

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

На правах рукописи

Захарова /
ЕВ

ЗАХАРОВА ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА

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

2.3.7 – Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Дьяков Иван Федорович,
кафедра «ОПМиИГ», ФГБОУ ВО
«Ульяновский государственный
технический университет» (УлГТУ),
г. Ульяновск

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Мартынов Виталий Владимирович,
профессор кафедры цифровых технологий
в экономике и управлении, ФГБОУ ВО
«Уфимский университет науки и
технологий», г. Уфа

кандидат технических наук,
Павлов Павел Юрьевич,
заведующий лабораторией моделирования
технологических процессов НИЦ CALS-
технологий, ФГБОУ ВО «Ульяновский
государственный университет» (УлГУ),
г. Ульяновск

Защита состоится «5» июля 2024 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета ЮФУ 801.02.08 ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» по адресу: 347922, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1, ауд. Г-409.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» по адресу 344000, Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 21-ж и на сайте www.sfedu.ru.

Автореферат разослан «4» мая 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Л.А. Гладков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эффективность машиностроительного производства отчасти определяется снижением потребляемого металлопроката, затраты на который в себестоимости выпускаемой продукции составляют значительную часть. 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.

Оптимальное решение задач раскроя, как правило, дает высокий экономический эффект, а процесс решения представляет собой полигон для применения различных по сложности и разнообразию методов исследования. Фундаментальные разработки в этой научной области принадлежат Л.В. Канторовичу и В.А. Залгаллеру. За рубежом задачи раскроя-упаковки нашли развитие в работах P. Gilmore, R. Gomory, позднее G. Scheithauer, J. Terno, H. Dyckhoff, 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.

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. В то же время, на подход к решению проблемы экономного потребления материала все сильнее воздействуют экономические факторы. 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.

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 металлоемкости и отсутствие для оценки эффективности раскроя критерия, учитывающего современные экономические факторы, свидетельствуют об актуальности и важности темы исследования.

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

Цель диссертационного исследования достигается решением следующих **задач**:

1. Разработать критерий оптимизации раскроя – ресурс-стоимостной показатель.
2. Сформулировать общие положения построения методики решения задачи оптимального раскроя с минимизацией затрат на металл.
3. Разработать классификатор параметров деталей из листового проката.
4. Разработать архитектуру базы данных для управления данными о раскрое.
5. Разработать математическую модель гильотинного раскроя листового металлопроката в зависимости от ресурс-стоимостного показателя.
6. Разработать модифицированный алгоритм оптимального раскроя.
7. Создать программно-методический комплекс для оптимизации раскроя на основе ресурс-стоимостного показателя.
8. Провести тестирование, промышленное опробование и внедрить программное обеспечение в производство.

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 АСУТП.

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.

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 применением 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 с. диссертации.
2. Сформулированы общие положения построения методики оптимального раскроя и предложена новая структурная схема проектирования раскроя, отличающиеся использованием ресурс-стоимостного показателя, что позволит обеспечить наилучшее использование металла с точки зрения оптимизации затрат (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 44-46 и 57-58 с. диссертации.
3. Разработан классификатор деталей холодноштамповочного производства, отличающийся спецификой номенклатуры заготовок и систематизацией их по новым установленным классификационным признакам, позволяющий определить структуру базы данных о поддетальном раскрое металла (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 59-67 с. диссертации.
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, ускорить ввод данных и сократить время проектирования раскроя (пункт 2 паспорта специальности 2.3.7), 66-69 и 104-109 с. диссертации.

5. Разработана математическая модель раскроя листового проката на прямоугольные заготовки для крупносерийного и массового производства в зависимости от ресурс-стоимостного показателя, реализованная с применением метода линейного программирования, отличающаяся возможностью ввода изменяющихся норм расхода и формирования оптимизированного сортамента, что позволит минимизировать затраты на металл (пункт 6 паспорта специальности 2.3.7), 70-92 с. диссертации.

6. Разработан модифицированный алгоритм оптимального раскроя, отличающийся использованием расширенного сортамента металлургических заводов с учетом их стоимостных показателей; ведением расчета раскроя для деталей, принадлежащих к одной группе (по толщине и марке металла); выбором экономически выгодного 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 с. диссертации.

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 с. диссертации.

Практическая значимость результатов диссертационной работы определяется разработкой программно-методического комплекса проектирования оптимального раскроя, в состав которого входят программа оптимизации раскроя «ПРОМ-2013» и база данных о подетальном раскрое «Кластер деталей ПРОМ-2013», и может использоваться в качестве рабочего прототипа универсального программного обеспечения. Прогнозируемая ежегодная экономия составит порядка 3–5 % от годовых расходов на приобретение металла.

