

**Белозёров Максим Николаевич**

**ДИАЛогоВАЯ ПРОЦЕДУРА РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТИ В  
ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ И УПРАВЛЕНИЕ СЫРЬЕВЫМИ  
ЗАПАСАМИ В УСЛОВИЯХ МНОГОВАРИАНТНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЯ**

Специальность 05.13.01. – «Системный анализ, управление  
и обработка информации (в производственной сфере)»

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор  
Калашников Евгений Александрович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Рожков Игорь Михайлович

кандидат технических наук, доцент Сергеев Леонид Георгиевич

Ведущая организация: ОАО «Союзцветметавтоматика»

Защита состоится «14» апреля 2010 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д.212.132.07 в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Автореферат разослан «11» марта 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

к.т.н., профессор  
Калашников Е.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Особенностью любого современного производства является наличие большого количества материальных потоков, характеризующихся достаточно разнородной номенклатурой используемых в производственном цикле ресурсов. Так на предприятиях авиакосмического сектора, относящегося к одному из наиболее высокотехнологичных производств, используются различные комплектующие изделия и материалы. В литейной промышленности на металлургических предприятиях в качестве таких ресурсов служат как чистые металлы и неметаллические материалы, так и заранее приготовленные сплавы (лигатуры, вторичные сплавы), а также вторичное сырье, такое как, лом и отходы собственного производства. Кроме того, широкий перечень используемого сырья характерен для золотодобывающей, легкой и пищевой промышленности, лесопромышленного комплекса, строительства и многих других отраслей.

Одним из факторов, характеризующих представленные производства является то, что при определении номенклатуры и количества используемых при производстве готовой продукции исходных материалов могут применяться различные методы и технологии расчета. На сегодняшний день существует большое количество разнообразных методов расчета вариантов комплектования исходными материалами, к числу которых можно отнести такие методы, как, использование расходных коэффициентов, таблиц потребности, технологических карт, расчет вариантов шихтовок и другие методы. В то же время, при расчете состава исходных материалов, в каждой сфере производства имеются свои характерные особенности.

Одной из локальных задач, решаемых в диссертационной работе, является прогнозирование спроса на продукцию предприятия. Данная задача носит достаточно общий характер и принципы её решения одинаковы для различных сфер производств. В отличие от прогнозирования спроса, решение другой задачи диссертационной работы – разработки технологических вариантов использования сырья в условиях многовариантности комбинаций составов исходных материалов требует привязки к конкретной сфере производства.

Учитывая, что алюминиевая промышленность является стратегически важной отраслью экономики России, дальнейшее изложение материала будет представлено на примере металлургических предприятий, производящих алюминиевые сплавы и использующих в процессе производства вторичное сырье.

Россия является одним из крупнейших производителей алюминия в мире (вторым после Китая) и самым крупным экспортером этого металла. Объем производства алюминия вырос в 2003 году по отношению к уровню 1990 года на 19%, а к уровню 1994 года (экстремальному минимуму) - на 30%, выпуск глинозема увеличился, соответственно, на 5% и на 64%.

Конструкционные материалы на основе алюминия широко используются в оборонной промышленности, автомобилестроении, авиации, строительстве и электротехнике, в производстве бытовых, пищевых и медицинских товаров. Алюминий – металл высоких технологий. На его основе создаются новые материалы и техника, которые радикально и благоприятно изменяют условия жизнеобеспечения человека и способствуют решению глобальных мировых проблем – энергосбережения и экологической безопасности.

С использованием специальных сплавов можно добиться значительного повышения механической прочности этого металла, что позволяет изготавливать из него относительно легкие, но прочные конструкции, достаточно востребованные на современном рынке. Кроме того, современные марки алюминиевых сплавов отличаются малой объемной массой и повышенными пластическими характеристиками при низких температурах. Изделия и конструкции из них при ударе не дают искр, обладают антимагнитностью, огне- и сейсмостойкостью.

С началом использования алюминиевых сплавов возник вопрос подбора необходимого состава исходных материалов, которые должны обеспечить возможность получения сплава требуемого качества. Однако, один и тот же сплав может быть получен с применением различных исходных материалов, затраты на которые могут составлять до 90% себестоимости сплава. Поэтому одним из самых важных становится вопрос оптимизации состава шихты, которая позволила бы сократить себестоимость продукции за счет рационального и экономного расходования всех видов ресурсов, снизить их потери и улучшить использование вторичных ресурсов и отходов производства.

Работы по изучению методов подбора необходимого состава шихты ведутся, начиная, с 40-х годов XX века. В настоящее время предложено большое количество разнообразных моделей и подходов, позволяющих решить задачу расчета оптимальных вариантов её состава. Однако именно наличие большого количества предполагаемых вариантов решений даже для однотипных производств характеризует сложность и актуальность данной проблемы.

**Цель и задачи диссертационной работы.** Целью настоящей диссертационной работы является разработка диалоговой процедуры расчета потребности в исходных материалах и управления сырьевыми запасами в условиях многовариантности комбинаций используемых составов сырья.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе были решены следующие задачи исследования:

- исследование существующих методов интеллектуального анализа данных и методов прогнозирования величины потребительского спроса и создание на их основе гибкого, многоуровневого алгоритма

прогнозирования величины потребительского спроса на продукцию предприятия;

- исследование существующих методов расчета оптимального состава шихты и анализ основных причин затрудняющих их использование в условиях производства вторичных алюминиевых сплавов;
- построение математической модели и алгоритмов расчета множества рациональных шихтовок;
- построение математической модели и алгоритмов расчета интенсивности использования множества рациональных шихтовок с учетом наличия сырья на складе предприятия при суточном планировании производства;
- решение задачи расчета использования рациональных шихтовок при долгосрочном планировании производства с учетом наличия сырья на складе предприятия;
- построение математической модели решения задачи формирования плана закупок при долгосрочном планировании производства;
- разработка структурной схемы моделирующего алгоритма диалоговой человеко-машинной системы автоматизации процессов долгосрочного планирования и управления производственным процессом предприятия;
- проверка работоспособности предполагаемого метода на примере металлургического завода по производству вторичных алюминиевых сплавов.

**Методы исследования.** Научные исследования были выполнены на основе методов интеллектуального анализа данных с применением систем интеллектуального анализа и обработки информации, методов решения задач непрерывного и дискретного программирования, алгоритмов векторной оптимизации, целевого программирования.

Для разработки программного обеспечения использовались CASE-средства и технологии создания информационных систем, объектно-ориентированный язык программирования и язык структурированных запросов.

**Научная новизна.** Основным научным результатом диссертационной работы является разработка диалоговой человеко-машинной процедуры решения задачи автоматизации процессов долгосрочного планирования и управления процессом подготовки производства.

