя не только с технологическими, организационными, а также и с экономическими процессами, т.к. это позволяет получить ощутимый экономический эффект.

С целью повышения эффективности раскроя за счет снижения потерь и экономии металлоресурсов автором предложены современные подходы к проектированию ресурсосберегающего раскроя в заготовительном производстве на основе применения ресурс-стоимостного показателя:

1. Формирование оптимального (по габаритам и объему) сортамента металлопроката происходит в зависимости от ресурс-стоимостного показателя, обеспечивающего снижение потребления металла, минимизацию себестоимости нарезанных заготовок и рост производительности раскройных работ.

2. Ведение расчета для всех деталей, принадлежащих к одной группе по толщине и марке металла, что позволяет рационально использовать отходы на другие детали из номенклатуры группы и сократить объем заказываемого металла.

3. Унификация листового и рулонного сортамента, способствующая дальнейшему сокращению заказываемой номенклатуры металлопроката, а также возможности более гибких действий при его заказе за счет соблюдения монтажной нормы поставки.

4. Заказ технологически и экономически обоснованного оптимизированного сортамента для номенклатуры деталей из листового проката осуществляется на основе банка данных сортамента металлургических комбинатов с учетом их стоимостных характеристик, что позволяет минимизировать затраты на металл и сократить себестоимость раскройной продукции.

5. Введение изменяющихся норм расхода металла в зависимости от меняющейся номенклатуры заказываемого металлопроката и использования отходов раскроя. Меняющаяся норма соответствует новой концепции проектирования раскроя, направленной на совершенствование принимаемых решений на начальном этапе производства деталей при раскрое заготовок, с целью минимизации финансовых затрат на металл, создания ресурсосберегающих технологий и повышения эффективности производства.

Показатели раскроя, такие, как наименьшая норма расхода, наибольший коэффициент использования, минимальные затраты на металл, минимальные объемы отходов и минимальное потребление металла являются целевыми показателями, оказывающими воздействие на процессы раскроя. В соответствии с изменением цели происходит трансформация направленности решения задачи и модели раскроя:

модель А – раскрой с минимальным расходом проката;

модель В – раскрой с минимальными отходами;

модель С – раскрой с соблюдением комплектации.

К внешним факторам, влияющим на проектирование раскроя, можно отнести пополняющийся банк данных по сортаменту (листовому и рулонному прокату), предлагаемый всеми заводами-поставщиками металлопроката, включая стоимостные характеристики металла.

Практическое решение задач раскроя в создаваемой САПР реализуется применением линейного программирования [102, 105, 77]. Данный выбор обусловлен постановкой задачи и возможностью ее реализации. Результатом решения ЗЛП является нахождение экстремального значения целевой функции.

На основании вышеизложенного автором предлагается использование новой модели ресурсосберегающего гильотинного раскроя на основе ресурс-стоимостного показателя с минимизацией затрат на металл.

2.2. Классификация деталей из листового проката при проектировании раскроя

С целью автоматизации проектирования раскроя листового проката для крупносерийного и массового производства холодноштампованных деталей поставлена задача разработки новой системы классификации деталей. На примере одного из цехов прессового производства ООО «УАЗ» автором проанализирована номенклатура деталей, получаемых в процессе холодного листового деформирования (1900 шт.). В ходе рассмотрения были установлены отличительные признаки (рисунок 2.1), в соответствии с которыми выполнена градация деталей и заготовок, разработан классификатор параметров деталей [106, 107], структурирующий данные для создания программного продукта по оптимизации раскроя.

Детали из листового проката, изготавливаемые на предприятиях автомобильной тематики, сгруппированы по девяти основным признакам. С учетом эксплуатационного назначения и места установки в автомобиль детали разделяются на кузовные, рамные и арматурные. В отличие от кузовных деталей, входящих в неокрашенный или «черный» кузов, детали, полученные в цехах рамной и арматурной штамповки, закрепляются на кузове окрашенном. Подобная классификация обеспечивает изготовление деталей в специализированных цехах, совмещающих процессы резки и последующей обработки заготовок. Это позволяет более эффективно использовать металл за счет рационального подбора образующихся отходов и сократить логистические расходы по транспортированию отходов между цехами.

В зависимости от габаритов штампованные детали из листового материала классифицируются на крупные, средние и мелкие (таблица 2.1), и для их производства требуются заготовки различного уровня точности. Заданная

Классификационные признаки					
деталей/ заготовок		оборудования		металлопроката	
Наименование классификационного признака	Обозначение признака	Наименование классификационного признака	Обозначение признака	Наименование классификационного признака	Обозначение Признака
Назначение деталей	h	Вид режущего оборудования	U	Вид материала (лист, рулон, лента, полоса, карточка)	v
Габариты	r	Толщина	T	Толщина	t
Толщина	t	Ширина	B	Ширина	b
Вес заготовки	q	Длина (для листа)	L	Длина (для листа)	l
Сложность конфигурации заготовок	s	Шаг резки (подача)	H	Вес проката	q
Вид исходного материала	m	Скорость работы	V_p	Марка материала	n
Качество поверхности	k			Количество (листов, рулонов)	p
Направление волокна	w			Цена	c
Точность резки (допуск)	d			Поставщик	z

Рисунок 2.1 – Классификация параметров холодноштампованных деталей, оборудования и сортамента

точность обеспечивается допустимыми отклонениями сортамента, поступающего в производство, технологическими процессами, а также техническим оснащением раскройно-заготовительного производства.

Таблица 2.1 - Классификация деталей из листового металла с учетом габаритов заготовок

Цех	Детали по габаритам заготовок		
	Крупные	Средние	Мелкие
Кузовной штамповки	св.900–2500 мм	св.400–900 мм	до 400 мм
Рамной штамповки	св.700–2000 мм	св.300–700 мм	до 300 мм
Арматурной штамповки	св.300–500 мм	св.100–300 мм	до 100 мм

На основании требуемой точности детали разделяются следующим образом: а) детали повышенной точности, для которых номинальные размеры заготовки задаются с отрицательным отклонением и для раскроя таких заготовок необходима дополнительная настройка оборудования; б) детали нормальной точности с отклонениями ±1,00 мм на размер заготовок до 200 мм включительно; ±2,00 мм – для размеров свыше 200 мм; в) заготовки без ограничения точности размеров. На рисунке 2.2 представлена часть классификатора деталей по рассмотренным параметрам классификации и по качеству поверхности.

Исходя из требований, предъявляемых к поверхности кузовных деталей, выполнена градация с разделением заготовок на лицевые и нелицевые. К лицевым относятся детали следующих категорий:

I-категории – видимые поверхности всех панелей, составляющих внешнюю форму кузова, незакрытых декоративными элементами (например, пороги кузова);

II-категории – видимые лицевые поверхности и поверхности внутренних

частей кузова, которые при закрытых дверях кузова обозреваются с мест водителя и пассажиров;

III-категории – поверхности кузова, которые просматриваются кратковременно при открывании капота и дверей (например, поверхность проема задней двери).

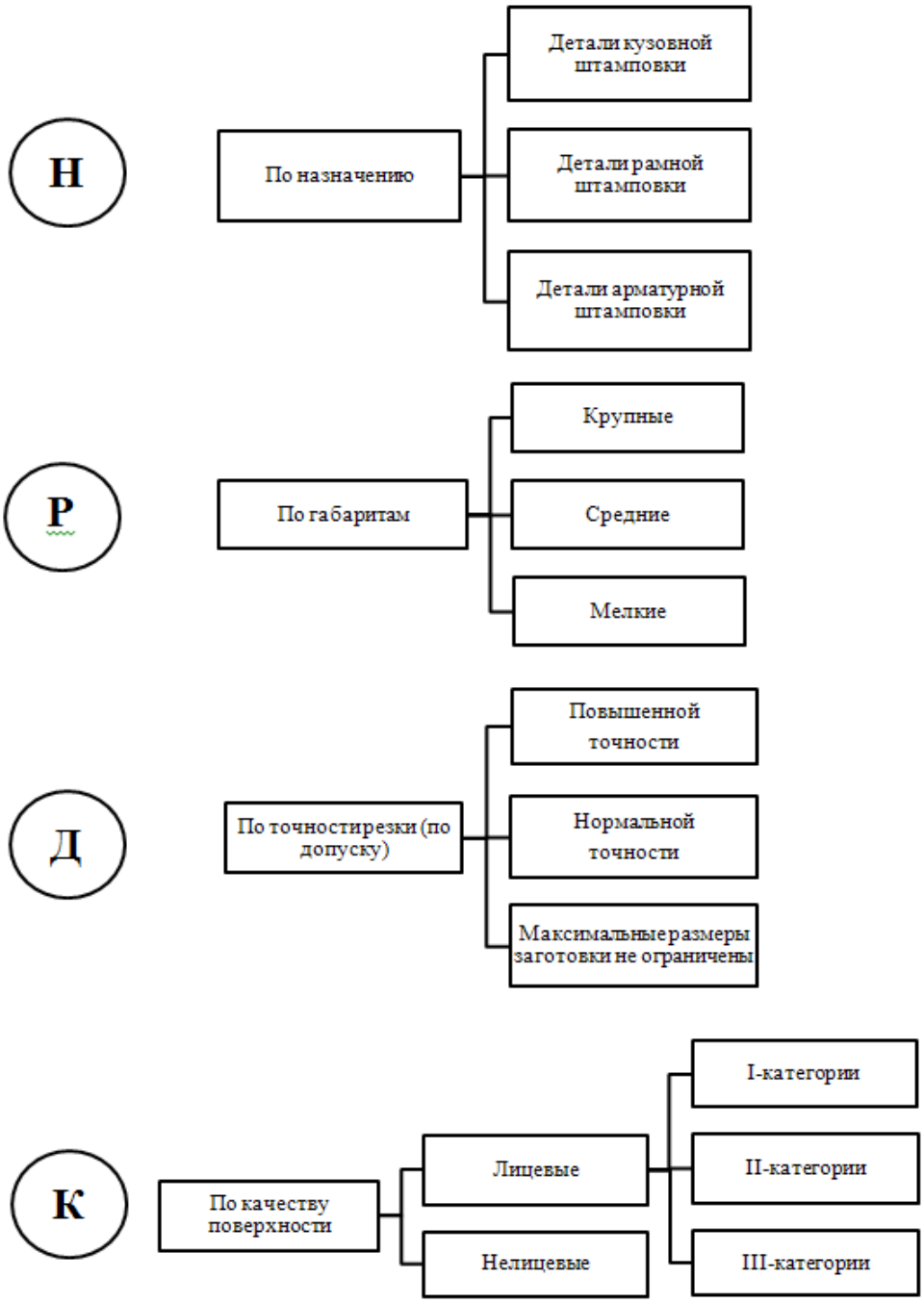


Рисунок 2.2 - Классификатор деталей, изготавливаемых из листового металла: по назначению, габаритным размерам, точности резки, качеству поверхности

К нелицевым относятся остальные кузовные детали с менее жесткими требованиями к поверхности заготовок.

Детали, изготавливаемые из листового проката, классифицируются по толщине, как тонколистовые (толщиной 0,5 – 2,0 мм), средней толщины (толщиной 2,0 – 4,0 мм) и толстолистовые детали (толщиной 4,0 – 8,0 мм) (рисунок 2.2). Для производства крупных кузовных деталей (например, панелей дверей, боковин, крыши, крыльев и др.) применяют, как правило, тонколистовой металл толщиной 0,7 – 1,0 мм; средних деталей (например, усилителей и соединителей) – прокат толщиной 1,0 – 1,5 мм; мелких деталей (например, кронштейнов) – металл толщиной 1,5 – 2,0 мм. Для изготовления деталей в цехах арматурной и рамной штамповки используется металлопрокат разной толщины (0, 5 –.8,0 мм).

Поскольку заготовка является фигурой, охватывающей развернутую деталь, ее форма и габариты зависят от конструкции самой детали и ее развертки, а также от технологических процессов изготовления детали и производственных возможностей. По сложности конфигурации заготовки бывают простые и сложные.

Заготовки простых форм охватывают развертку простыми фигурами типа овал или круг, прямоугольник или квадрат. Заготовки со сложным контуром облегают развернутую деталь более сложными фигурами такими, как параллелограмм, ромб, трапеция. Для изготовления крупных цельноштампованных деталей со сложной пространственной геометрией (например, каркасов боковин) необходимо применение еще более сложных заготовок фасонного контура. Такие заготовки получают с помощью штампов, режущего оборудования с числовым программным управлением (лазерных устройств).

На рисунке 2.3 приведена часть классификатора по толщине, сложности конфигурации заготовки и направлению линии проката.

Группирование деталей по следующему признаку – по весу и типу материала представлено на рисунке 2.4. Зачастую при проектировании раскроя

для соблюдения требований охраны труда и правил техники безопасности вводятся ограничения по весу заготовки. Сгруппируем заготовки по весовой характеристике на основании производственного опыта следующим образом: 1-группа – до 3 кг, 2-группа – до 5 кг, 3-группа – до 8 кг, 4-группа – до 12 кг (рисунок 2.4).

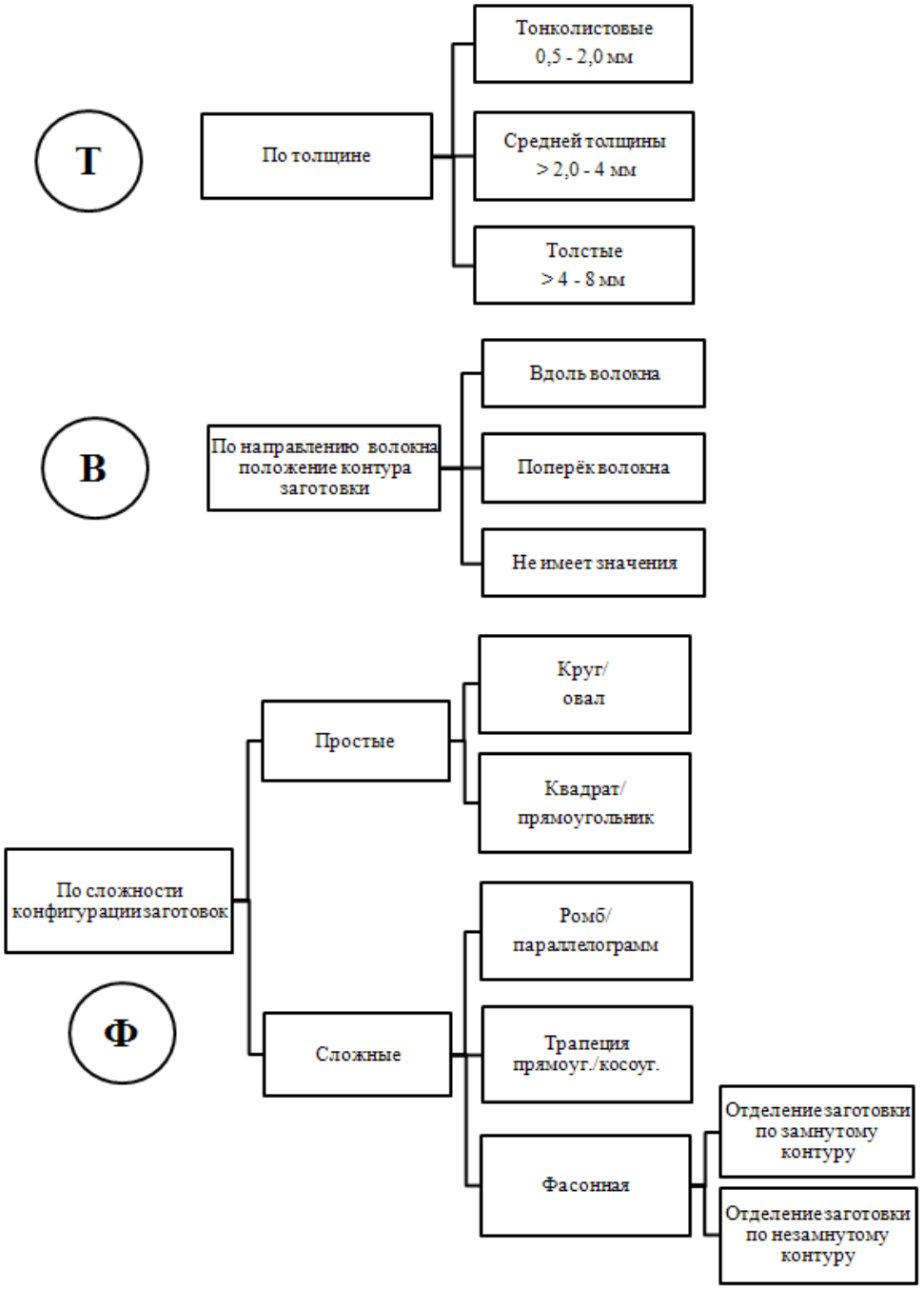


Рисунок 2.3 - Классификатор деталей, изготавливаемых из листового металла: по толщине, направлению линии проката (волокна), конфигурации заготовок

С учетом вида исходного материала применяется разделение, как на заготовки из основного материала (лист, полоса, рулон, лента) и заготовки из

вторичного материала (отхода) (рисунок 2.4). В зависимости от стадии образования отход по форме может быть плоским (при раскрое/ штамповке) или иметь пространственную геометрию (например, после штамповки). При вторичном использовании делового отхода (отход от отхода) вводим деление на отходы I- и II-рода.

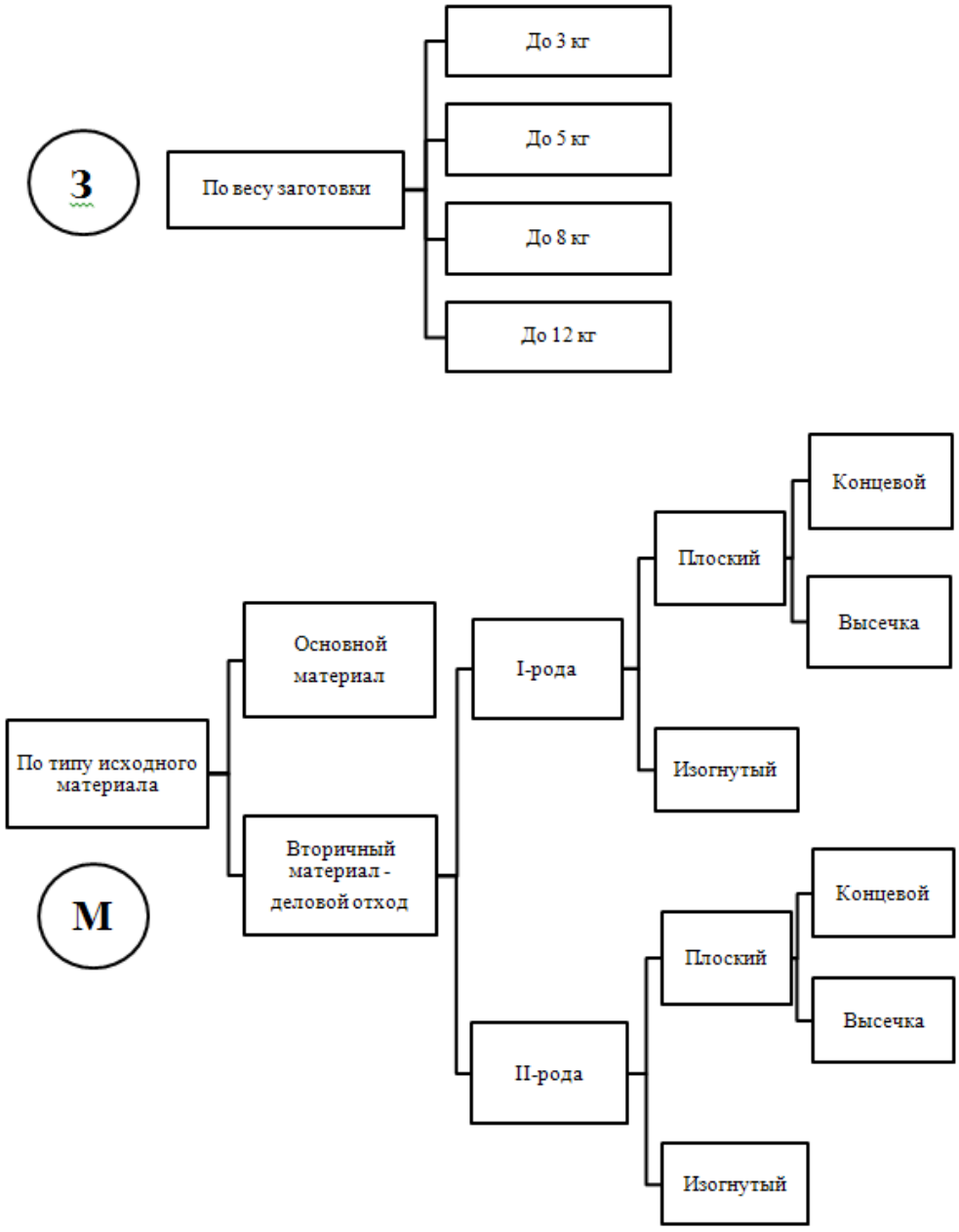


Рисунок 2.4 - Классификатор деталей, изготавливаемых из листового металла: по весу заготовки, типу исходного материала

Для стабильного получения качественных деталей из листового металла методом холодной штамповки контур детали относительно направления проката (волокна) может располагаться: вдоль волокна (рисунок 2.5,*а*), поперек волокна

(рисунок 2.5,*б*) или произвольно по направлению к волокну (рисунок 2.5,*в*). Для исключения излома металла при гибочных операциях рекомендуется линию изгиба располагать под углом не менее 45° по направлению к волокну проката.

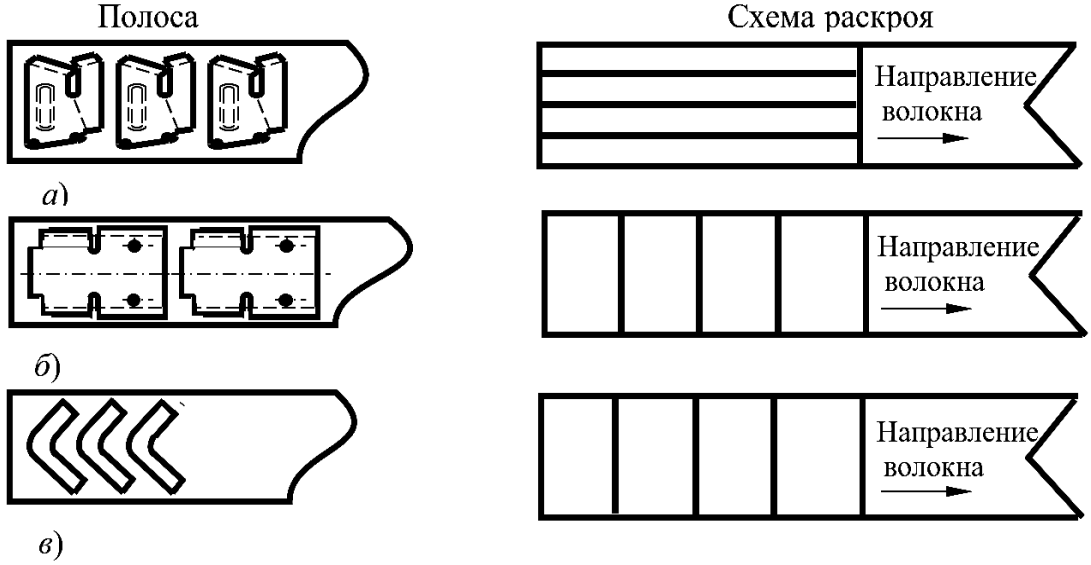


Рисунок 2.5 – Варианты расположения волокна проката и контура заготовки: *а* – вдоль волокна; *б* – поперек волокна; *в* – произвольно по направлению к волокну

По результатам анализа рассмотренной заводской номенклатуры холодноштампованных деталей, изготавливаемых из листового металла, сформированы каталоги деталей и заготовок (рисунок 2.6), с прикреплением к точкам учета продукции, указанием схем раскроя, информации об образующихся отходах и их использовании, созданы базовые справочники для новой программы.

2.3. Разработка архитектуры базы данных о подетальном раскрое

Разработанная классификация деталей и заготовок позволила определить структуру базы данных, ставшую основой для нового программного продукта по оптимизации раскроя металлопроката. База данных обеспечивает управление данными о подетальном раскрое и предоставление оперативной информации об оптимальных результатах раскроя. База данных (БД) отличается структурой связей объектов базы и уникальным кодом (пятнадцатизначным номером детали), позволяющим отличать записи и осуществлять поиск необходимых данных. Объектами создаваемой базы являются таблицы, запросы, отчеты и формы различного функционального назначения.

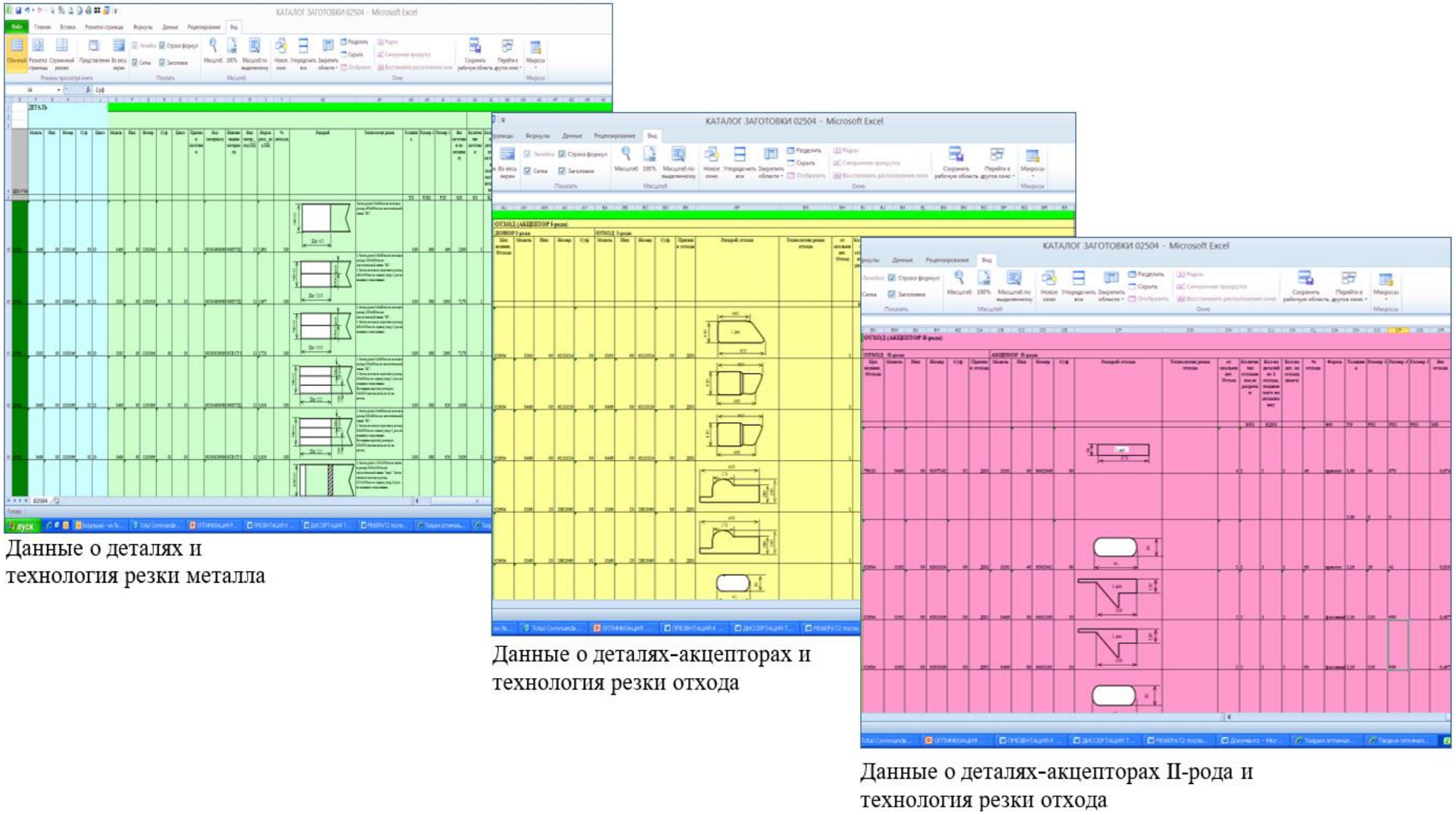


Рисунок 2.6 – Фрагменты сформированного каталога деталей и заготовок из листового проката

Хранение вводимой информации обеспечивается в таблицах, как основных объектах базы. Разрабатываемая БД включает в себя шесть основных и пять вспомогательных таблиц, содержащих подетальную информацию:

«Детали» - обозначение раскраиваемой детали (модель, код, индекс, суффикс);

«Доноры» - данные о деталях, предоставляющих отход для изготовления деталей-акцепторов (обозначение детали-донора; масса и габариты отхода; количество деталей из отхода; процент обеспеченности отходом; процент использования отхода);

«Акцепторы» - данные о деталях, потребляющих отход (обозначение детали-донора; масса и габариты отхода; количество деталей из отхода; процент обеспеченности отходом; процент использования отхода);

«Материалы» - данные о материале детали (наименование и код материала; толщина; габариты (ширина, длина); масса; количество листов; признак проката; допуск на ширину и длину, признак дефицитности материала);

«Применяемость» - данные об условной принадлежности детали к изделию;

«Извещение» - данные о статусе детали (вновь введенная, измененная, аннулированная).

Структуру базы данных (рисунок 2.7) составляют табличные данные, объединенные в запросах, формах и отчетах установленными связями, позволяющими автоматически изменять записи по всей структуре БД посредством форм, одноименных с таблицами: «Детали», «Материалы», «Применяемость», «Извещение» «Доноры», «Акцепторы». В зависимости от поставленной задачи (сортировка, фильтрация, объединение данных разных форматов, др.) с помощью операции «запросы» осуществляется отбор данных с созданием отчетов.

По результатам выбора оптимального варианта раскроя формируется итоговый отчет в виде подетальной «Карты раскроя материала», содержащей схему раскроя, схему укладки деталей в полосе, технологию и ТЭП раскроя.

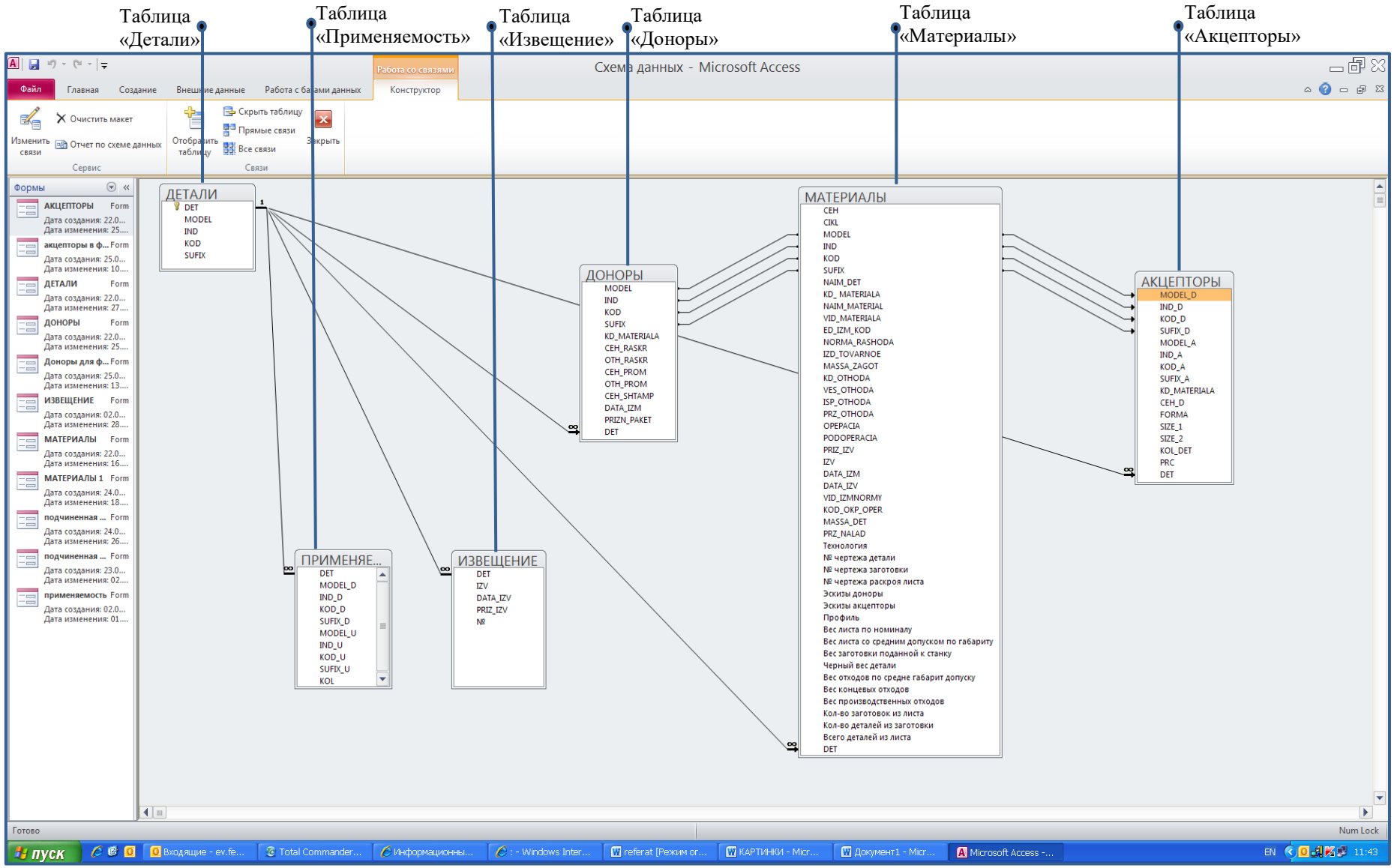


Рисунок 2.7 - Структура связей базы данных

2.4. Разработка математической модели раскроя металлопроката

При создании автором математической модели ресурсосберегающего раскроя учитываются производственные требования – с одной стороны, обеспечение оптимального использования металла с минимальным его потреблением и наименьшим количеством отходов при условии выполнения производственной программы, с другой стороны, применение экономически выгодного оптимизированного проката и минимизация затрат на металл.

В общем виде решение задачи раскроя разделяется на 3 этапа:

1-этап – описание геометрии плоского контура детали с оптимальной укладкой заготовки на материале;

2-этап – выбор оптимальных вариантов раскроя с наименьшей потребностью металла для деталей, принадлежащих к одной группе по толщине и марке металла;

3-этап – оптимальный раскрой по критерию оптимизации и формирование оптимизированного сортамента.

2.4.1. Описание геометрии плоского контура детали с оптимальным расположением заготовки на материале

Для выполнения этого этапа раскроя и формирования задания на размещение детали на заготовке необходимо описание геометрии плоского контура детали. Первичной информацией для раскроя является чертеж детали или математическая модель [108]. По геометрии детали выстраивается развертка (рисунок 2.8) – плоская фигура, полученная при совмещении разворачиваемой поверхности детали с плоскостью. Для этого применяется правила кодирования заготовки и

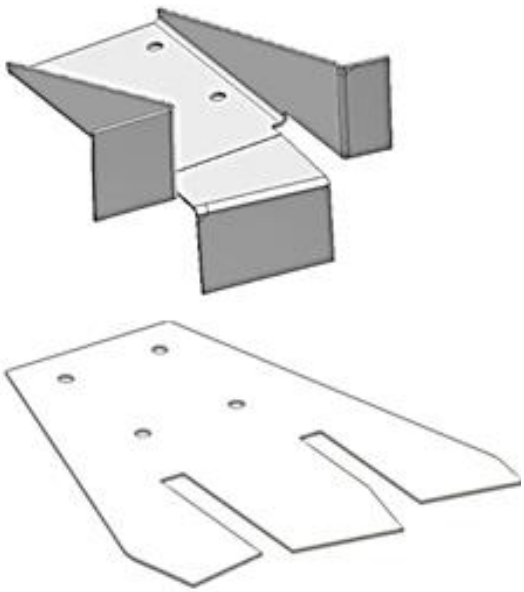


Рисунок 2.8 - Пример детали из листового проката и ее

алгоритм координатного расчета [2].

Согласно технологии на изготовление детали и на основании развертки создается заготовка с описанием узловых точек, т. е. точек, в которых происходит смена вида контура (линия – линия, линия – дуга и т.д.) [108]. Чем сложнее конфигурация заготовки, тем больше необходимо точек для описания контура. Узловые точки контура нумеруют в определенном порядке, начиная с первой. Кодированная информация о заготовке заносится в таблицу (см. таблицу 4.13). Вокруг контура развертки описывается прямоугольник. Развертка фиксируется в произвольной точке F. Положение развертки в прямоугольнике устанавливается с помощью координат точки F в декартовой системе координат (x_F, y_F) и угла поворота фигуры φ вокруг точки F относительно ее начального положения. Угол φ находится в пределах $0^o \le \varphi \le 180^o$.

Для проектирования рациональной заготовки и создания данных для последующего раскроя и заказа оснастки дополнительно вводятся данные, учитывающие конструкцию детали (заготовки) и технологию изготовления, и отраженные в созданном показателе сложности расчетной схемы (см. главу 4.1.1): тип заготовки, тип укладки, максимальная размеры полосы, направление волокна, величина перемычек, марка и толщина исходного материала, максимальный угол отклонения и поворота заготовки.

Определение наиболее плотного расположения разверток

Для однорядного типа укладки задача сводится к нахождению оптимальных параметров в пространстве x_F, y_F, φ. Сдвиги и повороты заготовки на различные углы определяют всевозможные варианты укладок, однако с ограничениями: заготовка не должна пересекать контур материала; площадь прямоугольника, описывающего заготовку, должна быть минимальной. Чем меньше площадь заготовки (описывающего прямоугольника), тем больше количество деталей получится из листа. Просматривая положения развертки в различных точках, выбирается то положение, которому соответствует описывающий прямоугольник минимальных размеров по ширине и длине (рисунок 2.9).

Для двухрядной укладки (рисунок 2.10) дополнительно задается смещение первого ряда заготовок относительно второго ряда γ, $(\theta(\varphi) \le \gamma \le +\theta(\varphi))$.

Рисунок 2.9 – Результат выбора оптимального расположения заготовки

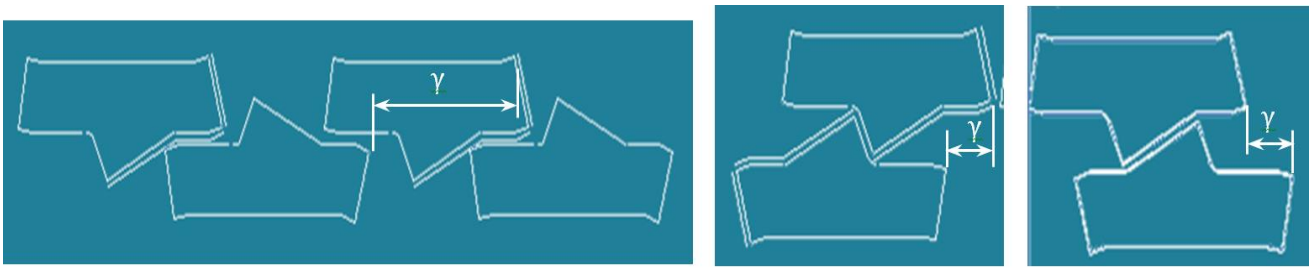


Рисунок 2.10 – Результат определения наиболее плотного расположения заготовки в полосе

На рисунке 2.11 показано определение абсцисс точек $x_{\min}$, $x_{\max}$, ограничивающих заготовку Φ_1 по оси *OX*, и ординат точек $y_{\max}$, $y_{\min}$, ограничивающих заготовку Φ_1 по оси *OY*.

Построение заготовки Φ_2 в полосе шириной b $(y_{\min} \le b \le y_{\max})$ осуществляется по формулам:

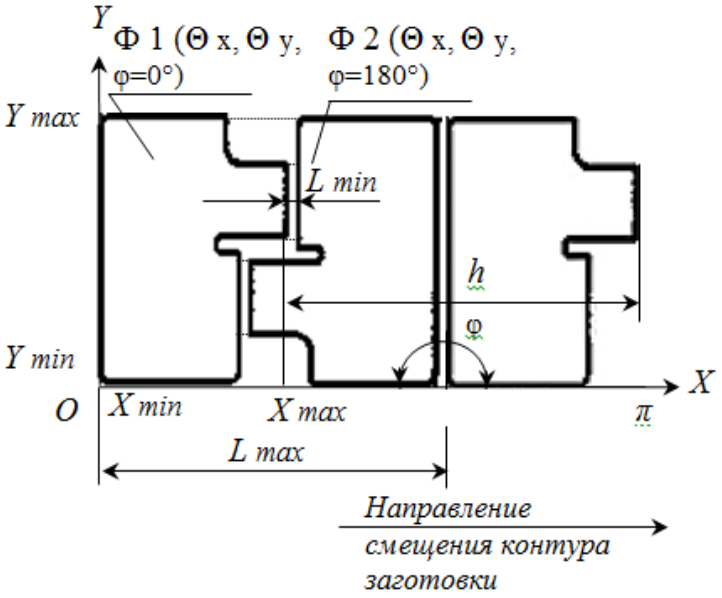


Рисунок 2.11 – Схема для определения сдвига и поворота заготовки на 180°

$$x_c^{\Phi_2} = x_c^{\Phi_1} + 2x_{\max};$$

$$y_c^{\Phi_2} = -y_c^{\Phi_1} + y_{\min} + y_{\max}.$$

Заготовки Φ_1 и Φ_2 оказываются повернутыми друг к другу в плоскости листа на угол 180° и $y_{\min}^{\Phi_2} = y_{\max};\ y_{\max}^{\Phi_2} = y_{\min}$.

Определение шага вырубки заготовок

Из опорных точек заготовок Φ_1 и Φ_2 проводятся прямые, параллельные оси *OX*, определяются длины наибольшего, наименьшего отрезков этих прямых $L_{\min}$, $L_{\max}$, соединяющих опорные точки с граничными точками заготовки. При этом шаг вырубки заготовок (шаг объединенной заготовки) равен $h = L_{\max} - L_{\min}$.

Определение размеров заготовки

а) определение габаритов заготовки $\Phi_1(\Phi_2)$ по осям *OX* и OY производится по формулам:

$$\theta_x = x_{\max} - x_{\min};\ \theta_y = y_{\max} - y_{\min}.$$

б) определение ширины полосы *b* производится по формуле: $b = \theta_y + 2\delta$,

где δ – величина перемычки между краем полосы по ширине и заготовкой.

Заготовка Φ_1 поворачивается в плоскости листа на угол $\Delta\varphi$ и итерационный процесс повторяется. Процесс расчета продолжается, пока угол поворота заготовки от исходного положения φ не превысит заданного значения $< \pi$. Наилучшему варианту расположения заготовок соответствует максимальное значение КРМ.

В частности, крупные кузовные детали имеют сложный контур и располагаются на полосе с пошаговым сдвигом заготовки вдоль координатных осей (рисунок 2.12).

Заготовка фиксируется в начальном положении, т.е. одна из узловых точек заготовки привязывается к началу координат и одна сторона заготовки совмещается с осью *OX*. Далее заготовка смещается вдоль одной оси координат (например, *OX*) на заданный вектор (шаг вырубки) до соприкосновения с контуром вдоль другой оси (например, *OY*), с контролем соприкосновения вдоль данной оси: слева – снизу и справа – сверху от контура.

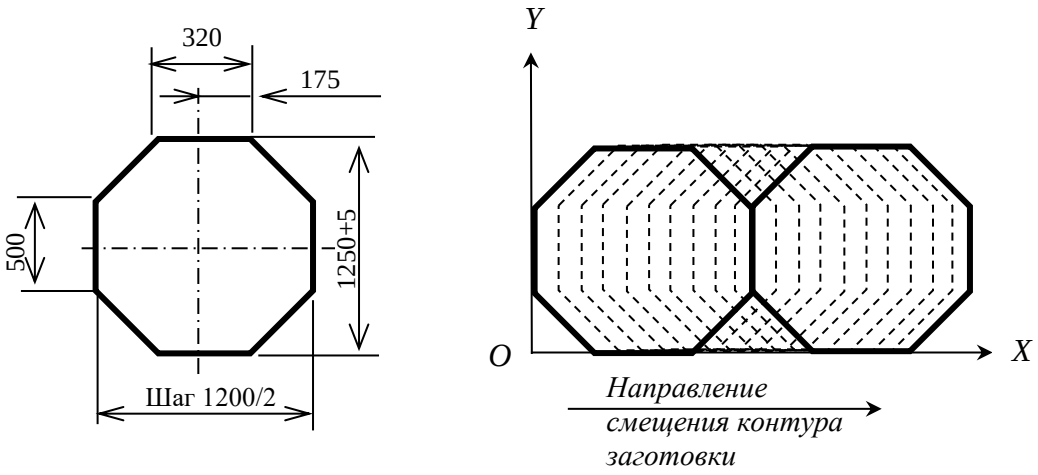


Рисунок 2.12 - Схема к расчету пошагового сдвига сложной заготовки

После построения и выбора полосы рациональной ширины для каждого варианта укладки определяется количество полос в листе $N1$ при продольном и поперечном раскрое соответственно по формулам:

$$N1 = \left[\frac{B}{b}\right] \quad \text{или} \quad N1 = \left[\frac{L}{b}\right] \qquad (2.1).$$

При расчете количества заготовок в полосе учитывается величина перемычки δ между краем полосы по длине и заготовкой, и между заготовками (рисунок 2.13). Для расчета рассматривается не развертка, а эквидистантная фигура, увеличенная на величину $\delta/2$. Эквидистантные фигуры размещаются в полосе до взаимного соприкосновения, без перекрытий фигур.

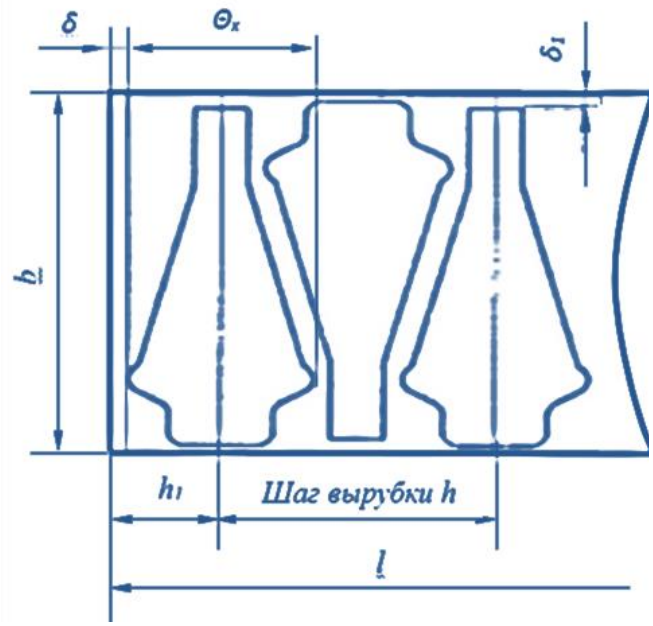


Рисунок 2.13 - Пример раскроя с геометрическими параметрами

Определение количества заготовок в полосе

Количество заготовок в полосе определяется по формулам:

$N2=2*N3+1$ при условии, что $N3*h+\Theta_x \le L-2\delta+\delta_o$ (2.2);

$N2=2*N3$ при условии, что $N3*h+\Theta_x > L-2\delta+\delta_o$ (2.3),

где $N3$ –число определяется по формуле $N3=[(L-2\delta-(2\Theta_x-L_{min}))/h+1]$ (2.4);

Θ_x – габарит заготовки по оси OX; h – шаг вырубки.

Определение количества заготовок в листе

Количество заготовок в листе определяется по формуле:

$N=N1*N2$ (2.5).

На этом этапе выбор наилучшего варианта раскроя на прямоугольные заготовки осуществляется по результатам наиболее плотного размещения детали на заготовке согласно алгоритму проектирования оптимального плана раскроя (рисунок 2.14), что соответствует максимальному количеству заготовок.