Реализация и внедрение результатов работы. Апробирование результатов работы (в виде методики и рабочего прототипа программного обеспечения) осуществлено в ООО «УАЗ» (г. Ульяновск) при подготовке производства деталей новых образцов автомобилей, изготавливаемых из листового проката, с целью прогнозирования конкурентоспособности, а также для анализа действующих вариантов раскроя и технологий резки по обеспечению минимальных затрат по металлу и снижению себестоимости. На основании предложенной методики и алгоритма решения задачи раскроя автором диссертации подано и внедрено более 200 рационализаторских предложений, Кайдзен-предложений 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». Внедрение методики решения задачи

ресурсосберегающего раскроя может быть адаптировано под любое производство, что, безусловно, актуально для современной промышленности.

Апробация результатов исследования проходила на научных конференциях:: 47-48-ой научно-технических конференциях УлГТУ (г. Ульяновск, 2013-2014 г. г.); Международной научно-технической конференции «Современные технологии обработки металлов давлением: моделирование, проектирование, производство» (Москва, 2013 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.).

Опубликованы согласно темы диссертационного исследования 12 печатных работ, в их числе 4 статьи – в журналах из перечня, рекомендованного ВАК; на базу данных о раскрое и программу оптимизации раскроя получены свидетельства о государственной регистрации.

Лично автором разработаны подходы к совершенствованию проектирования раскроя, создан классификатор параметров деталей из листового проката, построена архитектура БД о подетальном раскрое, создана методика оптимального раскроя в зависимости от нового критерия оптимизации РСР, математическая модель и модифицированный алгоритм ресурсосберегающего раскроя, на основе которых разработана программа оптимизации раскроя металла с минимизацией затрат, проведены вычислительные эксперименты и обобщены полученные результаты. В соавторстве разработаны БД и программа для ЭВМ.

Структура диссертационной работы состоит из введения, четырех разделов, заключения. Работа выполнена **в объеме** 205 страниц, 79 рисунков, 32 таблиц, 134 наименований используемых источников и приложений.

По результатам решения поставленных задач **на защиту выносятся основные положения:**

1. Критерий оптимизации - ресурс-стоимостной показатель.
2. Новая структурная схема проектирования оптимального раскроя с минимизацией затрат.
3. Классификатор параметров деталей холодноштамповочного производства.
4. Архитектура БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» для управления данными о раскрое.
5. Математическая модель гильотинного раскроя оптимизированного металлопроката на основе ресурс-стоимостного показателя.
6. Модифицированный алгоритм раскроя с формированием оптимального сортамента с минимизацией затрат.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы и проведения исследований по оптимизации гильотинного раскроя; поставлена цель; согласно целевым установкам определены задачи исследования; сформулированы положения, выносимые на защиту, и научная новизна; представлена информация об апробации результатов

проведенной работы, их реализации и внедрении.

В первом разделе проанализированы проблемы в области проектирования раскроя промышленных материалов и листового металла в частности, и отмечено, что на этапе ТПП составление плана раскроя на заданном материале и выбор наилучшего варианта (с наименьшей нормой, наибольшим КИМ и минимальными отходами) является одной из трудных задач. С целью повышения эффективности раскроя и минимизации затрат на металл автором предложено рассматривать допустимые варианты раскроя всех типоразмеров металлопроката на базе анализа сортамента металлургических комбинатов-поставщиков и с учетом их стоимостных показателей. По результатам сравнительного анализа выбирать оптимальный раскрой с получением наиболее экономичной заготовки.

Представлена постановка задачи проектирования оптимального раскроя с минимизацией затрат, связанных с раскроем металла, и сформирована целевая функция с определением комплексного показателя затрат или ресурс-стоимостного показателя (РСП). Из многообразия возможных альтернативных решений по раскрою выбор будет осуществляться в пользу максимально выгодного варианта, соответствующего наименьшему значению ресурс-стоимостного показателя. Минимизация комплексного критерия *RSC* является целью оптимизации. Автором разработана структурная схема проектирования ресурсосберегающего раскроя на основе использования ресурс-стоимостного показателя (рисунок 1), что позволяет обеспечить наилучшее использование металла с точки зрения оптимизации затрат.