При этом:

- в целях повышения качества решения задачи долгосрочного планирования производства, разработан гибкий, многоуровневый сценарий прогнозирования величины потребительского спроса на продукцию предприятия;
- сформулирована и решена задача расчета множества рациональных шихтовок в виде задачи векторной оптимизации;

- на основе рассчитанного множества рациональных шихтовок сформулирована и решена задача определения графика расхода шихтовых материалов с учетом их наличия на складе для краткосрочного и долгосрочного планирования;
- сформулирована и решена задача формирования плана закупок при долгосрочном и оперативном планировании производства.

**Практическая значимость полученных результатов.** Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что предложенный в диссертационной работе подход к решению задачи автоматизации процессов долгосрочного планирования и управления производственным процессом предприятия может быть использована в любых отраслях промышленности, не зависимо от типа выпускаемой предприятием продукции.

В настоящее время фрагменты структурной схемы моделирующего алгоритма находятся в стадии опытной эксплуатации в Федеральном государственном унитарном предприятии «Научно-производственное предприятие – Всероссийский Научно Исследовательский Институт Электромеханики с заводом имени А.Г. Иосифьяна», Москва.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждались на:

международной казахско-российско-японской научной конференции и VI российско-японском семинаре «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов» в 2008 году;

XI Международной конференции Когнитивное моделирование в лингвистике «Обработка текста и когнитивные технологии» в 2009 году.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 7 работ включая две работы в изданиях рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 149 наименований и приложения. Основной объем работы изложен на 120 страницах и включает 21 рисунок и 51 таблицу.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе диссертационной работы** рассмотрены основные методы и модели, используемые при прогнозировании величины потребительского спроса на продукцию предприятия, рассмотрены используемые в настоящее время при производстве вторичных алюминиевых сплавов методы расчета оптимальных вариантов состава шихты.

В условиях современного рынка для любой компании одним из наиболее перспективных направлений повышения конкурентоспособности является оптимизация и планирование ее деятельности. При производстве вторичных алюминиевых сплавов для разных металлургических комбинатов могут быть сформулированы свои специфические цели деятельности. Перед отдельным предприятием может стоять задача выбора приоритетного вида продукции исходя из имеющегося запаса шихтовых материалов на складе. Однако в условиях современного рынка наиболее актуальной становится стратегия ориентации на заказ. В этом случае перед металлургическим заводом стоит задача полного выполнения заказа. К тому же, в условиях существующих ограничений на доступность шихтовых материалов на сырьевом рынке, данная задача усложняется и преобразуется в задачу выполнения заказа в условиях ограниченности шихтовых материалов на складе конкретного предприятия. Одной из основных задач, решаемых при этом, является прогнозирование объемов потребительского спроса, которая позволяет не только планировать закупки, оптимизировать их объемы, и как следствие, увеличивать товарооборот, но и повысить эффективность использования склада, увеличить оборачиваемость денежных средств и сократить издержки.

Вместе с этим, прогнозирование объемов потребительского спроса является одной из самых сложных аналитических задач. Проблемы её решения обусловлены многими причинами – недостаточным качеством и количеством исходных данных, на основе которых строится прогноз, нестабильностью факторов внешней и внутренней среды, в которой протекает процесс, а так же воздействием различных субъективных факторов. Однако именно качественный прогноз является ключом к решению таких бизнес задач как оптимизация процессов производства, планирования ресурсов, финансовых потоков.

По оценкам зарубежных и отечественных систематиков прогностики к настоящему времени насчитывается уже свыше ста методов прогнозирования. В связи с этим, перед аналитиками возникает задача выбора методов, позволяющих выдавать адекватные прогнозы для изучаемых процессов или систем. Обобщенная схема классификации методов прогнозирования приведена на рисунке 1.

Прогнозирование объема потребительского спроса на продукцию предприятия является неотъемлемой частью процесса принятия решения и

позволяет наиболее полно раскрыть преимущества компании и своевременно выявлять потенциальные угрозы.