2.4.2. Выбор оптимального раскроя с наименьшим потреблением металла

При существующей постановке задачи последовательно создается раскрой всех габаритов листов/ рулонов для каждой детали в отдельности, и процесс продолжается до завершения списка раскраиваемого металлопроката.

Автором предлагается проектирование раскроя всех типоразмеров сортамента заданной марки и толщины для деталей, принадлежащих к одной группе (по марке и толщине металла).

На этом этапе оптимизации раскроя и выбора допустимых способов резки решаются подзадачи:

1) повышения коэффициента раскроя листа за счет оптимального расположения заготовок на листовом материале;

2) выбора наиболее выгодного размера листа/рулона;

3) определения наиболее эффективного применения отходов с учетом комплектности.

Расчет основных показателей раскроя рулона произведен на основании методики «Порядок расчета норм расхода металлопроката в ПСЦ», разработанной автором и приведенной в приложении К (титульные листы).

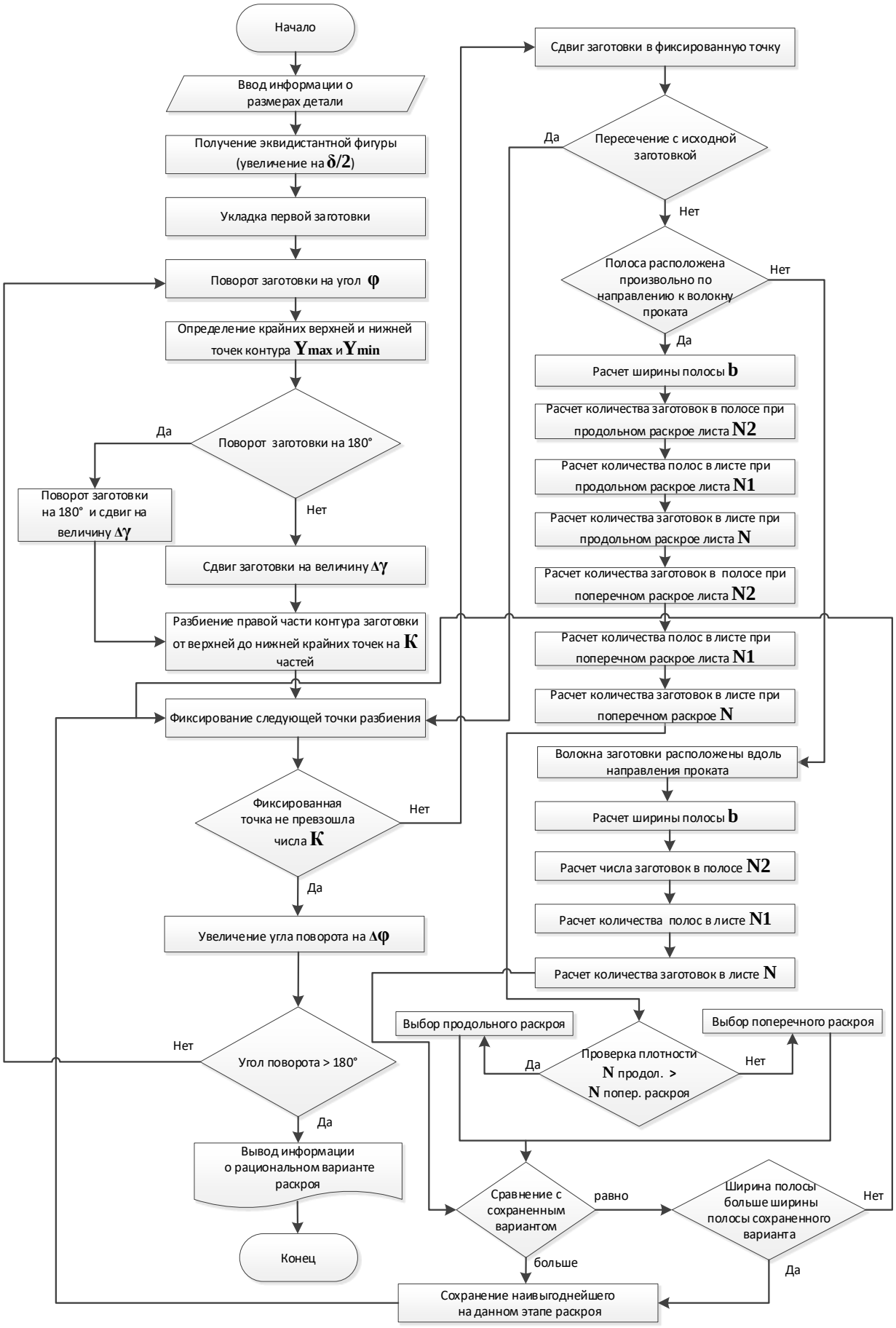


Рисунок 2.14 - Алгоритм проектирования оптимального плана раскроя

Рулонный прокат рассматривается в качестве наиболее перспективного материала в машиностроении (в частности, автомобилестроении) и для его эффективного раскроя надлежит учитывать особенности крупносерийного и массового производства:

1) для этого типа производства экономически обоснованно применение заготовок, максимально приближенных по форме к заданной детали и изготовленных с помощью специального инструмента (например, штампов). Поэтому крупные заготовки сложного контура следует аппроксимировать прямоугольниками для использования при генерировании планов раскроя отработанных методов раскроя на прямоугольные заготовки;

2) учитывать анизотропию для заготовок с последующей гибкой;

3) применять гильотинные ножницы с ограниченными техническими характеристиками;

4) предусматривать раскрой заготовок, один из размеров которых кратен ширине листа/ рулона.

На данном этапе среди множества возможных планов раскроя деталей, принадлежащих к одной группе по толщине и марке металла, определяется оптимальный вариант, при котором запланированное количество деталей производится с наименьшим потреблением металлопроката. Поиск оптимального варианта раскроя осуществляется решением системы линейных уравнений. Постановка задачи продольного и поперечного раскроя рулонного материала на полосы в условиях массового и крупносерийного производства, когда один из размеров заготовки равен или кратен ширине рулона, сводится к задаче одномерного раскроя.

В качестве критерия оптимизации при продольном раскрое рассматривается минимальное суммарное количество распускаемых рулонов шириной B_j. Критерий оптимизации запишем в виде:

$$x_1+x_2+\ldots+x_k+\ldots+x_g \rightarrow min.$$

Критерий оптимизации для поперечного раскроя – минимизация суммарного количества разрезаемого рулонного проката длиной L_j:

$$x'_1+x'_2+\ldots+x'_k+\ldots+x'_g \rightarrow min.$$

Длина разрезаемого рулона L_j определяется по формуле:

$$L_j=G_j / 7850B_jt_j\,10^{-6}, \qquad (2.6),$$

где G_j – масса рулонного проката, кг; B_j – ширина j-типа рулонного проката, мм; t_j – толщина j-типа рулонного проката, мм; *7850* – значение плотности для стального проката, кг / куб. м.

Математическая модель представляется в виде [2]:

$$\sum_{j=1}^{w} L_j \sum_{k=1}^{g_j} x_{jk} \rightarrow \min,$$

при условиях:

$$\sum_{j=1}^{w}\sum_{k=1}^{g_j} y_{ijk}x_{jk} \geq p_i, \qquad i = 1,\ldots,v, \quad j = 1,\ldots,w,$$

$$\sum_{i=1}^{v} l_i\, y_{ijk} \leq L_j, \qquad i = 1,\ldots,v, \quad j = 1,\ldots,w,$$

$x_{jk} \geq 0$ и целые числа; $y_{ijk} \geq 0$ и целые числа,

где x_{jk} – число рулонов j-типа ($j=1, 2, ..., w$) длиной L_j в k-варианте раскроя ($k=1, ..., g$); y_{ijk} – число заготовок i-типа ($i=1, 2, ..., v$) в k-варианте раскроя j-типа рулона длиной L_j.

Продольный раскрой рулонного проката на ленты разной ширины

Необходимо раскроить рулонный прокат j-типа с определенными размерами (шириной B_j) и одной группы по марке и толщине металла ($j=1, 2, ..., w$) на заготовки i-типа шириной b_i ($i=1, 2, ..., v$; $b_1 > b_2, ..., \geq b_v$), принадлежащие к одной группе по марке и толщине, с соблюдением комплектности p_i.

В зависимости от ширины рулона B_j и количества разнообразных заготовок v определяется число допустимых вариантов k ($k=1, ..., g$) раскроя рулона на полосы шириной b_i. Потенциальные планы раскроя составляются с обеспечением минимального числа распускаемых рулонов и при соблюдении заданной комплектности. План продольного раскроя рулонного проката шириной B_j по допустимым вариантам представляется в виде:

$$B_1 = a_{11}b_1 + a_{21}b_2 + \ldots + a_{i1}b_i + \ldots + a_{v1}b_v + \delta_1;$$

$$B_2 = a_{12}b_1 + a_{22}b_2 + \ldots + a_{i2}b_i + \ldots + a_{v2}b_v + \delta_2;$$

……;

$$B_k = a_{1k}b_1 + a_{2k}b_2 + \ldots + a_{ik}b_i + \ldots + a_{vk}b_v + \delta_k;$$

……;

$$B_g = a_{1g}b_1 + a_{2g}b_2 + \ldots + a_{ig}b_i + \ldots + a_{vg}b_v + \delta_g,$$

где a_{ik} – число раскраиваемых полос i-типа в k-варианте; δ_k – минимальные отходы в k-варианте, которые из-за незначительных потерь в расчете не учтены.

Перебором комбинаций значений величин a_{ik}, ..., a_{vk} устанавливаются все допустимые планы продольного раскроя по ширине рулона:

$$a_{1k} = 0,1,\ldots,\left[\frac{B_k}{b_1}\right];$$

$$a_{2k} = 0,1,\ldots,\left[\frac{B_k - a_{1k}b_1}{b_2}\right];$$

……;

$$a_{vk} = \left[\frac{B_k - a_{1k}b_1 - \cdots - a_{v-1,k}b_{v-1}}{b_v}\right].$$

Далее необходимо минимизировать количество разрезаемого проката

$$x_1 + x_2 + \ldots + x_k + \ldots + x_g \rightarrow min.$$

Согласно условиям задачи раскроя, отбираются варианты с минимальными отходами и заносятся в таблицу раскроя 2.2, на основании данных которой устанавливается оптимальный план продольного раскроя с минимальным числом разрезаемых рулонов по определенному варианту (x_1, x_2, ..., x_g).

Для продольного раскроя металла система ограничений представляется в виде:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1k}x_k + \ldots + a_{1g}x_g \geq [p_1];$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2k}x_k + \ldots + a_{2g}x_g \geq [p_2];$$

……;

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{ik}x_k + \ldots + a_{ig}x_g \geq [p_i];$$

……;

$$a_{v1}x_1 + a_{v2}x_2 + \ldots + a_{vk}x_k + \ldots + a_{vg}x_g \geq [p_v].$$

Пример продольного раскроя рулонного проката. Рулон шириной B=1000 мм необходимо разрезать на полосы различной ширины b_1=450 мм, b_2=235 мм,

b_3=200 мм, b_4=145 мм в количестве соответственно p_1=25 шт., p_2=42 шт., p_3=20 шт., p_4=91шт. Ширина рулона и суммарная ширина полос совпадают. Сочетая различные комбинации данных полос с учетом программы и минимальности отходов, определяем 13 возможных вариантов раскроя. Составляем таблицу возможных вариантов раскроя (таблица 2.3).

Таблица 2.2 - Исходные варианты продольного раскроя для определения минимального суммарного количества рулонов

Ширина полосы	Номера вариантов раскроя						Необходимое число полос шириной b_i
	1	2	…	k	…	g	
b_1	a_{11}	a_{12}	…	a_{1k}	…	a_{1g}	p_1
b_2	a_{21}	a_{22}	…	a_{2k}	…	a_{2g}	p_2
…	…	…	…	…	…	…	…
b_i	a_{i1}	a_{i2}	…	a_{ik}	…	a_{ig}	p_i
…	…	…	…	…	…	…	…
b_v	a_{v1}	a_{v2}	…	a_{vk}	…	a_{vg}	p_v
Отходы, мм	δ_1	δ_2	…	δ_k	…	δ_g	
Неизвестные (количество разрезаемых рулонов)	x_1	x_2	…	x_k	…	x_g	

Таблица 2.3 - Исходные варианты продольного раскроя рулона

Ширина полосы	Номера вариантов раскроя													Необходимое число полос шириной b_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
145	2	1	2	2	2	1	5	1	4	6	0	0	0	91
200	0	2	1	0	1	3	0	4	2	0	5	0	0	20
235	1	0	0	3	2	1	1	0	0	0	0	4	0	42
450	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	25
Отходы, мм	25	5	60	5	40	20	40	55	20	130	0	60	100	
Неизвестные (количество разрезаемых рулонов)	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	

Среди множества допустимых вариантов устанавливается наилучший раскрой. Выбор оптимального раскроя реализуется решением системы линейных уравнений [102, 109]. Используя табличные данные, запишем цель задачи – минимизацию суммарных затрат металла, т.е. минимальное суммарное количество рулонов шириной B=1000 мм:

$$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}+x_{12}+x_{13} \rightarrow min.$$

Исходя из условия комплектности, запишем систему ограничений:

$$\begin{aligned}
&2x_1 + x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 2x_5 + x_6 + 5x_7 + x_8 + 4x_9 + 6x_{10} = 91;\\
&2x_2 + x_3 + x_5 + 3x_6 + 4x_8 + 2x_9 + 5x_{11} = 20;\\
&x_1 + 3x_4 + 2x_5 + x_6 + x_7 + 4x_{12} = 42;\\
&x_1 + x_2 + x_3 + 2x_{13} = 25.
\end{aligned}$$

Тогда, с учетом таблицы 2.3, получаем систему уравнений с одним неизвестным в каждом из них с коэффициентом, равным единице, отсутствующем в других уравнениях: в первом уравнении – x_{10} (первое уравнение делим на 6); во втором – x_{11} (делим на 5), в третьем – x_{12} (делим на 4); в четвертом – x_{13} (делим на 2). Систему уравнений запишем в виде, откуда с учетом целевой функции и ограничений получаем значения для заполнения таблицы 2.4:

$$\begin{aligned}
&0{,}33x_1 + 0{,}17x_2 + 0{,}33x_3 + 0{,}33x_4 + 0{,}33x_5 + 0{,}17x_6 + 0{,}83x_7 + 0{,}17x_8 + 0{,}67x_9 + x_{10} = 15{,}17;\\
&0{,}4x_2 + 0{,}2x_3 + 0{,}2x_5 + 0{,}6x_6 + 0{,}8x_8 + 0{,}4x_9 + x_{11} = 4;\\
&0{,}25x_1 + 0{,}75x_4 + 0{,}5x_5 + 0{,}25x_6 + 0{,}25x_7 + x_{12} = 10{,}5;\\
&0{,}5x_1 + 0{,}5x_2 + 0{,}5x_3 + x_{13} = 12{,}5
\end{aligned}$$

Итерация 1. Разрешающий столбец соответствует переменной x_4 (наибольшее значение в строке Q). Определяем значения столбца «отношение»: разделим значение столбца «решение» на значения элементов разрешающего столбца. Разрешающая строка соответствует переменной x_{12} (наименьшее значение столбца «отношение»). Разрешающие столбец и строка выделены серым цветом. В строке Q есть отрицательный элемент, в столбце которого есть один положительный элемент. Тогда переходим к следующему II-шагу, пересчитываем таблицу, улучшая опорный план. На пересечении разрешающих столбца и строки

Таблица 2.4 - Задача линейного программирования в продольном раскрое рулона

Итерация №1

			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Коэф.при неизв-х в цел. функции	Базис. переменная	Решение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	Сумма	Отношение
1	x_{10}	15,17	0,33	0,17	0,33	0,33	0,33	0,17	0,83	0,17	0,67	1	0	0	0	19,5	46
1	x_{11}	4	0	0,4	0,2	0	0,2	0,6	0	0,8	0,4	0	1	0	0	7,6	-
1	x_{12}	10,5	0,25	0	0	0,75	0,5	0,25	0,25	0	0	0	0	1	0	13,5	14
1	x_{13}	12,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	-
Q		42,17	0,08	0,07	0,03	0,08	0,03	0,02	0,08	-0,03	0,07	0	0	0	0	42,6	

Итерация №2

			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Коэф.при неизв-х в цел. функции	Базис. переменная	Решение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	Сумма	Отношение
1	x_{10}	10,5	0,22	0,17	0,33	0	0,11	0,06	0,72	0,17	0,67	1	0	-0,44	0	13,5	62
1	x_{11}	4	0	0,4	0,2	0	0,2	0,6	0	0,8	0,4	0	1	0	0	7,6	10
1	x_4	14	0,33	0	0	1	0,67	0,33	0,33	0	0	0	0	1,33	0	18	-
1	x_{13}	12,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	25
Q		41	0,05	0,07	0,03	0	-0,02	-0,01	0,05	-0,03	0,07	0	0	-0,11	0	41,1	

Итерация №3

			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Коэф.при неизв-х в цел. функции	Базис. переменная	Решение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	Сумма	Отношение
1	x_{10}	8,85	0,22	0	0,24	0	0,02	-0,2	0,72	-0,17	0,5	1	-0,42	-0,44	0	10,3	12,3
1	x_2	10	0	1	0,5	0	0,5	1,5	0	2	1	0	2,5	0	0	19	-
1	x_4	14	0,33	0	0	1	0,67	0,33	0,33	0	0	0	0	1,33	0	18	42
1	x_{13}	7,5	0,5	0	0,25	0	-0,25	-0,75	0	-1	-0,5	0	-1,25	0	1	5,5	-
Q		40,35	0,05	0	-0,01	0	-0,06	-0,12	0,05	-0,17	0	0	-0,17	-0,11	0	39,8	

продолжение таблицы 2.4

Итерация №4

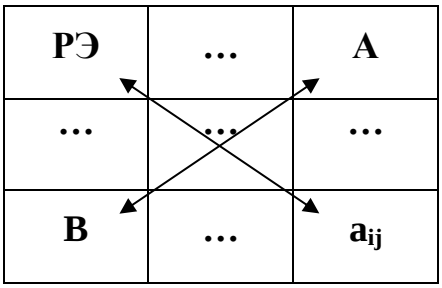
			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Коэф.при неизв-х в цел. функции	Базис. переменная	Решение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	Сумма	Отношение
1	x_7	12,24	0,31	0	0,33	0	0,03	-0,28	1	-0,24	0,69	1,39	-0,58	-0,61	0	14,3	40
1	x_2	10	0	1	0,5	0	0,5	1,5	0	2	1	0	2,5	0	0	19	-
1	x_4	9,92	0,23	0	-0,11	1	0,66	0,42	0	0,08	-0,23	-0,46	0,19	1,53	0	13,2	43
1	x_{13}	7,5	0,5	0	0,25	0	-0,25	-0,75	0	-1	-0,5	0	-1,25	0	1	5,5	15
Q		39,66	0,04	0	-0,03	0	-0,06	-0,11	0	-0,16	-0,04	-0,07	-0,14	-0,08	0	39	

Итерация №5

			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Коэф.при неизв-х в цел. функции	Базис. переменная	Решение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	Сумма	Отношение
1	x_7	7,6															
1	x_2	10															
1	x_4	6,5															
1	x_1	15															
Q		39,1	0	0	-0,05	0	-0,04	-0,05	0	-0,08	0	-0,07	-0,04	-0,67	-0,08	38	

находится разрешающий элемент. Заменяем базисную переменную. Разрешающая строка показывает, какая переменная должна быть выведена из базиса (x_{12}), а разрешающий столбец показывает, какая переменная должна войти в базис (x_4). В таблице 2.4 (итерация 2) замена базисной переменной зафиксирована красной линией.

Итерация 2. Пересчитываем все элементы таблицы 2.4, кроме столбца «отношение». Разрешающий элемент обращаем в единицу. Значения других элементов разрешающего столбца обнуляем. Каждый элемент разрешающей строки делим на значение разрешающего элемента и получаем новые значения. Остальные элементы таблицы пересчитываем по правилу прямоугольника [110]:



$$a_{ij}(*) = a_{ij} - (A*B/РЭ),$$

где $a_{ij}(*)$ – новое значение текущей пересчитываемой ячейки; a_{ij} – старое значение текущей пересчитываемой ячейки; РЭ – значение разрешающего элемента; А и В – элементы, образующие прямоугольник с элементами a_{ij} и РЭ. Проанализируем строку Q. Разрешающий столбец соответствует переменной x_2, разрешающая строка переменной x_{11} (серым цветом). Заменяем базисную переменную. Из базиса выводим переменную x_{11}, и вводим переменную x_2. В таблице 2.4 (итерация 3) замена базисной переменной зафиксирована красной линией. В строке Q есть отрицательные элементы, в столбцах которых положительные элементы. Переходим к следующему III-шагу, пересчитываем таблицу.

Итерация 3. Проанализируем строку Q. Разрешающий столбец соответствует переменной x_7, разрешающая строка переменной x_{10} (серым цветом). Заменяем базисную переменную. Из базиса выводим переменную x_{10}, и вводим переменную x_7.

В таблице 2.4 (итерация 4) замена базисной переменной зафиксирована красной линией.

В строке Q есть отрицательные элементы, в столбцах которых положительные элементы. Переходим к следующему IV-шагу, пересчитываем таблицу.

Итерация 4. Проанализируем строку Q. Разрешающий столбец соответствует переменной x_1, разрешающая строка переменной x_{13} (серым цветом). Заменяем базисную переменную. Из базиса выводим переменную x_{13}, и вводим переменную x_1.

В таблице 2.4 (итерация 5) замена базисной переменной зафиксирована красной линией.

В строке Q есть отрицательные элементы, в столбцах которых положительные элементы. Переходим к следующему V-шагу, пересчитываем таблицу.

Итерация 5. Среди элементов нижней строки нет положительных элементов. Значит, план оптимален. Целевая функция достигла своего оптимального значения, равного нижнему значению столбца «решение».

Таким образом, для выполнения планового задания необходимо разрезать 39,1 рулон шириной B =1000мм на полосы по варианту x_1 – 15, по x_2 – 10, по x_4 – 6,5, по x_7 – 7,6 рулонов. По IV- и VII-вариантам режется дробное число рулонов.

Округляем их количество до целого большего значения и результаты расчетов сводим в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 - Оптимальный план продольного раскроя рулона

Вариант раскроя	Число полос из рулона шириной, мм				Ширина кромки, мм	Число разрезаемых рулонов	Суммарное число полос шириной, мм				Суммарная ширина кромки, мм	Коэффициент раскроя
	145	200	235	450			145	200	235	450		
x_1	2	0	1	1	25	15	30	0	15	15	375	0,975
x_2	1	2	0	1	5	10	10	20	0	10	50	0,995
x_4	2	0	3	0	5	7	14	0	21	0	35	0,995
x_7	5	0	1	0	40	8	40	0	8	0	320	0,960
Итого:						40	94	20	44	25	780	0,981

Поперечный раскрой рулонного проката на заготовки разной длины

Необходимо раскроить рулонный прокат j-типа с определенными размерами (длиной L_j) и одной группы по марке и толщине металла ($j=1, 2, ..., w$) на заготовки i-

типа шириной b_i ($i=1, 2, ..., v$; $b_1 > b_2, ..., \geq b_v$), принадлежащие к одной группе по марке и толщине, с соблюдением комплектности p_i.

С учетом комплектности и минимальных отходов составляется оптимальный план раскроя рулона, обеспечивающий минимальное количество металлопроката для производства заданных заготовок.

План поперечного раскроя рулонного проката длиной L_j по допустимым вариантам представляется в виде

$$L_1 = a'_{11}b_1 + a'_{21}b_2 + \ldots + a'_{i1}b_i + \ldots + a'_{v1}b_v + \delta'_1;$$
$$L_2 = a'_{12}b_1 + a'_{22}b_2 + \ldots + a'_{i2}b_i + \ldots + a'_{v2}b_v + \delta'_2;$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$
$$L_k = a'_{1k}b_1 + a'_{2k}b_2 + \ldots + a'_{ik}b_i + \ldots + a'_{vk}b_v + \delta'_k;$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$
$$L_g = a'_{1g}b_1 + a'_{2g}b_2 + \ldots + a'_{ig}b_i + \ldots + a'_{vg}b_v + \delta'_g.$$

Перебором комбинаций значений величин ($a'_{ik}, ..., a'_{vk}$) устанавливаются все допустимые планы поперечного раскроя по длине рулона:

$$a'_{1k} = 0,1, \ldots, \left[\frac{L_k}{b_1}\right];$$
$$a'_{2k} = 0,1, \ldots, \left[\frac{L_k - a'_{1k}L_1}{b_2}\right];$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$
$$a'_{vk} = \left[\frac{L_k - a'_{1k}lb_1 - \cdots - a'_{v-1,k}b_{v-1}}{b_v}\right].$$

Необходимо минимизировать количество поперечно разрезаемого проката:

$$x'_1 + x'_2 + \ldots + x'_k + \ldots + x'_g \rightarrow min.$$

При этом система ограничений представляется в виде:

$$a'_{11}x_1 + a'_{12}x_2 + \ldots + a'_{1k}x_k + \ldots + a'_{1g}x_g \geq [p'_1];$$
$$a'_{21}x_1 + a'_{22}x_2 + \ldots + a'_{2k}x_k + \ldots + a'_{2g}x_g \geq [p'_2];$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$
$$a'_{i1}x_1 + a'_{i2}x_2 + \ldots + a'_{ik}x_k + \ldots + a'_{ig}x_g \geq [p'_i];$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$
$$a'_{v1}x_1 + a'_{v2}x_2 + \ldots + a'_{vk}x_k + \ldots + a'_{vg}x_g \geq [p'_v].$$

Для выполнения транзитной нормы поставки проката соблюдается условие:

$$\Sigma G_j x_{jk} \geq T_w, \qquad (2.7)$$

$$j=1, ...,w,$$

где G_j – масса рулона, кг; T_w – минимальная транзитная норма поставки, кг.

Для решения задачи поперечного раскроя отбираются варианты с минимальными отходами и заносятся в таблицу раскроя 2.6, на основании данных которой устанавливается оптимальный план поперечного раскроя с минимальным числом разрезаемых рулонов по определенному варианту ($x'_1, x'_2, ..., x'_g$).

Таблица 2.6 - Исходные варианты поперечного раскроя для определения минимального суммарного количества рулонов

Длина полосы	Номера вариантов раскроя						Необходимое число полос длиной b_i
	1	2	…	k	…	G	
b_1	a'_{11}	a'_{12}	…	a'_{1k}	…	a'_{1g}	p'_1
b_2	a'_{21}	a'_{22}	…	a'_{2k}	…	a'_{2g}	p'_2
…	…	…	…	…	…	…	…
b_i	a'_{i1}	a'_{i2}	…	a'_{ik}	…	a'_{ig}	p'_i
…	…	…	…	…	…	…	…
b_v	a'_{v1}	a'_{v2}	…	a'_{vk}	…	a'_{vg}	p'_v
Отходы, мм	δ'_1	δ'_2	…	δ'_k	…	δ'_g	
Неизвестные (количество разрезаемых рулонов)	x'_1	x'_2	…	x'_k	…	x'_g	

2.4.3. Оптимальный раскрой по критерию оптимизации и формирование оптимизированного сортамента

На заключительном этапе оптимизации раскроя в зависимости от ресурс-стоимостного показателя (*RSC)* решается задача проектирования раскроя всех типоразмеров проката одной группы по толщине и марке, поставляемых с разных металлургических комбинатов, с учетом стоимостных показателей, для изготовления деталей из заданного материала.

Продольный раскрой рулонного проката. После определения наилучшего плана раскроя рулонного проката шириной B_1 на заготовки заданной ширины b_1, b_2, ..., b_v выполняется переход к раскрою других типоразмеров рулонов заданной группы (марки и толщины) шириной B_2, ..., B_j, ..., B_w с нахождением оптимальных планов раскроя и минимального числа разрезаемых рулонов каждого типоразмера (X_1, X_2, ..., X_w).

Далее определяется минимизация целевой функции, заключающаяся в поиске наименьшего значения показателя $RSC \rightarrow min$ при расчете продольного раскроя и нахождении минимума финансовых затрат на приобретение проката.

По результатам расчета минимального числа рулонов X_1, X_2, ..., X_w каждого типоразмера проката заданной группы (марки и толщины) B_1, ..., B_2, ..., B_j, ..., B_w, с учетом стоимости C_{1z}, ..., C_{2z}, ..., C_{jz}, ..., C_{wz} металла от разных производителей-поставщиков z-типа ($z=1$, ..., r) определяются затраты на металлопрокат для всех планов продольного раскроя:

$$RSC_j = \begin{vmatrix} C_{11}X_1 & C_{12}X_1 \ \dots \ \dots & C_{1z}X_1 \dots \ \dots & C_{1r}X_1 \\ C_{21}X_2 & C_{22}X_2 \ \dots \ \dots & C_{2z}X_1 \dots \ \dots & C_{2r}X_2 \\ \dots \ \dots \ \dots & \dots \ \dots \ \dots \ \dots & \dots \ \dots \ \dots \ \dots & \dots \ \dots \ \dots \\ C_{j1}X_j & C_{j2}X_j \ \dots \ \dots & C_{jz}X_1 \ \dots \ \dots & C_{jr}X_j \\ \dots \ \dots \ \dots & \dots \ \dots \ \dots \ \dots & \dots \ \dots \ \dots \ \dots & \dots \ \dots \ \dots \\ C_{w1}X_w & C_{w2}X_w \dots \ \dots & C_{wz}X_1 \dots \ \dots & C_{wr}X_w \end{vmatrix}.$$

Оценка затрат по раскрою каждого типоразмера сортамента заданной марки и толщины металла: $RSC_1 \rightarrow min$; $RSC_2 \rightarrow min$; …; $RSC_j \rightarrow min$; …; $RSC_w \rightarrow min$. По минимальному значению ресурс-стоимостного показателя RSC для продольного раскроя рулонного проката рассматриваемой группы устанавливается оптимальное значение целевой функции, соответствующее минимизации затрат, связанных с приобретением металла, с формированием экономически оптимального сортамента.

Поперечный раскрой рулонного проката. После определения наилучшего плана раскроя рулонного проката длиной L_1 на заготовки заданной длины b_1, b_2, ..., b_v выполняется переход к раскрою других типоразмеров рулонов заданной группы (марки и толщины) длиной L_2, ..., L_j, ..., L_w с нахождением оптимальных планов

раскроя и минимального числа разрезаемых рулонов каждого типоразмера (X'_1, X'_2, ..., X'_w).

Далее определяется минимизация целевой функции, заключающаяся в поиске наименьшего значения показателя $RSC' \rightarrow min$ при поперечном раскрое и минимума затрат на металл.

На основе расчетного минимального числа рулонов X'_1, X'_2, ..., X'_w каждого типоразмера проката заданной группы, с учетом стоимости C_{1z}, ..., C_{2z}, ..., C_{jz}, ..., C_{wz} металла от разных производителей-поставщиков z-типа ($z=1, \ldots, r$) определяются затраты на металлопрокат для всех планов поперечного раскроя:

$$RSC'_j = \begin{vmatrix} C_{11}X'_1 & C_{12}X'_1 & \ldots & \ldots & C_{1z}X'_1 & \ldots & \ldots & C_{1r}X'_1 \\ C_{21}X'_2 & C_{22}X'_2 & \ldots & \ldots & C_{2z}X'_2 & \ldots & \ldots & C_{2r}X'_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ C_{j1}X'_j & C_{j2}X'_j & \ldots & \ldots & C_{jz}X'_j & \ldots & \ldots & C_{jr}X'_j \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ C_{w1}X'_w & C_{w2}X'_w & \ldots & \ldots & C_{wz}X'_w & \ldots & \ldots & C_{wr}X'_w \end{vmatrix}.$$

Оценка затрат по раскрою каждого типоразмера сортамента заданной марки и толщины металла должна быть минимальной: $RSC'_1 \rightarrow min$; $RSC'_2 \rightarrow min$; …; $RSC'_j \rightarrow min$; …; $RSC'_w \rightarrow min$. При сравнении минимальных значений ресурс-стоимостного показателя RSC' для поперечного раскроя рулонного проката рассматриваемой группы устанавливается оптимальное значение целевой функции, соответствующее минимизации затрат, связанных с приобретением металла, с формированием экономически оптимального сортамента данной марки и толщины.

Для выполнения подетального планового задания в масштабах производства формируются сводные данные о потребности каждого габарита металлопроката и затратах на металл. Для этого в соответствии с описанным алгоритмом и на основе анализа сортамента металлургических предприятий в зависимости от стоимостных показателей выполняется расчет раскроя для каждой группы металлопроката. По результатам итоговых расчетов и определения минимальной суммарной оценки затрат на приобретение всех металлоресурсов

$\Sigma RSC_j \rightarrow min$ ($j=1, ..., w$) формируется оптимальный сортамент с минимизацией финансовых затрат.

2.4.4. Раскрой оптимизированного сортамента с применением высокопроизводительного режущего оборудования

Проектирование ресурсосберегающего раскроя в зависимости от ресурс-стоимостного показателя предусматривает оценку оптимальности раскроя с помощью базовых экономических показателей, таких, как трудоемкость, производительность резки. Для расчета производительности гильотинного оборудования воспользуемся определением соотношения количества выработанной продукции (полос/ деталей) к затраченному на производство времени (дет./ мин.), учитывающему исключительно время механического воздействия на листовой металл. Т.к. затраты для выполнения вспомогательных и подготовительных работ меняются незначительно. Необходимо найти максимальную производительность при разных видах раскроя $PR_j \rightarrow max,\ PR'_j \rightarrow max$, соответствующую максимизации целевой функции и повышению эффективности раскроя за счет применения высокопроизводительного режущего оборудования. Заготовки раскраиваются поочередно с применением метода индивидуального раскроя, характерного для массового производства, т.е. на одноименные заготовки. На основе расчетного минимального числа рулонов X_j и X'_j ($j=1, 2, ..., w$) для каждого типоразмера сортамента заданной толщины и марки стали и с учетом технических возможностей автоматического режущего оборудования, заданных максимальными скоростями резки V_{ps} и V'_{ps} ($s=1, \ldots, q$), производительность при продольном и поперечном раскрое рассчитывается:

$$PR_j = \begin{vmatrix} \frac{N_1V_{p1}}{X_1L_1} & \frac{N_1V_{p2}}{X_1L_1} \ldots\ldots \frac{N_1V_{ps}}{X_1L_1} \ldots\ldots \frac{N_1V_{pq}}{X_1L_1} \\ \frac{N_2V_{p1}}{X_2L_2} & \frac{N_2V_{p2}}{X_2L_2} \ldots\ldots \frac{N_2V_{ps}}{X_2L_2} \ldots\ldots \frac{N_2V_{pq}}{X_2L_2} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{N_jV_{p1}}{X_jL_j} & \frac{N_jV_{p2}}{X_jL_j} \ldots\ldots \frac{N_jV_{ps}}{X_jL_j} \ldots\ldots \frac{N_jV_{pq}}{X_jL_j} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{N_wV_{p1}}{X_wL_w} & \frac{N_wV_{p2}}{X_wL_w} \ldots\ldots \frac{N_wV_{ps}}{X_wL_w} \ldots\ldots \frac{N_wV_{pq}}{X_wL_w} \end{vmatrix},$$

$$PR'_j = \begin{vmatrix} \frac{N'_1 b_i V'_{p1}}{X'_1 L_1} & \frac{N'_1 b_i V'_{p2}}{X'_1 L_1} \dots \dots \frac{N'_1 b_i V'_{ps}}{X'_1 L_1} \dots \dots & \frac{N'_1 b_i V'_{pq}}{X'_1 L_1} \\ \frac{N'_2 b_i V'_{p1}}{X'_2 L_2} & \frac{N'_2 b_i V'_{p2}}{X'_2 L_2} \dots \dots \frac{N'_2 b_i V'_{ps}}{X'_2 L_2} \dots \dots & \frac{N'_2 b_i V'_{pq}}{X'_2 L_2} \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \dots \\ \frac{N'_j b_i V'_{p1}}{X'_j L_j} & \frac{N'_j b_i V'_{p2}}{X'_j L_j} \dots \dots \frac{N'_j b_i V'_{ps}}{X'_j L_j} \dots \dots & \frac{N'_j b_i V'_{pq}}{X'_j L_j} \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \dots \\ \frac{N'_w b_i V'_{p1}}{X'_w L_w} & \frac{N'_w b_i V'_{p2}}{X'_w L_w} \dots \dots \frac{N'_w b_i V'_{ps}}{X'_w L_w} \dots \dots & \frac{N'_w b_i V'_{pq}}{X'_w L_w} \end{vmatrix},$$

где L_j – длина разрезаемого рулона, определенная по формуле (2.6), преобразованная в м; N_j и N'_j – максимальное число деталей из расчетного минимального числа рулонов X_j и X'_j при разных видах раскроя, рассчитанное по формуле (2.5), шт.; V_{ps} и V'_{ps} – максимальная скорость (число двойных ходов ползуна), предусмотренная паспортными данными гильотинного оборудования, м/мин. (дв. х./мин).

При расчете трудоемкости раскроя, как величины обратной производительности и определяемой затратами времени на изготовление единицы раскройной продукции (мин./ дет.), требуется определить минимальную трудоемкость при разных видах раскроя $TR_j \to min,\ TR'_j \to min,$ отвечающую минимизации целевой функции и повышению экономичности раскроя. При продольном раскрое трудоемкость вычисляется:

$$TR_j = \begin{vmatrix} \frac{X_1 L_1}{N_1 V_{p1}} & \frac{X_1 L_1}{N_1 V_{p2}} \dots \dots \frac{X_1 L_1}{N_1 V_{ps}} \dots \dots & \frac{X_1 L_1}{N_1 V_{pq}} \\ \frac{X_2 L_2}{N_2 V_{p1}} & \frac{X_2 L_2}{N_2 V_{p2}} \dots \dots \frac{X_2 L_2}{N_2 V_{ps}} \dots \dots & \frac{X_2 L_2}{N_2 V_{pq}} \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \dots \\ \frac{X_j L_j}{N_j V_{p1}} & \frac{X_j L_j}{N_j V_{p2}} \dots \dots \frac{X_j L_j}{N_j V_{ps}} \dots \dots & \frac{X_j L_j}{N_j V_{pq}} \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \dots \\ \frac{X_w L_w}{N_w V_{p1}} & \frac{X_w L_w}{N_w V_{p2}} \dots \dots \frac{X_w L_w}{N_w V_{ps}} \dots \dots & \frac{X_w L_w}{N_w V_{pq}} \end{vmatrix}.$$

При поперечном раскрое трудоемкость вычисляется:

$$TR'_j = \begin{vmatrix} \frac{X'_1 L_1}{N'_1 b_i V'_{p1}} & \frac{X'_1 L_1}{N'_1 b_i V'_{p2}} \dots \dots \frac{X'_1 L_1}{N'_1 b_i V'_{ps}} \dots \dots \frac{X'_1 L_1}{N'_1 b_i V'_{pq}} \\ \frac{X'_2 L_2}{N'_2 b_i V'_{p1}} & \frac{X'_2 L_2}{N'_2 b_i V'_{p2}} \dots \dots \frac{X'_2 L_2}{N'_2 b_i V'_{ps}} \dots \dots \frac{X'_2 L_2}{N'_2 b_i V'_{pq}} \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{X'_j L_j}{N'_j b_i V'_{p1}} & \frac{X'_j L_j}{N'_j b_i V'_{p2}} \dots \dots \frac{X'_j L_j}{N'_j b_i V'_{ps}} \dots \dots \frac{X'_j L_j}{N'_j b_i V'_{pq}} \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{X'_w L_w}{N'_w b_i V'_{p1}} & \frac{X'_w L_w}{N'_w b_i V'_{p2}} \dots \dots \frac{X'_w L_w}{N'_w b_i V'_{ps}} \dots \dots \frac{X'_w L_w}{N'_w b_i V'_{pq}} \end{vmatrix}.$$

Определение максимальной производительности и минимальной трудоемкости резки является, собственно, проверочным расчетом правильности решенной задачи и выбора оптимального варианта раскроя с формированием оптимизированного сортамента, соответствующего минимальному числу рулонов, с минимизацией затрат на его приобретение. Однако, модель оптимизации гильотинного раскроя может быть трансформирована в новую модель с изменением цели задачи, направленной на достижение наилучших показателей производительности и трудоемкости, что также является актуальной проблемой в условиях массового и крупносерийного производства холодноштампованных деталей.

2.4.5. Разработка модифицированного алгоритма оптимального раскроя с учетом выбора сортамента металла и режущего оборудования

Для создания классификаций по деталям, металлопрокату, оборудованию устанавливаются признаки, оказывающие влияние на разработку раскроя и технологического процесса резки. Таким образом, экономичность раскроя с минимизацией затрат на приобретение металла, определяемая с помощью ресурс-стоимостного показателя, будет являться целевой функцией. Ресурс-стоимостной показатель (РСП) определяется как критерий оптимизации (resource-saving coefficient – «*RSC»*) и представляется в виде:

$$RSC = f(D, M, O),$$

где *D, M, O* – отличительные признаки деталей, металла, оборудования.

При заданных производственных, технологических, экономических условиях необходимо найти экстремальные значения целевой функции и

определить наилучший вариант, т.е. минимальное значение РСП.

Для реализации критерия оптимизации РСП выполнена конкретизация отличительных особенностей деталей (таблица 2.7), металлопроката (таблица 2.8) и оборудования для резки (таблица 2.9).

Таблица 2.7 - Отличительные особенности деталей применительно к раскрою

Наименование классификационного признака	Обозначение признака	
Назначение деталей	Н	*h*
Габариты	Р	*r*
Толщина	Т	*t*
Вес заготовки	З	*q*
Сложность конфигурации заготовок	Ф	s
Вид исходного материала	М	*m*
Качество поверхности	К	*k*
Направление волокна	В	*w*
Точность резки (допуск)	Д	*d*

Классификационные признаки деталей в части раскроя представляется в общем виде:

$$D = f(h, p, t, q, s, m, k, w, d),$$

где *h, p, t, q, s, m, k, w, d* – классификационные признаки деталей.

Листовой металл, поступающий в заготовительные производства в виде широких рулонов, лент или листов, перерабатывается по маршрутам, установленным технологическими процессами. Порядок обработки металла зависит от разных факторов (масштаба производства, габаритов штампуемых деталей, условий поставки металлопроката, наличного режущего оборудования и др.) [113]. В случае экономически выгодных производственных условий предприятие может самостоятельно производить раскрой рулонного проката на полуфабрикаты (листы, полосы, карты, ленты) или готовые изделия. Вследствие этого раскрой будет выполняться последовательно в несколько этапов.

На рисунке 2.15 показана возможная последовательность переработки листового проката по различным направлениям.

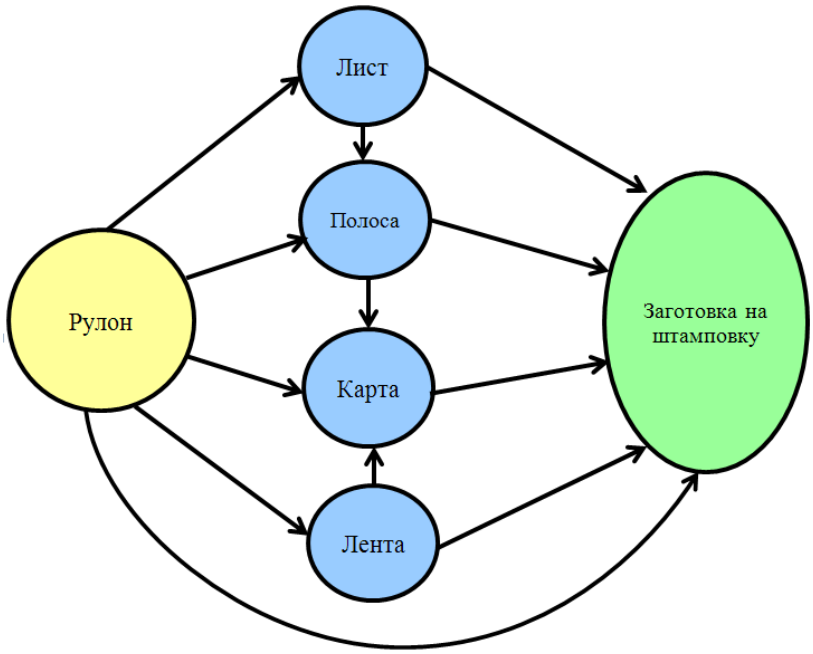


Рисунок 2.15 - Возможные маршруты переработки листового проката

Определенное значение для рационального раскроя материалов имеет число типоразмеров проката, выпускаемого металлургическими заводами [3]. База данных по сортаменту металла (справочник металла) формируется с учетом его отличительных особенностей и других характеристик (таблица 2.8).

Отличительные особенности металлопроката:

$$M = f\,(v, t, b, l, q, n, p, c, z),$$

где $v, t, b, l, q, n, p, c, z$ – классификационные признаки раскраиваемого проката.

Таблица 2.8 - Отличительные особенности металлопроката

Наименование классификационного признака	Обозначение признака
Вид материала (лист, рулон, лента, полоса, карточка)	v
Толщина	t
Ширина	b
Длина (для листа)	l

продолжение таблицы 2.8	
Вес проката	*q*
Марка материала	*n*
Количество (листов, рулонов)	*p*
Цена	*c*
Поставщик	*z*

Применяемое для раскроя оборудование и его классификация показаны на рисунке 2.16, отличительные особенности даны в таблице 2.9.

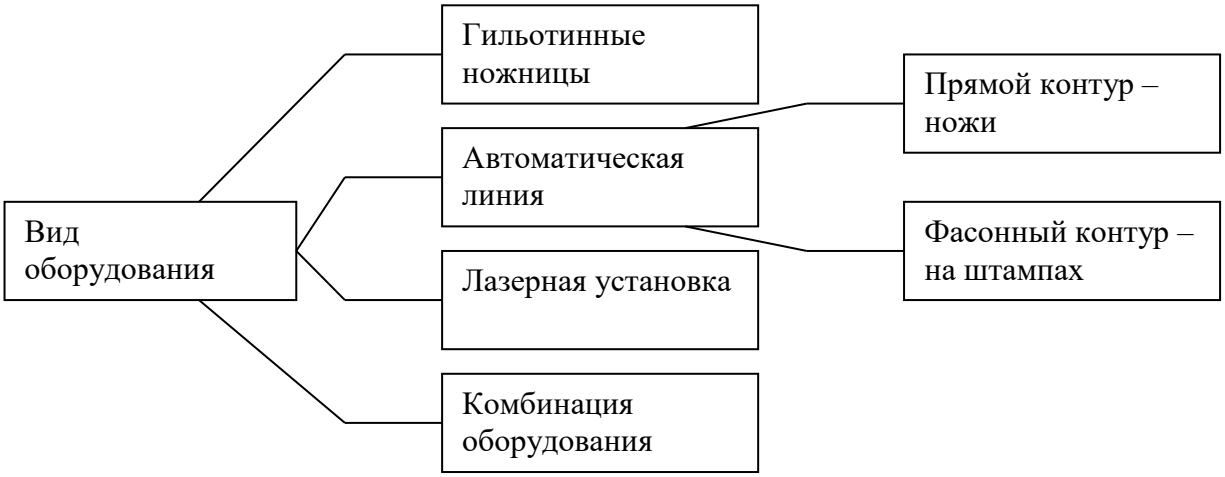


Рисунок 2.16 - Классификатор оборудования заготовительного участка

Отличительные особенности оборудования:

$$O = f(u, t, b, l, g, x),$$

где *u, t, b, l, g, x* –характеристики оборудования.

Таблица 2.9 - Отличительные особенности оборудования

Наименование классификационного признака	Обозначение признака
Вид режущего оборудования	*U*
Толщина	*T*
Ширина	*B*
Длина (для листа)	*L*
Шаг резки (подача)	*G*
Скорость работы	*X*

Характеристика (кодировка по параметрам) всех видов оборудования заготовительного участка прессового цеха представлена в таблице 2.10. Параметры режущего инструмента формируются, исходя из паспортных характеристик оборудования, и хранятся в базе данных САПР.