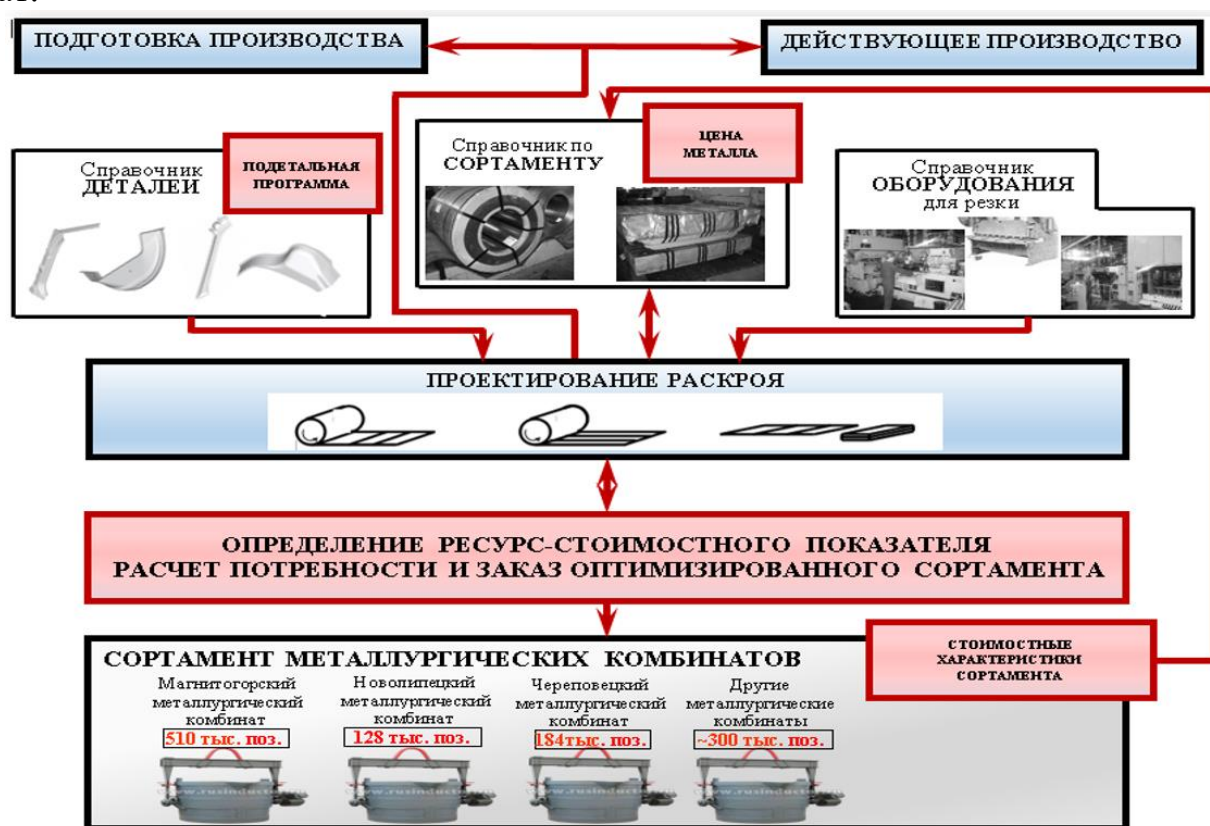


Рисунок 1 - Предлагаемая структурная схема проектирования раскроя

Выполнен анализ разновидностей задач раскроя, методов их решения, программ и автоматизированных систем, эффективно применяемых в различных

отраслях промышленности, в основном для раскроя заготовок произвольной формы в условиях единичного и многономенклатурного производства. Для линейного и гильотинного раскроя в условиях массового и крупносерийного производства предложен эффективный метод решения с применением линейного программирования и создание нового программного продукта с применением нового критерия оптимизации ресурс-стоимостного показателя.

Во втором разделе описана методологическая основа исследования и для автоматизации проектирования раскроя листового проката в условиях крупносерийного и массового производства автором проанализирована номенклатура деталей, получаемых в процессе холодного листового деформирования (1900 шт.). В ходе рассмотрения были установлены отличительные признаки, в соответствии с которыми выполнена градация деталей и заготовок, разработан классификатор параметров деталей, структурирующий данные для создания программного продукта по оптимизации раскроя.

Автором разработана архитектура базы данных для управления данными о подетальном раскрое. 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.

Автором разработана модель гильотинного раскроя с минимизацией финансовых затрат, основанная на применении ресурс-стоимостного показателя, и предусматривающая три этапа решения задачи ресурсосберегающего раскроя. На первом этапе выбор наилучшего варианта раскроя осуществляется по результатам наиболее плотного размещения заготовки на заданном материале, что соответствует максимальному количеству заготовок. На втором 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 на данном этапе осуществляется решением системы линейных уравнений и задачи одномерного раскроя, математическая модель которой приведена:

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

при условиях

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

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

$$x_{jk} \geq 0 \text{ и целые числа;}$$

$$y_{ijk} \geq 0 \text{ и целые числа,}$$

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

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

заготовки i -типа шириной b_i ($i=1, 2, \dots, v$; $b_1 > b_2, \dots, \geq b_v$), 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 ($k=1, \dots, g$) раскроя рулона на полосы шириной b_i и составляются потенциальные планы продольного раскроя:

$$\begin{aligned} B_1 &= a_{11}b_1 + a_{21}b_2 + \dots + a_{i1}b_i + \dots + a_{v1}b_v + \delta_1; \\ B_2 &= a_{12}b_1 + a_{22}b_2 + \dots + a_{i2}b_i + \dots + a_{v2}b_v + \delta_2; \\ &\dots\dots\dots; \\ B_k &= a_{1k}b_1 + a_{2k}b_2 + \dots + a_{ik}b_i + \dots + a_{vk}b_v + \delta_k; \\ &\dots\dots\dots; \\ B_g &= a_{1g}b_1 + a_{2g}b_2 + \dots + a_{ig}b_i + \dots + a_{vg}b_v + \delta_g, \end{aligned}$$

где a_{ik} – число раскраиваемых полос i -типа в k -варианте определяется перебором комбинаций величин a_{ik} , ..., a_{vk} с их значениями; δ_k – минимальные отходы в k -варианте (из-за незначительных потерь в расчете не учтены)

$$\begin{aligned} a_{1k} &= 0, 1, \dots, \left[\frac{B_k}{b_1} \right]; \\ a_{2k} &= 0, 1, \dots, \left[\frac{B_k - a_{1k}b_1}{b_2} \right]; \\ &\dots\dots\dots; \\ a_{vk} &= \left[\frac{B_k - a_{1k}b_1 - \dots - a_{v-1,k}b_{v-1}}{b_v} \right]. \end{aligned}$$

На этом этапе решения задачи оптимального раскроя необходимо минимизировать количество разрезаемого проката

$$x_1 + x_2 + \dots + x_k + \dots + x_g \rightarrow \min,$$

На заключительном этапе оптимизации раскроя в зависимости от ресурсно-стоимостного показателя (RSC) решается задача проектирования раскроя всех типоразмеров проката одной группы (по толщине и марке материала), поставляемых с разных металлургических комбинатов и с учетом их стоимостных показателей, для изготовления деталей из материала заданной толщины и марки. Процесс продолжается до завершения списка раскраиваемого металлопроката.

Для этого согласно алгоритму, приведенному выше, составляются допустимые планы раскроев всех типоразмеров рулонов j -типа (шириной B_j , длиной L_j) заданной марки и толщины на заготовки i -типа (шириной b_i), устанавливаются оптимальные планы для всех видов раскроев с определением минимального числа раскраиваемых рулонов каждого типоразмера X_j и X'_j ($j=1, 2$,

где $x_1, x_2, \dots, x_g$ – число распускаемых рулонов j -типа по установленному варианту.

При формировании оптимального варианта продольного раскроя необходимо учесть систему ограничений:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1k}x_k + \dots + a_{1g}x_g &\geq [p_1]; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2k}x_k + \dots + a_{2g}x_g &\geq [p_2]; \\ &\dots\dots\dots; \\ a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ik}x_k + \dots + a_{ig}x_g &\geq [p_i]; \\ &\dots\dots\dots; \\ a_{v1}x_1 + a_{v2}x_2 + \dots + a_{vk}x_k + \dots + a_{vg}x_g &\geq [p_v]. \end{aligned}$$

Для выполнения транзитной нормы поставки проката соблюдается условие:

$$\sum G_j x_{jk} \geq T_w,$$

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

Поиск оптимального плана при поперечном раскрое организован по описанному алгоритму с определением минимума раскраиваемого рулонного проката j -типа:

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

..., w). На данном этапе расчета раскроя определяется минимизация целевой функции, заключающаяся в поиске наименьшего значения показателя РСП и нахождении минимума финансовых затрат на приобретение проката.

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

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

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 для продольного и поперечного раскроя (RSC_j ; RSC_j') 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 $\Sigma RSC_j \rightarrow \min$ ($j=1, \dots, w$) формируется оптимальный сортament с минимизацией финансовых затрат.

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 ($j=1, 2, \dots, w$) 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} ($s=1, \dots, q$), производительность при продольном (PR'_j) и поперечном (PR_j) раскрое рассчитывается:

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

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

где N_j и N'_j – максимальное число деталей из расчетного минимального числа рулонов X_j и X'_j при разных видах раскроя, 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 продукции (мин./дет.), требуется определить минимальную трудоемкость при разных видах раскроя $TR_j \rightarrow \min$, $TR'_j \rightarrow \min$, отвечающую минимизации целевой функции и

повышению экономичности раскроя.