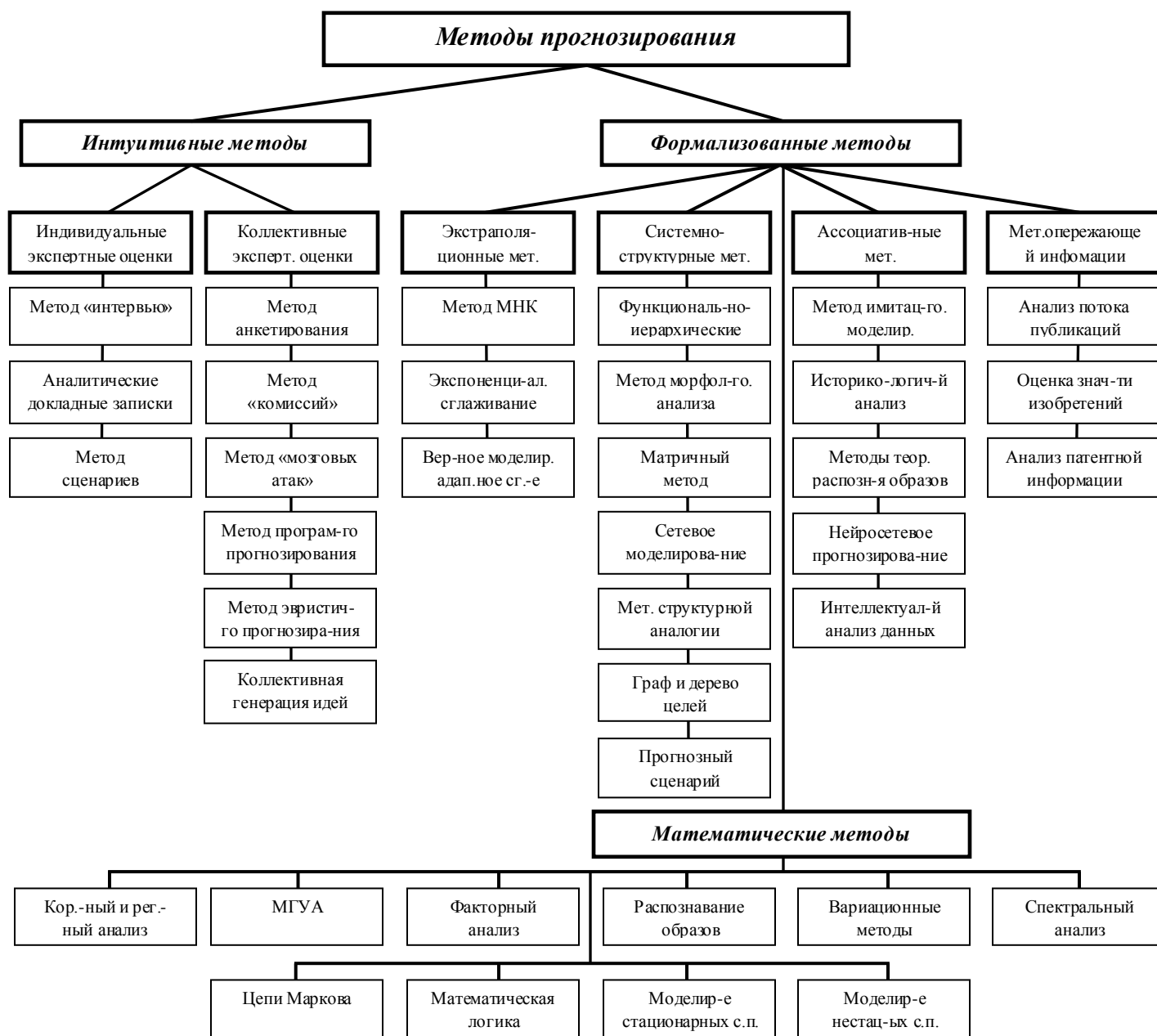


Рис. 1 Классификационная схема методов прогнозирования

Для выплавки сплава заданного состава необходимо предварительно составить шихту, которая должна, обеспечить возможность получения жидкого сплава требуемого качества. В условиях относительного дефицита сырьевых материалов, образовавшегося на сегодняшний день в отрасли, предприятие не всегда имеет возможность закупить полный перечень необходимого производству сырья. Поэтому для организации эффективной работы предприятия и обеспечения заданного качества конечного продукта возникает потребность в проведении предварительных расчетов оптимального состава исходного сырья. Кроме того



предварительные расчеты позволяют сделать расход шихты как можно более рациональным и экономичным. Для расчета оптимальных вариантов состава шихты традиционно используются два основных подхода.

Методика первого подхода заключается в расчете одного единственного варианта состава шихты для каждого вида сплава. Полученный вариант используется для производства соответствующего вида сплава как единственно возможный. Математическая модель решения задачи расчета рациональных вариантов состава шихты для первого подхода приведена в [1].

Учитывая, что наличие материалов на складе постоянно меняется, использовать один единственный вариант подбора шихты не представляется целесообразным. На предприятии может возникнуть экономически необоснованный профицит запасов одного сырья и дефицит запасов другого. В свою очередь, избыточность сырьевых запасов ведет к неоправданному увеличению издержек на их содержание (хранение), отвлечению свободных денежных средств из реального сектора экономики, снижению рентабельности торговой деятельности и, как следствие, снижению дохода предприятия. Дефицит сырья может привести к более серьезным последствиям. В условиях всеобщего дефицита предложений на шихтовые материалы, если предприятие не сможет в достаточном количестве восполнить отсутствующее на складе сырье, план производства требуемых видов сплавов выполнен не будет. Следовательно, потребительский спрос будет не удовлетворен. Таким образом, в результате дефицита даже одного шихтового компонента, предприятие может понести значительные убытки.

В основе второго подхода лежит расчет варианта состава шихты на текущую плавку в зависимости от наличия сырья на складе предприятия. Такой подход позволяет находить рациональный вариант шихтовки для производства конкретного сплава, в то же время, для производства одного и того же сплава каждый раз используются различные варианты шихтовки. Математическая модель решения задачи расчета рациональных вариантов состава шихты для второго подхода приведена в [1].

При использовании различных вариантов шихтовки для одного и того же сплава, теряется свойство унификации множества возможных вариантов шихтовок. При этом у предприятия отсутствует возможность планирования оптимальной номенклатуры и объема закупаемого сырья. Отсутствие экономически обоснованных методов планирования закупки ресурсов на предприятии и приемлемых для рыночных условий методик управления товарными запасами, как правило, приводит к экономически необоснованному профициту запасов одного сырья и дефициту запасов другого.

**Во второй главе диссертационной работы** предложена новая методика расчета потребности в исходных материалах и управления сырьевыми запасами при производстве вторичных алюминиевых сплавов.

Оба рассмотренных в первой главе традиционных подхода расчета оптимальных вариантов состава шихты являются диаметрально противоположными и обладают рядом существенных недостатков, ограничивающих возможность их эффективного использования для решения поставленной задачи выполнения заказа в условиях ограниченности наличия шихтовых материалов на складе предприятия. Одним из таких недостатков является отсутствие стандартов унификации возможных вариантов шихтовок. Используется либо один вариант шихтовки, либо каждый раз рассчитывается новый вариант. В обоих случаях предприятия не могут оптимизировать складские запасы и планировать перспективные закупки сырья. Другой недостаток заключается в отсутствии оценки объемов предстоящих плавов, при планировании расхода сырья. По этой причине нельзя решить задачу планирования необходимого количества запасов сырья для выполнения производственного плана. Следующим недостатком является то, что оба подхода не позволяют рассчитать оптимальный объем закупок сырья, в том случае, если имеющееся его количество на складе не достаточно для выполнения запланированного объема плавов.

Перечисленные недостатки традиционных подходов являются обоснованием необходимости разработки нового подхода, использование которого позволит их исключить.

Методика нового подхода состоит в расчете унифицированной рецептуры, использование которой позволило бы получить оптимальное решение под различные варианты состояния склада. При расчете унифицированной рецептуры используется гибкая, многоэтапная, диалоговая процедура, включающая такие этапы, как прогнозирование величины потребительского спроса на продукцию предприятия, расчет рациональных вариантов шихтовок, расчет графика использования вариантов шихтовок, а так же, расчет оптимальной номенклатуры и объема закупки недостающего сырья.

В основе предложенного подхода лежит расчет унифицированного набора рациональных шихтовок для каждого сплава. В дальнейшем при производстве сплавов из полученного набора выбирается вариант шихтовки, удовлетворяющий складским запасам исходных шихтовых материалов. При этом на основе расчета прогнозного значения объема предстоящих плавов и определения интенсивности использования сырья, становится возможным решение задачи оценки потребности в материальных ресурсах, а также организация планирования их последующих закупок.

Использование предложенного подхода позволит существенно повысить качество принимаемых решений при выборе оптимальных вариантов шихтовок с учетом спроса и наличия сырья на складе. В результате предприятия алюминиевой промышленности смогут оптимизировать товарные запасы, путем их более рационального

использования и планировать закупку недостающего для выполнения прогнозного производственного плана сырья.

Укрупненная структурная схема моделирующего алгоритма нового подхода, представлена на рисунке 2.