Общий вид оборудования для резки холоднокатаного проката на Ульяновском автомобильном заводе представлен на рисунках 2.17 – 2.21.

Рисунок 2.17 - Общий вид автоматической линии «Аида»

Рисунок 2.18 - Общий вид автоматического комплекса с ножницами «BZ»

Рисунок 2.19 - Общий вид автоматической линии фасонной вырубки

Рисунок 2.20 - Общий вид гильотинных ножниц

Рисунок 2.21 - Общий вид роботизированного комплекса лазерной резки «KUKA»

Рассмотренные технологические параметры заготовок для производства штампованных деталей, сортамент раскраиваемого металлопроката и характеристики раскройного оборудования введены в базу данных.

Применение раскройного оборудования соответствует картам раскроя, которые формируются САПР согласно алгоритму, структурная схема которого приведена на рисунке 2.22. Схема включает исходную информацию о деталях, материалах и ценах, а также о характеристиках оборудования. Модуль формирования банка данных о деталях (развертка, кодирование, генерация справочника деталей) создает данные для раскроя (модуля оптимизации заготовок и схем раскроя). В этом модуле происходит расчет оптимизированного раскроя (выбор детали и материала, расчет числа деталей и их КИМ, расчет по критерию РСП) и генерируется проект схемы раскроя, которая выводится в виде «Карты раскроя материала» с сопутствующими данными, приведенными на том же рисунке 2.22. Построение заготовки оптимальных размеров возможно в автоматическом и ручном режиме.

Для деталей, получаемых гибкой, и для которых важно направление прокатки (волокна), на развертке указывается положение линии изгиба. Созданный файл с расширением «dwg» сохраняется в формате «dxf» и экспортируется в графический программный комплекс системы.

При существующем подходе к решению задачи раскроя работает алгоритм индивидуального раскроя заводского сортамента, принятый на предприятии (рисунок 2.23). Алгоритм решения задачи [111, 112, 113] основан на обобщении опыта квалифицированных технологов.

Предлагаемый автором модифицированный алгоритм ресурсосберегающего раскроя (рисунок 2.24) по сравнению с существующим алгоритмом подетального раскроя обладает принципиальными отличиями, так при расчете 1) используется сортамент металлургических предприятий с учетом их стоимостных показателей; 2) выполняется раскрой для группы деталей, изготавливаемых из листового материала одной марки и толщины; 3) определяется ресурс-стоимостной показатель, по минимальному значению которого выбирается наиболее

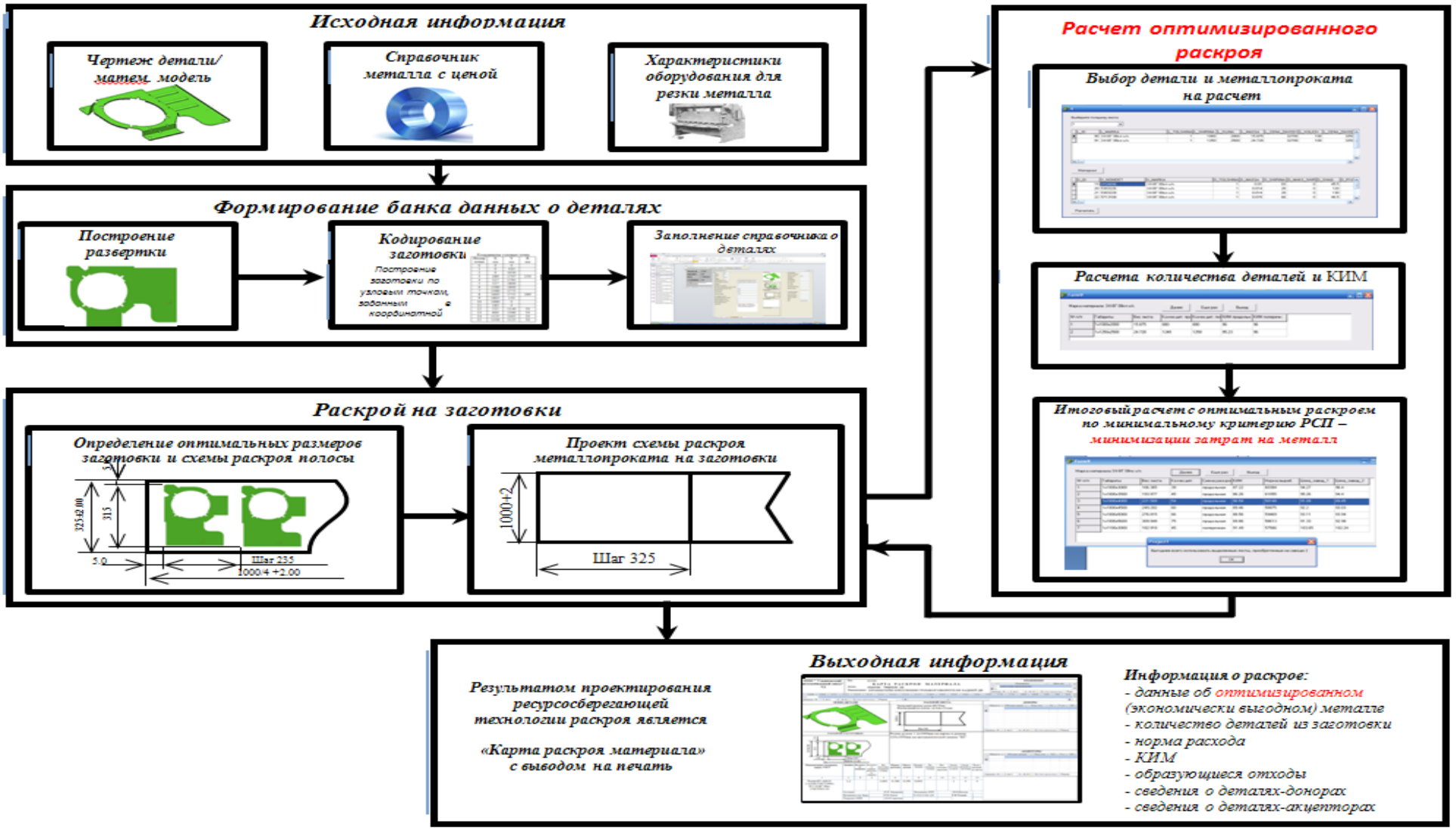


Рисунок 2.22 - Структурная схема алгоритма расчета оптимизированного раскроя

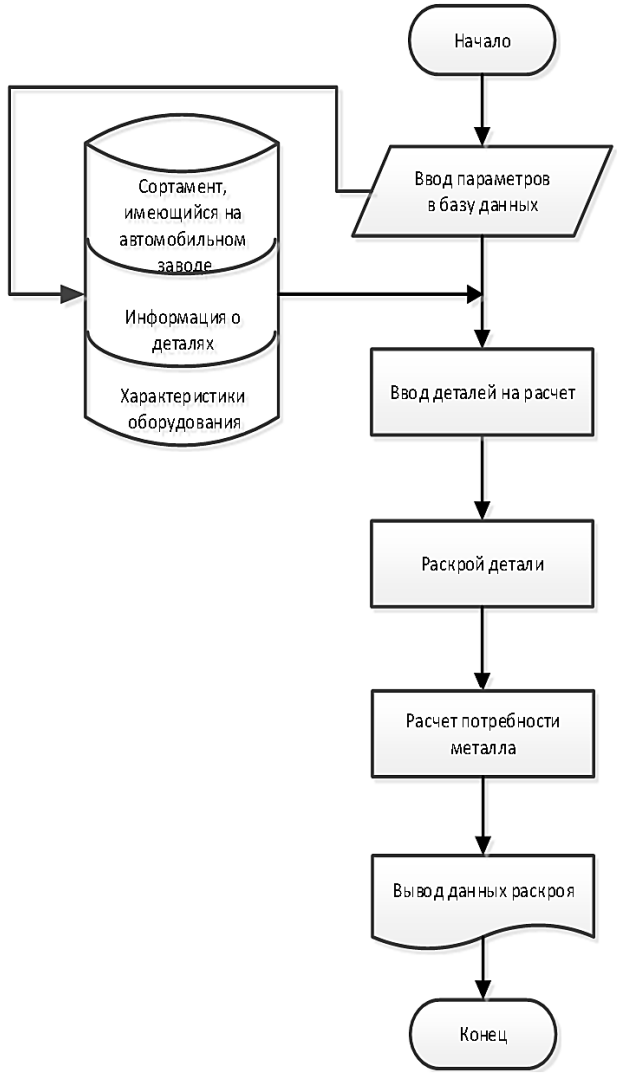


Рисунок 2.23 - Обобщенный алгоритм **<u>подетального</u>** раскроя **по действующему варианту**

экономичный вариант раскроя, при котором запланированное количество заготовок будет произведено с наименьшим потреблением металлопроката при минимальных финансовых затратах.

Дополнения к работе алгоритма (рисунок 2.24):

1) Составление плана расположения заготовок на раскраиваемом материале осуществляется на основании технологических требований и ограничений:

- Определение ориентации по волокну заготовок с последующей гибкой.
- Обрезка кромок при заказе листового проката с необрезной кромкой и при наличии дефектов.
- Размер минимального концевого отхода определяется минимальной шириной зоны прижима листа на гильотинном оборудовании – 75 мм.
- Требования охраны труда и техники безопасности такие, как ограничение длины заготовки (полосы) до 1400 мм для тонколистовой стали, ограничение веса заготовки (полосы) до 16 кг – для толстолистовой стали.
- Ограничение длины полосы при изготовлении деталей на автоматахLmin=2500мм.
- Ограничение размеров технологических отходов, учитываемых при расчетах – не менее 50мм и др.

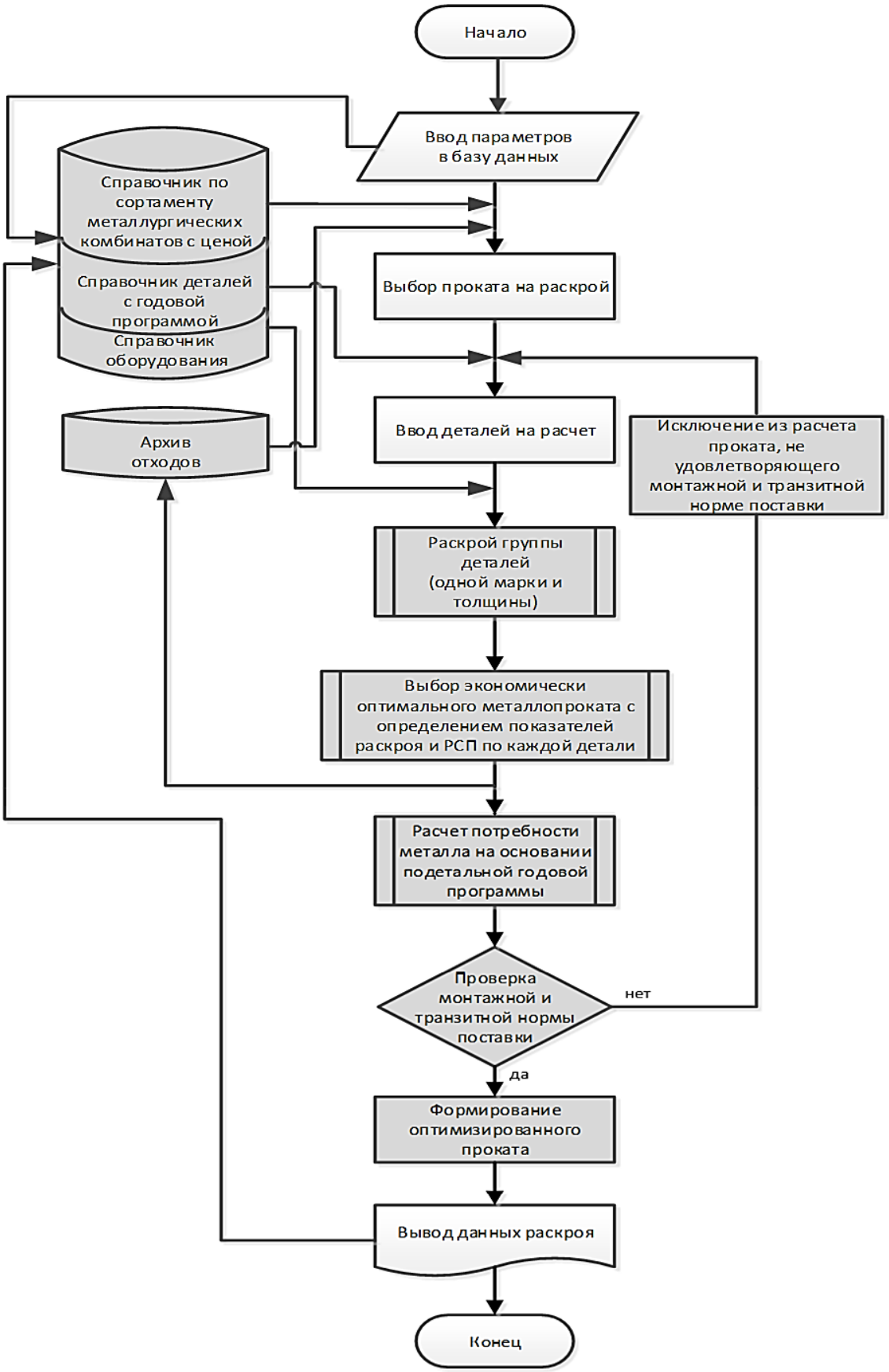


Рисунок 2.24 - Модифицированный алгоритм раскроя металлопроката **для группы деталей** (элементы, выделенные серым цветом, являются авторскими разработками)

2) Эффективность задачи оптимального раскроя предусматривает автоматическое формирование всех необходимых данных для проектирования технологических процессов резки заготовок с учетом характеристик и ограничений раскройного оборудования, дополнительных производственных особенностей, в частности, производственной программы.

3) Формирование оптимального сортамента металлопроката осуществляется при соблюдении требований транзитной нормы поставки, а также соблюдении монтажной нормы поставки согласно ограничению (2.7).

4) Создание архива неиспользованных отходов для их передачи в другие цеха прессового производства или для продажи внешним потребителям.

2.6. Краткие выводы

1. Сформулированы основные положения концепции проектирования ресурсосберегающего раскроя с использованием показателя РСП, которая позволит сократить потери металла и снизить его потребление.

2. Разработан классификатор параметров холодноштампованных деталей для создания базы данных о подетальном раскрое металла на основе формирования каталогов заготовок и отходов, образующихся при производстве деталей из листового металла, и установления их отличительных признаков.

3. Разработана архитектура базы данных для управления данными о подетальном раскрое.

4. Разработана математическая модель ресурсосберегающего раскроя для деталей, принадлежащих к одной группе по толщине и марке металла. Для реализации разработанной методики сформирована целевая функция с соблюдением технологических ограничений и с учетом показателя РСП.

5. Разработан модифицированный алгоритм гильотинного раскроя с учетом выбора более производительного автоматического режущего оборудования и оптимизированного сортамента металла.

6. Создана на основе ресурс-стоимостной оценки методика проектирования оптимального раскроя для номенклатуры штампованных деталей из листового

металлопроката с вводом изменяющихся норм расход, формированием оптимизированного сортамента на базе анализа сортамента производителей-поставщиков с учетом их стоимостных показателей, минимизацией затрат на металл.

Глава 3 РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ САПР ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ

3.1. Разработка базы данных «Кластер деталей ПРОМ-2013» для управления данными о подетальным раскрое

На основе разработанного классификатора параметров штампованных деталей из листового проката создана база данных «Кластер деталей ПРОМ-2013» с официальной регистрацией (свидетельство №2017620130) [114] и с учетом требований к ним [115 – 123]. БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» реализована в рамках реляционной модели данных с применением Microsoft Office Access, обладающей большими возможностями для управления данными (связанные запросы, связь с внешними таблицами и базами данных). Тип реализующей ЭВМ: IBM PC. Вид и версия системы управления БД: Access. Вид и версия операционной системы: Windows. Объем базы данных: 1,9 Гб. Фрагменты базы данных приведены в приложении Д.

В созданной БД управление данными о подетальном раскрое организовано в одноименном с базой файле «Кластер деталей ПРОМ-2013» с обеспечением ее целостности. При обновлении данных в одной таблице автоматически изменяется информация во всех формах. Отличие записей осуществляется с помощью уникального кода – пятнадцатизначного числа, который соответствует номеру детали и вводится посредством формы «Детали» (рисунок 3.1).

Ввод данных по материалам осуществляется с помощью форм «Материалы» (рисунок 3.2). Просмотр и ввод данных по деталям осуществляется с помощью форм «Детали» (рисунок 3.3), организованных таким образом, что при заполнении информацией всех полей, форма представляет собой выходной документ «Карту раскроя».

Просмотр и ввод данных по извещениям и применяемости производится с помощью соответствующих форм «Извещение», «Применяемость». Просмотр и ввод данных по деталям-донорам осуществляется с помощью форм «Доноры»

(рисунок 3.4), по деталям-акцепторам – с помощью форм «Акцепторы» (рисунок 3.5).

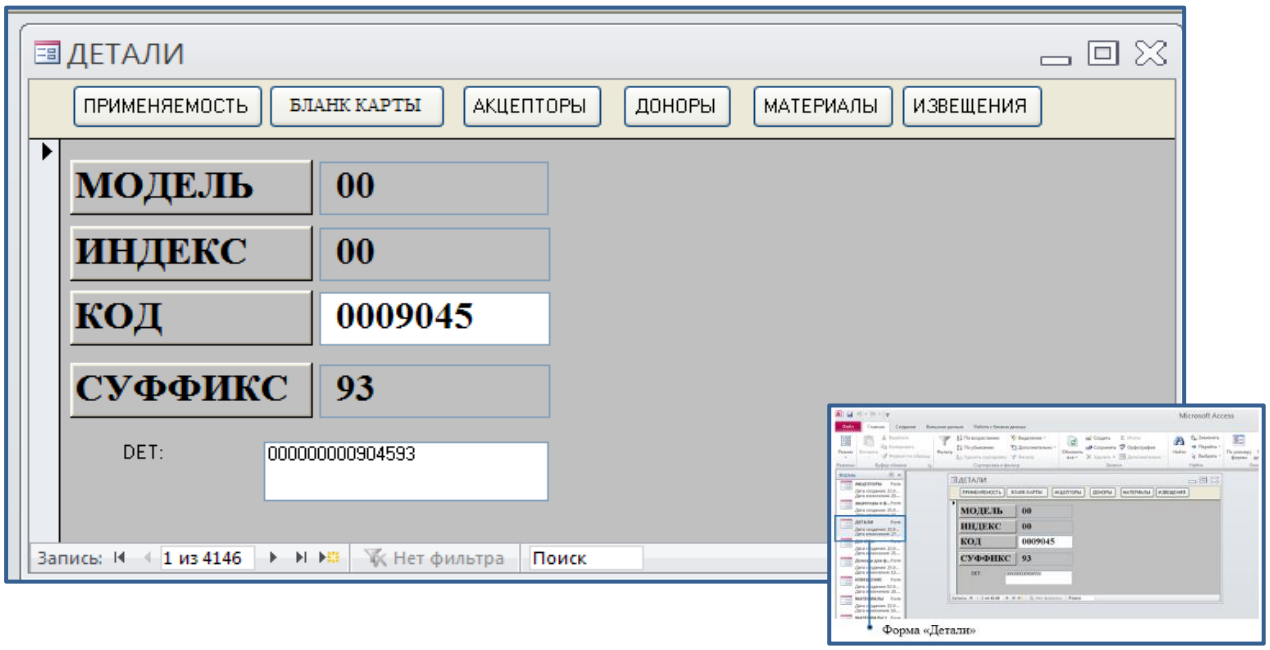


Рисунок 3.1 - Общий вид окна формы «Детали» для ввода универсального кода

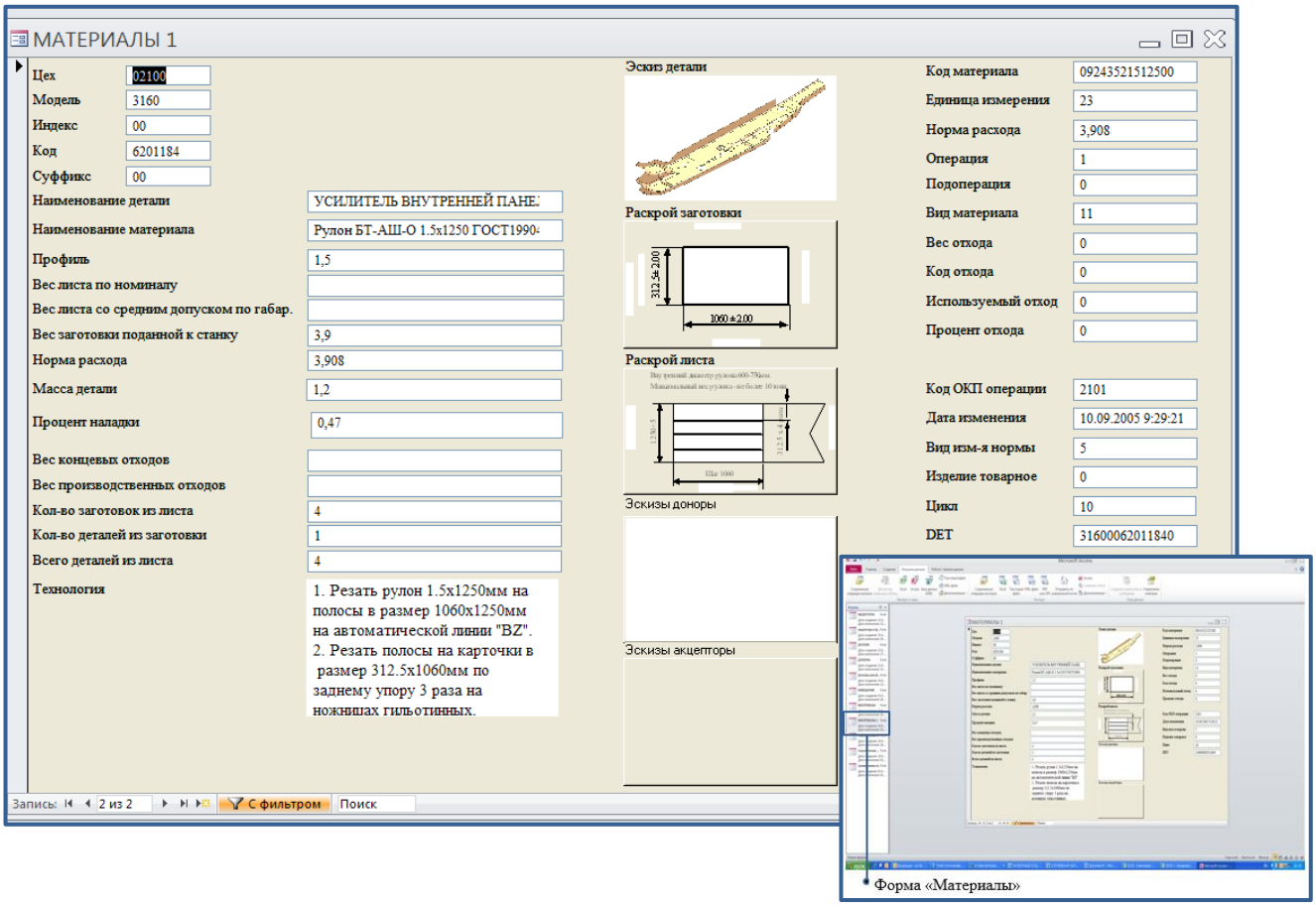


Рисунок 3.2 - Общий вид окна для заполнения формы «Материалы».

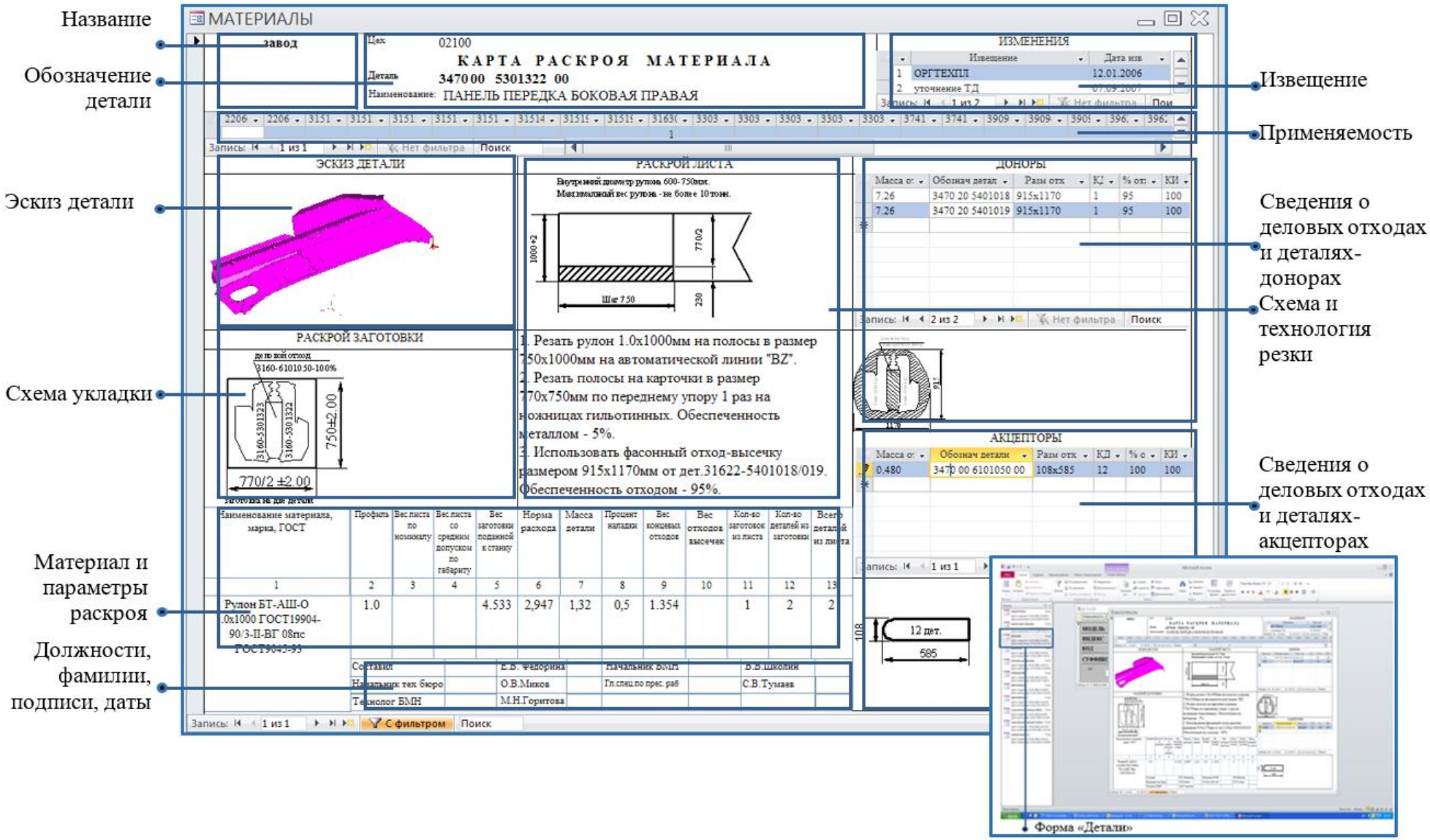


Рисунок 3.3 - Пример заполнения формы «Детали» - «Карты раскроя материала»

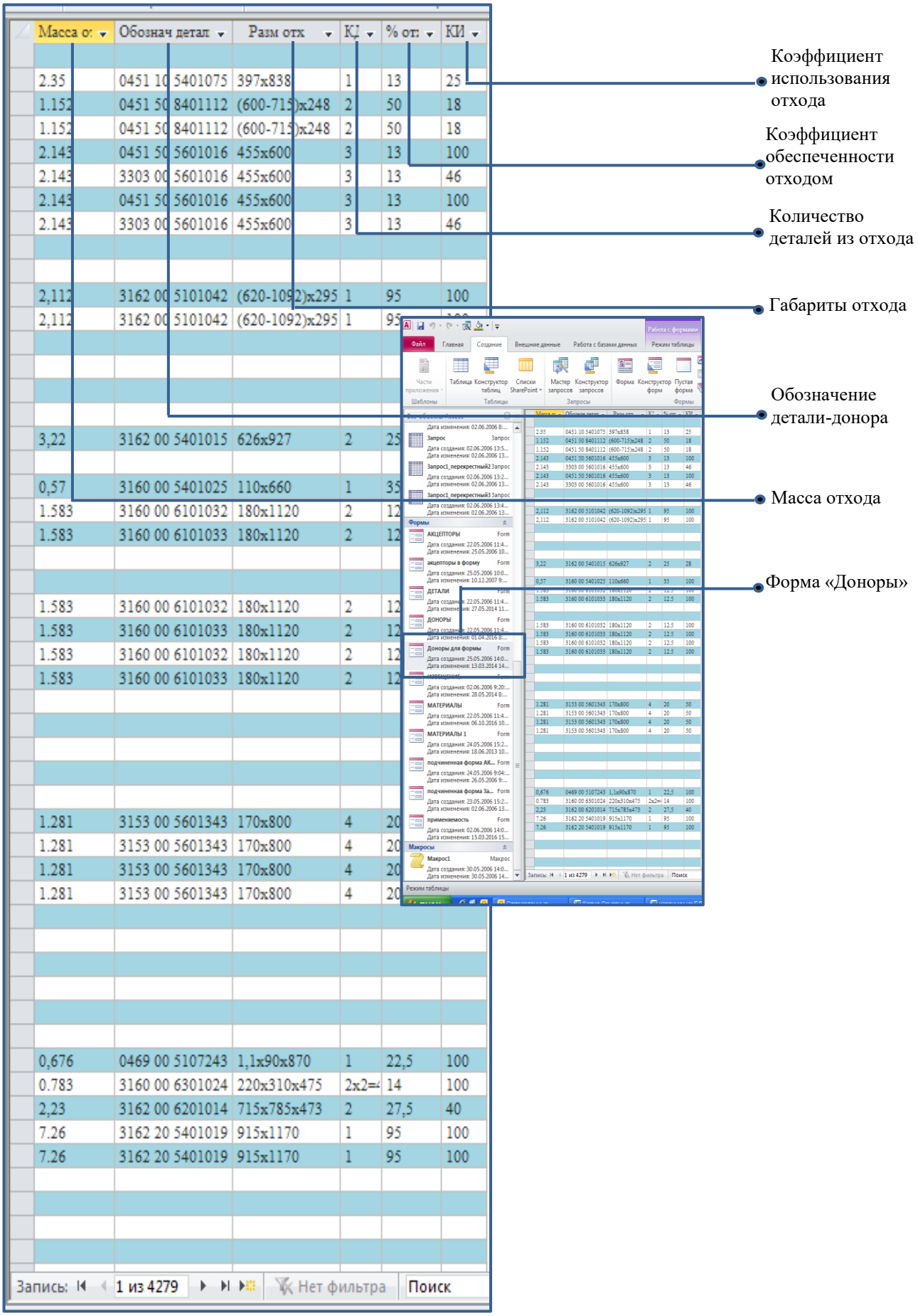


Рисунок 3.4 - Пример окна по выбору формы «Доноры» (табличного типа)

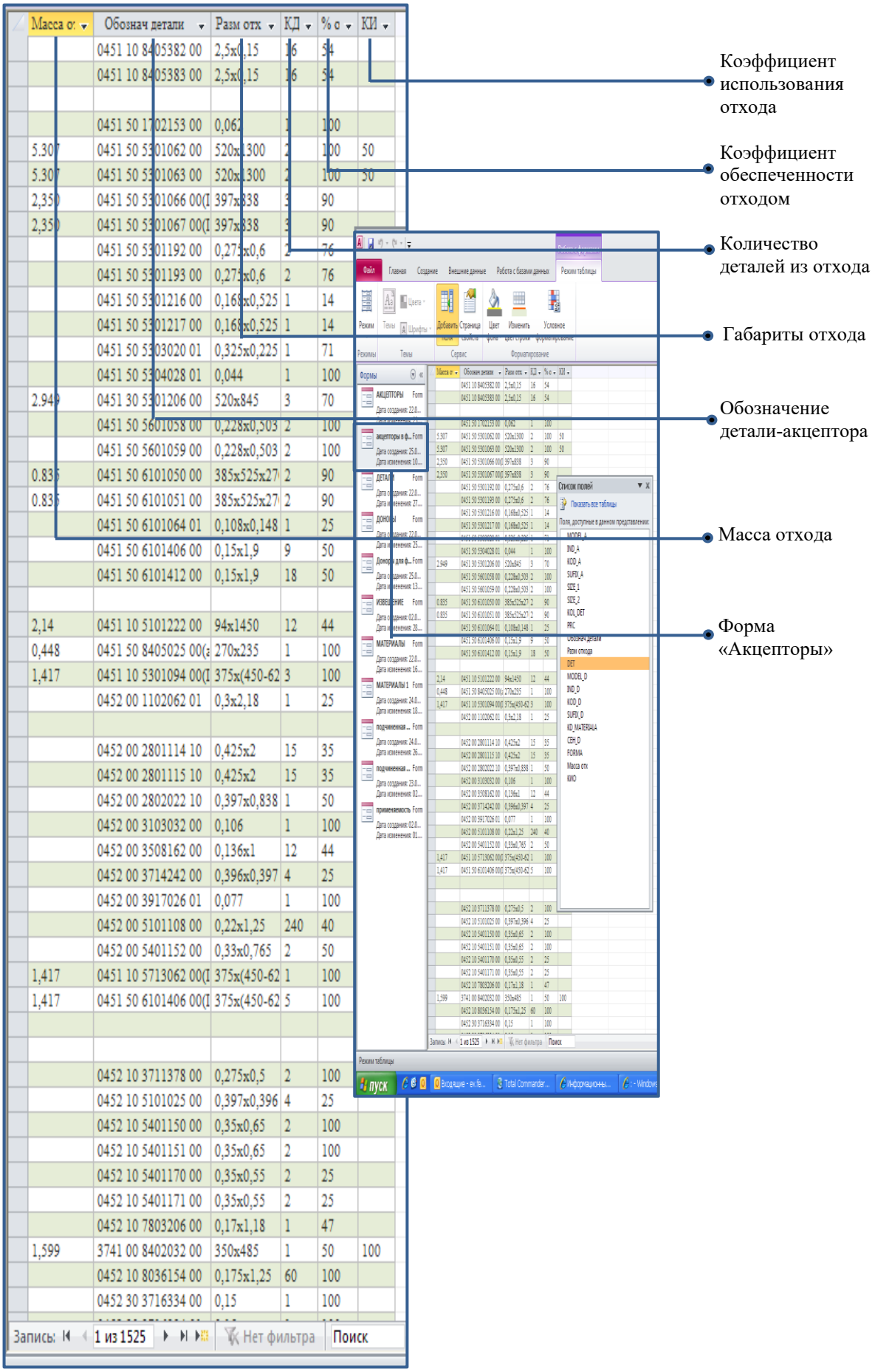


Рисунок 3.5 - Пример окна по выбору формы «Акцепторы» (табличного типа)

Информационный фонд базы данных содержит сведения о раскраиваемом металлопрокате, подетальные ТЭП раскроя, схему раскроя и технологию резки, информацию об образующихся отходах и их использовании с указанием деталей-доноров, обеспечивающих отходом, и деталей-акцепторов, использующих отход.

В БД организован многоуровневый архив карт раскроя с результатами расчета оптимального сортамента по каждой детали. При изменении договоров поставки металла и условий производства из разработанной базы данных можно оперативно извлечь обновленную «Карту раскроя материала». Карта технической информации раскроя металлопроката разрабатывается на раскрой основного металла и на раскрой остатков (деловых отходов).

Для визуализации расчетных данных карта раскроя дополняется сведениями, импортируемыми из интегрированных с Access приложений Microsoft Office Word, Excel, PowerPoint, AutoCAD и др., что позволяет оперативно анализировать информацию и принимать экономически выгодные решения по переработке металла.

3.2. Разработка программы оптимизации раскроя «ПРОМ-2013»

Разработанное ПО «ПРОМ-2013» [119, 123, 71] предназначено для проектирования гильотинного раскроя в условиях массового и крупносерийного листоштамповочного производства с применением ресурс-стоимостного показателя и в зависимости от производственных и технологических ограничений [124 – 126]. Программа «ПРОМ-2013» официально зарегистрирована (свидетельство №2016611103) [127] и позволяет произвести оценку затрат при раскрое листового проката, и выбрать оптимальный вариант с минимизацией финансовых затрат. Описание программы (приложение Е) выполнено на языке программирования Delphi, применяемом в одноименной среде разработки и являющимся комбинацией нескольких важнейших технологий. Программа раскроя металлопроката «ПРОМ-2013» представляет собой архивный файл объемом 1,03 МБ, который после разархивирования открывается с применением программы Delphi (рисунок 3.6).

«ПРОМ-2013» обеспечивает выполнение следующих функций: формирование и ввод данных на раскрой с возможностью их редактирования; расчет раскроя листового проката с учетом технических возможностей режущего оборудования; определение нового критерия оптимизации РСП и нормативных показателей раскроя (КИМ, КРМ, нормы расхода); формирование карт раскроя.

Рисунок 3.6 - Ярлык загружаемого файла программы «ПРОМ-2013» и окно «Главная»

«ПРОМ-2013» содержит две интегрированные системы: справочник деталей и материалов (сортамента металлопроката) и модуль расчета и оптимизации раскроя с определением ресурс-стоимостного показателя [128, 74]. Справочник деталей и материалов (рисунок 3.7) создан на основе классификаторов, разработанных автором и учитывающих специфику номенклатуры заготовок холодноштамповочного производства (см. главу 2.2), и включает в себя:

1) банк данных по деталям с информацией, содержащей номер и наименование детали; толщину и марку материала; массу детали; ширину полосы; шаг подачи; рядность и припуск для получения последней заготовки;

2) банк данных по сортаменту металлургических комбинатов с информацией, содержащей толщину, марку и габаритные размеры листового проката, массу и количество листов, цену от разных производителей.

Информация представлена в виде двух объединенных справочников, что позволяет производить действия над объектами банков данных (создание и удаление записей, редактирование и просмотр данных) и отслеживать их взаимодействие. Например, при задании толщины и марки металла для раскроя в

первой таблице формируется список деталей, изготавливаемых из заданного материала. Одновременно изменяются данные и во второй таблице, и на раскрой выдается только тот листовой прокат, толщины и марка которого соответствует заданным.

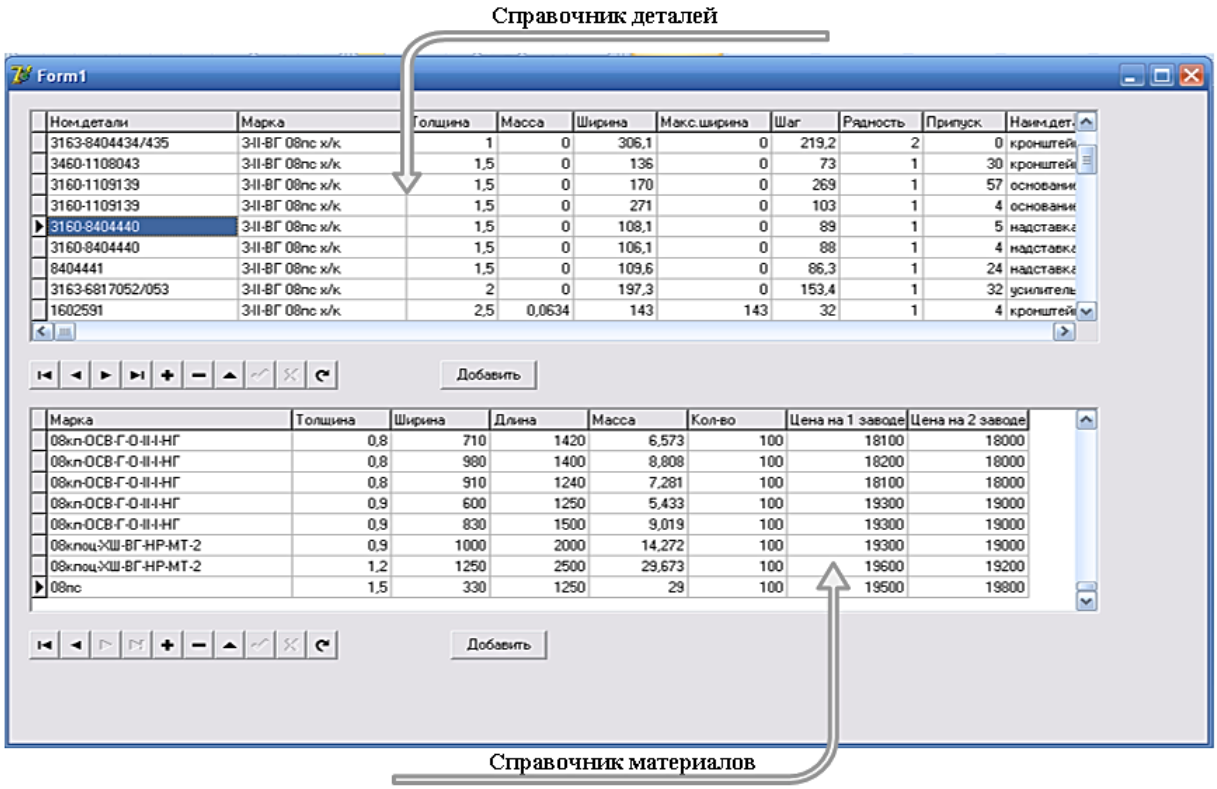


Рисунок 3.7 - Фрагмент справочников сортамента металлопроката и деталей

При составлении задания на раскрой из справочника деталей отбираются детали согласно плану производства. Соответственно из справочника материалов (сортамента металлопроката), применяемого в заготовительном отделении холодноштамповочного производства, выбирается листовой прокат (рисунок 3.8).

Отбор на расчет металлопроката и деталей осуществляется по ключевым параметрам марке и толщине металла. После задания толщины (рисунок 3.9) программой выдается на расчет полный список листового сортамента заданной толщины (рисунок 3.10). В соответствии с заданием определяется марка металла. Появление всплывающей кнопки «Материал» (рисунок 3.11) подтверждает завершение выбора материала.

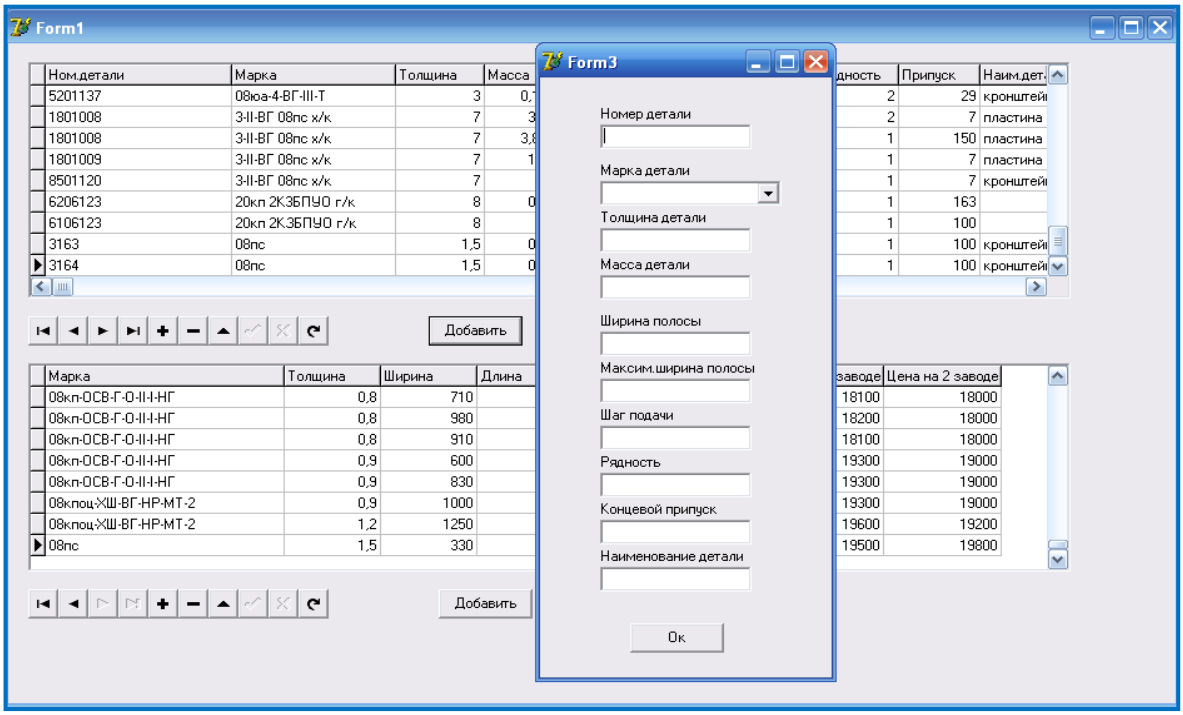


Рисунок 3.8 - Общий вид окна по выбору на раскрой детали и сортамента металлопроката

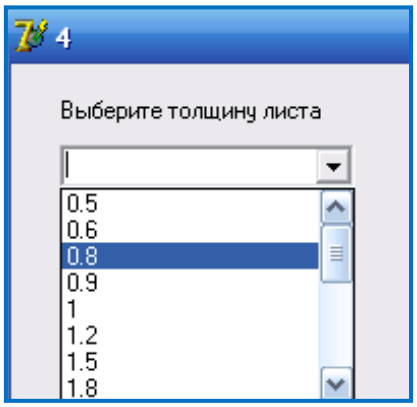


Рисунок 3.9 - Пример задания толщины металлопроката

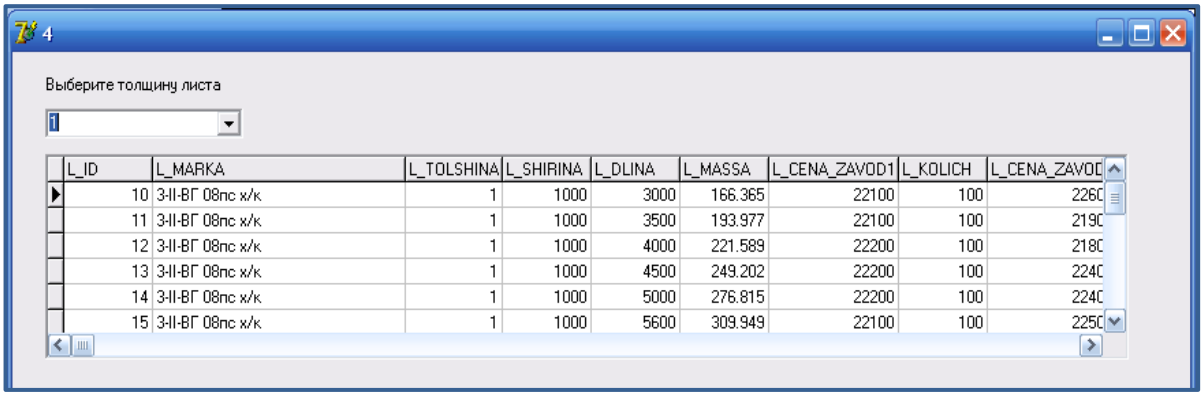


Рисунок 3.10 - Пример выбора списка листового проката заданной толщины

При нажатии пользователем на кнопку «Материал» появляется таблица с деталями, принадлежащими к одной группе в соответствии с заданной толщиной

и маркой материала, и определяются детали на расчет.