Для данной постановки задачи раскроя – экономного потребления металла и снижения затрат на металл определение максимальной производительности и минимальной трудоемкости резки является, собственно, проверочным расчетом правильности решенной задачи и выбора оптимального варианта раскроя. Вместе с тем, 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.

Для повышения эффективности использования материальных и финансовых средств предприятием автором разработан модифицированный алгоритм ресурсосберегающего раскроя (рисунок 2), который обладает по сравнению с обобщенным алгоритмом поддетального раскроя принципиальными отличиями и обеспечивает:

- Минимизацию потребления материала при ведении расчета раскроя с учетом деталей всей группы, изготавливаемых из данного материала, с максимальным использованием отходов на другие детали раскраиваемой группы.
- Расширение перечня сортамента с разных металлургических предприятий, включая их стоимостные показатели.

- Выбор оптимального наиболее экономичного варианта раскроя по минимальному значению критерия оптимизации РСП и выполнением плана производства с наименьшим потреблением металлопроката при минимальных финансовых затратах.
- Заказ на основании подетального плана оптимально экономически выгодного

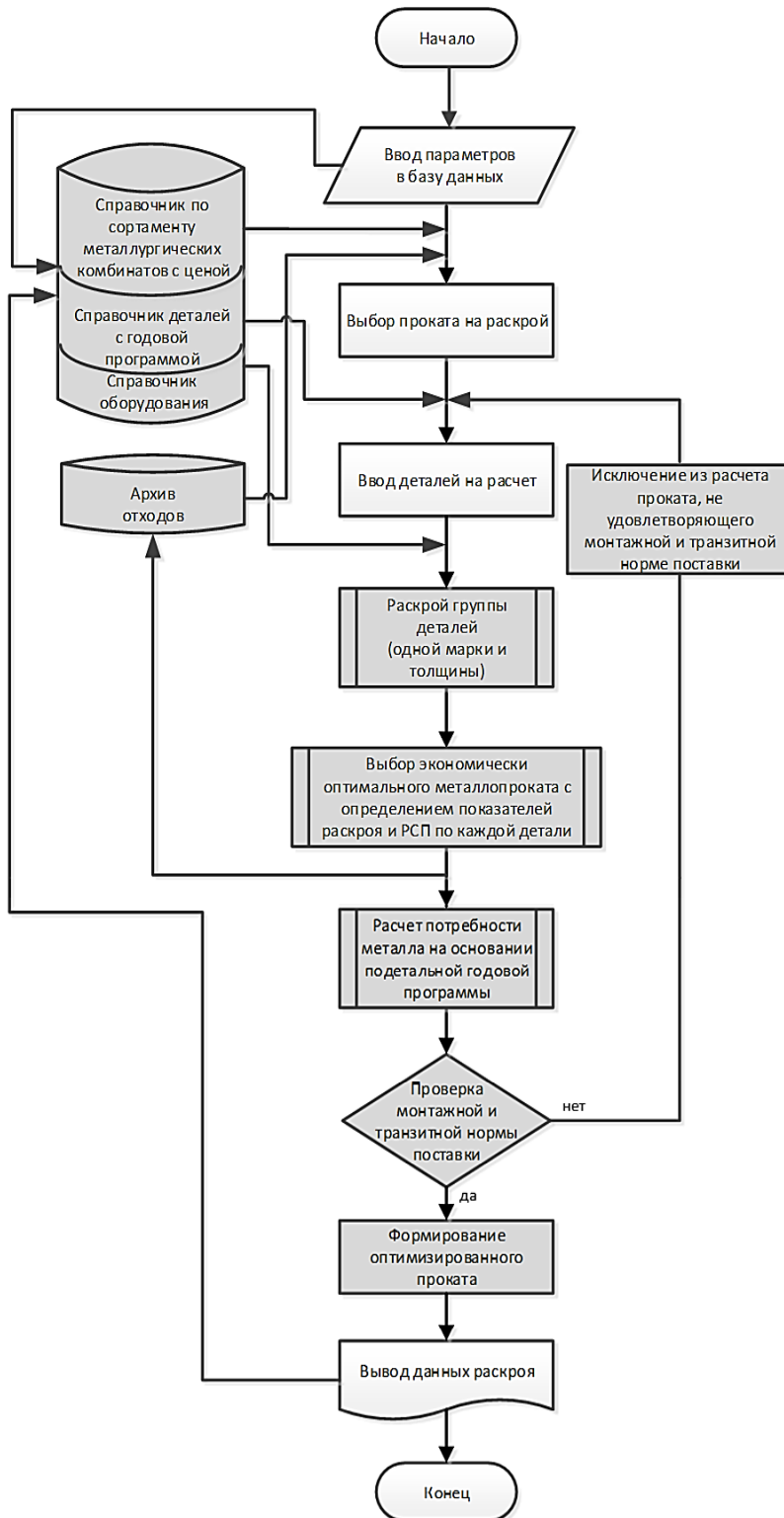


Рисунок 2 - Обобщенный алгоритм раскроя металлопроката для группы деталей (Элементы, выделенные серым цветом, разработаны автором)

сортамента металлопроката с соблюдением транзитной нормы поставки и унификации сортамента.