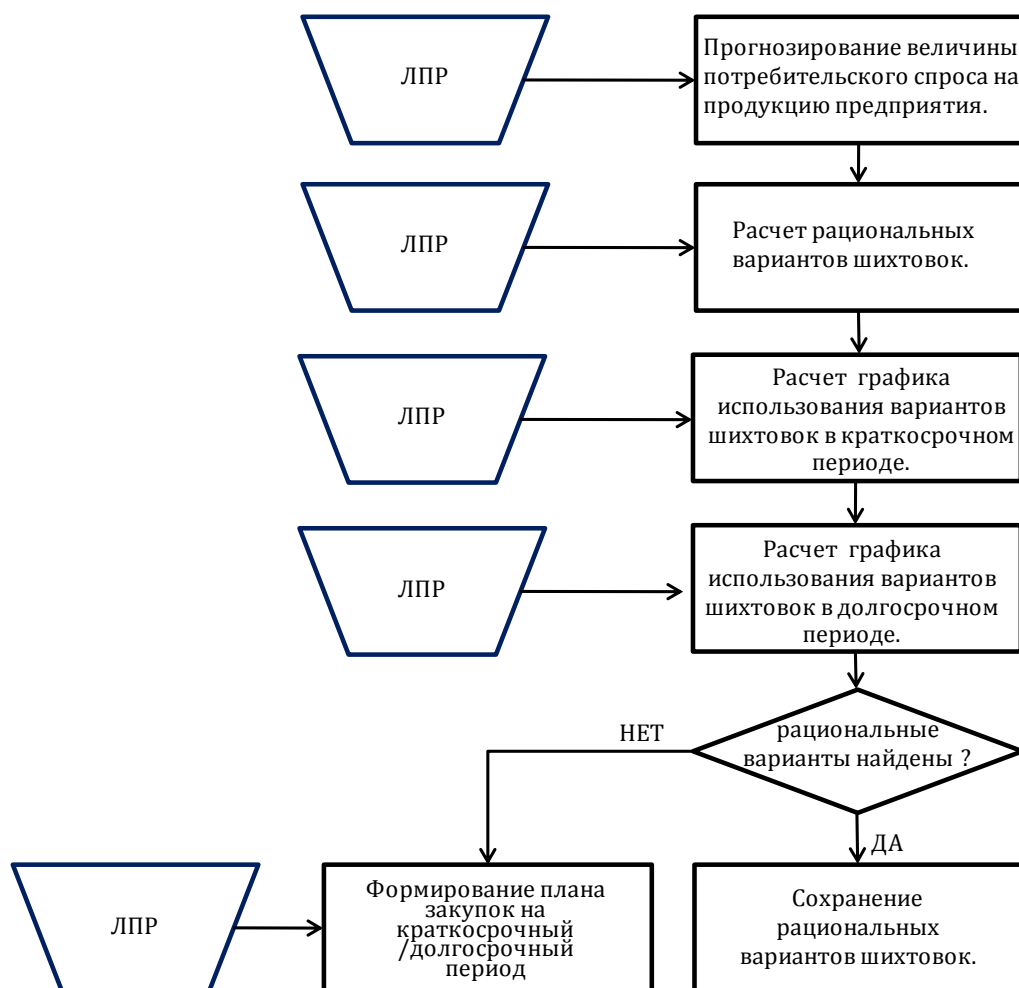


Рис. 2 Укрупненная структурная схема моделирующего алгоритма

Обобщенная концептуальная модель управления процессом прогнозирования спроса на рынке для предприятия состоит из следующих этапов:

Этап 1. Сбор данных. На данном этапе осуществляется сбор необходимых данных и их обязательная верификация. Этот этап особо значим для процесса прогнозирования, и обеспечивает формирование информационного базиса всего процесса прогнозирования.

Этап 2. Редукция данных. Объем информации, полученный на выходе первого этапа, зачастую очень велик. Поэтому требуется выбрать из имеющихся данных максимальное число значащих факторов. Необходимо выбрать интервал наблюдений (глубину погружения), то есть, количество предшествующих значений временного ряда, на основании которых осуществляется прогноз и определить дополнительные факторы,

влияющие на поведение спроса – прогнозируемой величины. Далее, из входных данных устраняются несущественные и редко встречающиеся факторы. Результатом второго этапа является совокупность значащих факторов, учитываемых и анализируемых в модели прогнозирования.

Этап 3. Построение модели и ее оценка. Этап состоит в выборе прогностической модели, наиболее соответствующей особенностям собранных данных, отвечающим требованиям минимизации ошибки прогноза.

Этап 4. Экстраполяция выбранной модели. На данном этапе осуществляется верификация выбранной модели прогнозирования путем составления прогноза на основании собранных фактических данных.

Этап 5. Оценка полученного прогноза. Оценка полученного прогноза состоит в сравнении вычисленных при помощи прогнозной модели величин с их наблюдаемыми значениями в текущий момент. Обнаруженные ошибки анализируются и производится соответствующая корректировка модели. Обобщенный алгоритм процесса прогнозирования спроса представлен на рисунке 3.