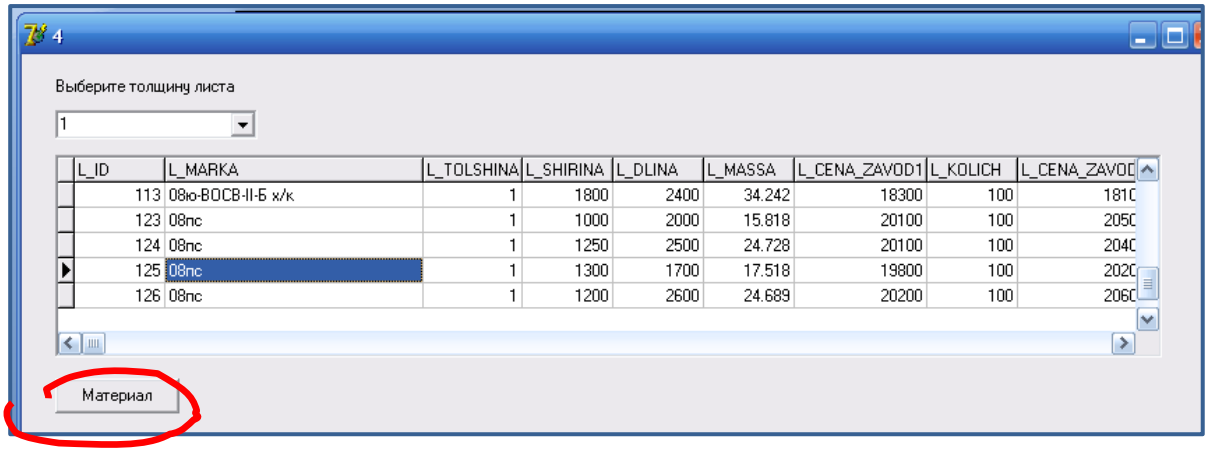


Рисунок 3.11 - Пример выбора списка листового проката заданной марки

Появляющаяся кнопка «Рассчитать» (рисунок 3.12) свидетельствует о завершении выбора листов, заданных на раскрой, и переходе к проектированию планов раскроя для заданных деталей.

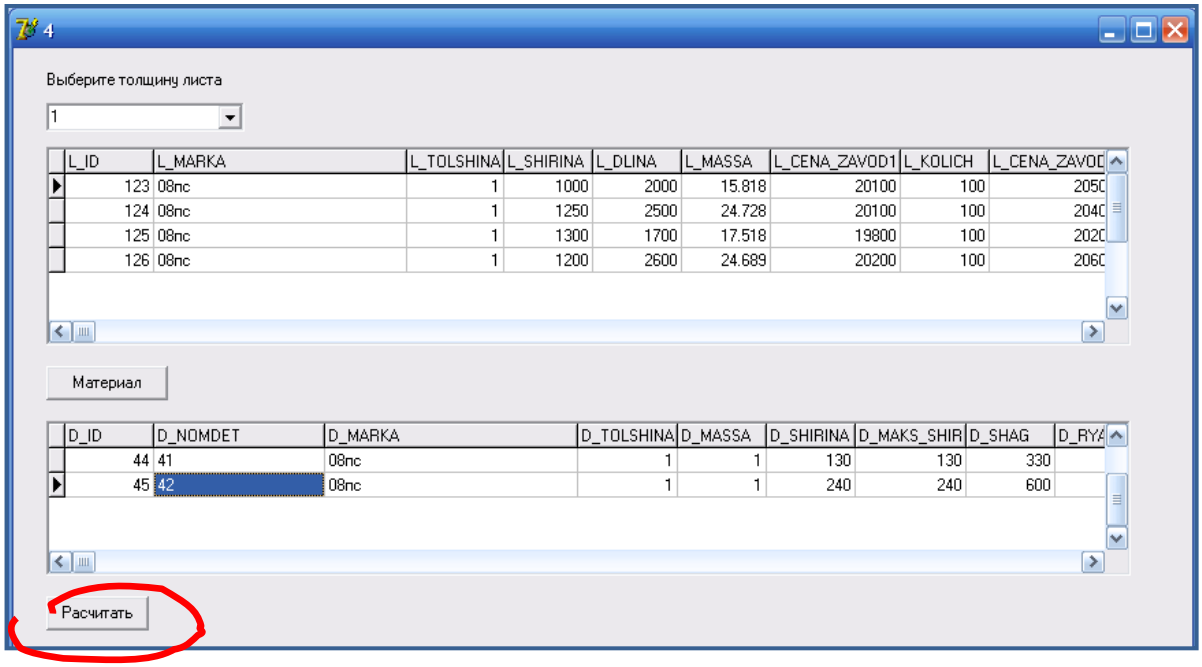


Рисунок 3.12 – Общий вид окна по формированию задания на раскрой

По завершению формирования задания на раскрой осуществляется реализация разработанного алгоритма ресурсосберегающего раскроя для деталей одной группы по толщине и марке металла. При этом из множества допустимых вариантов раскроя выбирается оптимальный вариант с наименьшей потребностью металла и наибольшим значением КИМ.

Результаты расчета появляются в окне «Form 9» (рисунок 3.13). Пользователь имеет возможность проанализировать результаты расчета при продольном и поперечном раскрое заданных листов для заданных деталей по значению КИМ и количеству деталей.

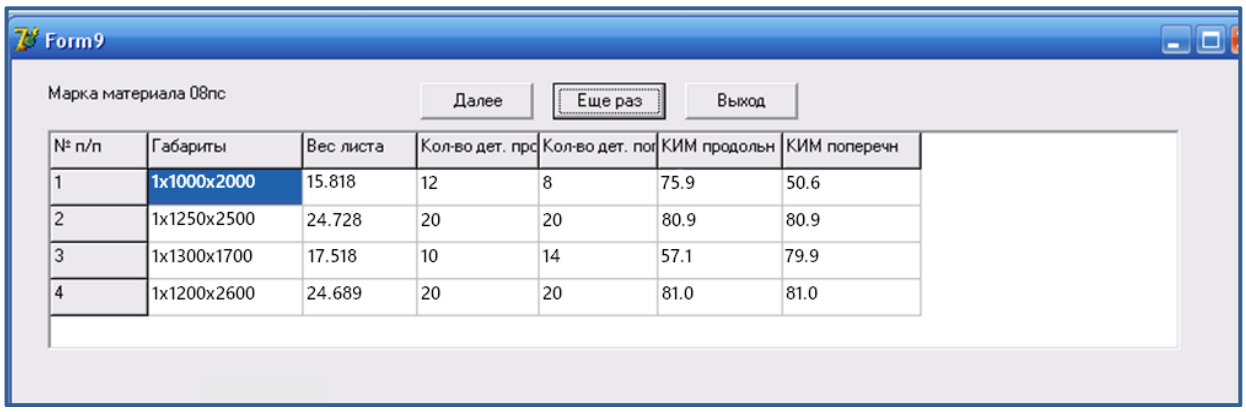


Рисунок 3.13 - Общий вид окна с вариантами расчета раскроя, определением нормы расхода и КИМ

При существующем подходе к проектированию раскроя и при расчете согласно действующему алгоритму (см. рисунок 2.17) технологом выбирается оптимальный вариант раскроя с максимальным КИМ и минимальной нормой расхода, которому соответствует вариант №4. На этом этапе задача раскроя считается выполненной.

В соответствии с модифицированным алгоритмом на следующем этапе программой осуществляется расчет по критерию оптимизации РСП с учетом стоимостных характеристик проката с разных металлургических комбинатов. Результаты итогового расчета оптимального раскроя, выполненные программой, представлены в следующем окне (рисунок 3.14). «ПРОМ-2013» предлагает экономически более выгодный раскрой с минимальными затратами на одну деталь по варианту №3.

В рассматриваемом примере для вариантов раскроя №3 и №4 отличие в затратах на металлопрокат составляет 0,185 руб. на 1 деталь. Однако, с увеличением программы производства, например, до 100 тыс. шт. разница в затратах на металл $\Delta З_м$ изменится более весомо и составит 18,5 тыс. руб.

По результатам выбора наиболее выгодного варианта раскроя, соответствующего минимальному значению ресурс-стоимостного показателя,

формируется карта раскроя (рисунок 3.15). На раскройной карте показаны размещение деталей в полосе, схема раскроя заготовки с указанием оптимальных размеров, показатели раскроя (КИМ, норма расхода) и другая информация.

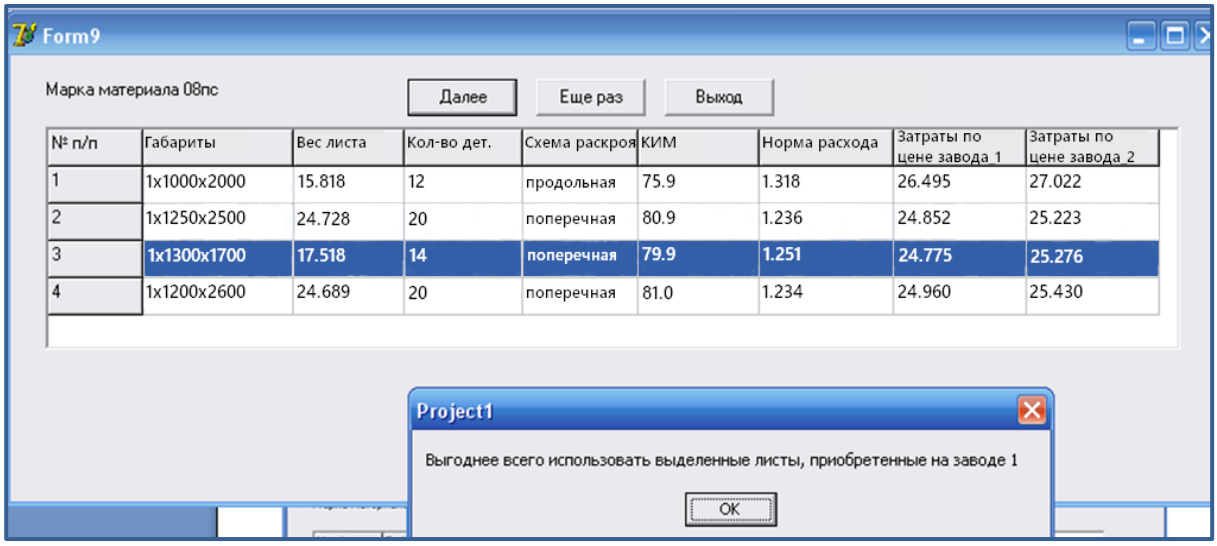


Рисунок 3.14 - Общий вид окна итогового расчета раскроя,
с определением КИМ, РСП и нормы расхода

Разработанный ПП «ПРОМ-2013» определяет основные показатели раскроя, а также экономит время проектирования раскроя за счет быстродействия вычислительной техники при минимальных системных требованиях: Операционная система: Windows 2000, Windows XP, Windows 7, DirectX7 версии 9.0c или выше. Процессор: Intel Pentium® III 1,5 GHz или AMD Athlon® 1,5 GHz, Оперативная память: 512 MB, Видеокарта: не менее 32 Мб видеопамяти, GeForce2 и выше.

Внедрение «ПРОМ-2013» обеспечивает:

- получение экономии листового проката за счет применения технологически и экономически обоснованных норм расхода;
- повышение оперативности раскроя металлопроката, поступившего на замену, и коэффициента его использования;
- сокращение продолжительности освоения новых изделий за счет автоматизации проектирования раскроя и ТПП;
- повышение качества проектирования раскроя и технической документации;
- снижение трудоемкости нормирования технологических процессов резки.

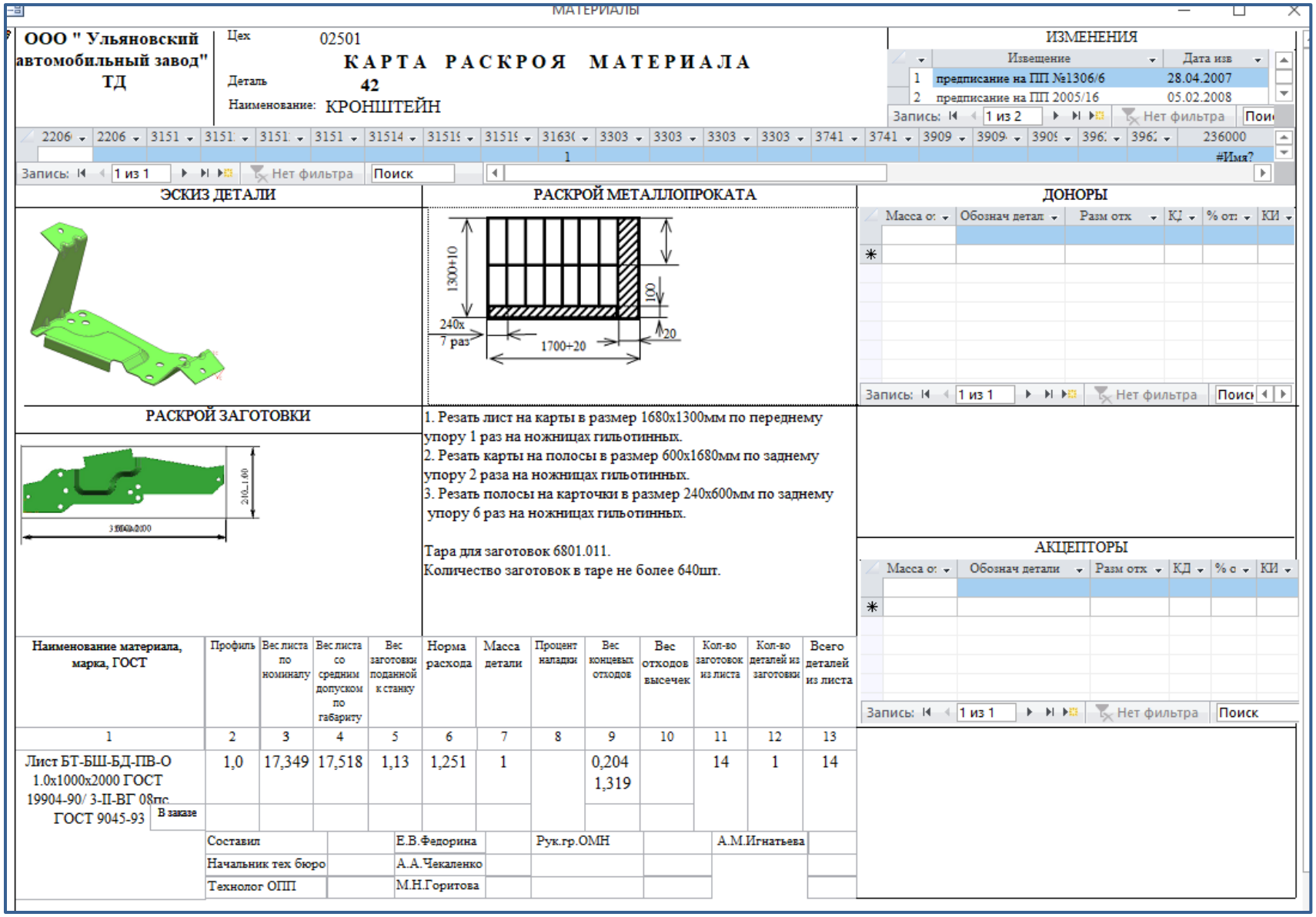


Рисунок 3.15 – Пример сформированной в программе итоговой «карты раскроя материала» на основе РСП

3.3. Разработка информационного обеспечения программы оптимизации раскроя «ПРОМ-2013»

ИПС (информационно – поисковая система) предназначена для повышения оперативности и надежности программы, сокращения трудоемкости выполнения расчетных работ, повышения качества проектных работ и технологической документации. ИПС обеспечивает формирование и выдачу информации по любым ключевым реквизитам в полном и ограниченном объеме в форме диалога и системы организованных запросов, обеспечивающих возможность работы пользователя без специальной подготовки. Информационное обеспечение системы [129 – 131] включает нормативно-справочную информацию о деталях, характеристики гильотинных ножниц, сортамент металлургических комбинатов с учетом стоимости. Набор данных для расчета начинается с ввода параметров детали, заданной на раскрой. Для выполнения этой задачи предусмотрена специальная форма «Form3» (рисунок 3.16).

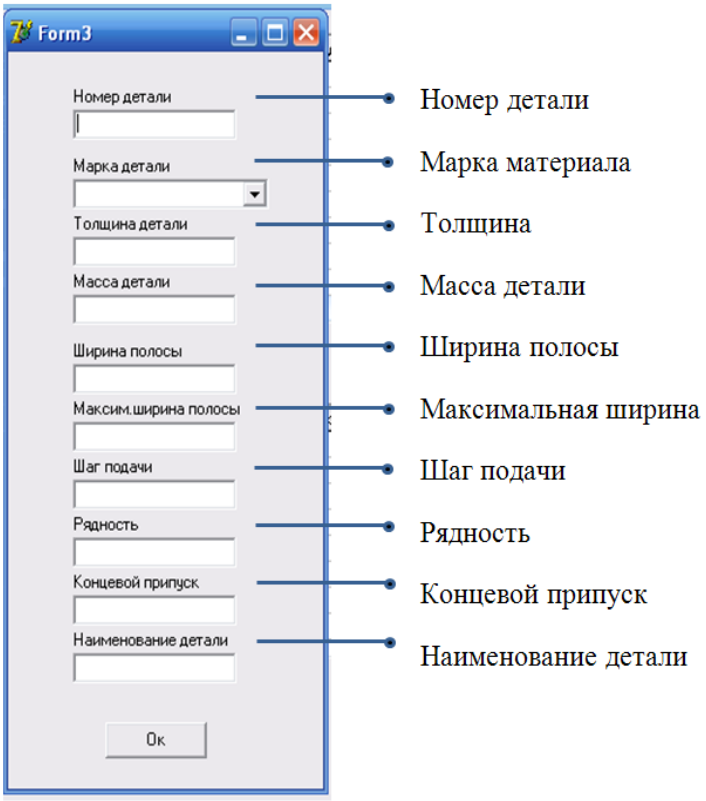


Рисунок 3.16 – Фрагмент окна для ввода параметров детали

Оптимальность раскроя определяется на основе применения ресурс-стоимостного показателя с учетом стоимости проката. Для этого в банк данных по сортаменту в реквизит **«Цена листового металла»** заносится стоимость листов с разных металлургических комбинатов в зависимости от разных условий поставки (рисунки 3.17 – 3.21).

База данных по сортаменту всех поставщиков металла с учетом цен создается на основе прейскурантов цен – прайс-листов, договорных условий поставки, технических соглашений и т. д. (рисунок 3.22). Банк данных по деталям и банк данных по сортаменту организованы в виде информационно-поисковой системы (ИПС) и информация о содержании других окон находится в приложении Ж.

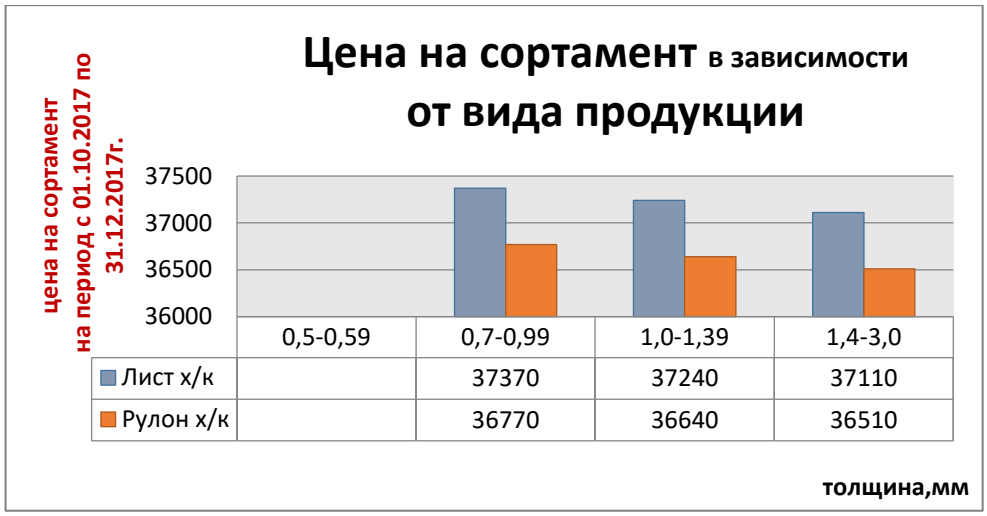


Рисунок 3.17 - Зависимость цен на сортамент
от вида продукции (лист/ рулон)

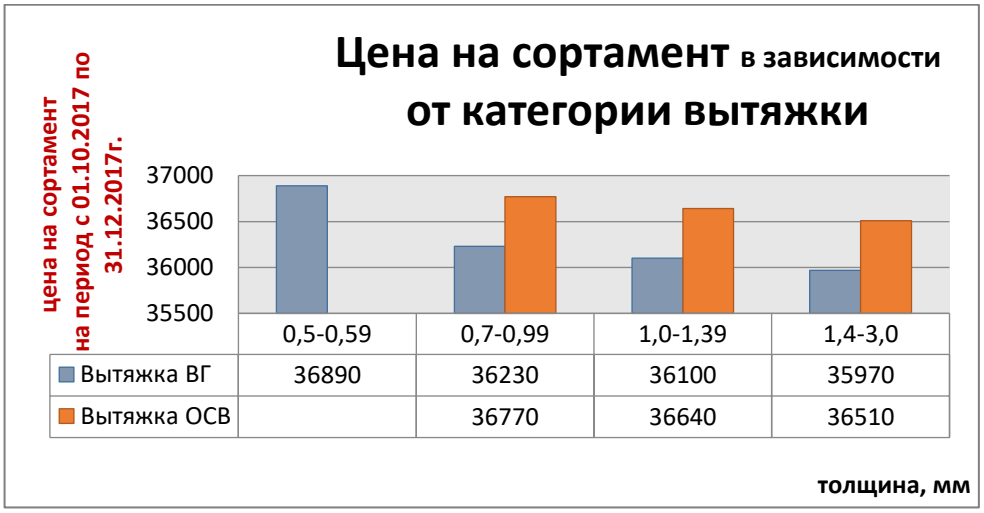


Рисунок 3.18 - Зависимость цен на сортамент
от категории вытяжки

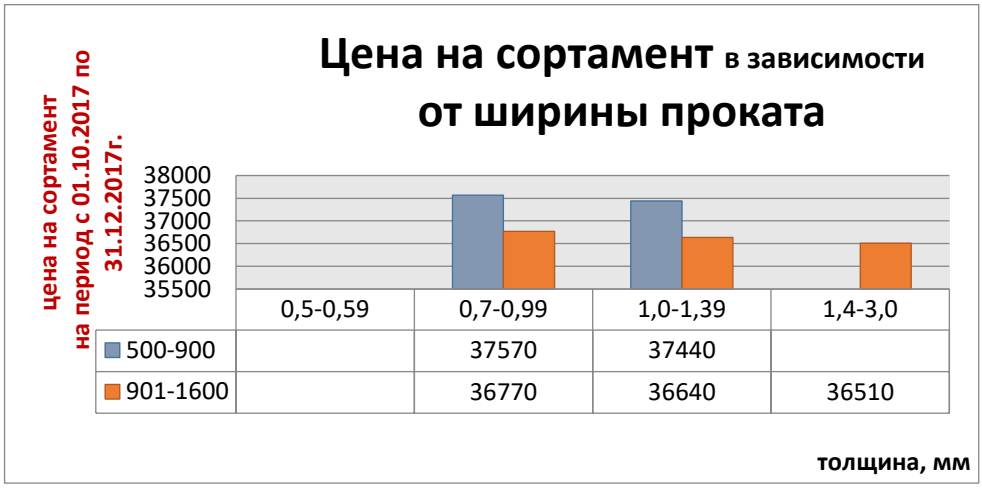


Рисунок 3.19 - Зависимость цен на сортамент
от ширины проката

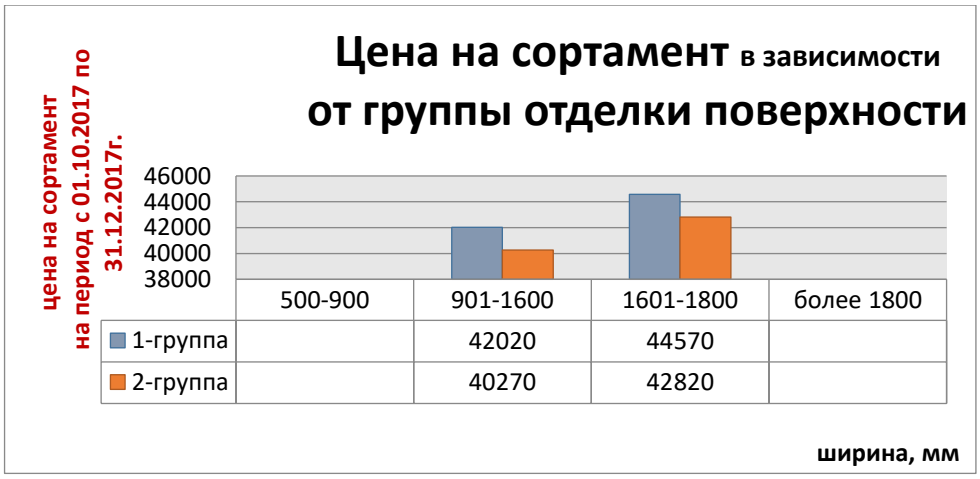


Рисунок 3.20 - Зависимость цен на сортамент
от группы отделки поверхности

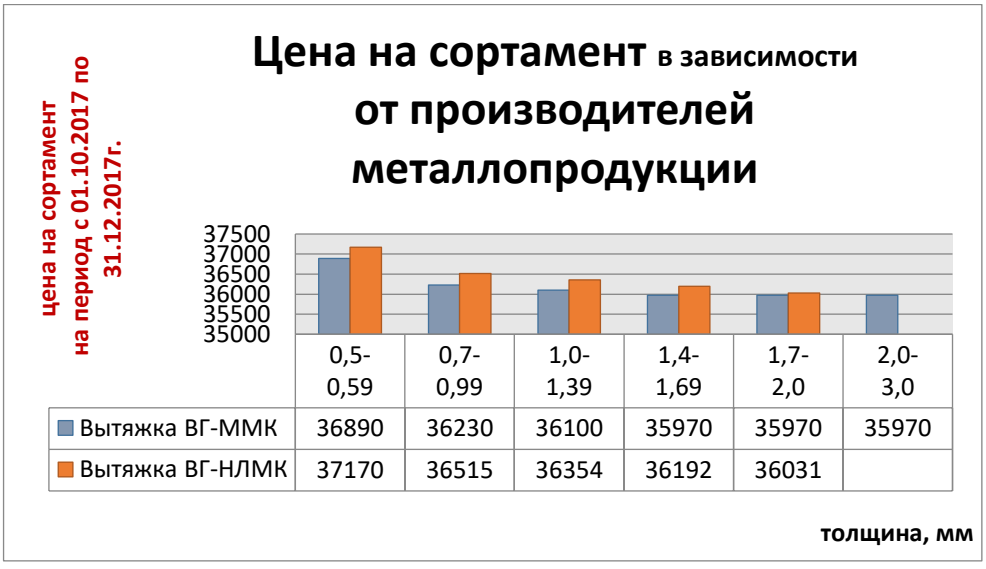


Рисунок 3.21 - Зависимость цен на сортамент
от производителей металла

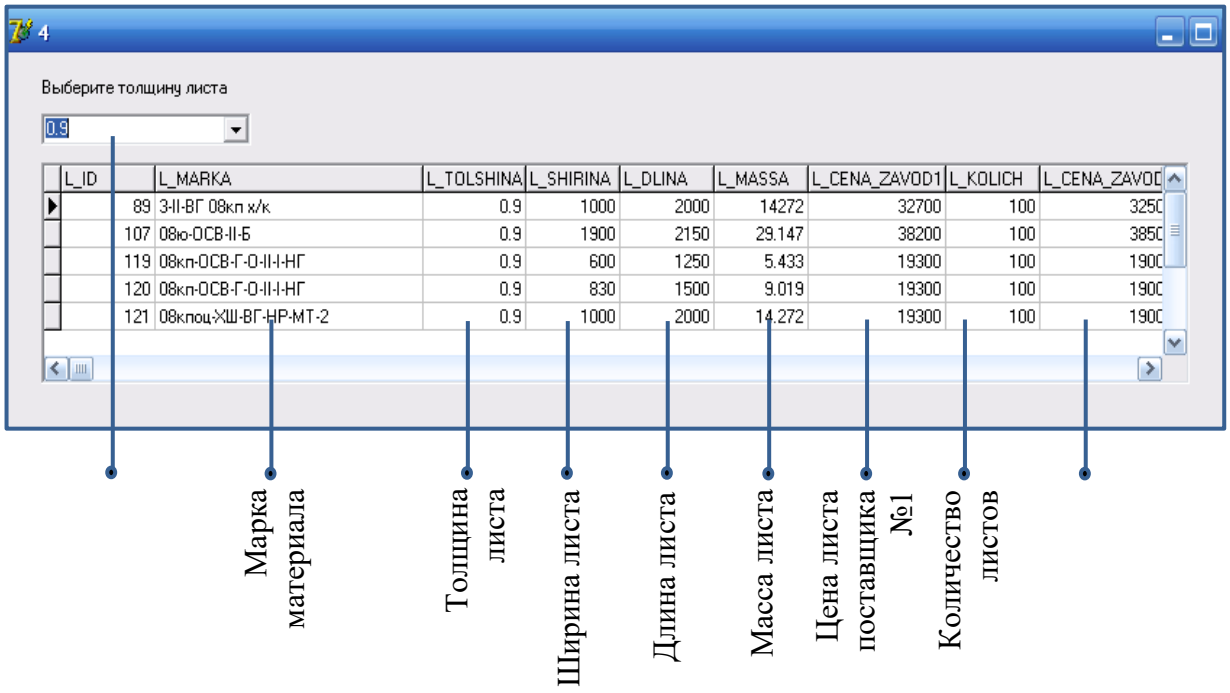


Рисунок 3.22 - Пример справочника по сортаменту с ценами от различных производителей

Для проектирования раскроя разработаны справочники по оборудованию заготовительного производства: ножниц и комплексов для резки рулонного проката, содержание характеристик которых представлено в приложении Ж.

Раскройное оборудование [22, 29], хотя и обладает некоторыми особенностями работы, все же является типовым для разделительных операций листового проката с типовыми параметрами производительности (рисунок 3.23, 3.24).

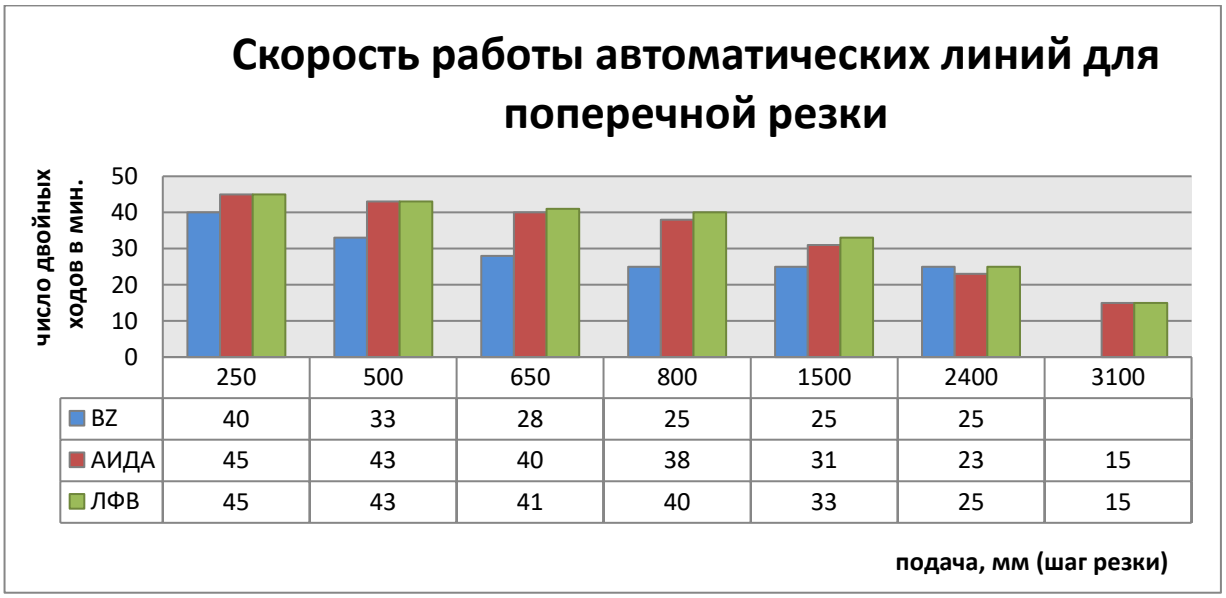


Рисунок 3.23 - Зависимость числа двойных ходов линий от подачи

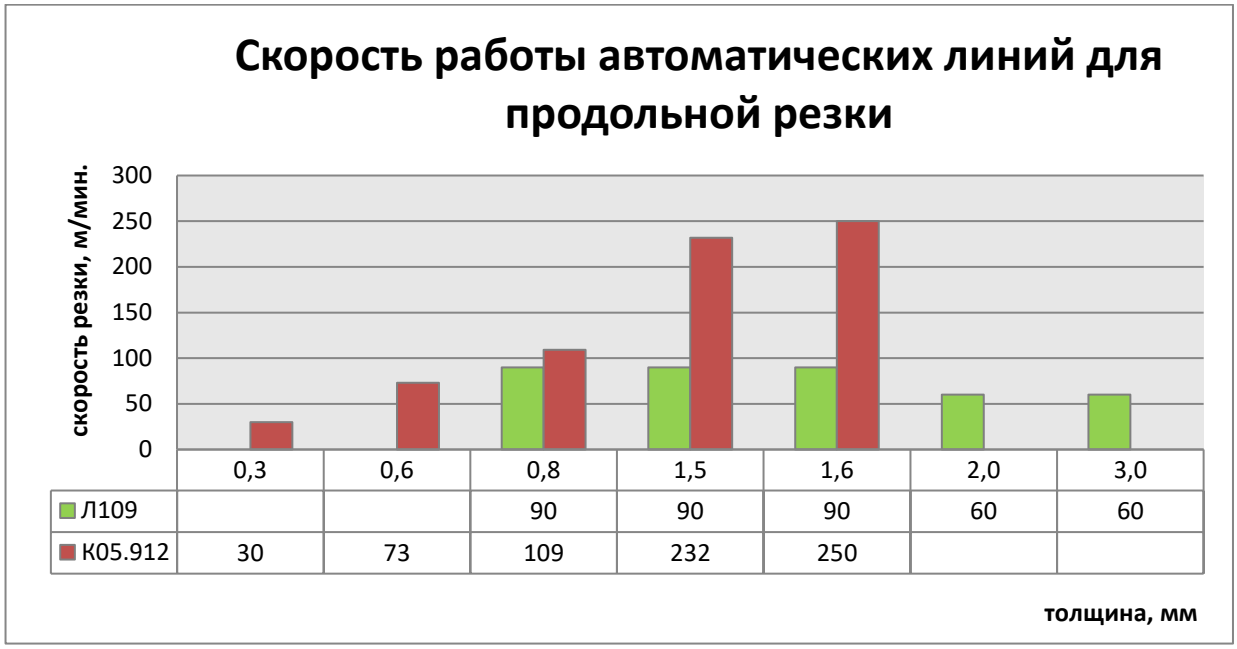


Рисунок 3.24 - Зависимость скорости резки от толщины проката

3.4. Разработка САПР оптимального раскроя листового металлопроката для производства штампованных деталей и ее функциональные возможности

Для обеспечения эффективного использования и информационного взаимодействия с другими программами необходимо функциональное расширение программного продукта «ПРОМ-2013» или возможно его использование в качестве структурной единицы САПР следующего типа.

Система автоматизированного проектирования раскроя металлопроката включает в себя программно-методические комплексы (ПМК): «ЛИСТ», «РУЛОН», «ГРАФИКА». Программно-методические комплексы «ЛИСТ» и «РУЛОН» состоят из нескольких функциональных модулей с возможностью работы с одним из модулей или совместной работы с несколькими модулями. Архитектура взаимодействия модулей при технологической подготовке представлена на рисунке 3.25.

В зависимости от этапов производства (ТПП или текущее производство) решение задачи раскроя обеспечивается выполнением расчетов с помощью различных систем. На этапе ТПП для определения планируемого расхода с максимальным КИМ и минимальным потреблением материала предусмотрены:

• Система расчета по изделию для предварительной оценки себестоимости с раскроем всех деталей, входящих в состав одного заданного изделия и изготавливаемых в одном цехе.

• Система закрепления деталей по цехам для рационального использования отходов и снижения расходов по их транспортированию из одного цеха в другой, с раскроем всех деталей одного заданного изделия и изготавливаемых независимо от цеха-изготовителя. Системой предусматривается повторный раскрой неиспользованных отходов в комплексе без учета применяемости по изделиям и независимо от цеха в соответствии с планом по изделиям. Есть возможность просмотреть использование отдельно взятого отхода.

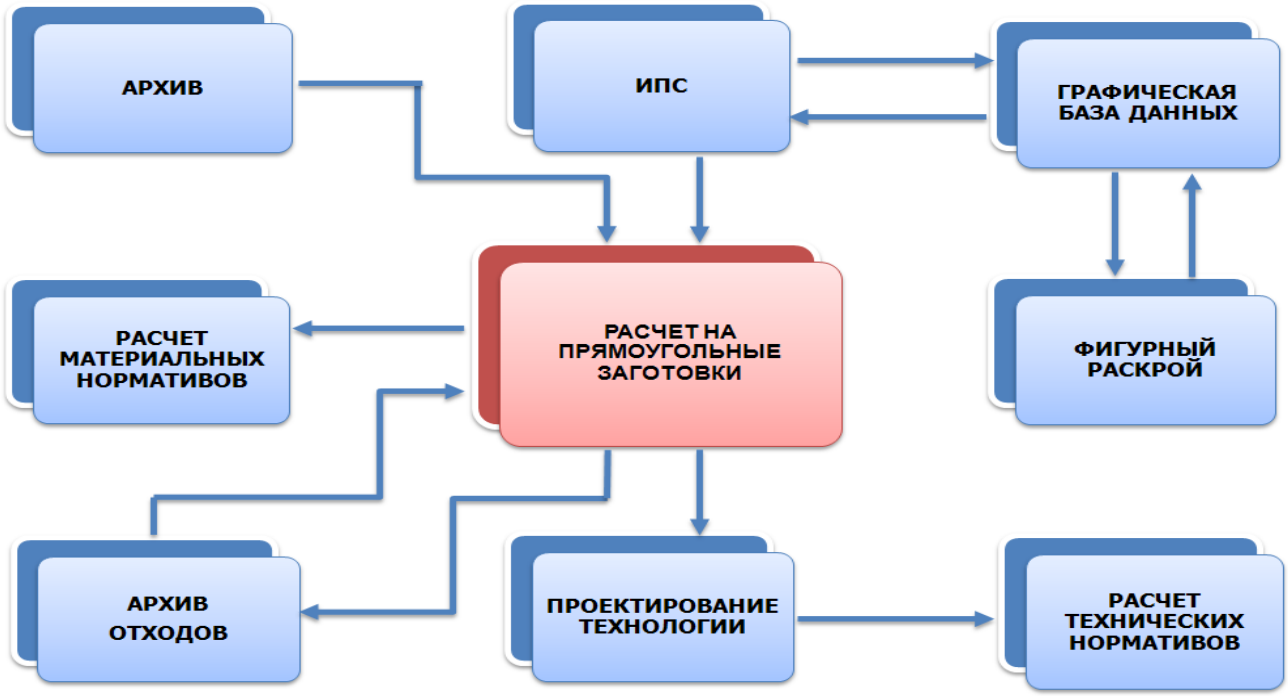


Рисунок 3.25 - Архитектура взаимодействия между модулями в САПР

На этапе производства деталей предусмотрен расчет раскроя с определением фактического расхода металла и применением:

• Системы расчета потребности материала для всех деталей, изготавливаемых в одном цехе и входящих в состав разных изделий, с учетом: а) производственного плана данного цеха по изделиям; б) производственной подетальной программы. При этом режиме определяется оптимальное использование цеховых отходов независимо от принадлежности к изделию,

оптимальное использование металлопроката, имеющегося в наличии на складе, а также оптимальный раскрой дополнительного металлопроката, необходимого для выполнения плана производства. Этот режим обеспечивает дополнительное снижение себестоимости изделия.

• Системы оперативного расчета для раскроя металлопроката с показателями и габаритными размерами, не соответствующими требованиям технологии. В этом режиме обеспечивается оперативный подбор проката на замену с максимальным значением КРМ и эффективным использованием отходов от раскроя негабаритного сортамента.

Программно-методический комплекс «РУЛОН» (рисунок 3.26) применяется для автоматизированного проектирования оптимального раскроя рулонного проката на стадии ТПП и на стадии изготовления с применением математических методов решения задачи оптимизации [125] и обеспечивает составление планов:

– оптимального продольного раскроя на прямоугольные заготовки (ленты);

– оптимального поперечного раскроя на карты с докроем или без докроя карт на гильотинных ножницах;

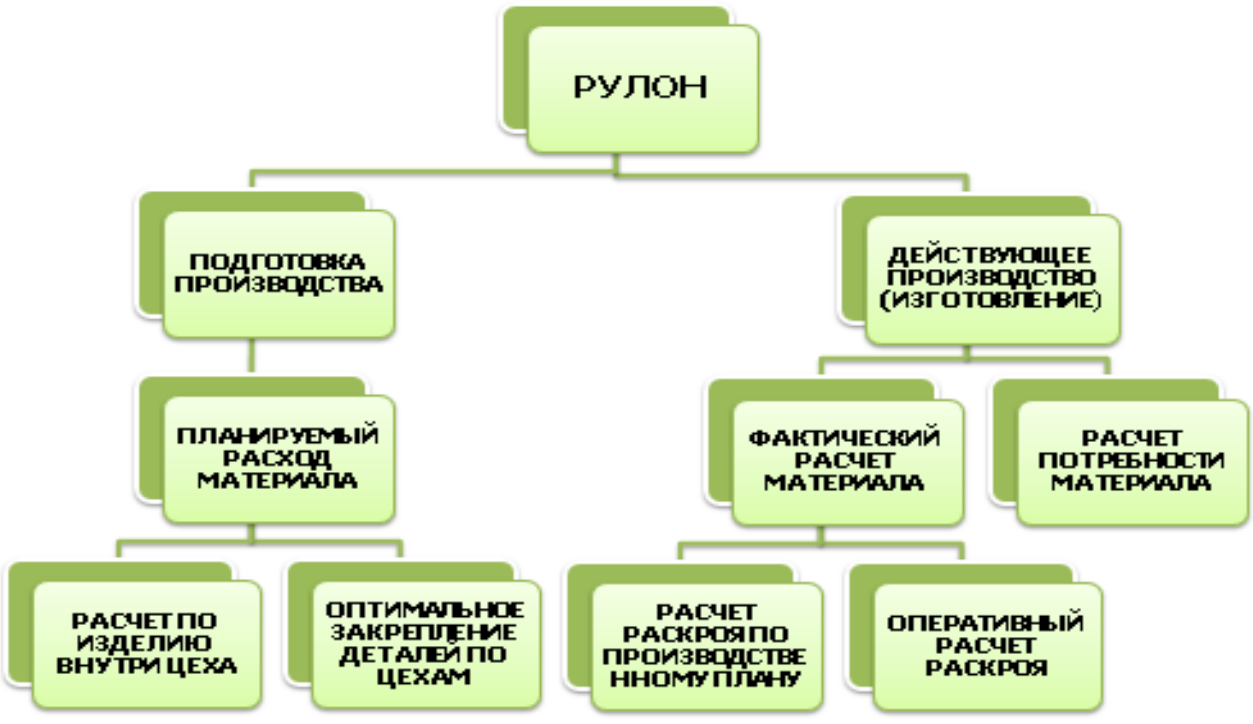


Рисунок 3.26 - Подмодули ПМК «РУЛОН» и их взаимодействие

– оптимального продольно-поперечного раскроя при продольном раскрое рулона на ленты с последующей поперечной резкой лент на заготовки;

– формирование исходных данных о заготовках, сортаменте и оборудовании, создание и ведение базы данных.

ПМК «РУЛОН» позволяет прогнозировать оптимальную потребность в рулонном материале на любой плановый период для изделий действующего производства и вновь вводимых в производство изделий. Выполняется расчет требуемого количества деталей на основании производственного задания по изделиям, соблюдения комплектности и наличия остатков в незавершенном производстве.

ПМК «ГРАФИКА» предусматривает:

– создание графического банка данных (эскизов разверток деталей, пооперационных эскизов и др.);

– автоматизированное проектирование заготовки с оптимальными геометрическими размерами и формирование данных для раскроя и проектирования штамповой оснастки;

– графическое изображение эскиза развертки детали и схемы раскроя полосы;

– интерфейс доступа к графическому банку данных при работе в ПМК «РУЛОН» и «ЛИСТ».

В комплексе предусмотрен необходимый сервис для ведения архива геометрических образов штампуемых деталей (чтение, запись, удаление, наложение, печать эскиза заготовки и др.).

САПР ориентирована на широкий круг пользователей-специалистов предприятия (производственно-технологических отделов, планово-диспетчерской службы, работников логистического направления).

Процедуры оптимизации сортамента металлопроката и минимизация затрат с применением САПР

Решаются поэтапно следующие задачи***:***

1. Подготовка и систематизация информации о номенклатуре и сортаменте

листового металлопроката (более 1 млн. позиций), создание и ведение банка данных по сортаменту металлургических комбинатов-поставщиков.

2. Формирование оптимального (технологически и экономически обоснованного) сортамента листового и рулонного проката с учетом подетального плана производства ООО «УАЗ» и решением следующих подзадач:

- Автоматическое проектирование раскроя всех деталей (более 4 тыс. наименований) на всех типоразмерах листового и рулонного проката (более 1 млн. позиций) при условии соблюдении технологических требований и ограничений и технических характеристик режущего оборудования.

- Выбор для каждой детали, независимо от ее металлоемкости, экономически выгодного типоразмера листа/ рулона на базе расчетной нормы расхода и с учетом стоимости данного типоразмера проката на конкретном металлургическом комбинате.

- Минимизация объема заказываемого проката за счет формирования оптимального сортамента и исключения из расчета типоразмеров, неудовлетворяющих требованиям транзитной нормы поставки, при условии ведения расчета для группы деталей, изготавливаемых из листового материала одной марки и толщины, и эффективного использования отходов на детали из номенклатуры рассматриваемой группы.

- Расчет потребности каждого типоразмера сформированного оптимального сортамента металлопроката на основании подетальной производственной программы.

3. Материальное нормирование с определением подетальных норм расхода рулонного и листового материала.

4. Формирование банка данных неиспользованных отходов, сведения из которого могут быть использованы при передаче отходов в другие цеха или при продаже сторонним организациям.

5. Создание многоуровневого архива результатов раскроя оптимального сортамента, позволяющего хранить, извлекать и оперировать результатами расчета всех профилей. При изменениях в производстве и условиях поставки

проката это дает возможность оперативно и качественно анализировать ситуацию и принимать надлежащее решение.

6. Оптимизация сортамента рулонного металлопроката, заказываемого ООО «УАЗ», на основе базы данных рулонного металла, предлагаемого всеми поставщиками, включающей стоимостные характеристики.

7. Обеспечение минимизации финансовых затрат на приобретение листового и рулонного проката.

3.5. Краткие выводы

1. Создана БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» для управления данными о подетальном раскрое с предоставлением оперативной информации по оптимальному раскрою материала.

2. Разработана на основе предложенной модели и алгоритма ресурсосберегающего раскроя программа «ПРОМ-2013» для оптимизации гильотинного раскроя листового металлопроката в условиях массового и крупносерийного производства холодноштампованных изделий в зависимости от технологических и производственных ограничений с формированием карт раскроя.

3. Разработанные БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» и программа раскроя листового материала «ПРОМ-2013» являются основными компонентами программно-методического комплекса создаваемой САПР, работающей в режиме ТПП и в режиме текущего производства.

Глава 4 ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ

4.1. Реализация программно-методического комплекса проектирования ресурсосберегающего раскроя

4.1.1. Цель и планирование вычислительных экспериментов

Для проверки эффективности методики проектирования ресурсосберегающего раскроя, созданной на основе разработанных модели и алгоритма с применением ресурс-стоимостного показателя, и возможностей ее функционирования в условиях производства, проведено тестирование программы оптимизации раскроя металлопроката «ПРОМ-2013» на базе ООО «УАЗ».