В третьем разделе представлено поэтапное решение задачи оптимального раскроя с определением ресурс-стоимостного показателя и формированием выходных документов наилучшего варианта раскроя по новому критерию оптимизации РСП.

На основании выполненной классификации деталей из листового проката (см. раздел 2) и построения структуры данных о раскрое создана база данных (свидетельство №2017620130), реализованная с помощью реляционной модели данных в Microsoft Office Access. БД «Кластер деталей ПРОМ-2013» обеспечивает управление данными о подетальном раскрое и предоставление оперативной информации об оптимальных результатах раскроя. Управление данными организовано в одноименном с базой файле. БД отличается структурой связей объектов базы и уникальным кодом (пятнадцатизначным номером детали), позволяющим отличать записи и осуществлять поиск необходимых данных. По

результатам выбора оптимального варианта раскроя формируется итоговый отчет в виде подетальной «Карты раскроя материала», выполняемой как на раскрой исходного материала, так и остатков, и содержащей технологическую информацию и технико-экономические показатели раскроя.

Для автоматизированного проектирования раскроя в условиях массового и крупносерийного производства создана программа раскроя металлопроката (свидетельство №2016611103) на основе ресурс-стоимостного показателя, которая позволяет произвести оценку затрат при раскрое листового проката, и выбрать оптимальный вариант с минимизацией финансовых затрат. «ПРОМ-2013» содержит две интегрированные системы: справочник деталей и материалов (сортамента металлопроката) и модуль оптимизации раскроя с определением ресурс-стоимостного показателя.

Согласно подетальному плану производства при составлении задания на раскрой по заданным марке и толщине металла из справочника деталей отбирается группа деталей, изготавливаемых из заданного материала, из справочника материалов (сортамента металлопроката) выбирается листовой прокат с заданными параметрами. По окончании формирования задания осуществляется реализация разработанного алгоритма ресурсосберегающего раскроя с формированием результатов итогового расчета оптимального раскроя, выполненные программой (рисунок 3).

Form9

Марка материала 08пс

Далее Еще раз Выход

№ п/п	Габариты	Вес листа	Кол-во дет.	Схема раскроя	КИМ	Норма расхода	Затраты по цене завода 1	Затраты по цене завода 2
1	1x1000x2000	15.818	12	продольная	75.9	1.318	26.495	27.022
2	1x1250x2500	24.728	20	поперечная	80.9	1.236	24.852	25.223
3	1x1300x1700	17.518	14	поперечная	79.9	1.251	24.775	25.276
4	1x1200x2600	24.689	20	поперечная	81.0	1.234	24.960	25.430

Project1

Выгоднее всего использовать выделенные листы, приобретенные на заводе 1

OK

Рисунок 3 - Общий вид окна итогового расчета раскроя, с определением КИМ, РСП и нормы расхода

При существующем подходе к проектированию раскроя и при расчете согласно действующему алгоритму технологом определяется 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 «ПРОМ-2013» осуществляется расчет по критерию оптимизации РСП с учетом стоимостных характеристик проката с разных металлургических комбинатов и выбирается

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 плана производства деталей разница в затратах на металл изменится более весомо.

База данных и программа оптимизации раскроя листового материала являются основными компонентами программно-методического комплекса создаваемой САПР. Система автоматизированного проектирования раскроя включает в себя ПМК «ЛИСТ» и ПМК «РУЛОН», состоящие из нескольких функциональных модулей. Архитектура взаимодействия модулей при технологической подготовке представлена на рисунке 4. Подмодули ПМК «РУЛОН» показаны на рисунке 5.



Рисунок 4 - Архитектура взаимодействия между модулями в САПР



Рисунок 5 - Подмодули ПМК «РУЛОН» и их взаимодействие

В зависимости от этапов производства (на стадии ТПП и на стадии изготовления) решение задачи раскроя обеспечивается выполнением расчетов с

помощью различных систем. На этапе технологической подготовки производства для определения планируемого расхода с максимальным КИМ и минимальным потреблением материала предусмотрены:

- Система расчета по изделию для предварительной оценки себестоимости с раскромом 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 раскромом всех деталей одного заданного изделия и изготавливаемых независимо от цеха-изготовителя.