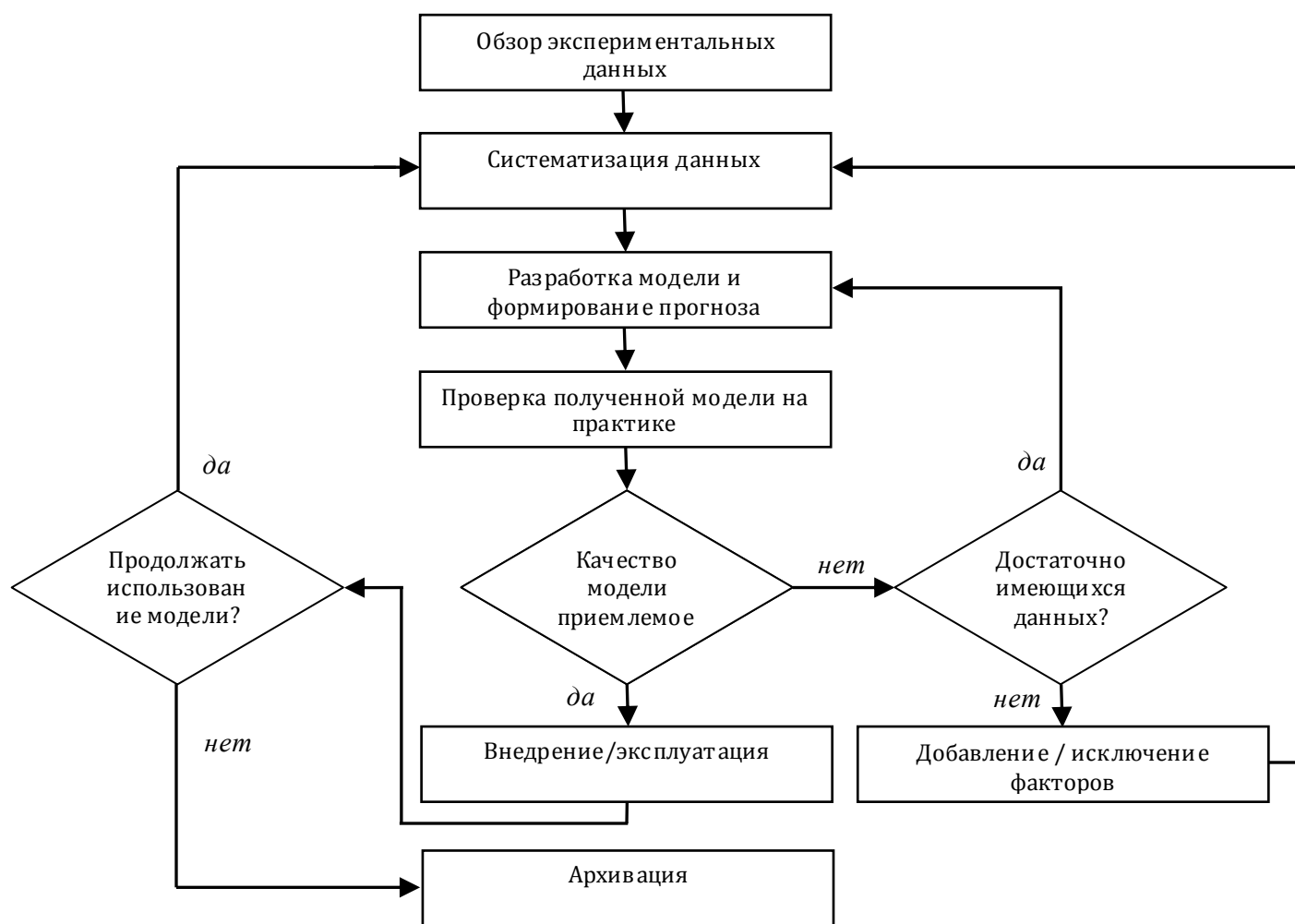


Рис. 3 Обобщенный алгоритм процесса прогнозирования спроса

На сегодняшний день на рынке программного обеспечения представлено достаточное количество прикладных инструментов, реализующих методы Knowledge Discovery in Databases (KDD) и Data Mining. Рынок таких программных средств постоянно развивается, однако уже сейчас можно выделить некоторые стандарты де-факто в этой области и условно разделить программное обеспечение на несколько сегментов:

- табличные редакторы с Data Mining возможностями
- статистические пакеты с Data Mining возможностями
- настольные Data Mining пакеты
- аналитические платформы
- СУБД с набором алгоритмов Data Mining

На рисунке 4 представлен возможный вариант сценария прогнозирования величины потребительского спроса на основе данных об истории объемов плавки за определенный фиксированный период с использованием аналитической платформы Deductor.

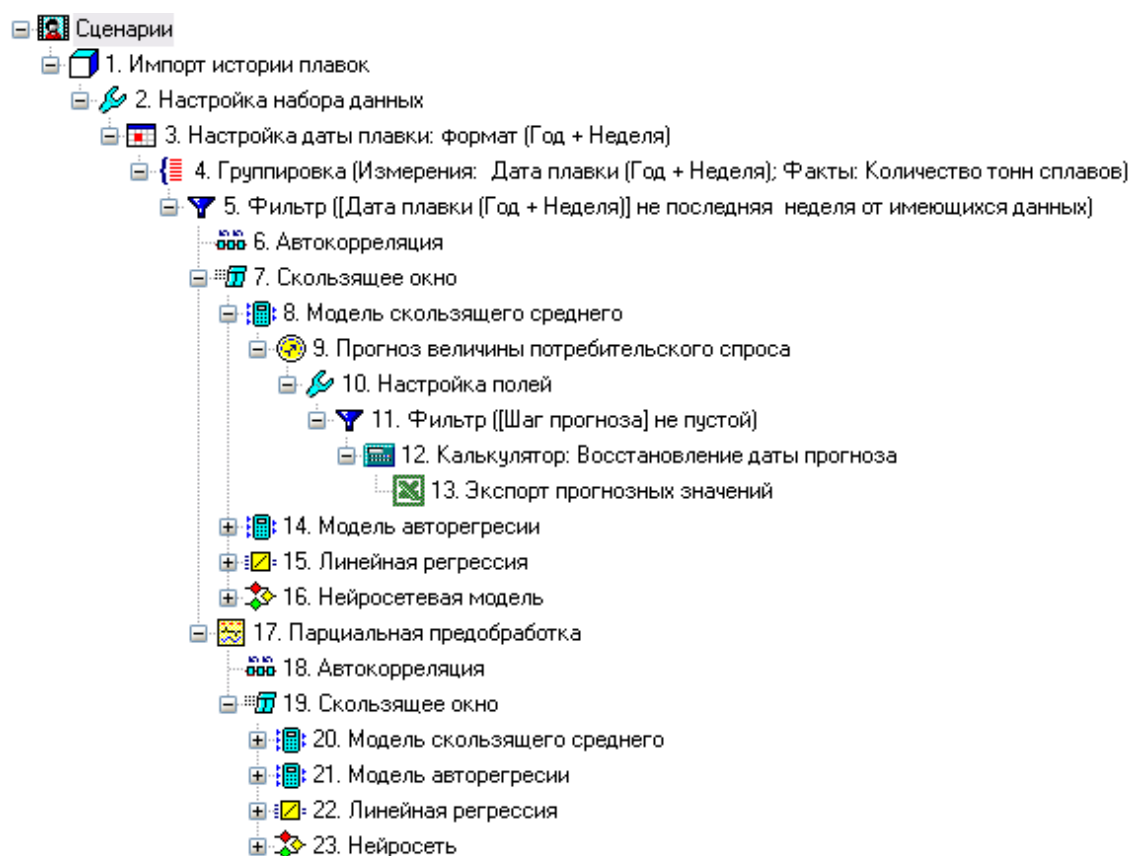


Рис. 4 Вариант сценария прогнозирования величины потребительского спроса

Один и тот же состав сплава может быть получен различными комбинациями исходных шихтовых материалов, следовательно, составление шихты является задачей, допускающей многовариантные решения. Нахождение наилучшего варианта возможно лишь при выборе

определенного критерия. С точки зрения экономии материалов таким критерием может служить стоимость шихты. Поэтому в более общем смысле задачей расчета шихты является установление такой комбинации шихтовых материалов, которая обеспечивает получение сплава требуемого химического состава и в то же время характеризуется наименьшей стоимостью. Математическая модель линейного программирования для решения задачи оптимизации шихты формулируется следующим образом: требуется найти вектор  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , удовлетворяющий следующим ограничениям:

1) Ограничения на количество шихтовых материалов: прежде всего, все неизвестные должны быть неотрицательными, поэтому

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n} \quad (1)$$

где:  $x_j$  – количество тонн  $j$ -ого вида шихтового материала, используемого в завалке;  $j$  – индекс вида сырья;  $n$  – общее количество исходных групп сырья.