Для проведения экспериментальных исследований создан показатель сложности расчетной схемы раскроя (таблица 4.1), который учитывает конструкцию детали (заготовки) и технологический процесс изготовления и оказывает влияние на время ввода данных, расчетов раскроя и составления карт раскроя.

С учетом этого показателя отобраны заготовки-представители с различной сложностью расчетной схемы раскроя. Результаты, полученные в ходе апробации, сопоставлены с производственными данными решения раскроя заготовок для номенклатуры деталей, изготавливаемых в прессовом цехе ООО «УАЗ». Для сравнительной оценки эффективности полученных решений проанализированы следующие ТЭП раскроя: коэффициент использования материала, ресурс-стоимостной показатель, норма расхода, потребность в металле на программу производства, производительность резки.

В данной главе представлены результаты исследований, на основании которых разработаны технически и экономически обоснованные ресурсосберегающие технологические процессы резки листового металла на заготовки с учетом нового показателя оптимизации РСП. По результатам

практической апробации, полученным ручным методом и с применением программного продукта, установлены зависимости времени, затраченного на решение задачи раскроя, и времени разработки карты раскроя от сложности расчетной схемы.

Таблица 4.1 - Показатель сложности расчетной схемы раскроя

Наименование фактора	Значение показателя сложности схемы при вводе данных	
	Автом.	Ручн.
Выбор материала: марки, толщины	0,1	
Тип заготовки: карточка, полоса, лента	0,1	
Назначение перемычек: по ширине и по длине полосы, по шагу вырубки	0	0,1
Максимальная ширина (длина) полосы	0	0,1
Тип укладки: однорядная встречная двухрядная	 0 0 0	 0,1 0,2 0,3
Ориентация по волокну	0	0,2
Максимальный угол отклонения и поворота	0	0,1
ИТОГО:	0,2	1,0

С учетом сложности расчетной схемы согласно разработанному показателю (таблица 4.1) рассмотрены заготовки с различной проблематикой раскроя и проведены 5 экспериментов.

4.1.2. Результаты экспериментальных исследований раскроя для номенклатуры деталей холодноштамповочного производства

Эксперимент № 1, сложность расчетной схемы 0,5

Заготовительные производства промышленных предприятий перерабатывают листовой и рулонный металлопрокат, поступающий с металлургических комбинатов и цены на который формируются по-разному. У одних поставщиков при одинаковой марке материала, толщине, ширине проката стоимость листа и рулона имеет разные значения – лист дороже рулона, что логично. У других производителей металла цена листового и рулонного проката

одинаковая, исходя из стоимости всего «портфеля» заказов. С целью проверки эффективности созданной методики рассмотрена применяемость листового металла с возможной заменой на рулоны. Для проведения исследований и апробации «ПРОМ-2013» рассмотрена номенклатура средних и мелких деталей действующего производства сложной конфигурации и повышенной точности. Для таких деталей применяют раскрой с отходами в виде перемычек (рисунок 1.8, б).

Разработанная методика была апробирована на 100 деталях, принадлежащих к одной группе по марке и толщине металла, и изготавливаемых из листового проката трех наименований: 08пс 3-II-ВГ 1,93х1000х1850 мм; 08пс 3-II-ВГ 1,93х1250х2500 мм; 08пс 3-II-ВГ 1,93х1400х2000 мм с годовой потребностью с учетом подетальной программы производства, указанной на схеме (рисунок 4.1).

При существующем подходе к проектированию раскроя технолог выбирает оптимальный вариант раскроя с минимальной нормой расхода из имеющегося на заводе проката.

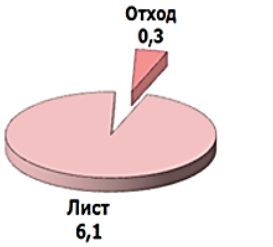
По результатам автоматизированного расчета раскроя на базе «ПРОМ-2013» и с учетом сортамента от разных производителей-поставщиков сформирован для номенклатуры деталей ООО «УАЗ» оптимальный сортамент с минимизацией финансовых затрат на металл, в виде рулонов марки 08пс 3-II-ВГ двух типоразмеров 1,93х1100 мм и 1,93х1500 мм (рисунок 4.1). Согласно разработанному алгоритму выбраны наилучшие варианты раскроя на прямоугольные заготовки с максимальным количеством заготовок из полосы, минимальными отходами и снижением потребления металла. Экономическая целесообразность разработанной методики раскроя в зависимости от показателя РСП представлена в п. 1 главы 4.5.

Для сравнения результатов расчета раскроя, полученных при гильотинной резке на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013», в таблице 4.2 приведена деталь «Хомут подвески глушителя».

Формирование оптимального сортамента ООО «УАЗ» на базе сортамента металлургических комбинатов с минимизацией финансовых затрат (на примере проката марки 08пс 3-II- ВГ толщиной 1.93мм)

Данные о потребности листового материала – базовый вариант

Габариты листов	Цена 1 т руб.	Потребность тонн	Стоимость тыс. руб.
1000*1850	26970	1019,728	27502,06
1250*2500	26970	921,529	24853,64
1400*2000	26970	198,094	5342,60
ИТОГО		2139,449	57698,30



Процент в общем объеме

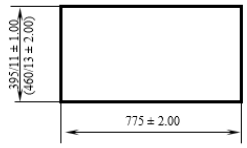
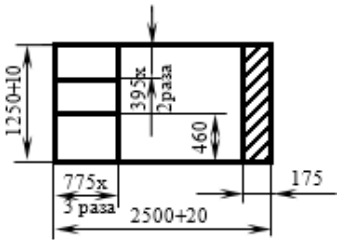
Данные о потребности рулонного материала - результаты автоматизированного проектирования с применением «ПРОМ-2013»

Габариты рулонов	Цена 1 т руб.	Потребность тонн	Стоимость тыс. руб.
1100	26670	1018,693	27168,54
1500	26670	989,495	26389,83
ИТОГО		2008,188	53558,37
ЭКОНОМИЯ		131,261	4139,92

Процент в общем объеме

Рисунок 4.1 - Результаты раскроя металла марки 08пс 3-II- ВГ толщиной 1.93мм на производстве и с применением новой методики

Таблица 4.2 - Результаты раскроя детали «Хомут подвески глушителя» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

Деталь «Хомут подвески глушителя»	Заготовка 		
Вес детали - 0,386 кг Годовая программа выпуска деталей, шт. - 23500 шт. Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - лист - 32,9 руб.; рулон - 32,3 руб.			
ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			Изменение схемы резки
Технология резки	1. Резать лист на карты в размер 2325х1250мм по переднему упору 1 раз на ножницах гильотинных. 2. Резать карты на полосы в размер 775х1250мм по заднему упору 2 раза на ножницах гильотинных. 3. Резать полосы на карточки в размер 395х775мм и 460х775мм по заднему упору 2 раза на ножницах гильотинных.	1. Резать рулон 1.93х1100мм на полосы в размер 775х1100мм на автоматическом комплексе "BZ". 2. Резать полосы на карточки в размер 530х775мм и 570х775мм по заднему упору 1 раз на ножницах гильотинных.	1. Изменение габаритов заготовки 2. Изменение технологии резки и оборудования
Марка	08пс 3-II-ВГ	08пс 3-II-ВГ	
Габариты проката	1,93х1250х2500	1,93х1100	Изменение заказа проката
Норма расхода, кг	0,455	0,420	0,035 ↓
КИМ	0,848	0,919	0,071 ↑
Цена 1 кг, руб.	32,9	32,3	0,6 ↓
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	14,969	13,566	1,403 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	351 783,25	318 801	32 982,25 ↓
Потребность металла на программу, т	10,693	9,87	0,823 ↓
Трудоемкость, н. час/на 100 шт.	0,0137/ 0,022/ 0,0218	0,0193/ 0,0218	3,854 ↓ (на программу)
Производительность, дет./ мин.	437,5 (при 25 дв. ход. в мин.)	775 (при 25 дв. ход. в мин.)	337,5↑ (в 1,77 раза ↑)

С применением нового подхода к проектированию раскроя на основе созданной методики в зависимости от минимального значения РСП разработаны эффективные технологии резки прямоугольных заготовок с измененными габаритами из вновь заказываемого рулонного проката с оптимальными габаритами для 100 наименований деталей. По результатам спроектированных раскроев сформированы подетальные карты раскроя.

Эксперимент № 2а, сложность расчетной схемы 0,6

С целью сокращения затрат на металл рассмотрена применяемость рулонов с узкими габаритами с возможной заменой на рулоны шириной более 901 мм. Ценовая политика по металлопрокату имеет следующие особенности – при одинаковой марке материала и толщине, стоимость имеет разные значения в зависимости от ширины. При сравнении рулонного проката с одинаковыми характеристиками (толщина, марка материала) рулон шириной менее 901 мм стоит дороже рулона шириной более 901 мм.

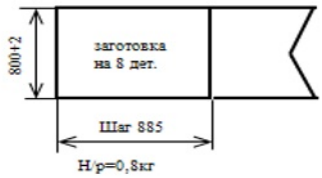
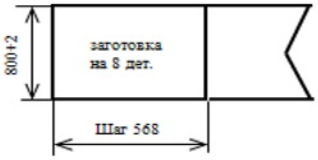
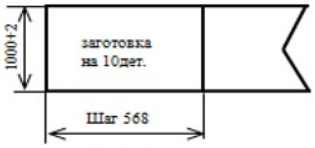
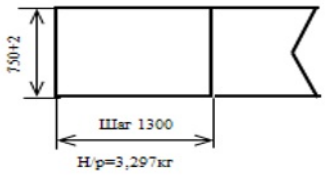
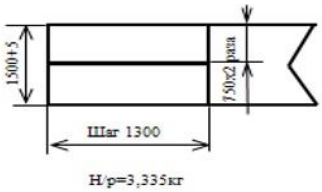
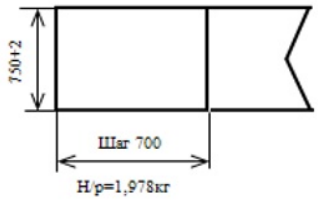
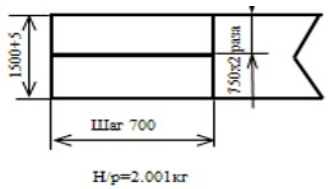
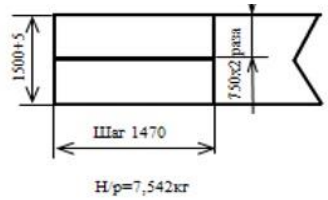
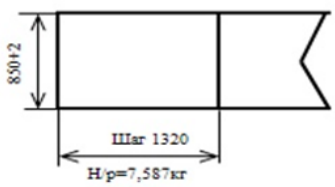
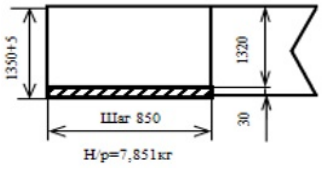
В этой группе экспериментальных исследований рассмотрены 23 детали, для изготовления которых рулонный прокат раскраивается на прямоугольные заготовки средних и крупных габаритов, и один из габаритов заготовок равен или кратен ширине рулона.

Решение о переходе на рулон шириной более 901 мм было принято по 6 узким рулонам: материал 08пс толщиной 1,15 мм – 1 рулон и материал 08Ю толщиной 0,86/ 0,87 мм – 5 рулонов. При автоматизированном проектировании раскроя детали различной толщины и марки материала участвовали в расчетах в двух группах: 08пс толщиной 1,15/1,2 мм и 08Ю толщиной 0,86/ 0,87 мм.

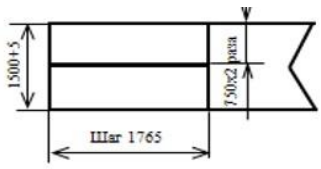
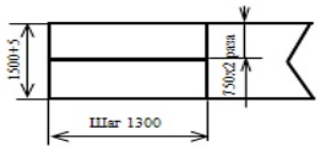
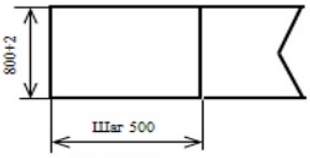
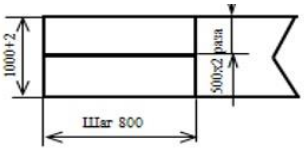
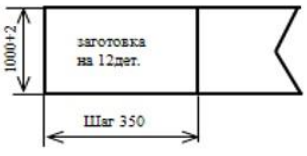
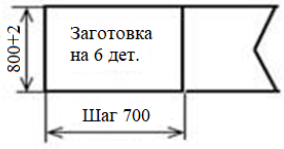
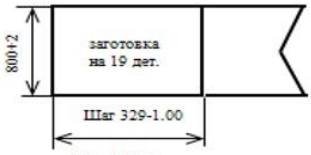
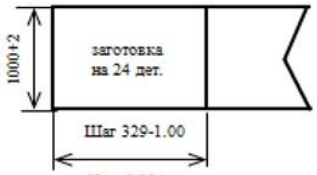
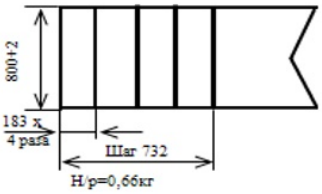
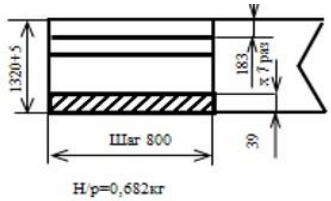
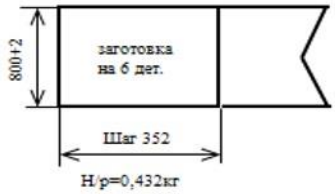
По итогам расчетов с применением «ПРОМ-2013» предложено перевести изготовление 23 деталей на 8 широких рулонов (таблица 4.3) с изменением габаритов заготовок, схемы раскроя, технологии резки, режущего оборудования и применить:

- новый металлопрокат (с учетом монтажности поставок): рулон 08Ю 4-II-ОСВ 0,87х1500 мм; 0,87х1600 мм, 0,87х1430 мм;
- действующий металлопрокат 08пс 1,15х1000 мм, 1,15х1320 мм, 1,2х1200 мм; 08Ю 0,86х1000, 0,87х1350 мм с увеличением объемов годовой поставки металла.

Таблица 4.3 - Схемы раскроя по действующему и предлагаемому вариантам при переходе с узкого рулона на широкий

Номер детали	**Схема раскроя**	
	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	**ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"**
3160-00-8401060-00		
3151-00-8401426-00		
0451-50-5401080-00		
3162-20-5401238-92		
3909-10-5601016-92		
0451-10-6321024-92		

продолжение таблицы 4.3

Номер детали	Схема резки	
	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	**ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"**
0451-10-7801040-92	Н/р=8,952кг	 Н/р=9,055кг
3163-00-8403271-00	Н/р=6,591кг	 Н/р=6,67кг
0469-00-5107022-00	 Н/р=3,614кг	 Н/р=3,615кг
0469-00-5405022-10 / 0469-00-5405023-10	Н/р=0,253кг	 Н/р=0,264кг
3909-10-5601032-00	 Н/р=0,844 кг	Н/р=0,836кг
3303-00-5601042-00	 Н/р=0,126кг	 Н/р=0,124кг
0469-00-6000027-92	 Н/р=0,66кг	 Н/р=0,682кг
3909-00-7801086-00	 Н/р=0,432кг	Н/р=0,42кг

На диаграмме (рисунок. 4.2) видно, что для большинства раскраиваемых деталей при переходе с узкого рулонного проката на применение широкого рулона происходит повышение нормы расхода. Однако, на завершающем этапе при выборе наиболее выгодного варианта раскроя с учетом стоимостных характеристик проката главным критерием является минимизация затрат на приобретение металла с получением экономии по каждой детали (рисунки 4.3 и 4.4).

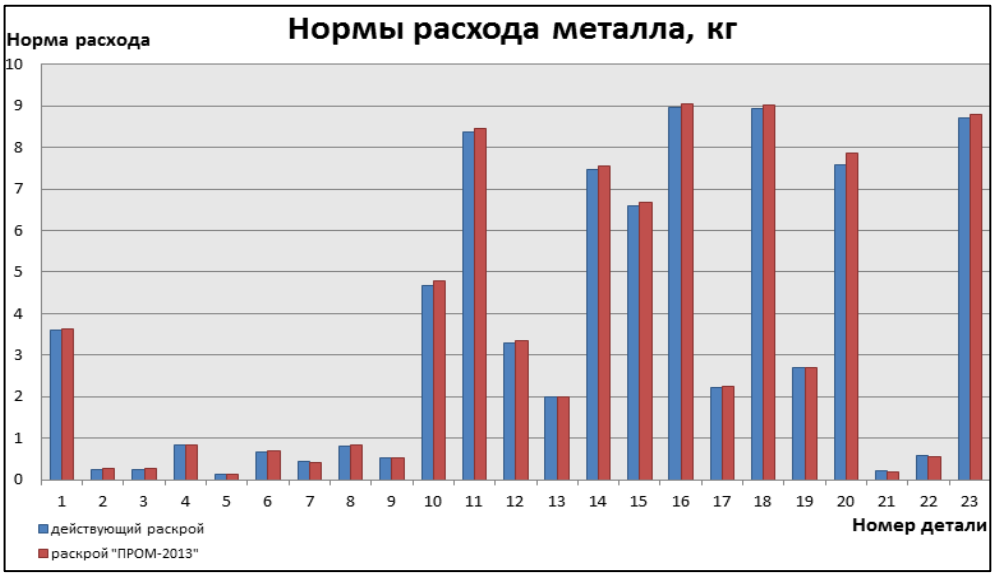


Рисунок 4.2 - Результаты изменения подетальных норм расхода при переходе с узкого рулонного проката на широкий

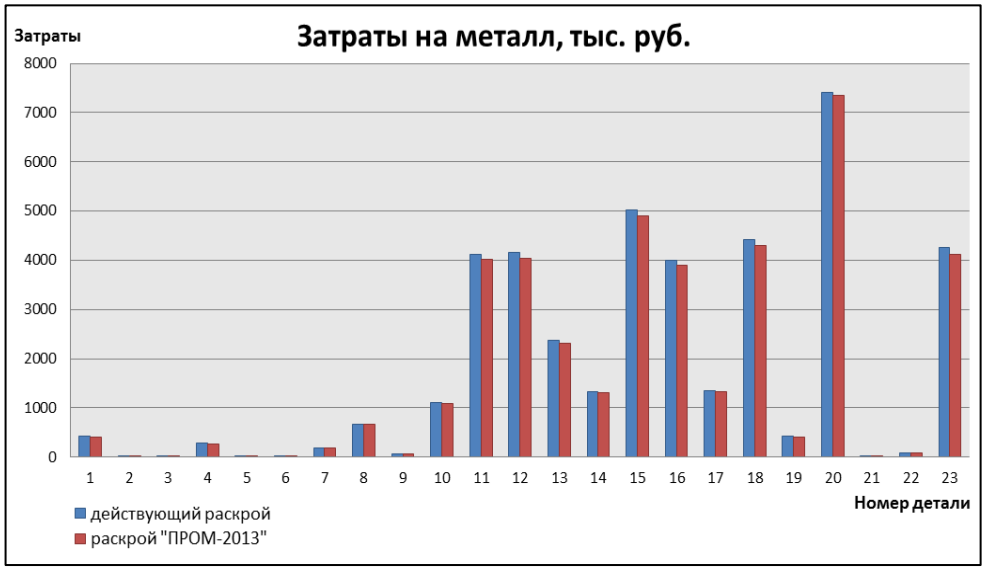


Рисунок 4.3 - Результаты по уменьшению затрат на металл при переходе с узкого рулонного проката на широкий

По результатам решения задачи раскроя, полученным с применением разработанной программы «ПРОМ-2013» в виде расчетного значения критерия оптимизации РСП, перерасход металла для группы деталей, представленных в таблице 4.4, составил 23,916 тонны. Экономический эффект получен в размере 974 036 руб. (см. п. 2 гл. 4.5).

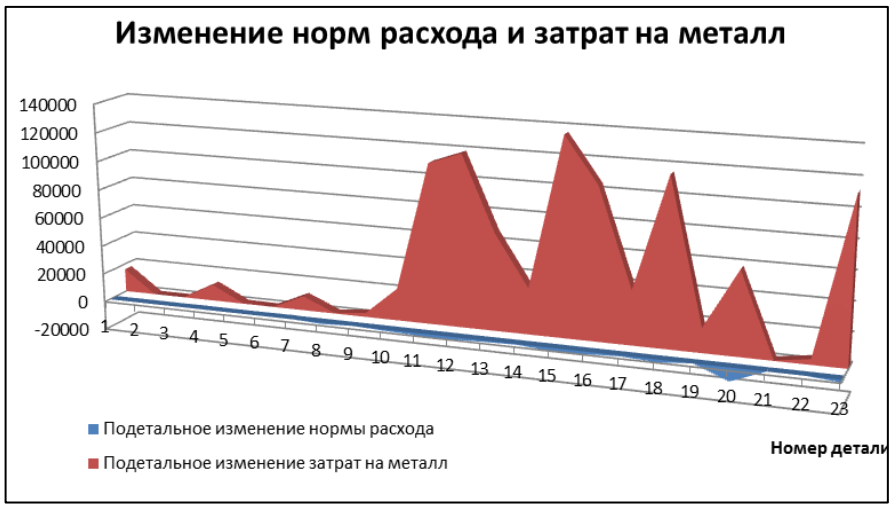


Рисунок 4.4 - Изменение норм расхода и затрат на металл при переходе с узкого рулонного проката на широкий

Эксперимент №2 по расчету раскроя подтверждает актуальность новой концепции ресурс-стоимостной оценки раскроя и свидетельствует об эффективности созданной методики оптимизации раскроя на основе ресурс-стоимостного показателя с вводом изменяющихся («плавающих) норм расхода, формированием оптимизированного сортамента на базе анализа сортамента производителей-поставщиков с учетом их стоимостных показателей, минимизацией затрат на металл.

Эксперимент № 2б, сложность расчетной схемы 0,6

Для проведения экспериментальных исследований и тестирования рассмотрены детали действующего производства, изготавливаемые из листового проката разных марок материала и толщины.

Таблица 4.4 - Результаты раскроя для 23 деталей при переходе с узкого рулонного проката на широкий

Номер п/п	Номер детали				Программа, шт.	Марка стали	Действующий вариант						Предлагаемый вариант						Экономический эффект, руб.		Примечание
	тип	инд	номер	суфф			Ширина рулона, мм	Норма расхода, кг	Цена за кг, руб.	Объем металла, кг	Затраты, руб.		Ширина рулона, мм	Норма расхода, кг	Цена за кг, руб.	Объем металла, кг	Затраты, руб.		в кг	в рублях	
											на 1 деталь	на программу выпуска					на 1 деталь	на программу выпуска			
1	469	00	5107022	00	4576	08ПС	1,15x800	3,614	31,16	16537,7	94,49	432 396	1,15x1000	3,615	30,17	16542,2	90,94	416 126	-5	16 271	Применение действ.проката
2	469	00	5405022	10	4765	08ПС	1,15x800	0,253	31,16	482,218	7,05	13 440	1,15x1000	0,264	30,17	503,184	7,04	13 428	-21	13	Применение действ.проката
3	469	00	5405023	10	4762	08ПС	1,15x800	0,253	31,16	481,914	7,05	13 432	1,15x1000	0,264	30,17	502,867	7,04	13 419	-21	13	Применение действ.проката
4	3909	10	5601032	00	11270	08ПС	1,15x800	0,844	31,16	9511,88	24,61	277 366	1,15x1320	0,836	30,17	9421,72	23,60	265 951	90	11 415,61	Применение действ.проката
5	3303	00	5601042	00	2237	08ПС	1,15x800	0,126	31,16	281,862	3,73	8 353	1,15x1000	0,124	30,17	277,388	3,57	7 975	4	378,23	Применение действ.проката
6	469	00	6000027	92	369	08ПС	1,15x800	0,66	31,16	243,54	18,58	6 857	1,15x1320	0,682	30,17	251,658	18,42	6 795	-8	61,13	Применение действ.проката
7	3909	00	7801086	00	14438	08ПС	1,15x800	0,432	31,16	6237,22	13,38	193 197	1,15x1320	0,42	30,17	6063,96	12,69	183 181	173	10 015,93	Применение действ.проката
8	3160	00	8401060	00	27955	08ПС	1,15x800	0,8	31,16	22364	23,59	659 514	1,15x1200	0,835	30,17	23342,4	23,58	659 066	-978	448,68	Применение действ.проката
9	3151	00	8401426	00	4441	08ПС	1,15x800	0,518	31,16	2300,44	14,68	65 180	1,15x1000	0,513	30,17	2278,23	14,05	62 410	22	2 769,72	Применение действ.проката
10	3151	40	5701243	92	8974	08Ю	0,87x700	4,681	32,08	42007,3	125,21	1 116 567	0,87x1430	4,781	31,06	42904,7	122,74	1 094 413	-897	22 153,40	Поставка нового проката
11	451	30	5401071	92	17438	08Ю	0,86x750	8,369	32,08	145939	236,67	4 127 043	0,87x1500	8,465	31,06	147613	230,35	4 016 789	-1 674	110 253,85	Поставка нового проката
12	451	50	5401080	92	47649	08Ю	0,86x750	3,297	32,08	157099	87,46	4 167 180	0,87x1500	3,335	31,06	158909	84,97	4 048 693	-1 811	118 486,86	Поставка нового проката
13	3162	20	5401238	92	44842	08Ю	0,86x750	1,978	32,08	88697,5	52,90	2 372 242	0,87x1500	2,001	31,06	89728,8	51,42	2 305 554	-1 031	66 688,13	Поставка нового проката
14	3909	10	5601016	92	5647	08Ю	0,86x750	7,456	32,08	42104	235,89	1 332 085	0,87x1500	7,542	31,06	42589,7	230,27	1 300 338	-486	31 747,21	Поставка нового проката
15	3163	00	8403271	00	27686	08Ю	0,86x750	6,591	32,08	182478	181,64	5 028 865	0,87x1500	6,67	31,06	184666	176,74	4 893 174	-2 187	135 691,30	Поставка нового проката
16	451	10	7801040	92	15431	08Ю	0,86x750	8,952	32,08	138138	259,21	3 999 903	0,87x1500	9,055	31,06	139728	252,46	3 895 653	-1 589	104 249,68	Поставка нового проката
17	451	10	5107300	92	22885	08Ю	0,86x800	2,231	32,08	51056,4	59,38	1 358 877	0,87x1600	2,259	31,06	51697,2	57,75	1 321 575	-641	37 301,18	Поставка нового проката
18	451	30	5401070	92	17461	08Ю	0,86x800	8,925	32,08	155839	252,91	4 415 992	0,87x1600	9,034	31,06	157743	246,32	4 300 924	-1 903	115 067,29	Поставка нового проката
19	451	00	7801044	00	6141	08Ю	0,86x800	2,703	32,08	16599,1	68,68	421 765	0,86x1000	2,703	31,06	16599,1	65,92	404 834	0	16 931,11	Применение действ.проката
20	451	10	6321024	92	34947	08Ю	0,86x850	7,587	32,08	265143	211,97	7 407 889	0,87x1350	7,851	31,06	274369	210,32	7 350 195	-9 226	57 694,00	Применение действ.проката
21	469	00	5113092	10	622	08Ю	0,86x900	0,207	32,08	128,754	5,53	3 439	0,86x1000	0,191	31,06	118,802	4,95	3 078	10	360,82	Применение действ.проката
22	451	50	5301066	92	50432	08Ю	0,86x900	0,567	32,08	2859,49	16,49	83 139	0,86x1000	0,559	31,06	2819,15	15,72	79 292	40	3 847	Применение действ.проката
23	451	00	6321014	00	17256	08Ю	0,86x900	8,702	32,08	150162	245,47	4 235 868	0,87x1430	8,805	31,06	151939	238,97	4 123 689	-1 777	112 178,84	Поставка нового проката
ИТОГО										**1496691**		**41740588**				**1520607**		**40766552**	**-23 916**	**974 036**	

При автоматизированном проектировании раскроя детали различной толщины и марок материала участвовали в расчетах в разных группах. В таблице 4.5 приведены схемы расположения заготовок на полосе, выбранные системой расчета раскроя. Выходными документами спроектированных раскроев являются подетальные карты раскроя.

По результатам решения задачи раскроя по минимальному значению критерия оптимизации РСП предложено применить для группы деталей рулонный прокат, что позволило получить эффект, подтвержденный актом внедрения в прессовом цехе ООО «УАЗ» авторского предложения №1525/1322.

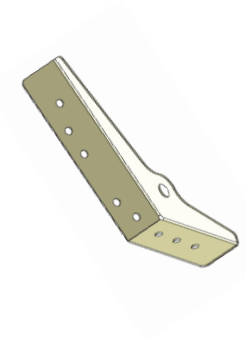
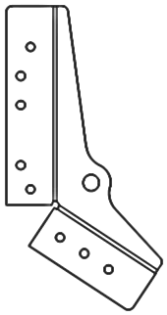
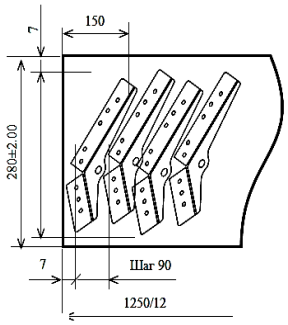
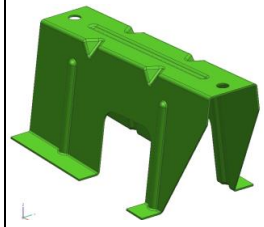
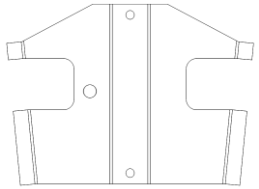
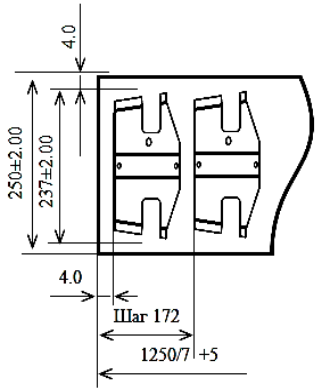
Эксперимент № 3, сложность расчетной схемы 0,7

В этой группе экспериментальных исследований рассмотрены детали действующего производства, для которых заготовки получают в два этапа – резкой рулона на прямоугольные заготовки и последующей резкой сложного контура с помощью лазерной установки с программным управлением.

При существующем подходе к решению раскройной задачи технолог определяет оптимальный вариант раскроя имеющегося на заводе проката по минимальной норме расхода. С проектированием раскроя по новой методике в зависимости от показателя РСП и с применением «ПРОМ-2013» предлагается экономически более целесообразный вариант раскроя с заказом нового профиля рулона для детали «Поперечина пола» (таблица 4.6) и с использованием для детали «Надставка панели пола грузового отсека» (таблица 4.7) действующего проката, но не применяемого для этой детали. Схемы наиплотнейшего расположения заготовок на листовом материале, выбранные системой при проектировании раскроя, приведены в таблицах 4.6 и 4.7. Итогом проектирования экономически обоснованного раскроя является «Карта раскроя», на основании которой осуществляется производственный процесс, и программирование раскроя листа с применением лазерной резки.

По результатам решения задачи раскроя с учетом критерия оптимизации РСП, полученным с помощью разработанной программы «ПРОМ-2013»,

Таблица 4.5 - Схемы оптимального автоматического расположения заготовок на полосе с вырубкой в штампах

Эскиз детали	Развертка	Тип заготовки	Тип укладки	Материал/ толщ., мм	Укладка в полосе	Поворот, град.
Кронштейн 		Полоса	Однорядная наклонная	08пс 3-II-ВГ 1,45		30°
Кронштейн крепления 		Полоса	Однорядная прямая	08пс 3-II-ВГ 1,2		90°

продолжение таблицы 4.5

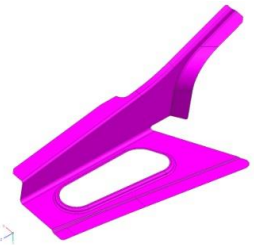
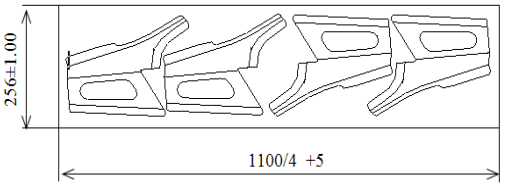
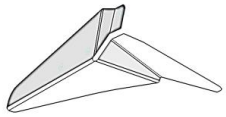
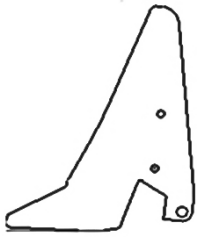
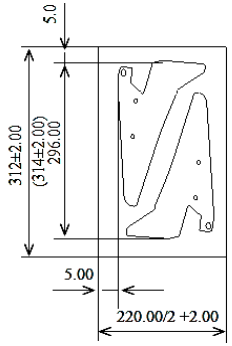
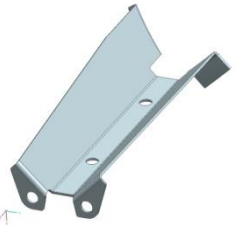
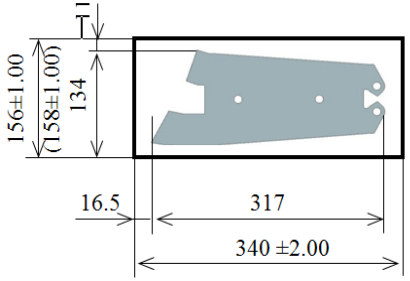
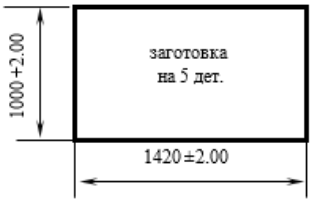
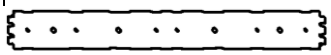
Эскиз детали	Развертка	Тип заготовки	Тип укладки	Материал/ толщ., мм	Укладка в полосе	Поворот, град.
Соединитель 		Полоса	Однорядная с поворотом полосы	08пс 3-II-ВГ 0,87		0°
Кронштейн крепления 		Карточка на две детали	Встречная	08пс 3-II-ВГ 1,45		180°
Кронштейн крепления 		Карточка	Однорядная	08пс 3-II-ВГ 1,93		90°

Таблица 4.6 - Результаты раскроя детали «Поперечина пола» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

Деталь «Поперечина пола»	Заготовка	Габариты развертки 1,45х162х1400 мм
		 Шаг вырезки 167 мм Укладка однорядная Перемычка по шагу 5 мм Перемычка по длине 5 мм (рекомендуемые значения перемычек по шагу и длине увеличены по условиям лазерной резки)

Вес детали – 2,518 кг
Годовая программа выпуска деталей, шт. - 4576 шт.
Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - «ММК» (1,45х1000) - 32,71руб.; «Северсталь» (1,45х1250) - 30,17 руб.

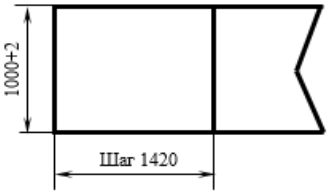
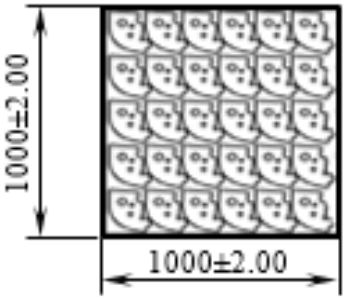
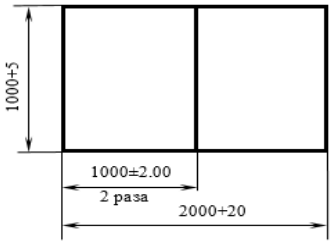
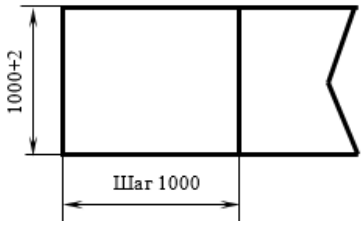
ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			Изменение схемы резки
Технология резки	Резать рулон 1.45х1000мм на полосы в размер 1420х1000мм на автоматическом комплексе «BZ».	Резать рулон 1.45х1250мм на полосы в размер 1420х1250мм на автоматической линии фасонной вырубки.	1. Изменение габаритов заготовки 2. Изменение технологии резки и оборудования
Марка	08пс 3-II-ВГ	08пс 3-II-ВГ	
Габариты проката	1,45х1000	1,45х1250	Изменение заказа проката
Норма расхода, кг	3,236	3,374	0,138 ↑
КИМ	0,778	0,746	0,032 ↓
Цена 1 кг, руб.	32,71	30,17	2,54 ↓
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	90,75 (с уч. сдачи лома)	85,59 (с уч. сдачи лома)	5,16 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	415 288 (с уч. сдачи лома)	391 676 (с уч. сдачи лома)	23 612 ↓
Потребность металла на программу, т	14,808	15,439	0,631 ↑
Производительность, дет./ мин.	125 (при 25 дв. ход. в мин.)	204 (при 34 дв. ход. в мин.)	79 ↑ (в 1,63 раза ↑)

Таблица 4.7 - Результаты раскроя детали «Надставка панели пола грузового отсека» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

Деталь «Надставка панели пола грузового отсека»	Заготовка	Габариты развертки 1,15х139х192 мм
		 Шаг вырезки 132 мм Укладка многорядная прямая Перемычка по шагу 5 мм Перемычка по длине 5 мм (рекомендуемые значения перемычек по шагу и длине увеличены по условиям лазерной резки)

Вес детали – 0,164 кг
Годовая программа выпуска деталей, шт. - 4765 шт.
Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - «ММК» (лист 1,15х1000х1000) - 32,71руб.; «Северсталь» (рулон 1,15х1000) – 30,17 руб.

ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			Изменение схемы резки
Технология резки	Резать лист 1.15х1000х2000мм на полосы в размер 1000х1000мм по переднему упору 1 раз на ножницах гильотинных.	Резать рулон 1.15х1000мм на полосы в размер 1000х1000мм на автоматической линии «Аида».	Изменение технологии резки и оборудования
Марка	08пс 3-II-ВГ	08пс 3-II-ВГ	
Габариты проката	1,15х1000х1000	1,15х1000	Изменение заказа проката
Норма расхода, кг	0,299	0,301	0,002 ↑
КИМ	0,548	0,545	0,003 ↓
Цена 1 кг, руб.	32,71	30,17	2,54 ↓
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	8,58 (с уч. сдачи лома)	7,87 (с уч. сдачи лома)	0,71 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	40 885 (с уч. сдачи лома)	37 478 (с уч. сдачи лома)	3 407 ↓
Потребность металла на программу, т	1,425	1,434	0,010 ↑
Производительность, дет./ мин.	750 (при 25 дв. ход. в мин.)	1080 (при 36 дв. ход. в мин.)	330 ↑ (в 1,44 раза ↑)

перерасход металла для группы деталей – 641 кг (по причине увеличения норм расхода при переводе на другой типоразмер рулона и с листа на рулон), при этом экономический эффект составит 27 020 руб. (таблица 4.8 и см. п. 3 главы 4.5). Этапы процесса получения заготовок представлены на рисунке 4.5.

Таблица 4.8 - Результаты раскроя по эксперименту №3

Номер п/п	Номер детали				Программа, шт.	Марка стали	Действующий вариант						Предлагаемый вариант						Экономический эффект, руб.		Примечание
	тип	инд.	номер	суфф.			Ширина рулона, мм	Норма расхода, кг	Цена за кг, руб.	Объем металла, кг	Затраты, руб.		Ширина рулона, мм	Норма расхода, кг	Цена за кг, руб.	Объем металла, кг	Затраты, руб.		в кг	в рублях	
											на 1 деталь	на программу выпуска					на 1 деталь	на программу выпуска			
1	2363	00	5101278	00	4575	08ПС	1,45х1000	3,236	32,71	14807,9	90,75	415 288	1,45х1250	3,374	30,17	15439,4	85,59	391 676	-631	23 612	Поставка нового проката
2	2363	00	5101528	92	4765	08ПС	1,15х1000	0,299	32,71	1424,74	8,58	40 885	1,15х1000	0,301	30,17	1434,27	7,87	37 478	-10	3 408	Применение дейст.проката
ИТОГО										16232,7		456173,4				16873,7		429153,8	-641,018	27 020	

<u>Эксперимент № 4, сложность расчетной схемы 0,8</u>

В рассматриваемом эксперименте рассмотрены крупные детали обновленного автомобиля «UAZ-Patriot», для изготовления которых требуются фасонные заготовки с автоматической вырубкой контура (на штампах).

Согласно заданию на раскрой детали ***«Арка колеса»*** программой «ПРОМ-2013» выбраны из справочника по сортаменту два габарита рулона (см. таблицу 4.9): 0,95х1250 мм (с точностью по толщине ВТ – высокой точности и допуском ± 0,06 мм, т.е. минимальная толщина 0,89 мм; поставщик – ПАО «ММК») и 1,0х1250 мм (с точностью по толщине БТ; поставщик – ПАО «Северсталь»). Решение задачи раскроя с применением «ПРОМ-2013» подтверждает оптимальность укладки по данному варианту раскроя, но предлагает наилучший вариант в зависимости от ресурс-стоимостного показателя с размещением заказа металлопроката на металлургическом комбинате ПАО «Северсталь: рулон 1,0х1250 мм; допуск нормальной точности по толщине ± 0,11 мм, с сохранением минимальной толщины 0,89 мм; заготовка 1,0х1250х1200 мм.

По аналогии с деталью «Арка колеса» выполнено задание по раскрою детали ***«Крыло переднее».***

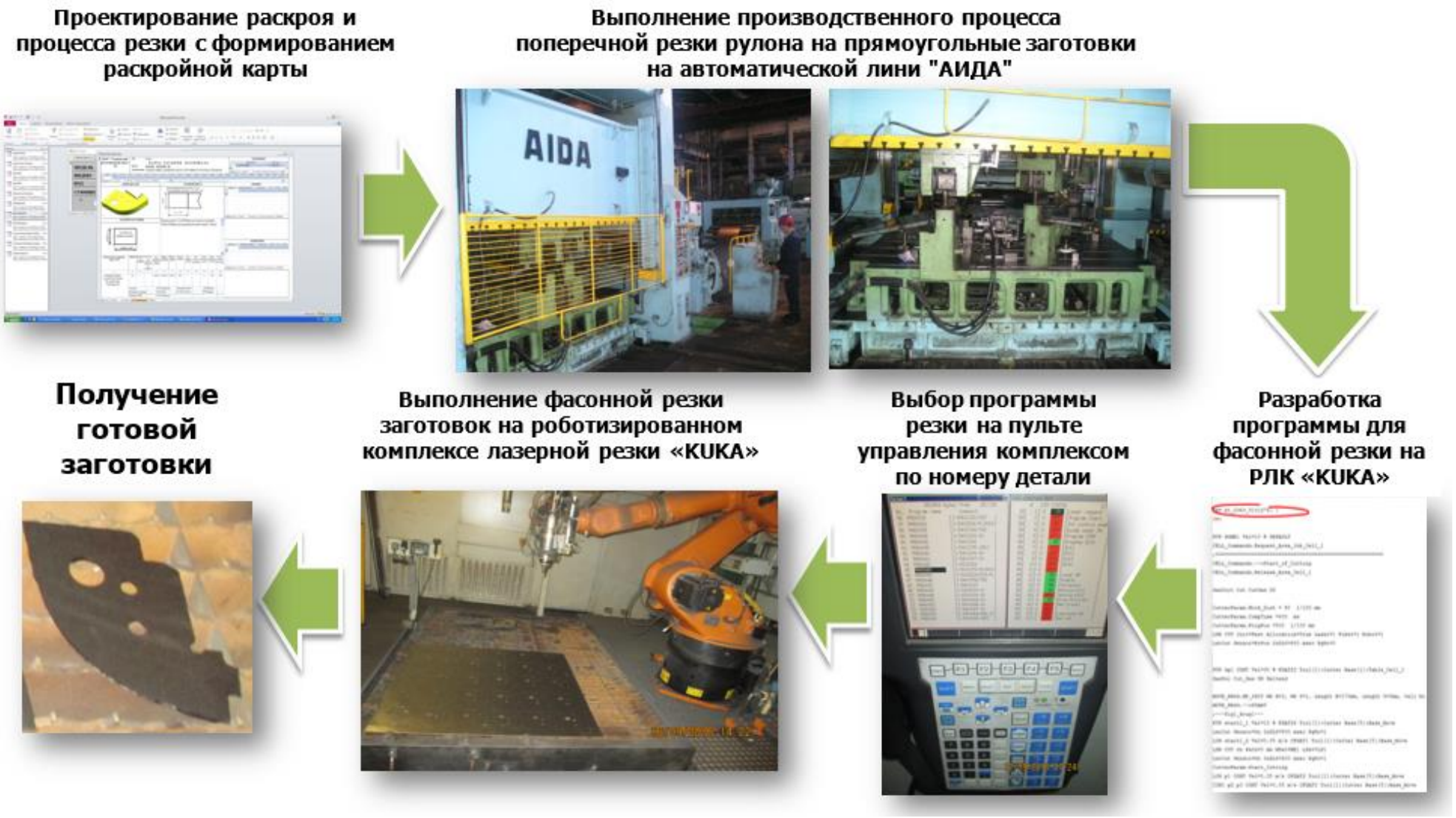
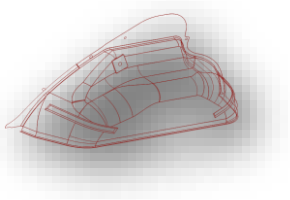
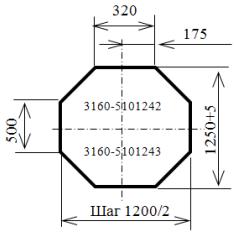
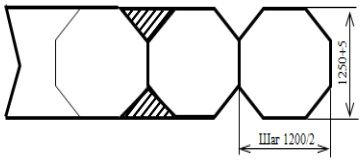
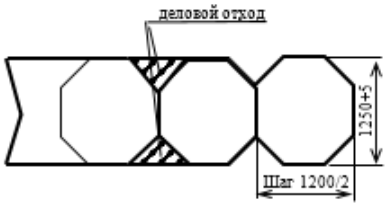


Рисунок 4.5 - Этапы процесса изготовления заготовок для детали «Надставка панели пола грузового отсека»

Таблица 4.9 - Результаты раскроя детали «Арка колеса» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

Деталь «Арка колеса»	Заготовка	Габариты развертки 0,95х1200х1250 мм Заготовка, спаренная на две детали Шаг 1200/2 мм Укладка однорядная Перемычка по ширине 0 мм Перемычка по шагу 0 мм Перемычка по длине 5 мм
		

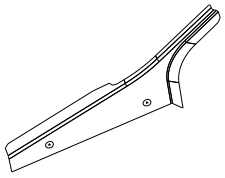
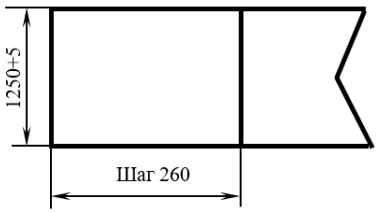
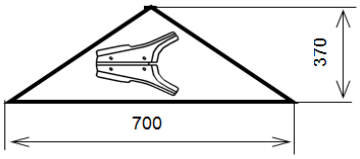
Вес детали – 2,641 кг
Годовая программа выпуска деталей - 37000 шт.
Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - «ММК» (0,95х1250) - 37,44 руб.; «Северсталь» (1,0х1250) - 35,42 руб.

ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			
Технология резки	Резать рулон 0.95х1250мм на фасонные заготовки в размер 1200х1250/2мм на автоматической линии фасонной вырубки. Штамп 80-3538.	Резать рулон 1.0х1250мм на фасонные заготовки в размер 1200х1250/2мм на автоматической линии фасонной вырубки. Штамп 80-3538.	
Марка	08Ю 5-II-ВОСВ-Т	08Ю 5-II-ВОСВ-Т	
Габариты проката	0,95х1250 (ВТ-высокая точность по толщине ± 0,06 мм)	1,0х1250 (БТ-нормальная точность по толщине ± 0,11 мм)	Изменение заказа проката
Норма расхода, кг	5,632	5,929	0,297 ↑
КИМ	0,469	0,445	0,024 ↓
Цена 1 кг, руб.	«ММК» - 37,44	«Северсталь» - 35,42	2,02 ↓
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	210,862	210,005	0,857 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	7 801 896,96	7 770 191,66	31 705,3 ↓
Потребность металла на программу, т	208,384	219,373	10,989 ↑
Трудоемкость, н. час/на 100 шт.	0,1286	0,1286	-

Отходы, образующиеся от раскроя детали «Арка колеса» (показаны на схеме резки в таблице 4.9 и 4.10), подобраны с помощью «ПРОМ-2013» в ручном режиме для изготовления детали «Надставки соединителя».

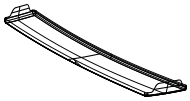
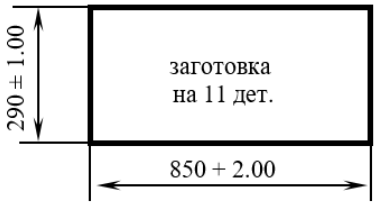
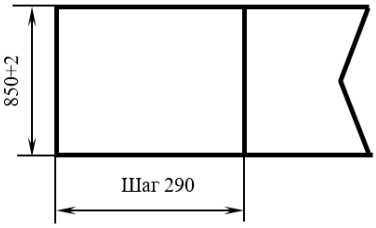
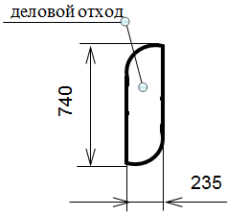
Оптимальность укладки и сортамент применяемого на заводе рулонного проката (ПАО «ММК», г. Магнитогорск) по действующему варианту раскроя подтверждены решением задачи раскроя по новой методике с применением «ПРОМ-2013» и определением наиболее экономически выгодного варианта раскроя по минимальному значению ресурс-стоимостного показателя.

Таблица 4.10 - Результаты раскроя детали «Надставка соединителя» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

<table>
<tr><td colspan="2"><u>Деталь «Надставка соединителя»</u>
  </td><td colspan="2">Заготовка
</td></tr>
<tr><td colspan="4">Вес детали – 0,131 кг
Годовая программа выпуска деталей - 38000 шт.
Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - 32,56 руб.</td></tr>
<tr><td>ПРОМ-2013</td><td>БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ</td><td>ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"</td><td>Изменения</td></tr>
<tr><td>Схема резки</td><td> 
</td><td> 
</td><td>Исключение резки – перевод на отход</td></tr>
<tr><td>Технология резки</td><td>Резать рулон 0.95х1250мм на полосы в размер 260х1250мм на автоматическом комплексе "BZ".</td><td>Использовать отход от дет. 3160-5101242/243 размером 1.0х370х700мм.</td><td>Изменение габаритов заготовки</td></tr>
<tr><td>Марка</td><td>08пс 3-II-ВГ</td><td>8Ю 5-II-ВОСВ-Т</td><td></td></tr>
<tr><td>Габариты проката</td><td>0,95х1250</td><td>1,0х1250</td><td>Изменение проката</td></tr>
<tr><td>Норма расхода, кг</td><td>0,305</td><td>0,0153</td><td>0,2897 ↓</td></tr>
<tr><td>КИМ</td><td>0,430</td><td>0,430</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Цена 1 кг, руб.</td><td>32,56</td><td>32,56</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Затраты по металлу на 1 дет., руб.</td><td>9,931</td><td>0,497</td><td>9,434 ↓</td></tr>
<tr><td>Затраты по металлу на программу, руб. (РСП).</td><td>377 370,4</td><td>18 868,52</td><td>358 501,88 ↓</td></tr>
<tr><td>Потребность металла на программу, т</td><td>11,59</td><td>0,58</td><td>11,011 ↓</td></tr>
<tr><td>Трудоемкость, н. час/на 100 шт.</td><td>0,038</td><td>0,0019</td><td>13,718 ↓ (на программу)</td></tr>
</table>

Отходы, образующиеся от раскроя детали «Крыло переднее» (рисунок 4.6 и таблица 4.11), подобраны с помощью «ПРОМ-2013» в ручном режиме для изготовления деталей «Надставка облицовки радиатора».

Таблица 4.11 - Результаты раскроя детали «Надставка облицовки радиатора» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

Деталь «Надставка облицовки радиатора» 		Заготовка 	
Вес детали – 0,115 кг Годовая программа выпуска деталей, шт. - 38000 шт. Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - 33,24 руб.			
ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			Исключение резки – перевод на отход
Технология резки	Резать рулон 0.86х850мм лицевой стороной вниз на полосы в размер 290х850мм на автоматическом комплексе "BZ".	Использовать отход от дет. 3163-8403014/015 размером 0.9х235х740мм.	Изменение габаритов заготовки
Марка	08Ю 4-II-ОСВ	8Ю 5-II-ВОСВ-Т	
Габариты проката	0,86х850	0,8х1600	Изменение проката
Норма расхода, кг	0,152	0,0076	0,1444 ↓
КИМ	0,757	0,757	-
Цена 1 кг, руб.	33,24	33,24	-
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	5,052	0,253	4,799 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	191 994,24	9 599,712	182 394,528 ↓
Потребность металла на программу, т	5,776	0,2888	5,487 ↓
Трудоемкость, н. час/на 100 шт.	0,045	0,00225	16,245 ↓ (на программу)

Выходными документами спроектированных раскроев являются подетальные карты раскроя, на основании которых осуществляется производственный процесс резки.

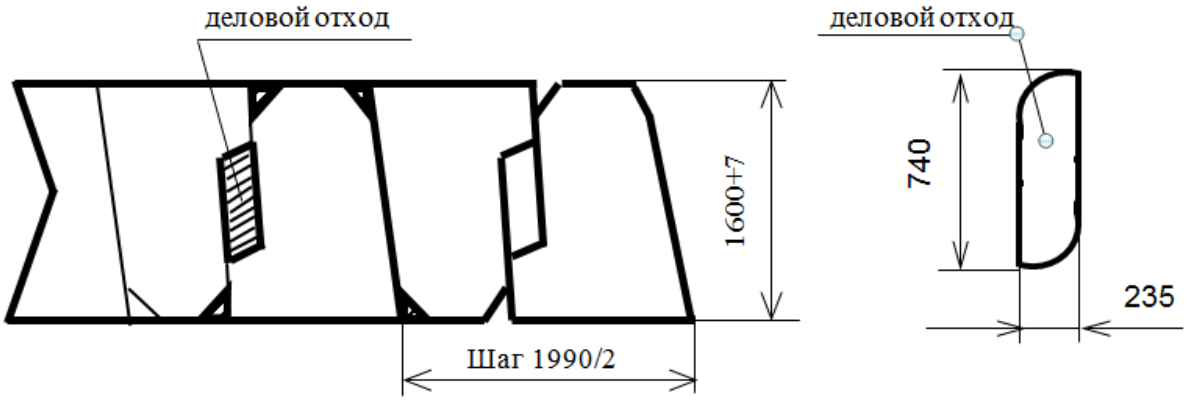


Рисунок 4.6 - Схема оптимального раскроя рулона для детали «Крыло переднее» с учетом деловых отходов

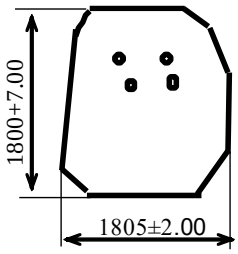
Таким образом, результаты рационального проектирования раскроя технологом подтверждаются результатами расчета в САПР. Однако, выбор материала с учетом РСП, генерируемого системой, позволяет достигать существенной экономии в размере 572 601,5 руб. и минимизации затрат не только за счет смены поставщика металла, но и вследствие преднамеренного формирования деловых отходов для их последующего рационального использования при изготовлении более мелких деталей из основной номенклатуры автомобильных деталей (см. п. 4 главы 4.5).

Эксперимент № 5, сложность расчетной схемы 0,9

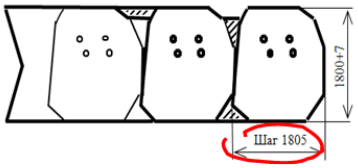
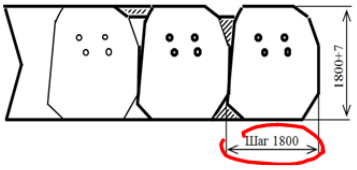
Эффективность разработанного алгоритма показана на примере раскроя детали «Панель боковины», относящейся согласно авторскому классификатору (см. главу 2.2) к крупным кузовным деталям со сложной пространственной геометрией, обуславливающей применение заготовки сложного контура. Для расчета и генерирования плана раскроя сложный контур заготовки аппроксимирован прямоугольником. Информация о заготовке представлена координатами опорных точек таблично, а ее размеры определены по максимальным значениям координат по осям OX и OY. Заготовка максимально приближена по форме к детали, что экономически оправдано в условиях крупносерийного и массового производства. Значительные габариты заготовки предопределили выбор малоотходного раскроя резкой по незамкнутому контуру с применением специальной оснастки (штампа). При существующем подходе к

решению проблемы раскроя технологом выбран наивыгоднейший вариант раскроя заготовок из имеющегося на заводе проката 0,9х1800 мм марки 006/IF от ПАО «ММК» (таблица 4.12), соответствующий минимальной норме расхода.

Таблица 4.12 - Результаты раскроя детали «Панель боковины» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

Деталь «Панель боковины»	Заготовка 	Габариты развертки 0,9х1800х1805 мм Шаг 1805 мм Укладка однорядная Перемычка по ширине 0 мм Перемычка по шагу 0 мм Перемычка по длине 5 мм

Вес детали – 8,5 кг
Годовая программа выпуска деталей - 44000 шт.
Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - «ММК» (006/IF - основной металл) - 40,27 руб.; «НЛМК» (01ЮТ ВОСВ-Т - материал-заменитель) - 39,87 руб.

ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			Изменение схемы резки
Технология резки	Резать рулон 0.9х1800мм на фасонные заготовки в размер 1800х1805мм на автоматической линии фасонной вырубки. Штамп 82-8006.	Резать рулон 0.9х1800мм на фасонные заготовки в размер 1800х1805мм на автоматической линии фасонной вырубки. Штамп 82-8006.	
Марка	006/ IF	01ЮТ ВОСВ-Т	Изменение марки
Габариты проката	0,9х1800	0,9х1800	
Норма расхода, кг	23,114	23,050	0,064 ↓
КИМ	0,368	0,369	0,001 ↑
Цена 1 кг, руб.	«ММК» - 40,27	«НЛМК» - 39,87	0,4 ↓
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	930,8	919	11,8 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	40 955 234,32	40 436 154	519 080,32 ↓
Потребность металла на программу, т	1 017,016	1 014,2	2 816 ↓
Трудоемкость, н. час/на 100 шт.	0,2421	0,2421	-

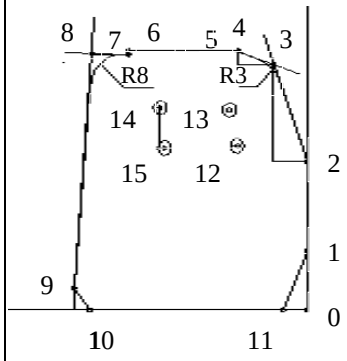
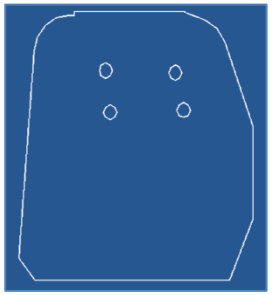
Оптимизация раскроя произведена с применением «ПРОМ-2013». Заготовки разложены на действующем габарите рулона с более плотным размещением деталей. Укладка заготовки в полосе – однорядная. Укладка с использованием метода «сдвиг по шагу», рассмотренного во второй главе, позволяет уменьшить шаг подачи на 5 мм. По результатам расчета раскроя на основе ресурс-стоимостного показателя с помощью «ПРОМ-2013» выбран более экономичный вариант раскроя с размещением заказа рулонного проката 0,9х1800 мм из материала-заменителя марки 01ЮТ ВОСВ-Т на другом металлургическом комбинате ПАО «НМЛК» (таблица 4.12) и сформированы раскройные карты для детали-донора, предоставляющей отходы, и деталей-акцепторов, изготавливаемых из отходов.

На рисунке 4.7 приведены этапы экспериментальных работ по раскрою металла на заготовки для детали «Панель боковины» согласно спроектированного с использованием ПО «ПРОМ-2013» раскроя. В таблице 4.13 представлены основные этапы проектирования раскроя заготовок рассматриваемой детали с краткой характеристикой расчетных и проектных процедур в ходе применения «ПРОМ-2013». Как показано в таблице 4.13, роспуск рулона на фасонные заготовки выполнен для детали «Панель боковины» с применением программы «ПРОМ-2013». Отличительной особенностью программы является ведение расчета для группы деталей одной толщины и марки, что позволяет осуществить рациональный подбор отходов для производства других деталей раскраиваемой группы, снизить заказ металла и повысить общий КИМ. Отходы, образующиеся от раскроя детали «Панель боковины», подобраны с помощью «ПРОМ-2013» в ручном режиме для изготовления деталей «Крышка люка наливной горловины» (таблица 4.14) и «Рамка люка наливной горловины» (таблица 4.15). Для удобства и безопасного использования деловые отходы подрезаются в необходимый размер на гильотинных ножницах. По результатам решения задачи раскроя, полученным с помощью разработанного ПО «ПРОМ-2013» в виде расчетного значения критерия оптимизации РСП, экономия металла для группы деталей составит 36 841,2 кг, экономический эффект – 1 640 022 руб. (см. п. 5 главы 4.5).

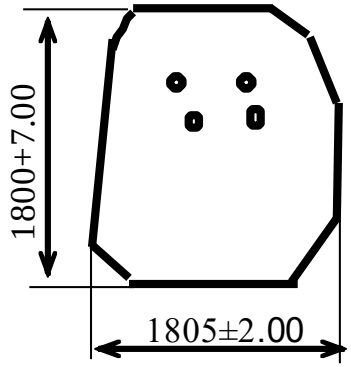
Рисунок 4.7 - Этапы процесса изготовления заготовок для детали «Панель боковины»:

1 – станция транспортирования рулона со склада на распаковочную площадку согласно заданию на раскрой; 2 – станция установки рулона в разматывающее устройство; 3, 4 – станция подачи полосы в правильную машину; 5, 6 – станция подачи рулона к прессу; 7 – станция настройки шага подачи (резки) рулона на пульте управления в соответствии с картой раскроя; 8 – станция установки штампа в пресс; 9 – станция подключения пневматического оборудования; 10 – станция расстановки тары для удаления и сбора деловых отходов; 11 – станция настройки стапелирующего устройства для автоматического складирования заготовок; 12 – станция упаковки нарезанных заготовок для транспортировки на склад заготовок

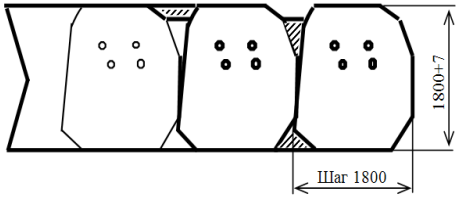
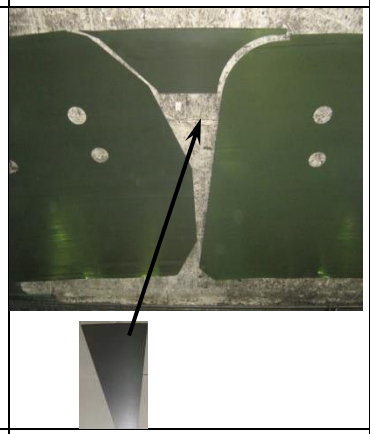
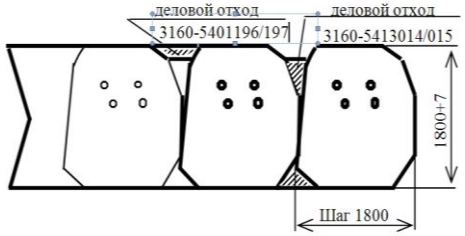
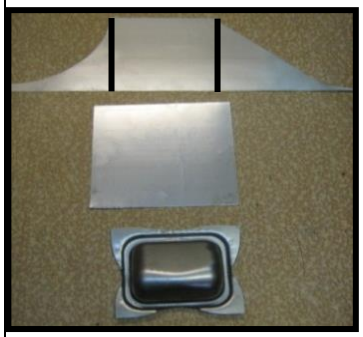
Таблица 4.13 - Этапы проектирования раскроя заготовок детали «Панель боковины»

Итог работ	Эскиз	Фото	Вид работ	Характеристика работ
Деталь (геометрия детали задана чертежом / математической моделью)			Подготовка данных по КД Закрепление за цехом и участком изготовления Разработка технологии изготовления детали	Данные о детали: - наименование детали «Панель боковины» - марка материала –01ЮТ ВОСВ-Т (заменитель 006/ IF) - толщина – 0,9 мм - масса детали – 8,5кг Прессовый цех Первая операция – вытяжка на прессе двойного действия КБ7040Q=1630т штамп 84-1930. Для качественного изготовления таких деталей требуется сложная технологическая надстройка и повышенный расход металла.
Заготовка			Определение формы заготовки Выбор направления волокна	Количество деталей из 1 заготовки – 1шт. Ввиду габаритности детали – заготовка индивидуальная. Для экономии металла на данную деталь разработана фасонная заготовка, т.е. конфигурация заготовки максимально приближена к детали. Заготовка располагается произвольно по отношению к линии проката.

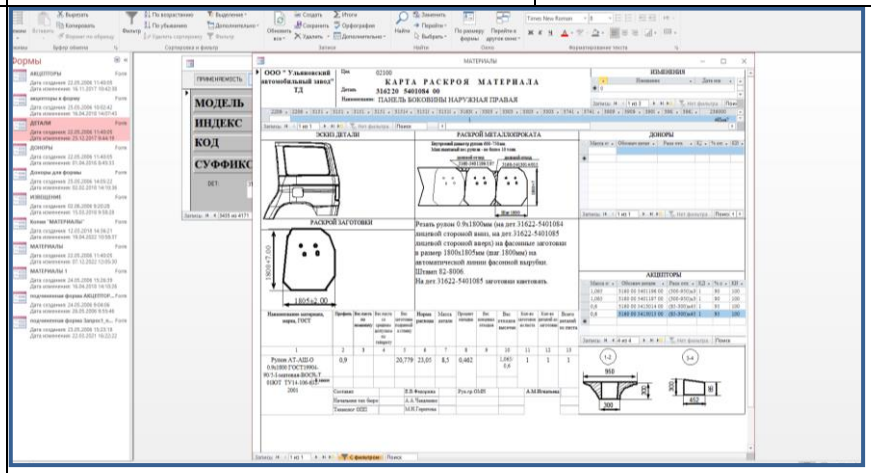
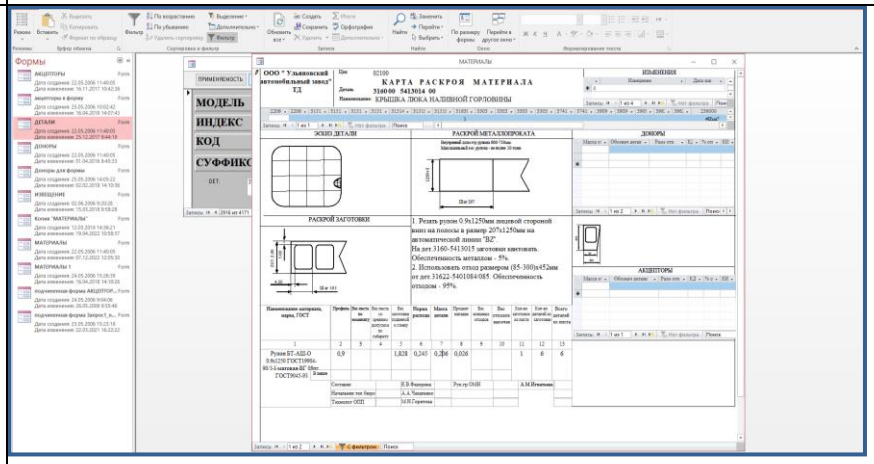
продолжение таблицы 4.13

<table>
<tr><th>Итог работ</th><th>Эскиз</th><th>Фото</th><th>Вид работ</th><th>Характеристика работ</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>Построение заготовки (развертки детали) по узловым точкам, заданным в координатной форме</td><td>Координаты узловых точек
<table>
<tr><th>Номер точек</th><th>X Мм</th><th>Y мм</th><th>R мм</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>410</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>0</td><td>1030</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>260</td><td>1707</td><td>250</td></tr>
<tr><td>4</td><td>527</td><td>1795</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>527</td><td>1800</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>1380</td><td>1800</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>1380</td><td>1775</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>1663</td><td>1755</td><td>260</td></tr>
<tr><td>9</td><td>1805</td><td>150</td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>1680</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td>183</td><td>0</td><td></td></tr>
<tr><td>12</td><td>535</td><td>1140</td><td>50</td></tr>
<tr><td>13</td><td>600</td><td>1390</td><td>50</td></tr>
<tr><td>14</td><td>1135</td><td>1405</td><td>50</td></tr>
<tr><td>15</td><td>1100</td><td>1125</td><td>50</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Заготовка с оптимальными размерами</td><td> 
</td><td> </td><td>Проектирование с применением «ПРОМ-2013" заготовки с оптимальными геометрическими размерами и формирование данных для раскроя и проектирования штамповой оснастки</td><td>Спроектирована оптимальная заготовка с геометрическими размерами 1800х1805 мм. Данные для раскроя:
- тип заготовки - индивидуальная заготовка
- тип укладки - однорядная
- ширина полосы – 1800 мм
- перемычка по шагу – 0 мм, ширине – 0 мм, длине – 5 мм
- марка материала -01ЮТ (006/ IF) ВОСВ-Т; - толщина – 0,9 мм</td></tr>
</table>

продолжение таблицы 4.13

Итог работ	Эскиз	Фото	Вид работ	Характеристика работ
				- максимальный угол отклонения– 5°; - максимальный угол поворота – 360°.
Схема оптимального раскроя полосы (рулона)			Составление с применением «ПРОМ-2013» схемы оптимального раскроя рулона	Рулон 0,9х1800 мм 01ЮТ ВОСВ-Т Шаг подачи – 1800 мм Концевой припуск для получения последней детали – 10 мм. Штамп для отрезки - 82-8006. Норма расхода – 23,050 кг; КИМ – 0,369. Заготовки удаляются на переднее стапелирующее устройство. Отходы удаляются в тыл и во фронт.
Схема оптимального раскроя рулона с указанием применения деловых отходов		 	Подбор с применением «ПРОМ-2013» более мелких деталей для изготовления из отходов, образующихся при резке	Подобранные деловые отходы-высечки от отрезки заготовки «Панель боковины» использовать на детали: «Рамка люка наливной горловины» (масса-0,36 кг) и «Крышка люка наливной горловины» (масса-0,206 кг). Отход в зоне проема окна использовать невозможно, т.к. для получения качественной детали были введены технологические отверстия с надрезами (по результатам расчетов на штампуемость с использованием программы «AutoForm»). КИМ – 0,393.

продолжение таблицы 4.13

Итог работ	Эскиз	Фото	Вид работ	Характеристика работ
Карта раскроя детали - донора «Панель боковины»			Формирование выходного документа – карты раскроя детали «Панель боковины»	Содержание карты раскроя: - ТЭП раскроя детали «Панель боковины» - сведения о раскраиваемом металле - схема и технологический процесс резки проката/ отхода - сведения об остатках (отходах) и их использование - обозначение деталей-акцепторов («Крышки люка наливной горловины»; «Рамки люка наливной горловины»)
Карта раскроя детали - акцептора №1 «Крышка люка наливной горловины»			Формирование выходного документа – карты раскроя детали «Крышка люка наливной горловины»	Содержание карты раскроя: - ТЭП раскроя детали «Крышка люка наливной горловины» - сведения о раскраиваемом металле - схема и технологический процесс резки проката/ отхода - сведения об остатках (отходах) и их использование - обозначение детали-доноры («Панели боковины»)

продолжение таблицы 4.13

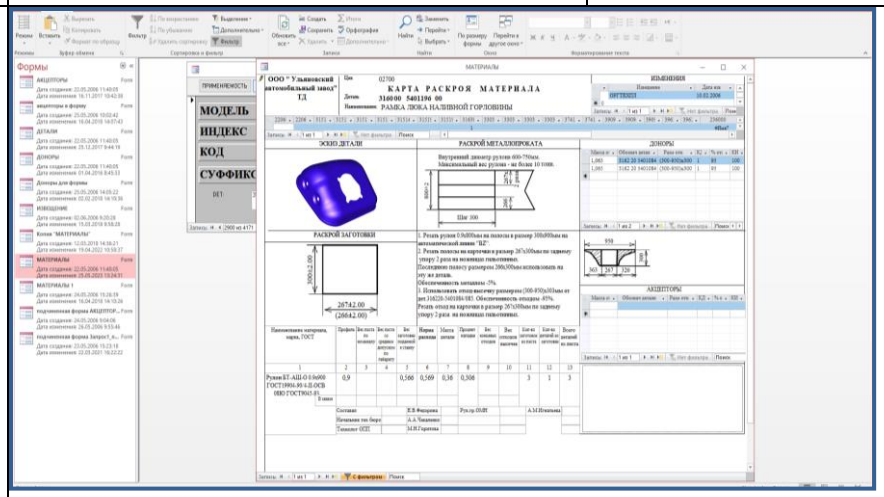
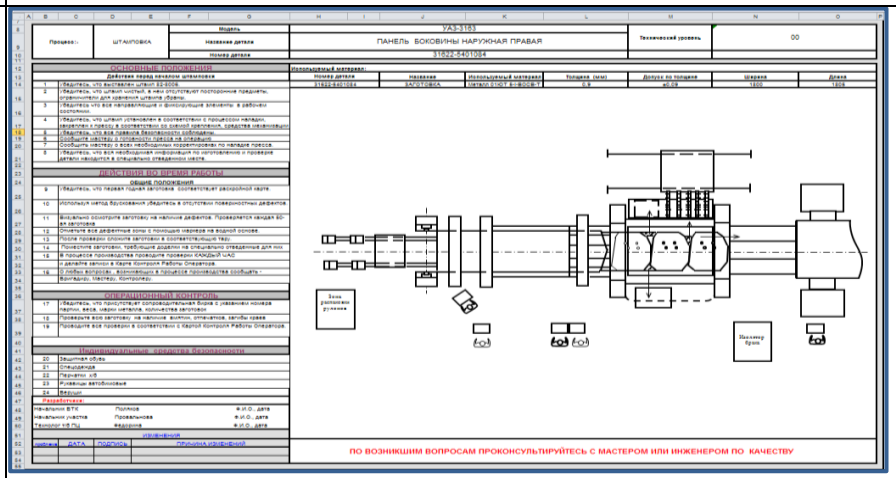
Итог работ	Эскиз	Фото	Вид работ	Характеристика работ
Карта раскроя детали - акцептора №2 «Рамка люка наливной горловины»			Формирование выходного документа – карты раскроя детали «Рамка люка наливной горловины»	Содержание карты раскроя: - ТЭП раскроя детали «Рамка люка наливной горловины» - сведения о раскраиваемом металле - схема и технологический процесс резки проката/ отхода - сведения об остатках (отходах) и их использование - обозначение детали-доноры («Панели боковины»)
Рабочая инструкция оператора автоматической линии			Формирование рабочей инструкции оператора	Действия перед началом резки, действия во время работы, операционный контроль, индивидуальные средства безопасности

Таблица 4.14 - Результаты раскроя детали «Крышка люка наливной горловины» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

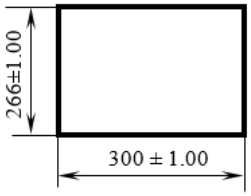
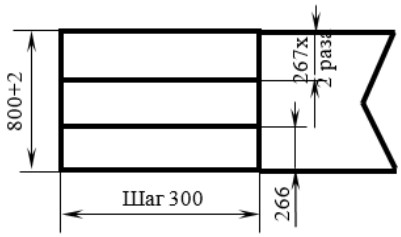
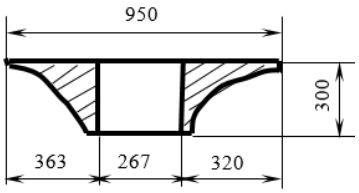
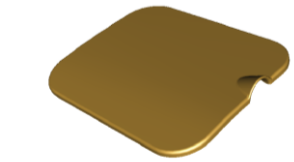
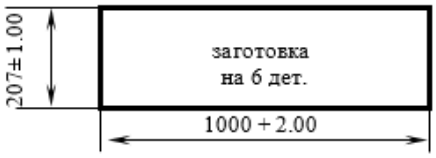
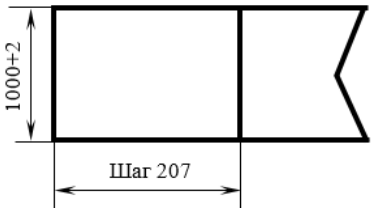
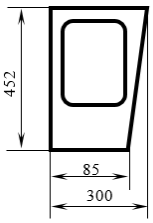
Деталь «Крышка люка наливной горловины»		Заготовка 	
Вес детали – 0,36 кг Годовая программа выпуска деталей, шт. - 44000 шт. Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - 33,11 руб.			
ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			Изменение схемы резки – перевод на отход
Технология резки	1. Резать рулон 0.9х800мм на полосы в размер 300х800мм на автоматическом комплексе "BZ". 2. Резать полосы на карточки в размер 267х300мм по заднему упору 2 раза на ножницах гильотинных. Последнюю карточку размером 266х300мм использовать на эту же деталь.	Использовать отход от дет. 31622-5401084/085 размером 0.9х267х300мм. 1. Резать отход на фасонные заготовки в размер 630х300хмм по переднему упору 1 раз на ножницах гильотинных. 2. Резать заготовки на карточки в размер 267х300мм по заднему упору 1 раз на ножницах гильотинных.	1. Изменение габаритов заготовки 2. Изменение технологии резки и оборудования
Марка	08Ю 4-II-ОСВ	01ЮТ -ВОСВ-Т	Изменение марки
Габариты проката	0,9х800	0,9х1800	Изменение проката
Норма расхода, кг	0,569	0,0285	0,541 ↓
КИМ	0,633	0,633	-
Цена 1 кг, руб.	33,11	33,11	-
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	18,839	0,942	17,897 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	828 941,96	41 447,098	787 495 ↓
Потребность металла на программу, т	25,036	1,252	23,784 ↓
Трудоемкость, н. час/на 100 шт.	0,025/ 0,144	0,2012/ 0,2491	123,772 ↑ (на программу)

Таблица 4.15 - Результаты раскроя детали «Рамка люка наливной горловины» на производстве и с применением программы «ПРОМ-2013»

Деталь «Рамка люка наливной горловины» 	Заготовка 		
Вес детали – 0,206 кг Годовая программа выпуска деталей, шт. - 44000 шт. Цена 1 кг металла (из справ. «ПРОМ-2013») - 32,56 руб.			
ПРОМ-2013	БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ	ПРИМЕНЕНИЕ "ПРОМ-2013"	Изменения
Схема резки			Исключение резки – перевод на отход
Технология резки	Резать рулон 0.9х1000мм на полосы в размер 207х1000мм на автоматическом комплексе "BZ".	Использовать отход от дет. 31622-5401084/085 размером 0.9х300х452мм.	Изменение габаритов заготовки
Марка	08пс 3-II-ВГ	01ЮТ -ВОСВ-Т	Изменение марки
Габариты проката	0,9х1000	0,9х1800	Изменение проката
Норма расхода, кг	0,245	0,0123	0,233 ↓
КИМ	0,841	0,841	-
Цена 1 кг, руб.	32,56	32,56	-
Затраты по металлу на 1 дет., руб.	7,977	0,400	7,577 ↓
Затраты по металлу на программу, руб. (РСП)	350 997	17 550	333 447 ↓
Потребность металла на программу, т	10,780	0,539	10,241 ↓
Трудоемкость, н. час/на 100 шт.	0,013	0,00065	5,434 ↓ (на программу)

По итогам 5 экспериментов по оптимизации гильотинного раскроя листового проката в зависимости от показателя РСП с применением программы «ПРОМ-2013» сформирован оптимальный сортамент с сокращением потребления металла на 149 тонн (см. п. 6 главы 4.5); сокращением заказа и поставки проката в

листах с 6,1 тыс. тонн до 1,75 тыс. тонн в пользу более перспективного проката в рулонах (рисунок 4.8).

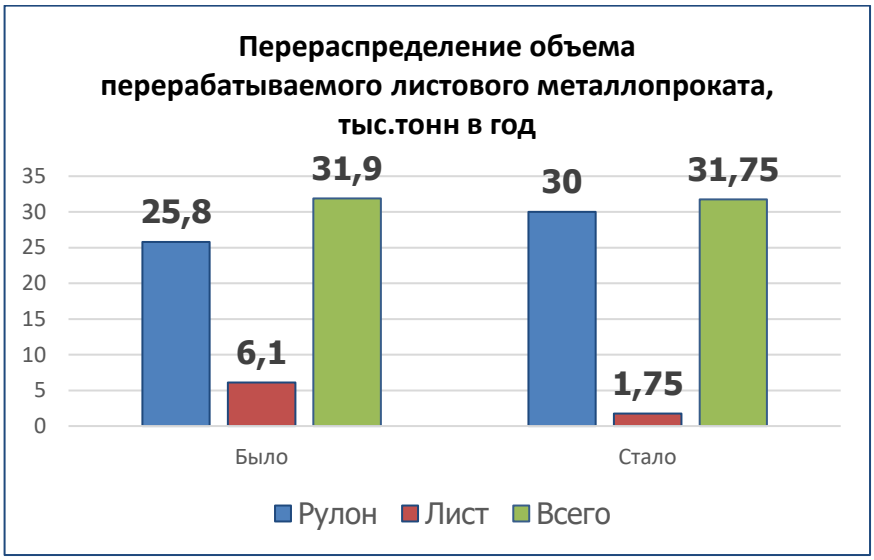


Рисунок 4.8- Результаты оптимизации сортамента листового проката на основе ресурс-стоимостной оценки

Это способствовало более эффективному использованию высокопроизводительного автоматического режущего оборудования (автоматического комплекса «BZ», автоматической линии «Аида», линии фасонной вырубки), повышению производительности, снижению трудоемкости раскройных работ, а также изменению в технологических процессах резки состава раскройного оборудования: сокращению гильотинных ножниц с 7 до 3 ед. (на 4 ед.) и автоматических линий с 6 до 5 ед. (на 1 ед.) (рисунок 4.9).

По результатам 5 экспериментов проектирования раскроя с применением «ПРОМ-2013» сформирован оптимальный сортамент с минимизацией затрат в размере 7,35 млн. рублей (см. п. 6 главы 4.5).

4.1. Сравнительный анализ трудоемкости проектирования раскроя

Показатели сложности расчетной схемы и время решения задачи раскроя, определенное при расчете вручную и автоматизированным способом, приведены в таблице 4.16. Время расчета раскроя включает время подготовки необходимой документации, поиска геометрия детали, формирования данных для раскроя, процедуру раскроя. В таблице 4.17 представлено время разработки карт раскроя в

зависимости от сложности расчетной схемы, полученное ручным методом и с применением программы «ПРОМ-2013».

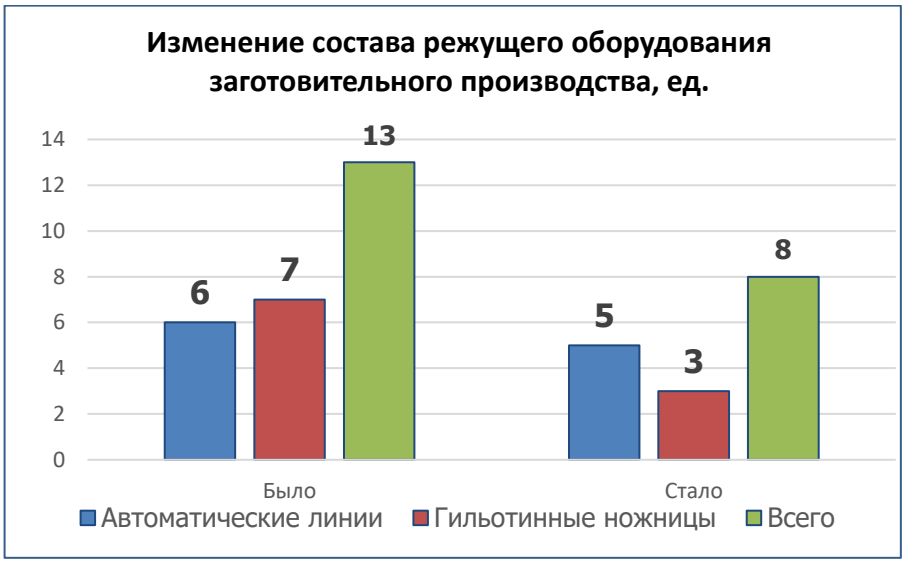


Рисунок 4.9 - Результаты минимизации режущего оборудования для раскроя оптимизированного сортамента

Таблица 4.16. Результаты исследований по определению времени расчета раскроя

Номер эксперимента	Количество деталей в группе расчета	Сложность расчетной схемы	Время расчета раскроя ручным методом, час		Время автоматизированного расчета раскроя, час	
			группы деталей	одной детали	группы деталей	одной детали
1	5	0,5	2,2	0,44	1,0	0,20
2	23	0,6	17,94	0,78	6,44	0,28
3	2	0,7	2,22	1,11	0,66	0,33
4	4	0,8	5,8	1,45	1,52	0,38
5	3	0,9	5,37	1,79	1,35	0,45

Таблица 4.17. Результаты исследований по трудоемкости разработки карт раскроя

Номер эксперимента	Количество деталей в группе расчета	Сложность расчетной схемы	Время составления карты раскроя ручным методом, час		Время автоматизированного составления карты раскроя, час	
			группы деталей	одной детали	группы деталей	одной детали
1	5	0,5	1,45	0,29	0,85	0,17
2	23	0,6	11,04	0,48	4,6	0,2
3	2	0,7	1,36	0,68	0,46	0,23
4	4	0,8	3,48	0,87	1,20	0,30
5	3	0,9	3,19	1,06	1,15	0,38

Нормирование времени, затраченного на ручное проектирование раскроя и разработку карт раскроя опытным технологом, осуществлялось по утвержденным нормам времени [132]. Качество раскроя обеспечивалось статистическим контролем процессов производства со стороны служб обеспечения качества продукции завода [133].

Таблицы 4.16, 4.17 и графические зависимости (рисунки 4.10 и 4.11) показывают эффективное снижение трудоемкости от использования средств автоматизированного раскроя.

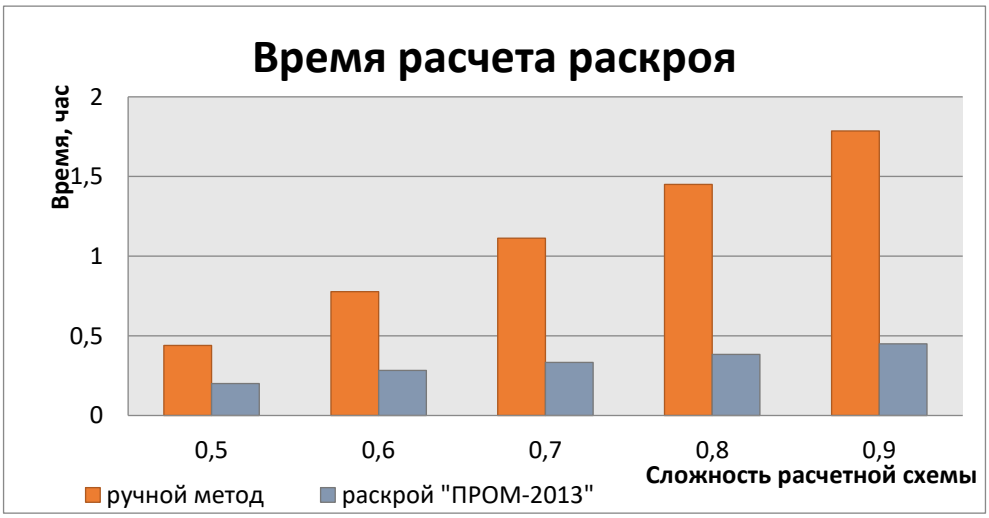


Рисунок 4.10- Зависимость времени расчета раскроя от сложности схемы

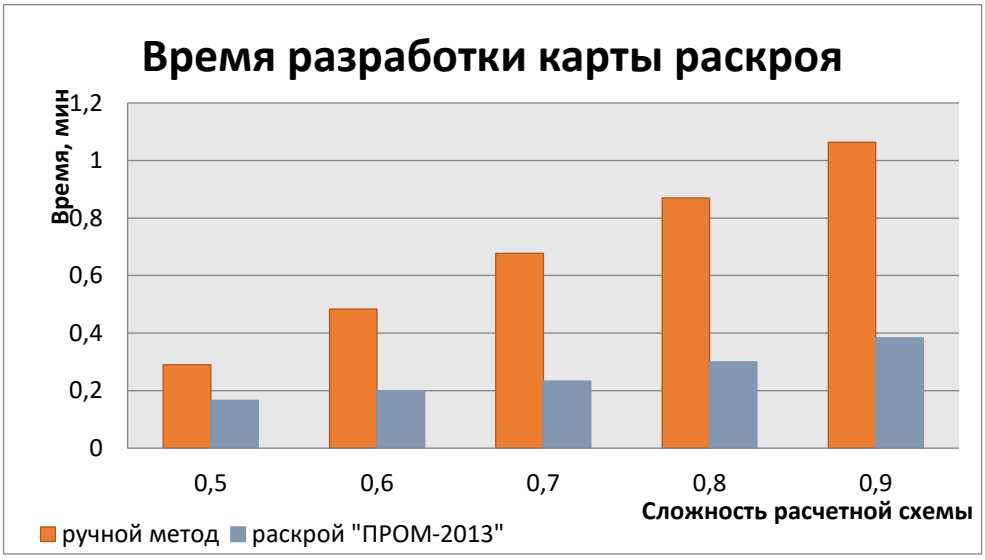


Рисунок 4.11 - Зависимость времени разработки карты раскроя от сложности схемы

4.2. Расчет экономической эффективности результатов исследования

Разработанная методика проектирования оптимального гильотинного раскроя листового проката с применением нового критерия оптимизации РСП, реализованная в программном продукте «ПРОМ-2013», позволяет вести учет и контроль норм расхода ввиду их прозрачности, обеспечивает наилучшее использование металла с точки зрения минимизации затрат на металл с получением экономии 3–5 % от годовых расходов на приобретение металла, а значит, повышает эффективность использования материальных и финансовых средств предприятием. Определение подетальной нормы расхода дает возможность не только количественно оценить расход оптимизированного металла, но и проверить оптимальность спроектированной технологии. Экономию металла в результате оптимального раскроя определим по формуле [134]:

$$Э=(H_{рб}\ C_б - H_{ро}\ C_о)\ P,$$

где $H_{рб}$ – норма расхода по действующему варианту раскроя, кг;

$H_{ро}$ – норма расхода по оптимальному раскрою, спроектированному с применением программы «ПРОМ-2013», кг;

$C_б$ – цена одной тонны проката, раскроенного по действующему варианту (определяется по прейскурантам цен металлургических комбинатов);

$C_о$ – цена одной тонны проката, раскроенного по оптимальному варианту (определяется по прейскурантам цен металлургических комбинатов);

$К_{и\ б}$ – коэффициент использования металла, раскроенного по действующему варианту;

$К_{и\ о}$ – коэффициент использования металла, раскроенного по оптимальному варианту;

P – годовой план производства детали.

Снижение нормы расхода определяется по формуле:

$$\Delta H_р = (H_{рб} - H_{ро}) / Нр_б\ 100\%.$$

Снижение потребности металла определяется по формуле:

$$\Delta G_{пр} = (G_{пр\ б} - G_{пр\ о}) / G_{пр\ б}\ 100\%.$$

Повышение коэффициента использования металла устанавливается по формуле:

$$\Delta K_и = (K_{и\,б} - K_{и\,о}) / K_{и\,б}\,100\%.$$

Экономический эффект от мероприятий по теме исследования:

1. Эксперимент №1 (см. п. 4.3.2).

Экономия рассчитывается, исходя из годовой потребности металла

Э = 2139,449*26970 – 2008,188*26670 =4 139 920 руб.

Снижение потребности металла в тоннах и процентах

$\Delta G_{пр}$ = 2139,449 – 2008,188 =131,261 тонн;

$\Delta G_{пр}$= (2139,449 – 2008,188)/2139,449*100% = 6,14 %.

Экономическая целесообразность разработанной методики гильотинного раскроя в зависимости от ресурс-стоимостного показателя подтверждена актами внедрения в прессовом цехе ООО «УАЗ» 20 авторских рационализаторских предложений (таблица 4.18). Методика «Порядок расчета норм расхода металлопроката в ПСЦ» (титульные листы), разработанная автором, а также удостоверения авторских рационализаторских предложений по теме исследовательской работы приведены в приложениях И и К.

Таблица 4.18- Экономия металлоресурсов и затрат по предложениям автора

Номер рационализаторского предложения	Снижение расходов,	
	в тоннах	в рублях
1344/ 4619	-1,594	92 260,46
1340/ 4615	6,159	191 764,31
1342/ 4617	5,286	181 619,08
1343/ 4618	2,564	92 941,06
1350/ 4631	5,937	124 028,65
1352/ 4633	7,012	220 958,93
1363/ 4647	3,854	90 433,09
1364/ 4649	4,621	287 713,75
1377/ 4670	6,130	98 294,94
1409/ 4718	9,759	249 125,15
1412/ 4724	4,132	94 819,95
1418/ 4735	3,872	135 731,19
1437/ 4785	14,777	289 803,99
1446/ 4841	3,408	57 871,59

продолжение таблицы 4.18		
Номер рационализаторского предложения	Снижение расходов,	
	в тоннах	в рублях
1592/ 4346	20,845	322 388,34
1626/ 4458	7,073	199 500,00
1631/ 4491	17,582	429 046,05
1632/ 4492	4,967	225 426,73
1633/ 4495	1,490	85 671,92
1647/ 4560	3,386	125 390,65

2. Эксперимент №2 (см. гл. 4.3.2).

Экономия рассчитывается по данным сводной таблицы 4.5:

$$Э=41\ 740\ 588 – 40\ 766\ 552= 974\ 036 \text{ руб.}$$

Увеличение потребности металла, исходя из значений таблицы 4.5:

$$\Delta G_{пр} =1\ 496\ 691 – 1\ 520\ 607= – 23\ 916 \text{ кг.}$$

Эффект подтвержден актом внедрения в прессовом цехе ООО «УАЗ» авторского мероприятия №2500/11-2015.

3. Эксперимент №3 (см. гл. 4.3.2).

Экономия рассчитывается по данным сводной таблицы 4.6:

$$Э = 456\ 173,4 – 429\ 153,8= 27\ 020 \text{ руб.}$$

Увеличение потребности металла, исходя из значений таблицы 4.6:

$$\Delta G_{пр} =16\ 232,7 – 16\ 873,7= – 641,018 \text{ кг.}$$

Эффект подтвержден актом внедрения авторского Кайдзен-предложения в прессовом цехе ООО «УАЗ».

4. Эксперимент №4 (см. гл. 4.3.2).

4.1. Годовой экономический эффект по этапу III созданного алгоритма на деталь «Арка колеса» составит

$$Э_1 = (5,632*37,44 – 5,929*35,42)*37\ 000 =31\ 705 \text{ руб.}$$

Увеличение годового расхода металла

$$\Delta G_{пр1} = (5,632 – 5,929)*37\ 000 = –10\ 989 \text{ кг.}$$

Подбор образующихся отходов от раскроя детали «Арка колеса» на мелкую деталь «Надставка соединителя» снизит затраты на металл в денежном и натуральном выражении

$Э_2$ = 0,305*95/100*38 000*32,56 =358 502 руб.;

$\Delta G_{пр2}$ = 0,305*95/100*38 000 =11 011 кг.