На этапе производства деталей предусмотрен расчет раскроа с 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 поддетальной программы. Этот режим обеспечивает дополнительное снижение себестоимости изделия.
- Системы оперативного расчета для раскроа металлопроката с показателями, не соответствующими требованиям технологии.

В четвертом разделе представлены результаты тестирования и промышленного опробования в ООО «УАЗ» разработанной программы оптимизации раскроа металлопроката «ПРОМ-2013». Для этого был разработан показатель сложности расчетной схемы раскроа, учитывающий время ввода данных, расчетов раскроа и составления карт раскроа. С учетом этого показателя рассмотрены заготовки-представители с разной проблематикой раскроа и проведены 5 экспериментов. Полученные в ходе апробации технико-экономические показатели раскроа сопоставлены с технологическими данными гильотинного раскроа на производстве.

С целью проверки эффективности созданной методики проектирования ресурсосберегающего раскроа рассмотрена применяемость листового металла с возможной заменой на рулоны с оптимальными стоимостными характеристиками. Методика была апробирована на 100 деталях, изготавливаемых из листового проката одной марки и толщины, трех типоразмеров (рисунок 6). По результатам автоматизированного расчета раскроа на базе «ПРОМ-2013» сформирован для номенклатуры деталей ООО «УАЗ» оптимальный сортамент в рулонах двух габаритов с минимизацией финансовых затрат (рисунок 6). Согласно разработанному алгоритму выбраны наилучшие варианты раскроа на прямоугольные заготовки с максимальным количеством заготовок из полосы, минимальными отходами и снижением потребления металла. С применением нового подхода к проектированию раскроа на основе созданной методики в зависимости от минимального значения РСП получена экономия в размере 131,2 тонны металлопроката и в сумме 4,1 млн. руб., подтвержденная актами внедрения в прессовом цехе ООО «УАЗ» 20 авторских мероприятий.

Для сокращения затрат на металл рассмотрена применяемость рулонов с узкими габаритами с возможной заменой на рулоны шириной более 901 мм с более низкими стоимостными показателями. По результатам расчетов с учетом показателя РСП принято решение о переводе изготовления 23 деталей на широкие

рулоны 8 типоразмеров (взамен 6) с изменением габаритов заготовок, схем раскроя, технологии резки и режущего оборудования, но с повышением нормы расхода на ряд раскраиваемых деталей. Общее увеличение потребления металла для данной группы деталей составит 23,916 тонны.

Данные о потребности листового материала – базовый вариант				Данные о потребности рулонного материала - результаты автоматизированного проектирования с применением «ПРОМ-2013»			
Габариты листов	Цена 1 т руб.	Потребность тонн	Стоимость тыс. руб.	Габариты рулонов	Цена 1 т руб.	Потребность тонн	Стоимость тыс. руб.
1000*1850	26970	1019,728	27502,06	1100	26670	1018,693	27168,54
1250*2500	26970	921,529	24853,64	1500	26670	989,495	26389,83
1400*2000	26970	198,094	5342,60	ИТОГО		2008,188	53558,37
ИТОГО		2139,449	57698,30	ЭКОНОМИЯ		131,261	4139,92

Рисунок 6- Результаты раскроя металлопроката на производстве и с применением новой методики

Несмотря на это, главным критерием при выборе наиболее эффективного варианта раскроя на завершающем этапе является минимизация затрат на приобретение металла с получением подетальной экономии. В результате реализации в прессовом цехе ООО «УАЗ» авторского предложения №2500/11-2015 получен и подтвержден актом внедрения суммарный экономический эффект более 974 тыс. руб. Эксперимент по расчету раскроя с формированием оптимизированного сортамента на базе анализа сортамента производителей-поставщиков с учетом их стоимостных показателей, с вводом изменяющихся норм расхода подтверждает актуальность новой концепции ресурс-стоимостной оценки раскроя и свидетельствует об эффективности созданной методики оптимизации раскроя на основе показателя РСП.

На примере детали «Панель боковины» показана экономическая целесообразность созданного алгоритма ресурсосберегающего раскроя. По результатам оптимизации раскроя на основе ресурс-стоимостного показателя с применением «ПРОМ-2013» выбран более экономичный вариант раскроя с изменением размещения заказа металла у другого производителя металлопродукции; рационально подобраны образующиеся при раскрое отходы для изготовления двух мелких деталей; сформированы карты раскроя для детали-донора и деталей-акцепторов; получена экономия для группы деталей в размере 36,8 тонн и 1,64 млн. руб. В таблице 1 приведены основные этапы проектирования раскроя и производства заготовок рассматриваемой детали с краткой характеристикой расчетных и проектных процедур в ходе применения «ПРОМ-2013».