2) Ограничение на вес завалки:

$$\sum_{j=1}^n x_j k_j = Q_{\text{снл}} \quad (2)$$

где:  $Q_{\text{снл}}$  – 1 тонна готового сплава,  $k_j$  – коэффициент шихты  $j$ -го шихтового материала, характеризующий фактическое извлечение готового сплава из  $j$ -го шихтового материала.

3) Ограничения на химический состав готового сплава и исходных групп сырья:

$$b_i G \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq B_i G \quad (3)$$

где:  $b_i, B_i$  – нижний и верхний предел содержания  $i$ -ого химического элемента в готовом сплаве  $i = \overline{1, s}$ ;  $a_{ij}$  – массовая доля содержания  $i$ -ого химического элемента в  $j$ -ой группе отходов.

4) Ограничение на извлечение готового сплава (выход годного):

$$i_{\min} \leq \frac{Q_{\text{снл}}}{G} \times 100\% \leq i_{\max} \quad (4)$$

где:  $Q_{\text{снл}}$  – 1 тонна готового сплава;  $G$  – вес завалки, требуемый для производства 1 тонны сплава;  $i_{\min}$  – минимальное извлечение, %;  $i_{\max}$  – максимальное извлечение, %.

Учитывая, что потери при плавке для различных видов сырья представляют собой разные величины, обоснованным является введение целевой функции:

При выполнении заданных ограничений искомый вектор  $x = (x_1, \dots, x_n)$  должен минимизировать целевую функцию

$$F(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (5)$$

где:  $c_j$  – стоимость 1 тонны  $j$ -го шихтового материала.

Характерной особенностью описанной задачи является то, что количество групп сырья намного больше числа контролируемых химических элементов:  $n \gg s$ . В связи с этим число не нулевых компонент решения задачи будет очень высоким. Модель будет сложной для реализации. Существует два метода уменьшения количества не нулевых компонент.

Первым из них является возможность привлечения ЛПР.

Во втором методе для определения конечного множества рациональных вариантов шихтовок для каждого вида сплава необходимо ввести в модель дополнительное требование.

Данное требование заключается в минимизации множества видов исходных материалов используемых при получении сплава. Решение такой задачи может быть осуществлено, по крайней мере, двумя методами.

Реализация первого метода заключается в поэтапном исключении из имеющегося множества шихтовых материалов, используемых для выплавки требуемых сплавов, самых дорогих групп сырья для снижения затрат на материалы.

В этом случае математическая модель расчета рациональных шихтовок имеет вид задачи векторной оптимизации, и может быть сформулирована следующим образом: при тех же ограничениях, необходимо минимизировать число ненулевых компонент вектора  $x = (x_1, \dots, x_n)$

Целевая функция может быть записана в следующем виде:

$$F(x) = \min\{ F_1(x), F_2(x) \} \quad (6)$$

где:

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$F_2(x) = \sum_{j=1}^n \operatorname{sgn} x_j$$

В работе предложена схема квазилексикографической оптимизации с уступкой назначенной ЛПР.

Вторым методом решения задачи является использование диалоговых процедур с привлечением эксперта. В данном случае ЛПР на основе собственного практического опыта и знаний принимает решение об исключении определенных групп сырья. При этом он учитывает существующие в данный конкретный момент времени ограничения. В качестве одного из таких ограничений, например, может быть возможность или невозможность закупки определенного вида сырья в текущий момент времени. Такая возможность также может быть предоставлена ЛПР.

При использовании в плавках набора шихтовок необходимо учитывать наличие сырья на складе предприятия. Математическая модель при этом формулируется следующим образом: найти вектор  $x = (x_{11}, \dots, x_{ij})$ , удовлетворяющий следующим ограничениям:

1) Ограничения на количество тонн требуемых видов сплавов: прежде всего, все неизвестные должны быть неотрицательными

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n} \quad (7)$$

где:  $x_{ij}$  – количество тонн  $i$ -го сплава, производимого по  $j$ -ой технологии;  $i$  – индекс вида алюминиевого сплава;  $j$  – индекс варианта шихтовки для выплавки сплава;

2) Ограничение на объем сплавов, определяемое производительностью печей:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq P \quad (8)$$

где:  $P$  – производительность печей, т

Производительность печей определяется по формуле (10)

$$P = T \times M \times k \times n \quad (9)$$

где:  $M$  – масса сплава, полученная при плавке, исходя из объема печи, т;  $k$  – количество работающих печей;  $n$  – количество плавов в сутки на рассматриваемой печи;  $T$  – период расчета, сут.

3) Ограничения на выполнение прогнозного плана по производству заданных видов сплавов:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq B_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (10)$$

где:  $m$  – количество видов сплавов;  $B_i$  – прогнозный объем плавов  $i$ -го вида сплава.

4) Ограничение на наличие сырья на складе:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ijk} x_{ij} \leq D_k, \quad k = \overline{1, K} \quad (11)$$

где:  $k$  – индекс  $k$ -го вида шихтового материала;  $K$  – количество видов шихтовых материалов;  $a_{ijk}$  – количество  $k$ -го вида шихтового материала, требуемого для производства 1 тонны  $i$ -го сплава по  $j$ -ой технологии;  $D_k$  – количество  $k$ -го вида шихтового материала на складе, т.

При выполнении заданных ограничений искомый вектор  $x = (x_1, \dots, x_n)$  должен минимизировать целевую функцию

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (12)$$



где:  $c_{ij}$  – стоимость 1 тонны  $i$ -го сплава, произведенного по  $j$ -ой технологии.

Предложенная модель может не подойти для краткосрочного, суточного планирования в связи с тем, что результатом решения часто является план плавов не кратный объемам печей. Такой результат требует корректировки, поэтому для суточного планирования необходим переход к задаче целочисленного линейного программирования добавлением ограничений  $x_{ij}=0, \delta_{ij}, 2\delta_{ij}, S\delta_{ij}$  где  $S \in N_0, \delta_{ij}$  – тоннаж печи для выплавки  $i$ -го сплава.

Однако использование данной модели оправдано при долгосрочном планировании производства.