Годовой экономический эффект по двум деталям «Арка колеса» и «Надставка соединителя», рассчитанным по разработанному алгоритму составит:

$Э = Э_1 + Э_2$;

Э = 31 705 +358 502 =390 207 руб.

Коэффициент использования металла

$К_и$ = (2,641+0,131)/5,929*100% = 0,468.

Повышение коэффициента использования металла

$\Delta К_и$ = (0,445 – 0,468)/0,445*100% = – 5,2 %.

По сравнению с исходным значением КИМ повышен в 1,052 раза.

4.2. Подбор образующихся отходов от раскроя детали «Крыло переднее» на мелкие детали «Надставка облицовки радиатора» снизит затраты на металл

$Э'_2$ = 0,152*95/100*38 000*33,24=182 394,5 руб.;

$\Delta G'_{пр2}$ = 0,152*95/100*38 000=5 487 кг.

Коэффициент использования металла

$К_и$ = (3,5+0,115)/10,070*100% = 0,359.

Повышение коэффициента использования металла

$\Delta К_и$ = (0,348 – 0,359)/0,348*100% = – 3,2 %.

По сравнению с исходным значением КИМ повышен в 1,032 раза.

Годовой экономический эффект по двум основным деталям «Арка колеса» и «Крыло переднее» и двум деталям-акцепторам, рассчитанным по разработанному алгоритму, составит:

$\Delta G_{пр} = \Delta G_{пр1} + \Delta G_{пр2} + \Delta G'_{пр2}$;

$\Delta G_{пр}$ = –10 989+11 011+5 487=5 509 кг;

$Э_{сум} = Э + Э'_2$ = 390 207 +182 394,5 =572 601,5 руб.

Эффект подтвержден актами внедрения в прессовом цехе ООО «УАЗ» авторских мероприятий р/п №1250/3955, р/п №1579/4292.

5. Эксперимент №5 (см. гл. 4.3.2).

Годовой экономический эффект по I-этапу алгоритма составит

$\Delta G_{пр\ I} = (23{,}114 – 23{,}050)*44\ 000=2\ 816$ кг;

$Э_I = (23{,}114 – 23{,}050)*44\ 000*40{,}27=113\ 400$ руб.

Коэффициент использования металла по формуле (1.2)

$К_и = 8{,}5 /23{,}050*100\% = 0{,}369.$

Отходы от фасонного раскроя детали «Панель боковины» оптимально использованы для изготовления деталей «Рамка люка наливной горловины» и «Крышка люка наливной горловины», что позволит снизить затраты по металлу.

Годовой экономический эффект от перевода детали «Рамка люка наливной горловины» на отход с обеспеченностью 95 % составит

$\Delta G_{пр1} = 0{,}245*95/100*44\ 000=10\ 241$ кг;

$Э_1 = 0{,}245*95/100*44\ 000*32{,}56=333\ 447$ руб.

Годовой экономический эффект от перевода детали «Крышка люка наливной горловины» на отход с обеспеченностью 95 % составит:

$\Delta G_{пр2} = 0{,}569*95/100*44\ 000=23\ 784,\ 2$ кг;

$Э_2 = 0{,}569*95/100*44\ 000*33{,}11=787\ 495$ руб.

Годовой экономический эффект по трем деталям по II-этапу разработанного алгоритма составит:

$Э_{II} = Э_1 + Э_2;$

$Э_{II} = 333\ 447+787\ 495 =1\ 120\ 942$ руб.

Коэффициент использования металла

$К_и = (8{,}5+0{,}206+0{,}36)/23{,}050*100\% = 0{,}393.$

Повышение коэффициента использования металла

$\Delta К_и = (0{,}368 – 0{,}393)/0{,}368*100\% = – 6{,}8\ \%.$

За счет повышения эффективности использования рулонного проката 0,9х1800 мм (для изготовления детали-донора и отходов для деталей-акцепторов) значение КИМ повышено в 1,068 раза.

Годовой экономический эффект по III-этапу алгоритма:

$Э_{III} = 23{,}050*(40{,}27 – 39{,}87)*44\ 000=405\ 680$ руб.

Суммарный годовой экономический эффект по трем деталям по всем этапам предлагаемого автором алгоритма составит:

$\Delta G_{пр\ сум} = \Delta G_{пр\ I} + \Delta G_{пр1} + \Delta G_{пр2}$;

$\Delta G_{пр\ сум}$ = 2 816+10 241 +23 784, 2=36 841,2 кг (36,84 тонн);

$Э_{сум} = Э_{I} + Э_{II} + Э_{III}$;

$Э_{сум}$ = 113 400+1 120 942+405 680=1 640 022 руб.

Эффект подтвержден актами внедрения в прессовом цехе ООО «УАЗ» авторских рационализаторских предложений №1024/719, 1055/931, Кайдзен-предложения №3044/2376.

6. Обобщенный эффект по всем мероприятиям:

$Э_{об}$ = 4 139 920+572 601,5 +974 036+27 020+1 640 022 =7 353 599,5 руб.;

$\Delta G_{об}$ = 131 261+5 509-23 916 – 641,018 +36 841,2 =149 054,182 кг.

4.3. Краткие выводы

1. В ходе проведения экспериментальных исследований разработанная методика оптимального раскроя в зависимости от ресурс-стоимостного показателя и реализованная в ПП «ПРОМ-2013», показала преимущества по сравнению с существующими методами решения задачи раскроя. При проектировании раскроя с применением «ПРОМ-2013» с учетом расширенного сортамента металлургических комбинатов, включая его стоимостные характеристики, при ведении расчета для группы деталей, изготавливаемых из листового проката одной толщины и марки, сформирован технологически и экономически обоснованный оптимальный сортамент с суммарной экономией металла в размере 149 тонн и с минимизацией затрат на металл более 7 млн. рублей (см. п. 6 главы 4.5), что свидетельствует об эффективности разработанного алгоритма и программного комплекса.

2. По результатам экспериментальных исследований установлены зависимости времени, затраченного на решение задачи раскроя и разработки карты раскроя, от сложности расчетной схемы. Использование средств автоматизированного проектирования раскроя показало эффективное снижение трудоемкости расчета раскроя по сравнению с ручным методом в 3 раза и разработки карт раскроя – более, чем в 2 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главным результатом диссертационного исследования является повышение эффективности использования материальных и финансовых средств предприятием на основе разработанных автором математической модели и модифицированного алгоритма гильотинного раскроя металлопроката в условиях крупносерийного и массового производства.

На основе проведенного исследования в диссертационной работе получены следующие результаты:

1. Разработан критерий оптимизации раскроя – ресурс-стоимостной показатель для повышения эффективности раскроя, что позволяет при проектировании раскроя минимизировать не только потребление используемого металла, но и затраты на приобретение проката с получением ежегодной экономии около 3–5 %.

2. Сформулированы общие положения построения методики оптимального раскроя листового проката на прямоугольные заготовки в условиях массового и крупносерийного производства и предложена схема проектирования раскроя на основе использования ресурс-стоимостного показателя, что позволяет обеспечить наилучшее использование металла с точки зрения оптимизации затрат.

3. Разработан классификатор деталей холодноштамповочного производства, позволивший сформировать каталоги деталей, заготовок, отходов и определить структуру базы данных о подетальном раскрое металла.

4. Разработана архитектура БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» с установленной структурой связей объектов базы и уникальным кодом, ставшая основой для программы по оптимизации раскроя, позволяющая управлять данными о раскрое, улучшать систематизацию, ускорять их ввод и сокращать время проектирования раскроя по сравнению с ручным методом в 3 раза.

5. Разработана математическая модель оптимизации гильотинного раскроя листового и рулонного проката в условиях массового и крупносерийного

производства, включающая впервые предложенный ресурс-стоимостной показатель, «плавающие» нормы расхода металлопроката, оптимизированный сортамент, что позволяет минимизировать затраты на металл.

6. Разработан модифицированный алгоритм оптимального раскроя с использованием расширенного сортамента металлургических заводов с учетом стоимостных характеристик; ведением расчета раскроя для деталей, принадлежащих к одной группе по толщине и марке металла; выбором оптимального варианта раскроя по минимальному значению ресурс-стоимостного показателя, что позволяет произвести запланированное количество деталей с наименьшим потреблением металлопроката и минимальными финансовыми затратами.

7. Создан программно-методический комплекс для решения задачи оптимизации гильотинного раскроя, работающий в двух режимах (на стадии ТПП и на стадии изготовления). ПМК состоит из официально зарегистрированных БД о подетальном раскрое (свидетельство №2017620130, приложение Б) и программы раскроя «ПРОМ-2013» (свидетельство №2016611103, приложение А), использующие разработанные и модифицированные на основе ресурс-стоимостного показателя модель и алгоритм, что позволяет произвести оценку затрат при раскрое листового проката, и выбрать наилучший вариант с минимизацией затрат на металл и получением экономии по каждой детали.

8. Проведено тестирование, промышленное опробование в ООО «УАЗ» и внедрение в производство программного обеспечения в составе АРМ технолога по проектированию раскроя и технологии резки металла. Система тестировалась при оптимизационном расчете с циклическим повтором и постоянном обновлении исходных данных (деталей, сортамента, оборудования), с проверкой эффективности ресурс-стоимостного показателя, и показала годовую экономию за счет минимизации затрат на металл порядка 4,9 %, что соответствует прогнозной экономии. Для перспективного прогнозирования конкурентоспособности система апробирована на этапе подготовки производства деталей новых образцов автомобилей семейства «УАЗ» (UAZ-«Patriot»; UAZ-Pickup; UAZ-Cargo). По

результатам экспериментальных исследований и анализа данных спроектированных раскроев на производстве сокращено потребление металла на 134,08 тонны на основные детали, на 50,52 тонны – на мелкие детали (за счет оптимального подбора деловых отходов) по сравнению с базовыми вариантами раскроя; повышен КИМ (K_u) на 3,4–6,8 %; сформирован экономически обоснованный оптимальный сортамент с сокращением общей потребности металла на 149 тонн; получен экономический эффект за счет снижения затрат на металл в сумме 7,35 млн. рублей. Эффективность работ автора подтверждена актами внедрения в производственно-технологическую деятельность ООО «УАЗ», а также отмечена в 24 рационализаторских предложениях, Кайдзен-предложении №3044/2376 и предложении по снижению издержек №2500/11-2015. На основании предложенной методики и алгоритма с применением нового критерия оптимизации раскроя автором диссертации разработано и внедрено в производство ООО «УАЗ» более 200 предложений с экономическим эффектом более 25 млн. руб.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АРМ	Автоматизированное рабочее место
БД	База данных
ИТ	Информационные технологии
ИПС	Информационно – поисковая система
КИМ ($К_и$)	Коэффициент использования металла
КРМ ($К_р$)	Коэффициент раскроя металла
ПМК	Программно-методический комплекс
ПО	Программное обеспечение
ПП	Программный продукт
РСП (RSC)	Ресурс-стоимостной показатель
САПР	Система автоматизированного проектирования
ТПП	Технологическая подготовка производства
ТЭП	Технико-экономические показатели
C&P	Cutting and Packing
$G_{пр}$	Потребность металлопроката

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Амбос, Э. Экономия сырья и материалов / Э. Амбос, А. Нойбауер, Ю. Освальд и др. – М.: Металлургия, 1989. – 255 с.

2. Бабаев, Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / Ф.В. Бабаев. – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.
3. Terno, J. Zuschnitprobleme und ihre praktische Anwendung / J. Terno, R. Lindeman, G. Scheithauer // Losung. – Leiprig, 1987. – P. 207 – 217.
4. Dykhoff, H. A typology of cutting and packing problems / H. Dykhoff // Evropean Journal of Operational research. – 1990. – Vol. 44. – P. 145 – 159.
5. Канторович, Л.В. Математические методы в организации и планировании производства / Л.В. Канторович. – Л.: ЛГУ,1939. – 67 с.
6. Канторович, Л. В. Рациональные методы раскроя металла / Л.В. Канторович // Производственно-технический бюллетень. – 1942. – № 7/ 8. – С. 21 – 29.
7. Канторович, Л.В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л.В. Канторович, В.А. Залгаллер. – Новосибирск: Наука, 1971. – 299 с.
8. Gilmore, P.C. A linear programming approach to the cutting stock problem (Part I/II) / P.C. Gilmore, R.E. Gomory // Oper. Res. – Vol. 9. – P. 849 – 859, and Oper. Res. – 1961/63. – № 11. – P. 863 – 888.
9. Gilmore, P.C. The theory and computation of knapsack functions / P.C. Gilmore, R.E. Gomory // Oper. Res. – 1966. – Vol. 14. – P. 145 – 175.
10. Мухачева, Э.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение в АСУ / Э.А. Мухачева. – М.: Машиностроение, 1984. – 176 с.
11. Ермаченко, А.И. Автоматизированная система расчета прямоугольного раскроя / А.И. Ермаченко, Т.М. Сиразетдинов // Информационные системы и технологии. – Новосибирск: НГТУ. – 2003. – С. 36 – 39.
12. Данциг, Д.Б. Линейное программирование, его применение и обобщение / Д.Б. Данциг. – М.: Прогресс, 1966. – 600 с.
13. Гэри, М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Д. Джонсон. – М.: Мир, 1982. – 416 с.

14. Житников, В.П. Задача прямоугольной упаковки в полубесконечную полосу: поиск решения в окрестности локальной нижней границы / В.П. Житников, А.С. Филиппова // Информационные технологии. – 2007. – № 6. – С. 55 – 61.
15. Gilmore, P. Multistage cutting stock problem of two and more dimensions / P. Gilmore, R. Gomory // Operat.Res. – 1965. – Vol. 13 (1). – P. 94 – 120.
16. Scheithauer, G. About the gap between the optimal values of the integer and continuous relaxation one-dimensional cutting stock problem / G. Scheithauer, J. Terno // Oper. Res. Proc. – Springer-Verlag. – Berlin. – 1991. – P. 439 – 444
17. Бабаев, Ф.В. Оптимизация раскроя материалов / Ф.В. Бабаев. – М.: НИИМАШ, 1978. – 72 с.
18. Залгаллер, В.А. Об одном необходимом признаке плотнейшего расположения фигур / УМН. – 1953. – Т. 8, № 4 (56), С. 153 – 162.
19. Мойжес, Ю.Л. Геометрические основы рационального раскроя полосового и листового металла / Ю.Л. Мойжес. – М. – Л.: Машиностроение, 1966. – 108 с.
20. Hinxman, A. The Trim-Loss and assortment problems: a survey / A. Hinxman // European Journal of Operational Research. – 1980. – № 11. – P. 863 – 888.
21. Михеев, В.А. Автоматизация производства ОМД / В.А. Михеев. – Самара: СГАУ, 2012. – 167 с.
22. Шишмарев, В.Ю. Автоматизация технологических процессов / В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2005. – 352 с.
23. Карпов, Э.А. Организация производства и менеджмент / Э.А. Карпов. – Старый Оскол: ТНТ, 2010. – 768 с.
24. Плеханов, В.М. Вытяжка детали сложной формы эластичным пуансоном / В.М. Плеханов, Л.А. Рубенкова // Кузнечно-штамповочное производство. – 1980. – № 3. – С. 10 – 11.
25. Рубенкова, Л.А. Анализ процесса вытяжки деталей сложной формы в условиях производства [Текст] / Л.А. Рубенкова, Ю.П. Казаков; Науч.-техн. о-во машиностроит. пром-сти. Обществ.ун-т. Заоч. курсы усовершенствования ИТР по технологии холодной штамповки. – Москва: [б. и.], 1964. – 73 с.

26. The selection of sheet steel for formability / ASM. Commitee on formability of sheet steel // Metal Progress. – 1955. – Vol. 8, № 15.
27. ГОСТ 14.322-83. Нормирование расхода материалов. Основные положения. – М.: Издательство стандартов. – 1987. – 36 с.
28. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
29. Ильин, Л.Н. Технология листовой штамповки: учебник для вузов / Л.Н. Ильин, И.Е. Семенов. – М.: Дрофа, 2009. – 472 с.
30. Канторович, Л. В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов / Л.В. Канторович. – М.: Академии наук СССР, 1960. – 345 с.
31. Forster, H. Simulated annealing for order spread minimization sequencing cutting patterns / H. Forster, G. Wascher // European Journal of Operational Research. – 1998. – № 110. – P. 272 – 281.
32. Мухачева, А.С. Задачи двухмерной упаковки в контейнеры: новые подходы к разработке методов локального поиска оптимума / А.С. Мухачева, А.Ф. Валеева, В.М., Картак. – М.: МАИ, 2004. – 193 с.
33. Романовский, И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач / И.В. Романовский. – М.: Наука, 1977. – 352 с.
34. Романовский, И.В. Программное обеспечение симплекс-метода для задач больших размеров // И.В. Романовский, А.И. Станевичюс // В кн.: Современное состояние теории исследования операций. – М.: Наука, 1979. – с. 451 – 464.
35. Мухачева, Э.А. Метод динамического перебора в задаче двухмерной упаковки / Э.А. Мухачева, А.Ф. Валеева // Информационные технологии. – 2000. – № 5. – С. 30 – 37.
36. Мухачева, Э.А. Модели и методы расчета раскроя-упаковки геометрических объектов / Э.А. Мухачева, М.А. Верхотуров, В.В. Мартынов. – Уфа: УГАТУ, 1998. – 216 с.
37. Гимади, Э.Х. О некоторых математических моделях и методах планирования

крупномасштабных проектов / Э.Х. Гимади //Модели и методы оптимизации. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 89 – 115.

38. Липовецкий, А.И. Геометрический подход к вычислению оптимума в задаче прямоугольного раскроя / А.И. Липовецкий // Труды Санкт-Петербургского математического общества. – 2007. – Т. 13. – С. 121 – 142.
39. Липовецкий, А.И. К оптимизации свободного размещения прямоугольников / А.И. Липовецкий // Автоматизация проектирования в машиностроении. – Минск, 1985. – С. 80 – 87.
40. Бухвалова, В.В. Задача прямоугольного раскроя: метод зон и другие алгоритмы / В.В. Бухвалова. – СПб.: СПбГУ, 2001. – 96 с.
41. Coffman, E.G. Approximation algorithms for bin packing. An updated surey. Algorithm Design for Computer System Design / E.G. CofFman, M.R. Garey, D.S. Johnson // CISM courses and lectures. – 1984. – № 284. – P. 49 – 106.
42. Martello, S. Knapsacks problems: algorithms and computer implementations / S. Martello, P. Toth // Chichester/ England: John Wiley and sons Ltd. – 1990.
43. Валеева, А.Ф. Задача одномерной упаковки: рандомизорованный метод динамического перебора и метод перебора с усечением / А.Ф. Валеева, А.Ф. Гареев И.Р., Э.А. Мухачева // Информационные технологии. Приложение. – 2003. – № 2. – 24 с.
44. Liu, D. An improved BL-algorithm for genetic algorithm of the orthogonal packing of rectangles / D. Liu, H. Teng // European Journal of Operation Research. – 1999. – № 112. – P. 413 – 420.
45. Норенков, И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации / И.П. Норенков // Информационные технологии. – 1999. – № 1. – С. 2 – 7.
46. Hopper, E. An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem / E. Hopper, B. Turton // EJOR 128. – 2001. – P. 34 – 57.
47. Мухачева, А.С. Генетический алгоритм поиска минимума в задачах двумерного гильотинного раскроя / А.С. Мухачева, А.В. Чиглинцев //

Информационные технологии. – 2001. – № 3. – С. 27– 32.

48. Аккуратов, Г.В. О методе решения уравнения с булевыми переменными / Г.В. Аккуратов, В.А. Березнев, О.А. Брежнева // Принятие решений в условиях неопределенности: межвузовский научный сборник. Уфа: УАИ, 1990. – С. 145 – 154.
49. Валеева, А.Ф. Конструктивные методы для решения задач ортогональной упаковки и раскроя: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.18 / Валеева Аида Фаритовна. – Уфа: 2006. – 265 с.
50. Валеева, А.Ф. Применение метаэвристики муравьиной колонии к задачам двумерной упаковки / А.Ф. Валеева // Информационные технологии. – 2005. – № 10. – С. 36 – 43.
51. Файзрахманов, Р.И. Конструктивный вероятностный алгоритм для размещения кругов и прямоугольников / Р.И. Файзрахманов // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ. – 2010. – Т. 14, № 4 (39). – С. 132 – 138.
52. Файзрахманов, Р. И. Оптимизация процесса раскроя промышленных материалов по критерию минимума материальных потерь при наличии технологических ограничений: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01/ Файзрахманов Ришат Илшатович. – Уфа: 2011. – 139 с.
53. Гиль, Н.И. Метод и алгоритм решения задачи фигурного раскроя с учетом ассортимента листов и комплектности деталей / Н.И. Гиль, О.Б. Опанасюк // Математическое обеспечение рационального раскроя в системах автоматизированного проектирования: тезисы докладов. – Уфа, 1987. – С. 52 – 53.
54. Folkenauer, E. A hybrid Grouping Genetic Algorithm for Bin Packing / E. Folkenauer // Journal of Heuristics. – 1998. – № 2 (1). – P. 5 – 30.
55. Folkenauer, E. Tapping the full power of genetic algorithm through suitable representation and local optimization: Application to bin packing / E. Folkenauer // Evolutionary Algorithms in Management Applications. – Berlin, 1995. – P. 167 – 182.
56. Gehring, H. Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem / H.

Gehring, A.A. Bortfeld // International transactions in operational research. – 1997. – Vol. 4. – № 5/6. – P. 401 – 418.

57. Задачи двумерной упаковки: развитие генетических алгоритмов на базе смешанных процедур локального поиска оптимального решения / А.С. Мухачева [и др.] // Информационные технологии. Приложение. – 2001. – № 9.
58. Glover, F. Tabu search and adaptive memory programming advances, applications and challenges / F. Glover // Interfaces in Computer Science and Operations Research. – 1996. – P. 1 – 75.
59. Ермаченко, А.И. Модели и методы решения задач прямоугольного раскроя и упаковки на базе метаэвристики «поиск с запретами»: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Ермаченко Александр Иванович. – Уфа: 2004. – 95 с.
60. Ермаченко, А.И. Метод «поиска с запретами» для решения задачи гильотинного прямоугольного раскроя / А.И. Ермаченко, Т.М. Сиразетдинов, А.Р. Усманова // Принятие решений в условиях неопределенности: сб. научных статей. – Уфа: УГАТУ, 2000. – С. 95 – 100.
61. Кочетов, Ю.А. Вероятностный поиск с запретами для задачи упаковки в контейнеры / Ю.А. Кочетов Ю.А., А.Р. Усманова // Сборник докладов XII-й Байкальской международной конференции. – Иркутск: 2001. – С. 22 – 27.
62. Loris Faina. An application of simulated annealing to the cutting stock problem / Faina Loris // European Journal of Operational Research. – 1999. – № 114. – P. 532 – 556.
63. Dorigo, M. Algorithms for Discrete Optimization / M. Dorigo, G. Di Caro, L.M. Gambardella // Artificial Life. – 1999. – Vol. 5. – № 3. – P. 137 – 172.
64. Валеева, А.Ф. Алгоритмы муравьиной колонии для задач двухмерной упаковки: результаты численного эксперимента / А.Ф. Валеева, М.П. Аглиуллин // Труды 13-й Байкальской международной школы-семинара. Математическое программирование. – Иркутск: 2005. – Т. 1. – С. 429 – 443.
65. Верхотуров, М.А. О задаче трехмерной упаковки объектов сложных геометрических форм / М.А. Верхотуров, Г.Н. Верхотурова // Роль геометрии

в искусственном интеллекте и системах автоматизированного проектирования: Сборник докладов всероссийской н.-т. конференции. – Улан-Удэ: 1996. – С. 43 – 45.

66. Верхотуров, М.А. Применение цепного кодирования для задач плотной упаковки / М.А. Верхотуров, О.Ю. Сергеева // Роль геометрии в искусственном интеллекте и системах автоматизированного проектирования: Сборник докладов всероссийской н.-т. конференции. – Улан-Удэ: 1996. – С. 48 –50.
67. Лорьер, Ж.Л. Системы искусственного интеллекта: пер. с франц. / Ж.Л. Лорьер. – М.: Мир, 1991. – 568 с.
68. Фроловский, В.Д. Оптимальное группирование геометрических объектов при проектировании карт раскроя материалов / В.Д. Фроловский // Программные продукты и системы. – 2000. – № 3. – С. 47 – 48.
69. Barnett, S. Exact solution of a simple cutting problem / S. Barnett, G. J. Kynch // Operations Research. – 1967. – Vol.15. – № 6. – P. 1051– 1056.
70. Федорина, Е. В. Оптимизация проектирования технологических процессов раскроя металлопроката холодноштамповочного производства / Е. В. Федорина, И. Ф. Дьяков // Вузовская наука в современных условиях : сборник материалов 47-й научно-технической конференции (28 января – 2 февраля 2013 года) : [в 3 ч.]. Ч. 1. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – С. 133 – 136. – Режим доступа: http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2014/42.pdf (дата обращения 29.12.2023).
71. Федорина, Е.В. Ресурсно-стоимостная оценка раскроя металлопроката холодноштамповочного производства / Е.В. Федорина // Будущее машиностроения России. Сб. тр. седьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – С. 79 – 80.
72. Ковалев, А.И. Анализ финансового состояния предприятия: учеб. пособие / А.И. Ковалев, В.П. Привалов. – М.: Центр экономики и маркетинга, 2008. – 346 с.

73. Ковалев, В.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учеб. / В.В. Ковалев, О.Н. Волкова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2007. – 424 с.
74. Федорина, Е. В. Автоматизированное проектирование ресурсосберегающих технологий раскроя металлопроката в условиях холодноштамповочного производства / Е. В. Федорина, И. Ф. Дьяков // Автоматизация. Современные технологии. – 2018. – Т. 72, № 7. – С. 307 – 313.
75. Федорина, Е. В. Моделирование технологических процессов раскроя металлопроката в целях минимизации затрат / Е. В. Федорина, И. Ф. Дьяков, В. Н. Кокорин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – № 4 (136). – С. 39 – 43.
76. Киселева, Э.В. Математическое программирование: / Э.В. Киселева, С.И. Соловьева. – Новосибирск: НГАС, 1996. – 32 с.
77. Шушпанов, А. Автоматизированное проектирование раскроя листового материала для гильотинных ножниц на Техтране / А. Шушпанов. – М.: CADmaster, 2002. – № 2. – С. 30 – 32.
78. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И.П. Норенков. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2006. – 448 с.
79. Бабаев, Ф.В. Автоматизированная система управления раскроем металлопроката с использованием режима диалога человека с ЭВМ / Ф.В. Бабаев // Сварочное производство. – 1977. – № 7. – С. 37 – 40.
80. Нурбагандов, А. К. Автоматизация процесса состав¬ления оптимального плана раскроя для листовой штамповки/ А.К. Нурбагандов, Ф.В. Бабаев// Кузнечно-штамповочное производство. – 1976. – № 1. – С. 25 – 28.
81. URL: http://www.tflex.ru/products/priklad/raskr/ (дата обращения: 21.01.2016).
82. Петунин, А.А. Методологические и теоретические основы автоматизации проектирования раскроя листовых материалов на машинах с числовым программным управлением: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.12 / Петунин Александр Александрович. – Екатеринбург: 2009. – 348 с.
83. Петунин, А.А. Интегрированная САПР «Сириус» / А.А. Петунин // КомпьютерМэн. – Екатеринбург: Комсомольская Правда – Урал, 1996. – № 6.

– С. 9 – 12.

84. Петунин, А.А. САПР «Сириус» оптимизация раскроя и резки листовых материалов / А.А. Петунин, В.И. Кротов, С.С. Уколов, В.В. Видяпин // САПР и графика. – Москва: Компьютер Пресс, 1999. – № 10. – С.42 – 47.
85. Петунин, А.А. Система автоматизированного проектирования раскроя материалов и автоматизация раскроя металлопроката на базе машин с ЧПУ для термической резки металла / А.А. Петунин, В.Я. Гамберг, В.И. Кротов // «Титан». – М.: ВИЛС, 1993. – № 2. – С.56 – 58.
86. Фроловский, В.Д. Автоматизация проектирования управляющих программ тепловой резки металла на оборудовании с ЧПУ / В. Д. Фроловский // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2005. – № 4. – С. 63 – 66.
87. Фроловский, В.Д. Исследование методов построения кратчайшего пути обхода отрезков на плоскости / В.Д. Фроловский // Сибирский журнал вычислительной математики. Новосибирск, РАН, Сиб. отд-ние. – 2006. – Т. 9, № 3. – С. 201 – 212.
88. Техтран. Раскрой листового материала. – М.: CADmaster, 2000. – № 2. – С. 6 – 8.
89. Техтран. Раскрой листового материала. – М.: CADmaster, 2001. – № 4. – С. 28 – 30.
90. Фроловский, В.Д. Моделирование и алгоритмизация процессов геометрического проектирования изделий из листового материала: автореф. дисс. докт. техн. наук. – Новосибирск, 2001. – 36 с.
91. Обухов, А.И. Разработка метода обеспечения гибкости систем ЧПУ лазерного технологического оборудования на основе их модульной организации архитектуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Обухов Александр Игоревич. – Москва. 2011.- 118 с.
92. URL: http://mebdom.my1.ru/load/mebelnye_programmy /programma_ecutout/1-1-0-94 (дата обращения: 23.09.2016).
93. URL: http://www.cuttinghome.com/ (дата обращения: 24.10.2016).

94. URL: http://www.astrapro.ru/astranest.asp (дата обращения: 9.09.2016).
95. URL: http://www.wincad.ru/optimum/ (дата обращения: 14.10.2016).
96. URL: http://www.quadrosoft.by/images/pdf/baza_znanij/FieryCut_Product_overview.pdf (дата обращения: 24.10.2016).
97. Сурикова, Г.И. Разработка конструкций одежды в САПР «ГРАЦИЯ»: учебное пособие / Г.И. Сурикова, О.В. Сурикова, Н.И. Ахмедулова, А.В. Гниденко. – Иваново: ИГТА, 2004. – 124 с.
98. Колоколов, А.А. Задачи оптимизация подбора полотен из кожи и меха для швейных изделий / А.А. Колоколов, Г.М. Андросова, Я.А. Ерохова // Омский научный вестник. – 2006. – № 4 (38). – С. 144 – 147.
99. Андросова, Г.М. Разработка ресурсосберегающей технологии проектирования меховых изделий на основе параметрического синтеза полотен из матричных элементов: дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04 / Андросова Галина Михайловна. – Омск: 2012. – 462 с.
100. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
101. Меньшиков, П.В. Автоматизация проектирования карт раскроя обечаек для изделий химического и нефтегазового машиностроения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Меньшиков Павел Владимирович. – Оренбург: 2016. – 191 с.
102. Задачи транспортного типа: метод. указания / Э.В. Киселева, С.И. Соловьева, М.С. Соппа, И.Н. Мухина. – Новосибирск: НГАС, 1994. – 32 с.
103. Карманов, В.Г. Математическое программирование: учебное пособие / В.Г. Карманов. – 5-е изд., стереотип. – М.: Физматлит, 2004. – 264 с.
104. Киселева, Э.В. Линейное и нелинейное программирование: метод. указания / Э.В. Киселева, С.И. Соловьева. – Новосибирск: НИСИ, 1987. – 32 с.
105. Киселева, Э.В. Математическое программирование / Э.В. Киселева, С.И. Соловьева. – Новосибирск: НГАС, 2002. – 146 с.
106. Дьяков, И. Ф. Классификация деталей для моделирования техпроцесса раскроя металлопроката / И. Ф. Дьяков, Е. В. Федорина, О. В. Мищенко // Вузовская наука в современных условиях : сборник материалов 48-й научно-технической конференции (27 января – 1 февраля 2014 года) : [в 3 ч.]. Ч. 1. –

Ульяновск : УлГТУ, 2014. – С. 103 – 106. – Режим доступа: http://lib.ulstu.ru/venec/2014/166.pdf (дата обращения 29.12.2023).

107. Федорина, Е. В. Кластер номенклатуры листоштамповочных деталей при проектировании раскроя металлопроката / Е. В. Федорина, И. Ф. Дьяков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – № 1 (25). – С. 203 – 219.
108. Жермен-Лакур, П. Математика и САПР. Вычислительные и геометрические методы / П. Жермен-Лакур, П.Л. Жорж, Ф. Пистр, П. Безье. – М.: Мир, 1989. – Т.2 – 264 с.
109. Карманов, В.Г. Математическое программирование / В.Г. Карманов. – М.: Наука, 1986. – 286 с.
110. URL: http://galyautdinov.ru/post/proizvodstvennaya-zadacha-simpleks-metod (дата обращения: 09.09.2016).
111. Мищенко, О. В. Разработка технологических процессов раскроя металлопроката холодноштамповочного производства с использованием прогрессивных методов математического моделирования / О. В. Мищенко, Е. В. Федорина // Известия МГТУ МАМИ. – 2014. – Т. 2, № 1(19). – С. 33-35.
112. Дьяков, И. Ф. Моделирование при оценке металлоемкости продукции / И. Ф. Дьяков, Е. В. Федорина, О. В. Мищенко // Вузовская наука в современных условиях : сборник материалов 47-й научно-технической конференции (28 января – 2 февраля 2013 года) : [в 3 ч.]. Ч. 1. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – С. 111 – 114. – Режим доступа: http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2014/42.pdf (дата обращения 29.12.2023).
113. Филимонов, В.И. Моделирование технологических процессов раскроя металлопроката холодноштамповочного производства / В.И. Филимонов, И.Ф. Дьяков, О.В. Мищенко, Е.В. Федорина // Современные технологии обработки металлов давлением: моделирование, проектирование, производство: материалы международной научно-технической конференции. – М: Университет машиностроения, 2013. – С. 240 – 243.
114. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2017620130

Российская Федерация. Кластер деталей ПРОМ-2013 : № 2016621352 : заявл. 11.10.2016 : опубл. 01.02.2017 / Дьяков И. Ф., Федорина Е. В. ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».

115. Райан, Д. Инженерная графика в САПР / Д. Райан. – М.: Мир, 1989. – 391 с.
116. Системы управления базами данных и знаний. – М: Финансы и статистика, 1991. – С. 352.
117. Хорафас, Д. Конструкторские базы данных / Д. Хорафас, С. Легг. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
118. Каррабис, Дж-Д. Программирование в dBASE III Plus / Дж-Д. Каррабис. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 240 с.
119. Кокорин, В. Н. Применение программы ПРОМ-2013 для оценки раскроя металла / В. Н. Кокорин, Е. В. Федорина, Р. Ф. Шакирзянов // Вузовская наука в современных условиях : сборник материалов 48-й научно-технической конференции (27 января – 1 февраля 2014 года) : [в 3 ч.]. Ч. 1. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – С. 74-78. – Режим доступа: http://lib.ulstu.ru/venec/2014/166.pdf (дата обращения 29.12.2023).
120. Федорина, Е.В. ПРОМ-2013 – Ресурсно-стоимостная оценка эффективности раскроя металлопроката для холодноштамповочного производства / Е.В. Федорина, И.Ф. Дьяков, О.В Мищенко, В.Н. Кокорин // Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением. Материалы международной научно-технической конференции. – СПб.: БГТУ, 2014г. – С. 307 – 310.
121. Федорина, Е. В. Применение САПР для автоматизации проектирования раскроя / Е. В. Федорина, И. Ф. Дьяков // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2023. – №1 (101). – С. 29 – 34.
122. Федорина, Е. В. Автоматизация проектирования раскроя металлопроката в заготовительном производстве машиностроительного комплекса / Е. В.

Федорина, И. Ф. Дьяков, О. Г. Крупенников // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 10. – С. 20 – 26.

123. Федорина, Е. В. Автоматизированное проектирование ресурсосберегающего раскроя с использованием ресурс-стоимостного показателя / Е. В. Федорина, И. Ф. Дьяков, О. Г. Крупенников // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 4 (234). – С. 137 – 151.
124. Кинг, Д. Создание эффективного программного обеспечения / Д. Кинг. – М.: Мир, 1991. – 288 с.
125. Аттетков, А.В. Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 440 с.
126. ГОСТ 19.101-77. ЕСПД. Виды программ и программных документов. – М.: Стандартинформ. – 2010. – 4 с.
127. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016611103 Российская Федерация. Программа раскроя металлопроката ПРОМ-2013 : № 2015661985 : заявл. 08.12.2015 : опубл. 26.01.2016 / Дьяков И. Ф., Федорина Е. В., Крещенова К. А. ; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».
128. Моделирование технологических процессов раскроя металлопроката с целью минимизации затрат / Е. В. Федорина, И. Ф. Дьяков, В. И. Филимонов, В. Н. Кокорин // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением : международный сборник научных трудов / под редакцией В. М. Салтаника. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – 2014. – Вып. 20. – С. 56 – 61.
129. ГОСТ 24.703-85. ЕСАСУ. Типовые проектные решения в АСУ. – М.: Стандартинформ. – 2010. – 5 с.
130. ГОСТ Р ИСО/ТС 10303-1231-2014. Системы автоматизации производства и их интеграция. – М.: Стандартинформ. – 2015. – 171 с.
131. Хант, Э. Искусственный интеллект / Э. Хант. – М.: Мир, 1970. – 302 с.
132. Укрупненные нормы времени на разработку технологической документации /

Центральное бюро нормативов по труду. – М., 1993. – 74 с.

133. Клячкин, В.Н. Многомерный статистический контроль технологического процесса / В.Н. Клячкин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 192 с.
134. Круглов, Е.П. Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей / Е.П. Круглов, Э.Р. Галимов, А.Г. Аблясова и др. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2015. – 433 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [127]

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016611103

Программа раскроя металлопроката ПРОМ-2013

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет» (RU)*

Авторы: *Дьяков Иван Федорович (RU), Федорина Елена Викторовна (RU), Крещенова Ксения Александровна (RU)*

Заявка № 2015661985
Дата поступления 08 декабря 2015 г.
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ *26 января 2016 г.*

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение Б

Свидетельство о государственной регистрации базы данных [114]

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2017620130

Кластер деталей ПРОМ-2013

Правообладатель: ***федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» (RU)***

Авторы: ***Дьяков Иван Федорович (RU),***
Федорина Елена Викторовна (RU)

Заявка № **2016621352**
Дата поступления **11 октября 2016 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных ***01 февраля 2017 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение В

Акты о внедрении

УТВЕРЖДАЮ
Зам. главного технолога ООО «УАЗ»
_____ А.В.Шанов
12 01 2018г.

АКТ
Об использовании результатов диссертационной работы
ФЕДОРИНОЙ ЕЛЕНЫ ВИКТОРОВНЫ,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертационная работа Федориной Елены Викторовны на тему «Автоматизированное проектирование гильотинного раскроя металлопроката в условиях массового и крупносерийного производства выполнена на базе номенклатуры деталей Прессового цеха ООО «УАЗ».

Результаты теоретических исследований, практических экспериментов, научно-технических разработок были использованы при проектировании раскроя металла.

Главный специалист по прессовым работам ООО «УАЗ» С.В.Тумаев составил настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Федориной Е.В. использованы при разработке техпроцессов резки металла для заготовительного участка Прессового цеха. Апробация работы проведена в двух режимах:

- на стадии подготовки производства;
- на стадии изготовления (действующего производства).

На этапе подготовки рассмотрены детали новых образцов автомобилей УАЗ - Patriot для прогнозирования конкурентоспособности. Проведен анализ действующих технологий резки металлопроката. По результатам исследований спроектированы новые схемы и технологии резки, обеспечивающие наивыгоднейшее использование металла при минимальных затратах на приобретение металла.

Применение диссертационных разработок обеспечивает быструю оценку затрат, связанных с раскроем металла, выбор оптимального варианта и позволяет получать ежегодную экономию порядка 3 - 5% от годовых расходов на металлопрокат.

Главный специалист
по прессовым работам ООО «УАЗ» С.В. Тумаев

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор ООО
«УАЗ-Штамповочное производство»
_____ Д.В. Куренков
15 12 2023г.

АКТ

Об использовании результатов диссертационной работы
ЗАХАРОВОЙ ЕЛЕНЫ ВИКТОРОВНЫ,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертационная работа Захаровой Елены Викторовны на тему «Автоматизированное проектирование гильотинного раскроя металлопроката в условиях массового и крупносерийного производства» выполнена на базе номенклатуры штампованных деталей ООО «УАЗ-Штамповочное производство».

Результаты научно-технических разработок Захаровой Е.В. в виде методики и модифицированного алгоритма гильотинного раскроя, реализованных в программно-методическом комплексе «ПРОМ-2013» и базе данных «Кластер деталей ПРОМ-2013», использованы при проектировании раскроя и выполнении техпроцессов резки листового металла для заготовительного участка арматурного цеха.

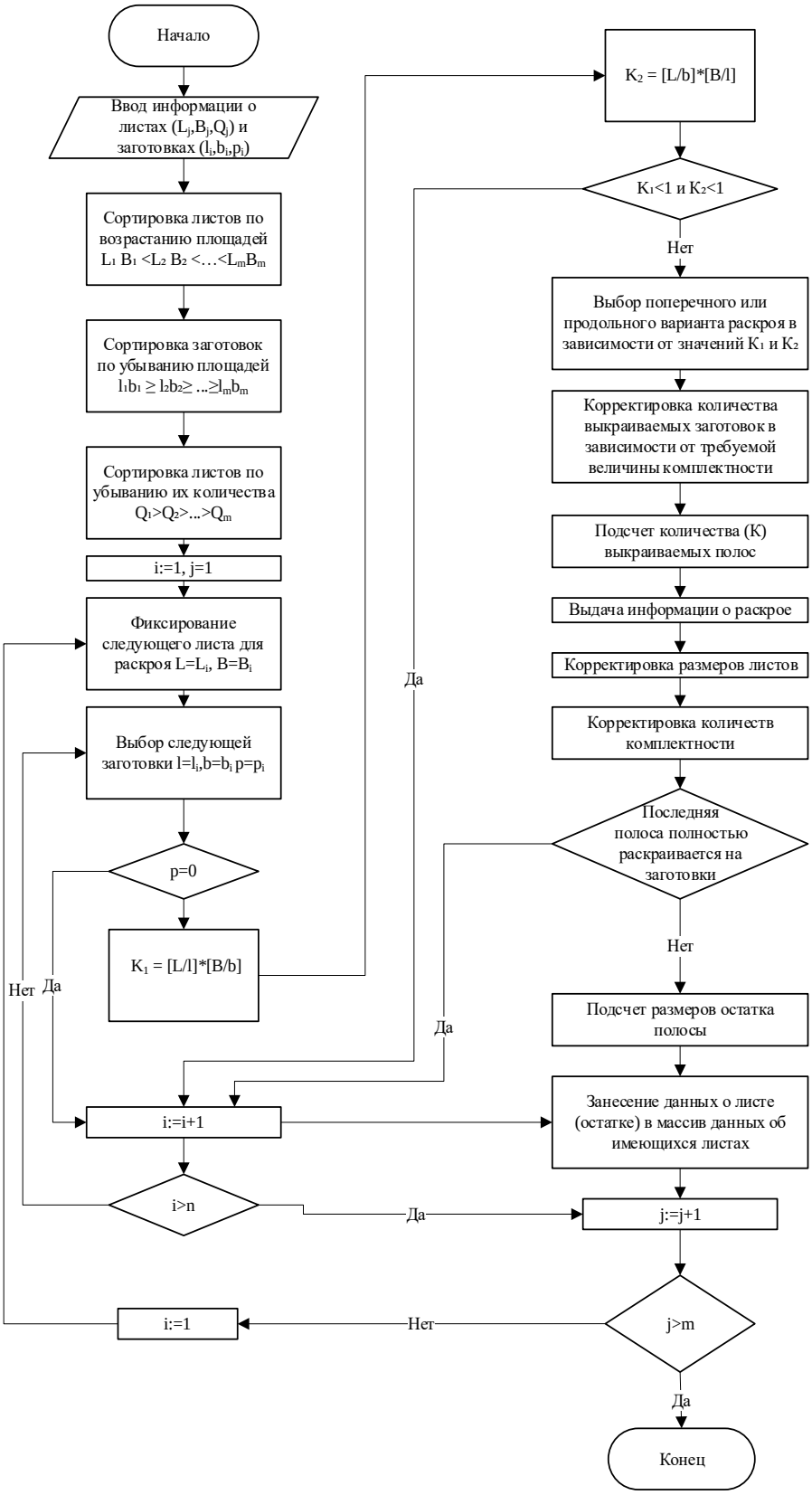
Выполнен анализ действующих технологий резки металлопроката. Проведено тестирование программы по оптимизации раскроя «ПРОМ-2013» в режиме текущего производства. По результатам исследований и апробации «ПРОМ-2013» в ООО «УАЗ-Штамповочное производство» разработаны ресурсосберегающие технологические процессы резки листового проката при минимизации затрат.

Применение диссертационных разработок ПМК «ПРОМ-2013» и БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» позволяет снизить трудоемкость расчета раскроя и разработки раскройных карт; оценить затраты по раскрою металла, и выбрать оптимальный вариант с получением экономии по каждой детали.