Проведенный анализ результатов экспериментальных исследований показал, что использование средств автоматизированного проектирования раскроя

эффективно снижает трудоемкость расчета раскроя по сравнению с ручным методом в 3 раза и трудоемкость разработки карт раскроя – более, чем в 2 раза.

Таблица 1 - Этапы проектирования раскроя и производства заготовок детали «Панель боковины»

Этапы работ	Эскиз	Фото																																																																				
1 Построение фасонной заготовки по узловым точкам, заданным в координатной форме	<table><tr><th>Номер точки</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>	Номер точки	X мм	Y мм	R мм	0	0	0		1	0	410		2	0	1030		3	260	1707	250	4	527	1795		5	527	1800		6	1380	1800		7	1380	1775		8	1663	1755	260	9	1805	150		10	1680	0		11	183	0		12	535	1140	50	13	600	1390	50	14	1135	1405	50	15	1100	1125	50	
Номер точки	X мм	Y мм	R мм																																																																			
0	0	0																																																																				
1	0	410																																																																				
2	0	1030																																																																				
3	260	1707	250																																																																			
4	527	1795																																																																				
5	527	1800																																																																				
6	1380	1800																																																																				
7	1380	1775																																																																				
8	1663	1755	260																																																																			
9	1805	150																																																																				
10	1680	0																																																																				
11	183	0																																																																				
12	535	1140	50																																																																			
13	600	1390	50																																																																			
14	1135	1405	50																																																																			
15	1100	1125	50																																																																			
2 Проектирование оптимальных геометрических размеров заготовки Формирование данных для последующего раскроя проката на заготовки	Данные для раскроя: тип укладки - однорядная ширина полосы – 1800 мм перемычка по шагу – 0 мм по ширине – 0 мм, по длине – 5 мм																																																																					
3 Составление схемы оптимального раскроя рулона	Концевой припуск для получения последней детали – 10 мм Заготовки удаляются на переднее ступенирующее устройство. Отходы удаляются в тыл и во фронт. Норма расхода ↓ – 23,050 кг. КИМ↑ – 0,369.																																																																					
4 Подбор отходов для изготовления более мелких деталей – рациональное использование металла	Деловые отходы-высечки от отрезки заготовки используются на детали: «Рамка люка наливной горловины» (масса-0,36 кг) и «Крышка люка наливной горловины» (масса-0,206 кг). КИМ↑ – 0,393.																																																																					

Раздел завершается выполнением расчета экономической эффективности результатов исследования по оптимизации металлопроката на основе ресурсно-стоимостной оценки с применением программы «ПРОМ-2013», которая составила 149 тонн и 7,35 млн. руб.

В заключении сформулированы основные выводы с результатами, полученными автором в процессе научного исследования.

Приложение включает акты внедрения результатов работы, свидетельства о государственной регистрации программы и БД, удостоверения на авторские рационализаторские предложения.

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 поддетальном 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 крупносерийного и массового 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 сортамента металлургических заводов с учетом стоимостных характеристик; ведением расчета раскроя для деталей, принадлежащих к одной группе (по толщине и марке металла); выбором экономически выгодного 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 поддетальном раскрое (свидетельство №2017620130) и программы раскроя «ПРОМ-2013» (свидетельство №2016611103), использующие разработанные и модифицированные модель и алгоритм на основе критерия оптимизации РСП, что позволяет произвести ресурс-стоимостную оценку раскроя и выбрать экономически выгодный вариант с минимизацией затрат на металл и получением поддетальной экономии.

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 (Ки) на 3,4–6,8 %; сформирован экономически обоснованный оптимальный сортмент 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.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

Публикации в других изданиях

5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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).

9. 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).

10. 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).

11. 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).

12. 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. Салтанова. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – 2014. – Вып. 20. – С. 56-61.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных

13. 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».

14. 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».

Личный вклад автора в опубликованных работах:

[5] – анализ программ и автоматизированных систем в области раскроя и перспективы решения задачи оптимального раскроя листового материала.

[4, 11, 13] – классификатор деталей из листового проката, определяющий структуру БД о подетальном раскрое, и уникальный код поиска данных.

[1, 7, 12] – математическая модель гильотинного раскроя металлопроката с применением ресурс-стоимостного показателя.

[2, 8, 14] – модифицированный алгоритм оптимального раскроя по минимальному значению ресурс-стоимостного показателя.

[3, 6, 9, 10] – БД «Кластер деталей «ПРОМ-2013» для управления информацией о подетальном раскрое металла и программа оптимизации раскроя «ПРОМ-2013» в зависимости от ресурс-стоимостного показателя.