В случае долгосрочного планирования величина  $D_k$  не известна, и задача может быть решена без ограничения (11). После решения задачи становится возможным расчет требуемое количество сырья (13).

$$\Delta D_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ijk} x_{ij} - D_k \quad (13)$$

где:  $\Delta D_k$  – подлежащее закупке количество  $k$ -го вида шихтового материала, т.

Однако, при этом не учитывается возможность отклонений как по плану, так и по производительности, а так же возможной уязвимости или сложности приобретения отдельных материалов.

В связи с этим для проведения расчетов оптимальных закупок сырья в настоящей работе предлагается использование одного из вариантов линейного программирования – целевого программирования.

Общий вид математической постановки задачи можно представить в следующем виде:

1) Ограничения на выполнение месячного плана по производству заданных видов сплавов:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + d_{i1}^- = B_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (14)$$

где:  $m$  – количество видов сплавов;  $x_{ij}$  – количество тонн  $i$ -го вида сплава, производимого по  $j$ -ой технологии;  $d_{i1}^-$  – недовыполнение плана производства  $i$ -го вида сплава;  $B_i$  – спрогнозированный объем плавов  $i$ -го вида сплава.

2) Ограничение на наличие сырья на складе:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ijk} x_{ij} + d_{k2}^- - d_{k2}^+ = D_k \quad k = \overline{1, K} \quad (15)$$

где:  $k$  – индекс  $k$ -го вида шихтового материала;  $K$  – количество видов шихтовых материалов;  $a_{ijk}$  – количество  $k$ -го вида шихтового материала, требуемого для производства 1 тонны  $i$ -го сплава по  $j$ -ой технологии;  $D_k$  – количество  $k$ -го вида шихтового материала на складе, т.;  $d_{k2}^-, d_{k2}^+$  – недорасход/дозакупка  $k$ -го вида шихтового материала при производстве  $i$ -го сплава.

3) Ограничение на объем сплавов, определяемое производительностью печей:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + d_3^- = P \quad (16)$$

где:  $d_3^-$  – недоиспользование производительности печей;  $P$  – производительность печей, т.

Целевую функцию можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & P_1 d_{i1}^- + P_2 (W_{12}^- d_{12}^- + W_{22}^- d_{22}^- + \dots + W_{n2}^- d_{n2}^-) + \\ & + P_3 (W_{12}^+ d_{12}^+ + W_{22}^+ d_{22}^+ + \dots + W_{n2}^+ d_{n2}^+) + P_4 d_3^- \quad (17) \end{aligned}$$

где:  $Z$  – целевая функция, записанная в форме задачи целевого программирования;  $P_k$  – приоритет  $k$ -ой цели,  $k = \overline{1,4}$ ;  $W_k$  – вес отрицательной переменной отклонения  $k$ -ой цели;  $W_{k+}$  – вес положительной переменной отклонения  $k$ -ой цели; знак  $+$  означает что минимизация выполняется в соответствии с приоритетом записанных целей, носит условное обозначение.

Таким образом, в данной главе был предложен новый подход расчета оптимального состава шихты для производства алюминиевых сплавов.

Новый подход представляет собой диалоговую человеко-машинную систему решения задачи автоматизации процессов стратегического планирования и управления производственным процессом предприятия и включает следующие основные этапы: прогнозирование величины потребительского спроса на продукцию предприятия, расчет множества рациональных шихтовок в виде задачи векторной оптимизации при планировании производства с учетом наличия сырья на складе, формирование плана закупок шихтовых материалов при планировании производства.

Использование предложенного в диссертационной работе нового подхода позволит существенно повысить качество принимаемых решений при выборе оптимальных вариантов шихтовок с учетом наличия сырья на складе при подготовке производства алюминиевых сплавов. В результате предприятия алюминиевой промышленности получают возможность оптимизировать товарные запасы, путем их более рационального использования и планировать закупку недостающего для выполнения прогнозного производственного плана сырья.

**В третьей главе диссертационной работы** рассмотрены основные результаты практического применения предложенного подхода при производстве вторичных алюминиевых сплавов.

Для оценки величины потребительского спроса в данной работе были рассмотрены следующие методы прогнозирования: линейная регрессия, модель скользящего среднего, модель нейронной сети. В качестве информационного массива прогноза взят временной ряд истории плавов. Для оценки качества прогностической модели использовался метод инверсной верификации в ретроспективном периоде. В качестве периода упреждения прогноза взят временной интервал равный двум неделям. В таблице 1 приведены результаты прогнозирования потребительского спроса для сплава АК12.

**Таблица 1. Прогноз величины потребительского спроса для сплава АК12**

Дата плавки	Фактический объем (т.)	Прогноз, линейная регрессия (т.)	Прогноз, нейронная сеть (т.)
21.06.2004–27.06.2004	113	65	130
28.06.2004–04.07.2004	29	36	25

При решении задачи оптимизации шихты получено, что затраты на сырье составляют 1627 у.е./т. при полученном коэффициенте шихты 1,1, 1882 у.е./т с коэффициентом шихты 1,12 и 2002 у.е./т при использовании в модели данных завода. Химический состав сплава, полученный в заводских условиях, не соответствует стандарту, следовательно, необходима доводка, что приведет к дополнительным затратам. Таким образом, удалось получить более точное решение, как по химическому составу, так и по стоимости, в отличие от заводских данных.

Сравнительные результаты расчета химического состава расчетных и заводских сплавов для сплава АК2М5 приведены в таблице 2. Сравнительные результаты расхода шихты для расчетных и заводских сплавов для сплава АК2М5 приведены в таблице 3.

**Таблица 2. Сравнительные значения химического состава расчетных и заводских сплавов**

Основные компоненты и примеси	Химический состав АК5М2 (ГОСТ 1583-93), массовая доля, %	Химический состав АК5М2 (коэффициент шихты 1,1), массовая доля, %	Химический состав АК5М2 (заводские условия), массовая доля, %
Cu	1,5 - 3,5	1,8	3,5
Si	4,0 - 6,0	4	4,3
Mg	0,2 - 0,85	0,85	1,5
Mn	0,2 - 0,8	0,3	1,3
Fe	1	1	1
Сумма примесей	2,8	2,7	2,8

**Таблица 3. Сравнительные значения расхода шихты для расчетных и заводских сплавов**

Шихтовые материалы	Цена, у.е./т	Расход сырья на 1 т сплава, т	
		Коэффициент шихты 1,1	Заводские условия
Алюминиевая стружка (Б III)	1800	0,039	0
А IX	1400	0,604	0,132
А III (банки)	1700	0,226	0,023
А III	1850	0	0,353
А VI	1950	0,229	0,395
А VIII (АМГ)	1900	0	0,057
А I (АЖ)	1900	0	0,114
А X	1200	0	0,04
Итого:		1,098	1,114

В соответствии с новым подходом, необходимо подобрать конечный набор шихтовок для каждого вида сплава, с тем, чтобы не рассчитывать оптимальный расход сырья на каждую плавку и не следовать одному единственному варианту подбора шихты.