Главный специалист ООО
«УАЗ-Штамповочное производство» А.Г. Шанов

Приложение Г

Блок-схема алгоритма раскроя на прямоугольные заготовки методом размерной последовательности [2]



Приложение Д

Фрагменты базы данных, созданной в соавторстве [114]

ColumnWidth:	1710
CurrencyLCID:	0
DataUpdatable:	False
DecimalPlaces:	Авто
DisplayControl:	Поле
GUID:	{guid {3570072E-9392-491C-B931-5E7C1F5D4021}}
OrdinalPosition:	27
Required:	False
ResultType:	0
SourceField:	PRZ_NALAD
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ
TextAlign:	Общее

Технология — Поле MEMO —

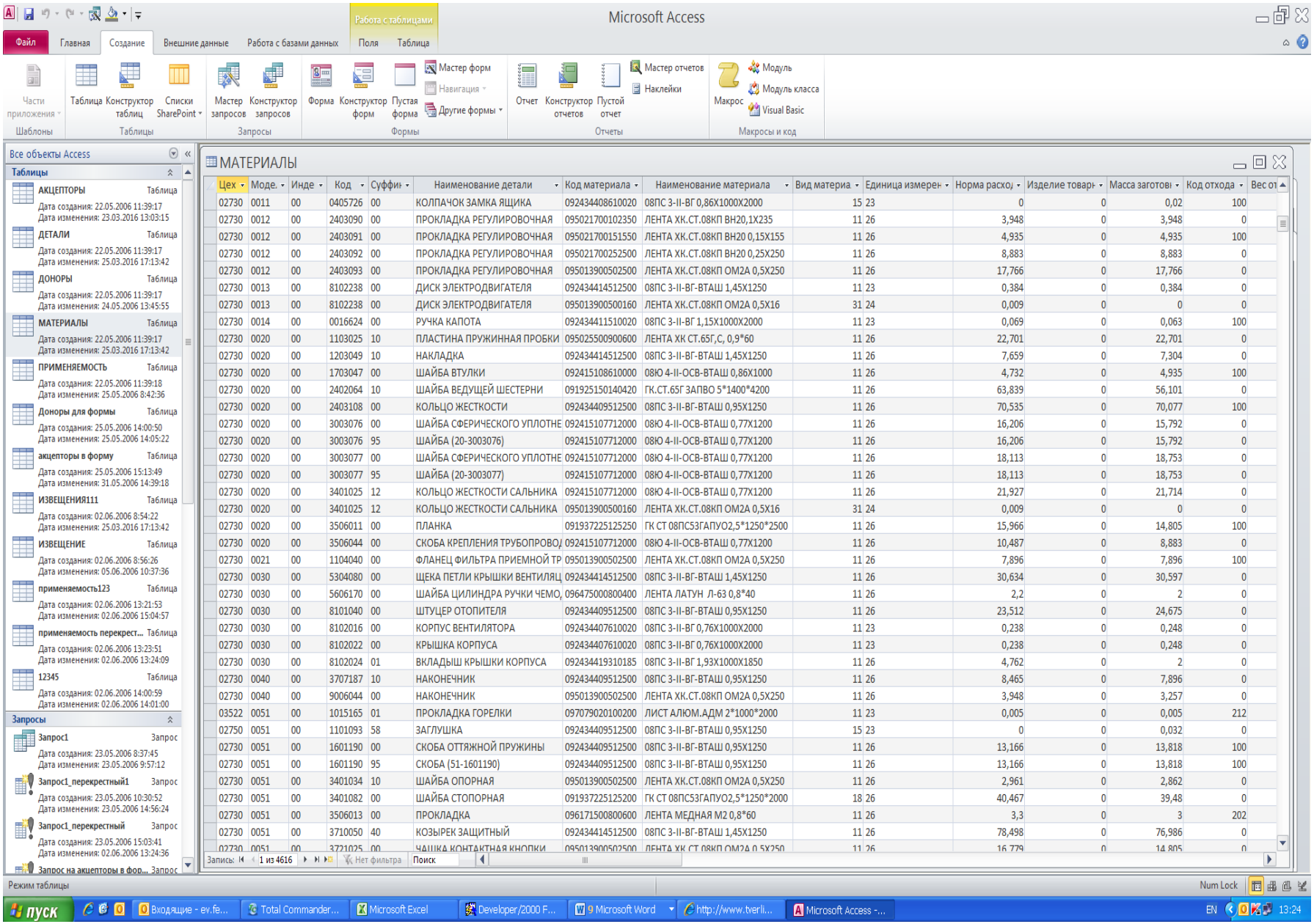
AggregateType:	-1
AllowZeroLength:	True
AppendOnly:	False
Attributes:	переменной длины
CollatingOrder:	Общий
ColumnHidden:	False
ColumnOrder:	По умолчанию
ColumnWidth:	По умолчанию
CurrencyLCID:	0
DataUpdatable:	False
GUID:	{guid {15BB39AC-8377-11DB-B000-0020AFF144C9}}
IMEMode:	0
IMESentenceMode:	3
OrdinalPosition:	28
Required:	False
ResultType:	0
SourceField:	Технология
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ
TextAlign:	Общее
TextFormat:	Обычный текст
UnicodeCompression:	True

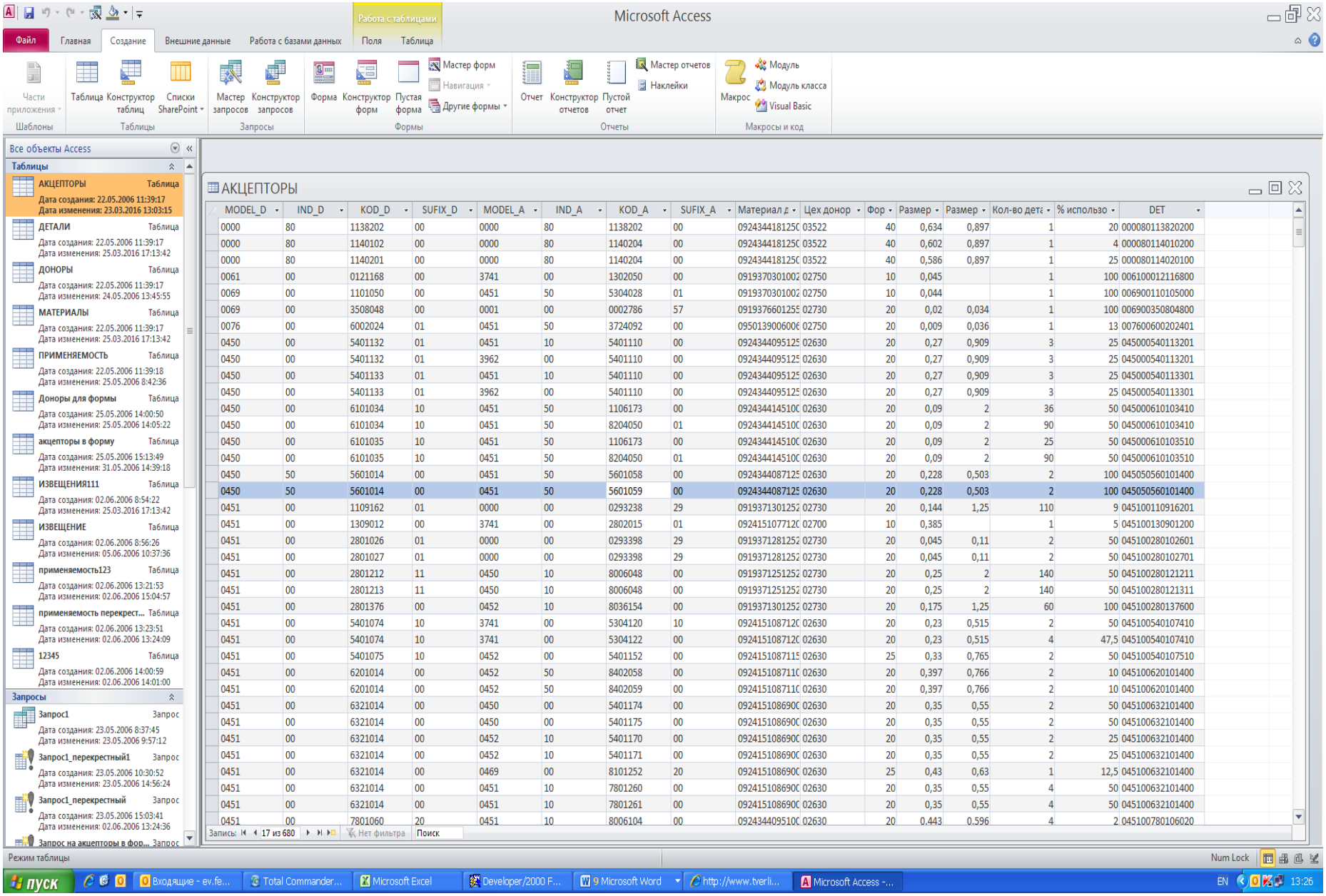
№ чертежа детали — Поле объекта OLE —

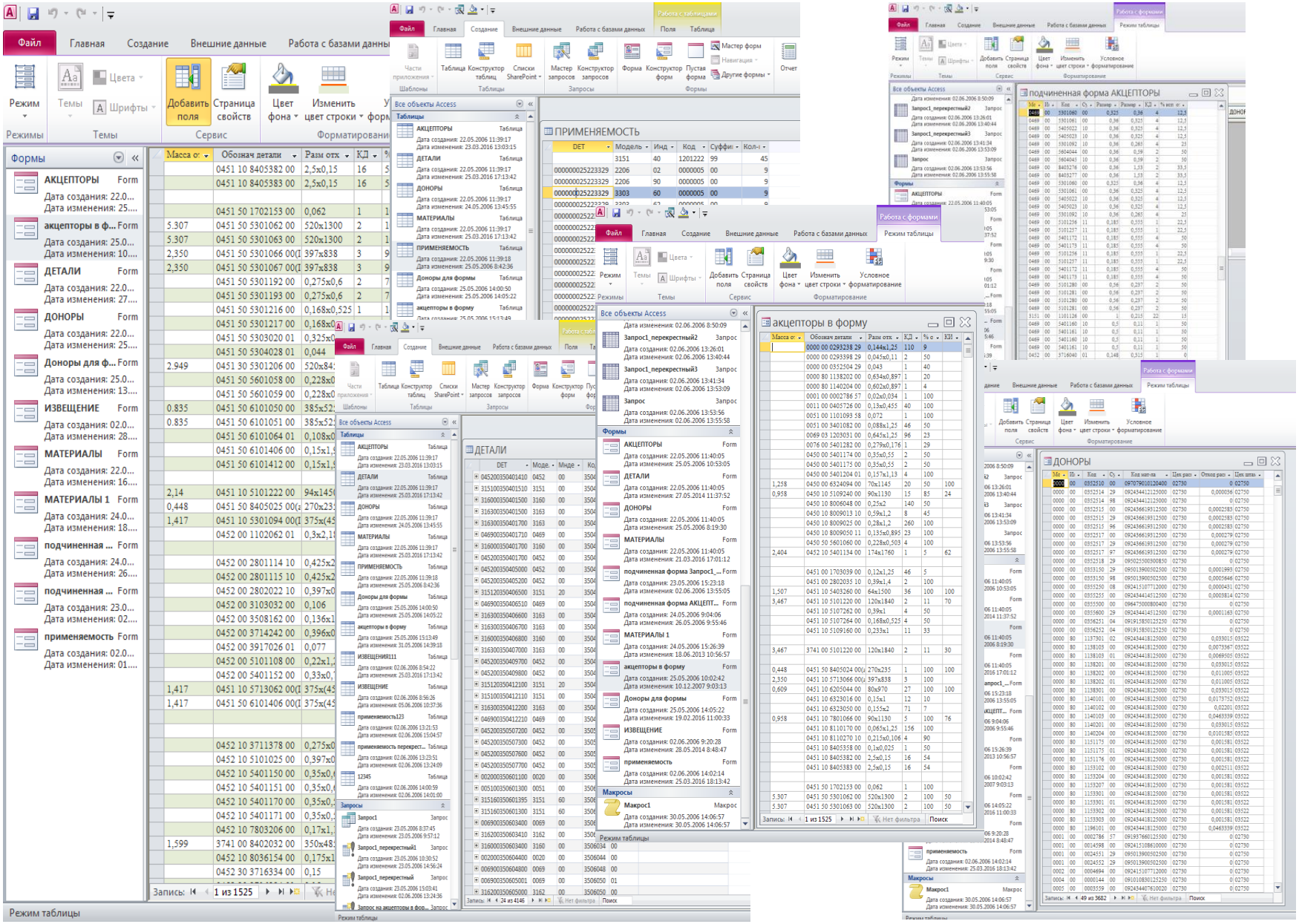
AggregateType:	-1
AllowZeroLength:	False
AppendOnly:	False
Attributes:	переменной длины
CollatingOrder:	Общий
ColumnHidden:	False
ColumnOrder:	По умолчанию
ColumnWidth:	1860
CurrencyLCID:	0
DataUpdatable:	False
GUID:	{guid {A31DFADE-3F14-4598-AFE3-FFF36577178C}}
OrdinalPosition:	29
Required:	False
ResultType:	0
SourceField:	№ чертежа детали
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ

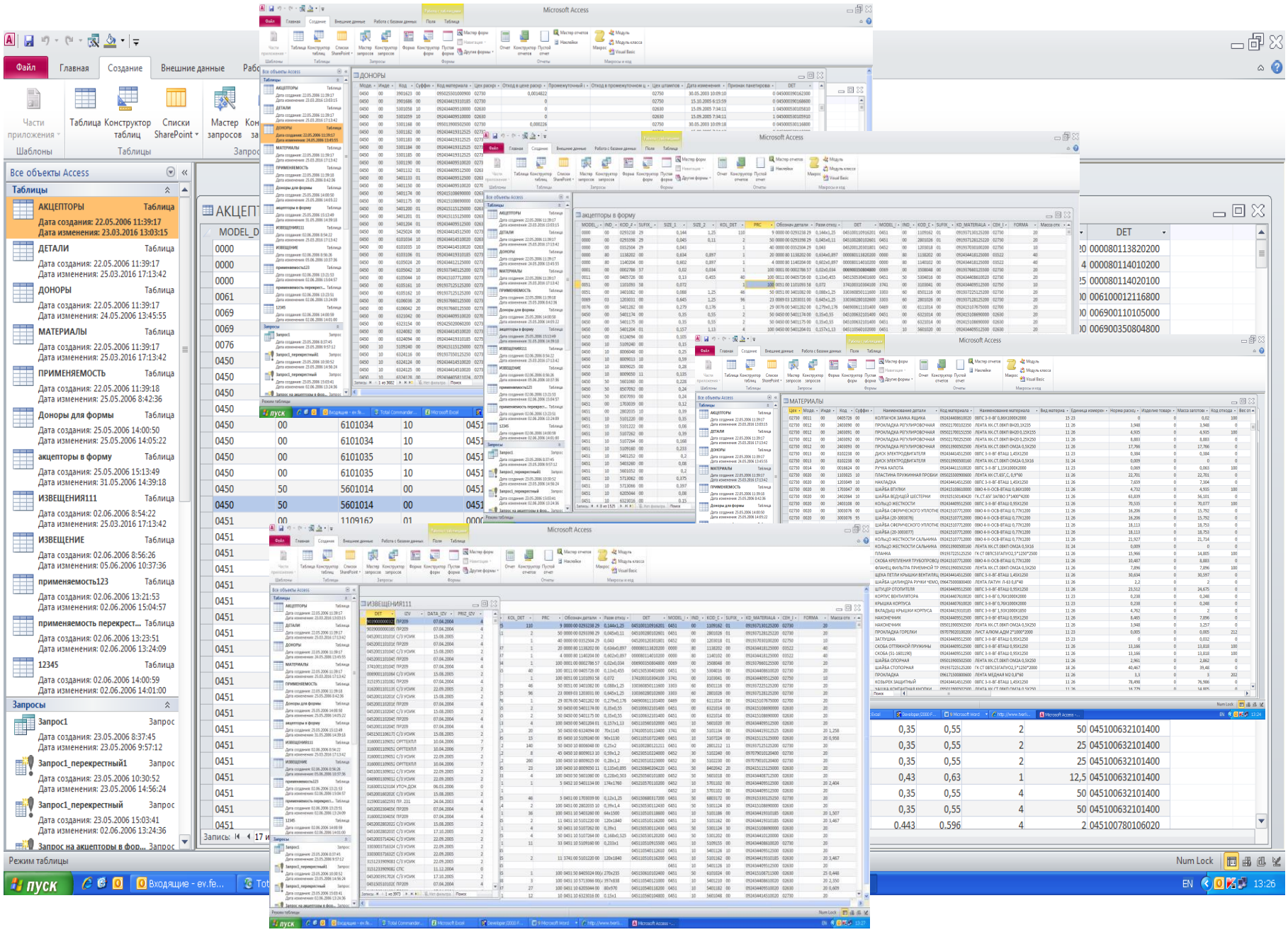
№ чертежа заготовки	Поле объекта OLE	-
AggregateType:	-1	
AllowZeroLength:	False	
AppendOnly:	False	
Attributes:	переменной длины	
CollatingOrder:	Общий	
ColumnHidden:	False	
ColumnOrder:	По умолчанию	
ColumnWidth:	2100	
CurrencyLCID:	0	
DataUpdatable:	False	
GUID:	{guid {2ADF67DD-2AE6-453C-8A13-68D707373B25}}	
OrdinalPosition:	30	
Required:	False	
ResultType:	0	
SourceField:	№ чертежа заготовки	
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ	
TextAlign:	Общее	
№ чертежа раскроя листа	Поле объекта OLE	-
AggregateType:	-1	
AllowZeroLength:	False	
AppendOnly:	False	
Attributes:	переменной длины	
CollatingOrder:	Общий	
ColumnHidden:	False	
ColumnOrder:	По умолчанию	
ColumnWidth:	2520	
CurrencyLCID:	0	
DataUpdatable:	False	
GUID:	{guid {7715F891-C47C-4F16-942A-AB1A773838EA}}	
OrdinalPosition:	31	
Required:	False	
ResultType:	0	
SourceField:	№ чертежа раскроя листа	
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ	
TextAlign:	Общее	
Эскизы доноры	Поле объекта OLE	-
AggregateType:	-1	
AllowZeroLength:	False	
AppendOnly:	False	
Attributes:	переменной длины	
CollatingOrder:	Общий	
ColumnHidden:	False	
ColumnOrder:	По умолчанию	
ColumnWidth:	1575	
CurrencyLCID:	0	
DataUpdatable:	False	
GUID:	{guid {97827013-C722-4827-A0B0-3CF4FA6D77AF}}	
OrdinalPosition:	32	
Required:	False	
ResultType:	0	

SourceField:	Эскизы доноры	
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ	
TextAlign:	Общее	
Эскизы акцепторы	Поле объекта OLE	-
AggregateType:	-1	
AllowZeroLength:	False	
AppendOnly:	False	
Attributes:	переменной длины	
CollatingOrder:	Общий	
ColumnHidden:	False	
ColumnOrder:	По умолчанию	
ColumnWidth:	1830	
CurrencyLCID:	0	
DataUpdatable:	False	
GUID:	{guid {F0183C7A-38FC-4F99-BEC8-DE7F96D4465D}}	
OrdinalPosition:	33	
Required:	False	
ResultType:	0	
SourceField:	Эскизы акцепторы	
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ	
TextAlign:	Общее	
Профиль	Текстовый	50
AggregateType:	-1	
AllowZeroLength:	True	
AppendOnly:	False	
Attributes:	переменной длины	
CollatingOrder:	Общий	
ColumnHidden:	False	
ColumnOrder:	По умолчанию	
ColumnWidth:	По умолчанию	
CurrencyLCID:	0	
DataUpdatable:	False	
DisplayControl:	Поле	
GUID:	{guid {E7FBF15A-6EA9-42DE-ADBF-9D249CC699B1}}	
IMEMode:	0	
IMESentenceMode:	3	
OrdinalPosition:	34	
Required:	False	
ResultType:	0	
SourceField:	Профиль	
SourceTable:	МАТЕРИАЛЫ	
TextAlign:	Общее	
UnicodeCompression:	True	
Вес листа по номиналу	Текстовый	50
AggregateType:	-1	
AllowZeroLength:	True	
AppendOnly:	False	
Attributes:	переменной длины	
CollatingOrder:	Общий	
ColumnHidden:	False	
ColumnOrder:	По умолчанию	


Microsoft Access
Работа с таблицами
Файл
Главная
Создание
Внешние данные
Работа с базами данных
Поля
Таблица
Все объекты Access
Таблицы
АКЦЕПТОРЫ
ДЕТАЛИ
ДОНОРЫ
МАТЕРИАЛЫ
ПРИМЕНЯЕМОСТЬ
Доноры для формы
акцепторы в форму
ИЗВЕЩЕНИЯ111
ИЗВЕЩЕНИЕ
применяемость123
применяемость перекрест...
12345
Запросы
Запрос1
Запрос1_перекрестный1
Запрос1_перекрестный
Запрос на акцепторы в фор...
МАТЕРИАЛЫ
Цех
Моде
Инде
Код
Суффи
Наименование детали
Код материала
Наименование материала
Вид материа
Единица измерен
Норма расхо
Изделие товар
Масса заготов
Код отхода
Вес от
02730 0011 00 0405726 00 КОЛПАЧОК ЗАМКА ЯЩИКА 092434408610020 08ПС 3-II-ВГ 0,86Х1000Х2000 15 23 0 0 0,02 100
02730 0012 00 2403090 00 ПРОКЛАДКА РЕГУЛИРОВОЧНАЯ 095021700102350 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ВН20,1Х235 11 26 3,948 0 3,948 0
02730 0012 00 2403091 00 ПРОКЛАДКА РЕГУЛИРОВОЧНАЯ 095021700151550 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ВН20 0,15Х155 11 26 4,935 0 4,935 100
02730 0012 00 2403092 00 ПРОКЛАДКА РЕГУЛИРОВОЧНАЯ 095021700252500 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ВН20 0,25Х250 11 26 8,883 0 8,883 0
02730 0012 00 2403093 00 ПРОКЛАДКА РЕГУЛИРОВОЧНАЯ 095013900502500 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ОМ2А 0,5Х250 11 26 17,766 0 17,766 0
02730 0013 00 8102238 00 ДИСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 092434414512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 1,45Х1250 11 23 0,384 0 0,384 0
02730 0013 00 8102238 00 ДИСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 095013900500160 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ОМ2А 0,5Х16 31 24 0,009 0 0 0
02730 0014 00 0016624 00 РУЧКА КАПОТА 092434411510020 08ПС 3-II-ВГ 1,15Х1000Х2000 11 23 0,069 0 0,063 100
02730 0020 00 1103025 10 ПЛАСТИНА ПРУЖИННАЯ ПРОБКИ 095025500900600 ЛЕНТА ХК СТ.65Г,С, 0,9*60 11 26 22,701 0 22,701 0
02730 0020 00 1203049 10 НАКЛАДКА 092434414512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 1,45Х1250 11 26 7,659 0 7,304 0
02730 0020 00 1703047 00 ШАЙБА ВТУЛКИ 092415108610000 08Ю 4-II-ОСВ-ВТАШ 0,86Х1000 11 26 4,732 0 4,935 100
02730 0020 00 2402064 10 ШАЙБА ВЕДУЩЕЙ ШЕСТЕРНИ 091925150140420 ГК.СТ.65Г ЗАПВО 5*1400*4200 11 26 63,839 0 56,101 0
02730 0020 00 2403108 00 КОЛЬЦО ЖЕСТКОСТИ 092434409512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 0,95Х1250 11 26 70,535 0 70,077 100
02730 0020 00 3003076 00 ШАЙБА СФЕРИЧЕСКОГО УПЛОТНЕ 092415107712000 08Ю 4-II-ОСВ-ВТАШ 0,77Х1200 11 26 16,206 0 15,792 0
02730 0020 00 3003076 95 ШАЙБА (20-3003076) 092415107712000 08Ю 4-II-ОСВ-ВТАШ 0,77Х1200 11 26 16,206 0 15,792 0
02730 0020 00 3003077 00 ШАЙБА СФЕРИЧЕСКОГО УПЛОТНЕ 092415107712000 08Ю 4-II-ОСВ-ВТАШ 0,77Х1200 11 26 18,113 0 18,753 0
02730 0020 00 3003077 95 ШАЙБА (20-3003077) 092415107712000 08Ю 4-II-ОСВ-ВТАШ 0,77Х1200 11 26 18,113 0 18,753 0
02730 0020 00 3401025 12 КОЛЬЦО ЖЕСТКОСТИ САЛЬНИКА 092415107712000 08Ю 4-II-ОСВ-ВТАШ 0,77Х1200 11 26 21,927 0 21,714 0
02730 0020 00 3401025 12 КОЛЬЦО ЖЕСТКОСТИ САЛЬНИКА 095013900500160 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ОМ2А 0,5Х16 31 24 0,009 0 0 0
02730 0020 00 3506011 00 ПЛАНКА 091937225125250 ГК СТ 08ПС53ГАПУО2,5*1250*2500 11 26 15,966 0 14,805 100
02730 0020 00 3506044 00 СКОБА КРЕПЛЕНИЯ ТРУБОПРОВО 092415107712000 08Ю 4-II-ОСВ-ВТАШ 0,77Х1200 11 26 10,487 0 8,883 0
02730 0021 00 1104040 00 ФЛАНЕЦ ФИЛЬТРА ПРИЕМНОЙ ТР 095013900502500 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ОМ2А 0,5Х250 11 26 7,896 0 7,896 100
02730 0030 00 5304080 00 ЩЕКА ПЕТЛИ КРЫШКИ ВЕНТИЛЯЦ 092434414512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 1,45Х1250 11 26 30,634 0 30,597 0
02730 0030 00 5606170 00 ШАЙБА ЦИЛИНДРА РУЧКИ ЧЕМО 096475000800400 ЛЕНТА ЛАТУН Л-63 0,8*40 11 26 2,2 0 2 0
02730 0030 00 8101040 00 ШТУЦЕР ОТОПИТЕЛЯ 092434409512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 0,95Х1250 11 26 23,512 0 24,675 0
02730 0030 00 8102016 00 КОРПУС ВЕНТИЛЯТОРА 092434407610020 08ПС 3-II-ВГ 0,76Х1000Х2000 11 23 0,238 0 0,248 0
02730 0030 00 8102022 00 КРЫШКА КОРПУСА 092434407610020 08ПС 3-II-ВГ 0,76Х1000Х2000 11 23 0,238 0 0,248 0
02730 0030 00 8102024 01 ВКЛАДЫШ КРЫШКИ КОРПУСА 092434419310185 08ПС 3-II-ВГ 1,93Х1000Х1850 11 26 4,762 0 2 0
02730 0040 00 3707187 10 НАКОНЕЧНИК 092434409512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 0,95Х1250 11 26 8,465 0 7,896 0
02730 0040 00 9006044 00 НАКОНЕЧНИК 095013900502500 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ОМ2А 0,5Х250 11 26 3,948 0 3,257 0
03522 0051 00 1015165 01 ПРОКЛАДКА ГОРЕЛКИ 097079020100200 ЛИСТ АЛЮМ.АДМ 2*1000*2000 11 23 0,005 0 0,005 212
02750 0051 00 1101093 58 ЗАГЛУШКА 092434409512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 0,95Х1250 15 23 0 0 0,032 0
02730 0051 00 1601190 00 СКОБА ОТТЯЖНОЙ ПРУЖИНЫ 092434409512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 0,95Х1250 11 26 13,166 0 13,818 100
02730 0051 00 1601190 95 СКОБА (51-1601190) 092434409512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 0,95Х1250 11 26 13,166 0 13,818 100
02730 0051 00 3401034 10 ШАЙБА ОПОРНАЯ 095013900502500 ЛЕНТА ХК.СТ.08КП ОМ2А 0,5Х250 11 26 2,961 0 2,862 0
02730 0051 00 3401082 00 ШАЙБА СТОПОРНАЯ 091937225125200 ГК СТ 08ПС53ГАПУО2,5*1250*2000 18 26 40,467 0 39,48 0
02730 0051 00 3506013 00 ПРОКЛАДКА 096171500800600 ЛЕНТА МЕДНАЯ М2 0,8*60 11 26 3,3 0 3 202
02730 0051 00 3710050 40 КОЗЫРЕК ЗАЩИТНЫЙ 092434414512500 08ПС 3-II-ВГ-ВТАШ 1,45Х1250 11 26 78,498 0 76,986 0
Запись: 1 из 4616
Нет фильтра
Поиск
Режим таблицы
Num Lock
пуск
Входящие - ev.fe...
Total Commander...
Microsoft Excel
Developer/2000 F...
Microsoft Word
http://www.tverli...
Microsoft Access -...
EN
13:24


Microsoft Access
Работа с таблицами
Файл
Главная
Создание
Внешние данные
Работа с базами данных
Поля
Таблица
Части приложения
Шаблоны
Таблица
Конструктор таблиц
Списки SharePoint
Таблицы
Мастер запросов
Конструктор запросов
Запросы
Форма
Конструктор форм
Пустая форма
Мастер форм
Навигация
Другие формы
Формы
Отчет
Конструктор отчетов
Пустой отчет
Мастер отчетов
Наклейки
Отчеты
Макрос
Модуль
Модуль класса
Visual Basic
Макросы и код
Все объекты Access
Таблицы
АКЦЕПТОРЫ Таблица
Дата создания: 22.05.2006 11:39:17
Дата изменения: 23.03.2016 13:03:15
ДЕТАЛИ Таблица
Дата создания: 22.05.2006 11:39:17
Дата изменения: 25.03.2016 17:13:42
ДОНОРЫ Таблица
Дата создания: 22.05.2006 11:39:17
Дата изменения: 24.05.2006 13:45:55
МАТЕРИАЛЫ Таблица
Дата создания: 22.05.2006 11:39:17
Дата изменения: 25.03.2016 17:13:42
ПРИМЕНЯЕМОСТЬ Таблица
Дата создания: 22.05.2006 11:39:18
Дата изменения: 25.05.2006 8:42:36
Доноры для формы Таблица
Дата создания: 25.05.2006 14:00:50
Дата изменения: 25.05.2006 14:05:22
акцепторы в форму Таблица
Дата создания: 25.05.2006 15:13:49
Дата изменения: 31.05.2006 14:39:18
ИЗВЕЩЕНИЯ111 Таблица
Дата создания: 02.06.2006 8:54:22
Дата изменения: 25.03.2016 17:13:42
ИЗВЕЩЕНИЕ Таблица
Дата создания: 02.06.2006 8:56:26
Дата изменения: 05.06.2006 10:37:36
применяемость123 Таблица
Дата создания: 02.06.2006 13:21:53
Дата изменения: 02.06.2006 15:04:57
применяемость перекрест... Таблица
Дата создания: 02.06.2006 13:23:51
Дата изменения: 02.06.2006 13:24:09
12345 Таблица
Дата создания: 02.06.2006 14:00:59
Дата изменения: 02.06.2006 14:01:00
Запросы
Запрос1 Запрос
Дата создания: 23.05.2006 8:37:45
Дата изменения: 23.05.2006 9:57:12
Запрос1_перекрестный1 Запрос
Дата создания: 23.05.2006 10:30:52
Дата изменения: 23.05.2006 14:56:24
Запрос1_перекрестный Запрос
Дата создания: 23.05.2006 15:03:41
Дата изменения: 02.06.2006 13:24:36
Запрос на акцепторы в фор... Запрос
АКЦЕПТОРЫ
MODEL_D IND_D KOD_D SUFIX_D MODEL_A IND_A KOD_A SUFIX_A Материал д Цех донор Фор Размер Размер Кол-во дета % использо DET
0000 80 1138202 00 0000 80 1138202 00 0924344181250 03522 40 0,634 0,897 1 20 000080113820200
0000 80 1140102 00 0000 80 1140204 00 0924344181250 03522 40 0,602 0,897 1 4 000080114010200
0000 80 1140201 00 0000 80 1140204 00 0924344181250 03522 40 0,586 0,897 1 25 000080114020100
0061 00 0121168 00 3741 00 1302050 00 0919370301002 02750 10 0,045 1 100 006100012116800
0069 00 1101050 00 0451 50 5304028 01 0919370301002 02750 10 0,044 1 100 006900110105000
0069 00 3508048 00 0001 00 0002786 57 0919376601255 02730 20 0,02 0,034 1 100 006900350804800
0076 00 6002024 01 0451 50 3724092 00 0950139006006 02750 20 0,009 0,036 1 13 007600600202401
0450 00 5401132 01 0451 10 5401110 00 0924344095125 02630 20 0,27 0,909 3 25 045000540113201
0450 00 5401132 01 3962 00 5401110 00 0924344095125 02630 20 0,27 0,909 3 25 045000540113201
0450 00 5401133 01 0451 10 5401110 00 0924344095125 02630 20 0,27 0,909 3 25 045000540113301
0450 00 5401133 01 3962 00 5401110 00 0924344095125 02630 20 0,27 0,909 3 25 045000540113301
0450 00 6101034 10 0451 50 1106173 00 0924344145100 02630 20 0,09 2 36 50 045000610103410
0450 00 6101034 10 0451 50 8204050 01 0924344145100 02630 20 0,09 2 90 50 045000610103410
0450 00 6101035 10 0451 50 1106173 00 0924344145100 02630 20 0,09 2 25 50 045000610103510
0450 00 6101035 10 0451 50 8204050 01 0924344145100 02630 20 0,09 2 90 50 045000610103510
0450 00 5601014 00 0451 50 5601058 00 0924344087125 02630 20 0,228 0,503 2 100 045050560101400
0450 50 5601014 00 0451 50 5601059 00 0924344087125 02630 20 0,228 0,503 2 100 045050560101400
0451 00 1109162 01 0000 00 0293238 29 0919371301252 02730 20 0,144 1,25 110 9 045100110916201
0451 00 1309012 00 3741 00 2802015 01 0924151077120 02700 10 0,385 1 5 045100130901200
0451 00 2801026 01 0000 00 0293398 29 0919371281252 02730 20 0,045 0,11 2 50 045100280102601
0451 00 2801027 01 0000 00 0293398 29 0919371281252 02730 20 0,045 0,11 2 50 045100280102701
0451 00 2801212 11 0450 10 8006048 00 0919371251252 02730 20 0,25 2 140 50 045100280121211
0451 00 2801213 11 0450 10 8006048 00 0919371251252 02730 20 0,25 2 140 50 045100280121311
0451 00 2801376 00 0452 10 8036154 00 0919371301252 02730 20 0,175 1,25 60 100 045100280137600
0451 00 5401074 10 3741 00 5304120 10 0924151087120 02630 20 0,23 0,515 2 50 045100540107410
0451 00 5401074 10 3741 00 5304122 00 0924151087120 02630 20 0,23 0,515 4 47,5 045100540107410
0451 00 5401075 10 0452 00 5401152 00 0924151087115 02630 25 0,33 0,765 2 50 045100540107510
0451 00 6201014 00 0452 50 8402058 00 0924151087110 02630 20 0,397 0,766 2 10 045100620101400
0451 00 6201014 00 0452 50 8402059 00 0924151087110 02630 20 0,397 0,766 2 10 045100620101400
0451 00 6321014 00 0450 00 5401174 00 0924151086900 02630 20 0,35 0,55 2 50 045100632101400
0451 00 6321014 00 0450 00 5401175 00 0924151086900 02630 20 0,35 0,55 2 50 045100632101400
0451 00 6321014 00 0452 10 5401170 00 0924151086900 02630 20 0,35 0,55 2 25 045100632101400
0451 00 6321014 00 0452 10 5401171 00 0924151086900 02630 20 0,35 0,55 2 25 045100632101400
0451 00 6321014 00 0469 00 8101252 20 0924151086900 02630 25 0,43 0,63 1 12,5 045100632101400
0451 00 6321014 00 0451 10 7801260 00 0924151086900 02630 20 0,35 0,55 4 50 045100632101400
0451 00 6321014 00 0451 10 7801261 00 0924151086900 02630 20 0,35 0,55 4 50 045100632101400
0451 00 7801060 20 0451 10 8006104 00 0924344095100 02630 20 0,443 0,596 4 2 045100780106020
Запись: 17 из 680
Нет фильтра
Поиск
Режим таблицы
Num Lock
пуск
Входящие - ev.fe...
Total Commander...
Microsoft Excel
Developer/2000 F...
Microsoft Word
http://www.tverli...
Microsoft Access -...
EN
13:26


Файл
Главная
Создание
Внешние данные
Работа с базами данных
Режим таблицы
Режим
Темы
Шрифты
Цвета
Добавить поля
Страница свойств
Цвет фона
Изменить цвет строки
Условное форматирование
Режимы
Темы
Сервис
Форматирование
Формы
АКЦЕПТОРЫ Form
акцепторы в ф... Form
ДЕТАЛИ Form
ДОНОРЫ Form
Доноры для ф... Form
ИЗВЕЩЕНИЕ Form
МАТЕРИАЛЫ Form
МАТЕРИАЛЫ 1 Form
подчиненная ... Form
подчиненная ... Form
применяемость Form
ПРИМЕНЯЕМОСТЬ
акцепторы в форму
подчиненная форма АКЦЕПТОРЫ
ДОНОРЫ
Все объекты Access
Таблицы
Запросы
Макросы
Макрос1
Запись: 1 из 1525
Режим таблицы


Microsoft Access
Файл
Главная
Создание
Внешние данные
Все объекты Access
Таблицы
АКЦЕПТОРЫ
ДЕТАЛИ
ДОНОРЫ
МАТЕРИАЛЫ
ПРИМЕНЯЕМОСТЬ
Доноры для формы
акцепторы в форму
ИЗВЕЩЕНИЯ111
ИЗВЕЩЕНИЕ
применяемость123
применяемость перекрест...
12345
Запросы
Запрос1
Запрос1_перекрестный1
Запрос1_перекрестный
Запрос на акцепторы в фор...
Режим таблицы
Num Lock
пуск
13:26

Приложение Е

Фрагмент программы для ЭВМ «ПРОМ-2013», созданной в соавторстве [127]

```
begin
  dm.Query1.Close;
  dm.Query1.SQL.Clear;
  dm.Query1.SQL.Add('select * from detali where d_NAIM_DET='"+combobox2.Text+"');
  dm.Query1.Open;
  dm.Query1.Active:=true;
  dbgrid1.DataSource:=dm.DS_Q;
 end;
end;
procedure TForm6.FormCreate(Sender: TObject);
begin
 dm.Detali.First;
 while not dm.Detali.Eof do
 begin
  {combobox1.Items.Add(dm.Detali['D_NOMDET']);
  combobox2.Items.Add(dm.Detali['D_NAIM_DET']);   }
  a:='select * from detali where d_NOMDET='"+combobox1.Text+"';
  dm.Query1.SQL.Add(a);
  dm.Query1.Open;
  dm.Query1.Active:=true;
  dbgrid1.DataSource:=dm.DS_Q;
  dm.Detali.First;
  while not dm.Detali.Eof do
  begin
   if dm.Detali['D_NOMDET']=combobox1.Text then
   begin
    a:=dm.Detali['D_MARKA']; form7.Label1.Caption:=a;
    c:=dm.Detali['D_TOLSHINA']; form7.Label2.Caption:=floattostr(c);
    form7.Label3.Caption:=floattostr(dm.Detali['D_SHIRINA']);
    form7.Label4.Caption:=floattostr(dm.Detali['D_SHAG']);
   end;
   dm.Detali.Next;
  end;
 end;
 dm.Query2.Close;
 dm.Query2.SQL.Clear;
 decimalseparator:='.';
 b:='select * from list where L_MARKA='"+a+'" and L_TOLSHINA='+floattostr(c);
 dm.Query2.SQL.Add(b);
 dm.Query2.Open;
 dm.Query2.Active:=true;
 dbgrid2.DataSource:=dm.DS_Q2;
```

```
 button4.Visible:=true;
end;
procedure TForm6.ComboBox1Change(Sender: TObject);
begin
 if combobox1.Text<>'Íîìåð äåòàëè' then button2.Visible:=true;
end;
procedure TForm6.Button4Click(Sender: TObject);
var m,n:integer;
a1,b1,t,Bp,Np1dr,Np2dr,Nd1dr,Nd2dr,w,N1,N2,z1,z2,p,q:real;
Np1,Np2,Nd1,Nd2:integer;
begin
 form7.memo1.Lines.Clear;
 dm.List.First;
 while not dm.List.Eof do
 begin
  if (dm.List['L_MARKA']=form7.Label1.Caption) and
(dm.List['L_TOLSHINA']=strtofloat(form7.Label2.Caption)) then
  begin
   m:=dm.List['L_SHIRINA'];
   n:=dm.List['L_DLINA'];
   p:=strtofloat(form7.Label3.Caption);
   q:=strtofloat(form7.Label4.Caption);
   a1:=3;
   b1:=2.5;
   t:=q+b1;
   Bp:=p+2*a1;
   Np1:=trunc(m/Bp);
   Np1dr:=frac(m/Bp);
   w:=Np1dr*Bp;
   Nd1:=trunc(n/t);
   Nd1dr:=frac(n/t);
   N1:=Np1*Nd1;
   z1:=(n1*p*q)/(m*n);
   z1:=round(z1*10000)/10000;
   Np2:=trunc(n/Bp);
   Np2dr:=frac(n/Bp);
   w:=Np2dr*Bp;
   Nd2:=trunc(m/t);
   Nd2dr:=frac(m/t);
   N2:=Np2*Nd2;
   z2:=(n2*p*q)/(m*n);
   z2:=round(z2*10000)/10000;
   form7.Memo1.Lines.Add(inttostr(m)+' '+inttostr(n)+' '+floattostr(Bp)+' '
   +floattostr(t)+' '+floattostr(n1)+' '+floattostr(z1*100)+' '+floattostr(n2)+' '+floattostr(z2*100));
  end;
```

Приложение Ж

Информационное обеспечение программы «ПРОМ-2013»

Банк данных о деталях организован в виде информационно-поисковой системы (ИПС) и содержит следующие поля:

«Номер детали» – информация алфавитно-цифровая, обозначение детали заносится из его чертежа.

«**Наименование детали».**

«Марка материала» – информация алфавитно-цифровая. В реквизит заносится марка материала, из которого изготавливается данная деталь.

«Масса детали» – информация цифровая выбирается из чертежа детали.

«Толщина» – информация цифровая.

«Ширина полосы» – информация цифровая. В реквизит заносится ширина полосы или штучной заготовки (карточки) для данной детали.

«Максимальная ширина» – информация цифровая. В реквизит заносится максимальная ширина полосы или штучной заготовки (карточки), которая допускается при изготовлении на данном штампе.

«Шаг подачи» – информация цифровая. В реквизит заносится: для полосы – шаг подачи, для карточки – длина карточки.

«Рядность» – информация цифровая. В реквизит заносится: для полосы – количество одновременно обрабатываемых деталей за один шаг, для карточки – количество деталей из карточки.

«Признак заготовки» – информация цифровая. Для заготовки-полосы записывается 0. Для заготовки-карточки записывается 1.

«Припуск» – информация цифровая. Величина припуска (концевого отхода) определяется величиной отхода, необходимого для вырубки последней заготовки. В реквизит заносится: для полосы – концевой припуск, зависящий от конструкции штампа, для заготовки-карточки – записывается ноль.

«Признак волокна» – информация цифровая. Если для детали направление волокна проката не имеет значения, т.е. может быть любое, в данной графе проставляется ноль (0). Если для детали направление волокна проката должно быть вдоль полосы, в этом случае признак волокна равен 1. Если направление волокна проката должно быть поперек полосы, в этом случае признак волокна равен 2.

«Ограничение заготовки» – информация алфавитно-цифровая. Если реквизит не заполнять, система берет данные, указанные в режиме изменения заводских ограничений. При необходимости задания весовой характеристики заготовки (толстый лист) в реквизит заносим цифры от 1 до 4. Весовые ограничения следующие: 1 – до 3 кг, 2 – до 5 кг, 3 – до 8 кг, 4 – до 12 кг. При необходимости ограничения максимальной длины полосы, в реквизит заносится это максимальное значение.

«Признак принудительного выбора оборудования» – информация алфавитно-цифровая. Реквизит позволяет закрепить раскрой детали на оборудовании определенного типа (таблица Ж.1).

Таблица Ж.1- Признак принудительного выбора оборудования

Тип оборудования	Значение реквизита
Комплекс продольной резки рулона	1
Комплекс поперечной резки рулона	2
Автоматический комплекс для порезки листа	3
Гильотинные ножницы	4

В **банк данных по сортаменту** внесены сведения о материалах:

«Толщина листа» – информация цифровая. Характеризует толщину листа.

«Ширина листа» – информация цифровая. Характеризует ширину листа.

«Длина листа» – информация цифровая. Характеризует длину листа.

«Марка материала» – Информация алфавитно-цифровая. Заполняется согласно государственным стандартам на технические условия материалов.

«Масса листа» – информация цифровая. В реквизит заносится масса данного листа.

«Количество листов» – информация цифровая. Заносится количество листов в пачке. Для общего случая заносим 100.

«Цена листового металла» – информация цифровая. В реквизит заносится стоимость листов с разных металлургических комбинатов в зависимости от разных условий поставки.

Справочник ножниц содержит характеристики:

«Модель оборудования» – информация алфавитно-цифровая. Заносится модель оборудования из паспорта ножниц.

«Минимальная толщина листа» – информация цифровая. Заносится минимальная толщина металла, которую можно отрезать на данных ножницах.

«Максимальная толщина листа» – информация цифровая. Заносится максимальная толщина металла, которую можно отрезать на данных ножницах.

«Максимальная отрезаемая полоса по заднему упору» – информация цифровая. В реквизит заносится максимальная ширина полосы, которую можно отрезать по заднему упору на данных ножницах.

«Длина реза» – информация цифровая берется из паспортных данных ножниц.

«Максимальная отрезаемая полоса по переднему упору» – информация цифровая. В реквизит заносится максимальная ширина полосы, которую можно отрезать по переднему упору на ножницах.

«Минимальная отрезаемая полоса по переднему упору» – информация цифровая. В реквизит заносится минимальная ширина полосы (заготовки), которую можно отрезать по переднему упору на данных ножницах.

«Назначение» – информация цифровая. Характеризует универсальность назначения. Ножницы для резки полос и отрезки остатка – 0. Ножницы для резки полос на карточки – 1. Ножницы универсальные для всех видов реза – 2.

«Наличие механизации» – информация цифровая. Заполняется на основании закрепления оборудования в цехе. Отсутствие механизации на ножницах – 0. Наличие приводного рольганга – 1. Автоматизированный комплекс – 2.

«Шифр ножей» – информация алфавитно-цифровая. Заносится обозначение ножей для гильотинных ножниц.

«**Число двойных ходов»** – информация цифровая (из паспорта ножниц).

«Инвентарный номер» – информация цифровая. Заполняется согласно планировке цеха, в котором установлены ножницы.

«Способ включения ножниц» – информация цифровая (согласно паспорту ножниц). Педалью ножной – 2. Кнопкой, рукояткой – 3. Педалью и кнопкой – 4. Рычагом – 5. Рычагом и кнопкой – 6. Двурукое – 7. Четырехрукое – 8.

«Тип муфты включения» – информация цифровая. Заполняется согласно паспорту ножниц. Фрикционная – 1,05. С четырьмя кулачками – 1,125. С тремя кулачками – 1,167. С двумя кулачками – 1,25. С одним кулачком – 1,5.

Характеристика комплексов для резки рулона включает данные:

«**Минимальная ширина рулона** – информация цифровая. Заносится из паспортных данных.

«Максимальная ширина рулона» – информация цифровая. Заносится из паспортных данных.

«Минимальная ширина реза» – информация цифровая. Заносится минимально допустимая ширина реза из паспортных данных.

«Максимальная ширина реза – информация цифровая. Заносится из паспортных данных.

«Минимальное количество резов» – информация цифровая по числу резов по паспорту для толщины до 1,5 мм. Заполняется для комплекса продольной резки (1), для комплекса поперечной резки (2) – заносится ноль.

«Максимальное количество резов» – информация цифровая. Заносится максимальное количество для толщины более 1,5 мм из паспорта ножниц. Для комплекса поперечной резки заносим ноль.

«Минимальная толщина рулона» – информация цифровая. Заполняется из паспортных данных комплекса.

«Максимальная толщина рулона» – информация цифровая. Заполняется из паспортных данных комплекса.

«Признак назначения» – информация цифровая. Определяется типом реза. Комплекс резки рулона: продольной – 1, поперечной – 2.

«Минимальный размер отрезаемой кромки» – информация цифровая. Заполняется из паспортных данных комплекса.

«Максимальный размер отрезаемой кромки» – информация цифровая. Заполняется из паспортных данных комплекса.

«Дефектный конец» – информация цифровая. Заполняется из паспортных данных.

Приложение И

Удостоверения на рационализаторские предложения автора

Приложение К

Методика «Порядок расчета норм расхода металлопроката»

УТВЕРЖДАЮ
И.о. генерального директора ОАО «УАЗ»

_____ А.П.Пинков

ПРОТОКОЛ № 10
Совещания по нормативам ПСП от 11.08.03.

Присутствовали: Евсюков А.М., Пирогов А.Н., Медведев В.И., Буров А.Г., Родионов А.В., работники УМН, УГТ, ПСП.

Рассмотрели предоставленные методики расчета материалов, используемых в основной технологии ПСП и нормы расхода полученные в результате работ, проведенных в соответствии с приказом №231 от 21.04.2003г.

Приняты решения:

1. Методики расчета норм расхода материалов, используемых в основном производстве ПСП утвердить.

2. Нормы расхода материалов в соответствии с приложением 1 утвердить.

3.Начальнику УМН Родинову А.В. ввести утвержденные нормы расхода материалов в базу данных "Подетальные нормы расхода" . Срок исполнения: 19.08.03г.

Согласовано:

Технический директор А.М. Евсюков

Управляющий ПСП А.Г. Буров

Начальник ПЭУ В.И. Медведев

Протокол вел Шарипов Р.Ш.

Утверждаю
Технический директор ОАО УАЗ
_____ А.М.Евсюков
15 08 2003г.

ПОРЯДОК РАСЧЕТА НОРМ РАСХОДА МЕТАЛЛОПРОКАТА И ПРОЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ЕДИНИЦУ ПРОДУКЦИИ В ПРЕССОВО - СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Управляющий ПСП		А.Г.Буров
Начальник ПЭУ	15.08.03	В.И.Медведев
Начальник УГТ		А.В.Алешин
Начальник УМН		А.В.Родионов
Начальник ТО ПСП	15.08.03	А.Н.Шашкин
Исполнитель инженер - технолог т/б ППА ТО ПСП УГТ	15.08.03	Е.В.Федорина