На основании рассмотренной ранее модели в соответствии с предложенным алгоритмом и данными, полученными на заводе, было выбрано пять вариантов оптимальных шихтовок для каждого вида сплава.

В таблицах 4, 5 представлены примеры наборов рациональных шихтовок для сплавов АК5М2 и ADC12 полученные при определении конечного множества рациональных вариантов шихтовок.

**Таблица 4. Примеры набора шихтовых для сплава АК5М2 (расчет на 1 тонну)**

Вариант шихтовки	Расход сырья для выплавки 1 тонны сплава, т												Стоимость, у.е./т
	А I	А II	А III (банки)	А IV (АД31)	А V	А IX	А X	А V-VII	Б III	Б VI	А VIII (АМГ)	А I (АЖ)	
1	0,361	0,004	-	0,226	0,506	-	-	0,001	-	-	-	-	2081
2	-	-	-	-	0,345	-	-	-	0,057	-	0,697	-	2071
3	-	-	0,148	-	0,297	0,202	0,185	-	-	-	0,144	0,144	1882
4	-	-	-	-	0,506	0,368	0,16	-	-	-	0,076	0,01	1857
5	0,018	0,014	-	0,001	0,233	-	0,581	-	-	0,274	-	-	1600

**Таблица 5. Пример набора шихтовых для сплава ADC12 (расчет на 1 тонну)**

Вариант шихтовки	Расход сырья для выплавки 1 тонны сплава, т							Стоимость, у.е./т
	А VI	А IX	А X	Б VI	А VIII (АМГ)	А II (АМЦ)	АК5М2	
1	1,068	-	-	-	-	0,045	0,007	2187
2	0,273	-	-	-	-	-	0,818	2128
3	1,061	-	0,026	-	-	-	-	2100
4	-	-	-	0,786	-	-	0,306	1743
5	0,105	0,013	0,004	0,990	0,008	-	-	1629

В таблицах 6, 7 представлены результаты расчета рациональных шихтовых для сплавов АК5М2 и ADC12 из набора шихтовых с учетом наличия сырья на складе.

**Таблица 6. Результаты выбора рациональных шихтовых для сплава АК5М2**

Вариант шихтовки	А I	А II	А III (банки)	А IV (АД31)	А V	А IX	А X	А V-VII	Б III	Б VI	А VIII (АМГ)	А I (АЖ)	Стоимость, у.е./т	Количество сплава, т
1	0,361	0,004	-	0,226	0,506	-	-	0,001	-	-	-	-	2081	0
2	-	-	-	-	0,345	-	-	-	0,057	-	0,697	-	2071	0
3	-	-	0,148	-	0,297	0,202	0,185	-	-	-	0,144	0,144	1882	0
4	-	-	-	-	0,506	0,368	0,16	-	-	-	0,076	0,01	1857	0
5	0,018	0,014	-	0,001	0,233	-	0,581	-	-	0,274	-	-	1600	1500

**Таблица 7. Результаты выбора рациональных шихтовых для сплава ADC12**

Вариант шихтовки	А VI	А IX	А X	Б VI	А VIII (АМГ)	А II (АМЦ)	АК5М2	Стоимость, у.е./т	Количество сплава, т
1	1,068	-	-	-	-	0,045	0,007	2187	0
2	0,273	-	-	-	-	-	0,818	2128	0
3	1,061	-	0,026	-	-	-	-	2100	0
4	-	-	-	0,786	-	-	0,306	1743	0
5	0,105	0,013	0,004	0,990	0,008	-	-	1629	600

Полученные результаты показывают, что при наличии на складе всех материалов получены решения с минимальными затратами на шихту.

При отсутствии на складе того или иного сырья (например, группы AI, либо группы AIII,) которое используется при производстве сплава АК5М2 в двух вариантах шихтовок, предложенная модель реагирует на вносимые изменения, и соответственно меняет свое решение. В таблицах 8 и 9 представлены результаты выбора рациональных шихтовок для сплава АК5М2 при отсутствии на складе групп AI и AIII при суточном планировании производства.

**Таблица 8. Результат выбора рациональных шихтовок при отсутствии на складе группы AI**

Вариант шихтовки	AI	AII	AIII (банки)	AII (A Д31)	AVI	AIX	AX	AII-VII	Б III	Б VI	AVIII (AMГ)	AI (AJ)	Стоимость, у.е./т	Количество сплава, т
1	0,361	0,004	-	0,226	0,506	-	-	0,001	-	-	-	-	2081	0
2	-	-	-	-	0,345	-	-	-	0,057	-	0,697	-	2071	9
3	-	-	0,148	-	0,297	0,202	0,185	-	-	-	0,144	0,144	1882	8
4	-	-	-	-	0,506	0,368	0,16	-	-	-	0,076	0,01	1857	33
5	0,018	0,014	-	0,001	0,233	-	0,581	-	-	0,274	-	-	1600	0

**Таблица 9. Результат выбора рациональных шихтовок при отсутствии на складе группы AIII**

Вариант шихтовки	AI	AII	AIII (банки)	AII (A Д31)	AVI	AIX	AX	AII-VII	Б III	Б VI	AVIII (AMГ)	AI (AJ)	Стоимость, у.е./т	Количество сплава, т
1	0,361	0,004	-	0,226	0,506	-	-	0,001	-	-	-	-	2081	0
2	-	-	-	-	0,345	-	-	-	0,057	-	0,697	-	2071	0
3	-	-	0,148	-	0,297	0,202	0,185	-	-	-	0,144	0,144	1882	28
4	-	-	-	-	0,506	0,368	0,16	-	-	-	0,076	0,01	1857	22
5	0,018	0,014	-	0,001	0,233	-	0,581	-	-	0,274	-	-	1600	0

В результате расчета получаются варианты шихтовок, не соответствующие минимальным затратам, но при использовании этих вариантов не используется в качестве исходного материала группа сырья, отсутствующая в данный момент на складе, т.е. предложенная модель реагирует на вносимые изменения.

Однако, в случае отсутствия на складе достаточного количества литейного сырья (группа AIV), то оптимальное решение не будет найдено.

Это связано с тем, что, даже при выборе самых дешевых вариантов шихтовок и минимальном расходе литейного сырья, его складские запасы не позволят произвести нужный объем сплава.

В таблице 10 представлены результаты расчета вариантов реализации плана для производства сплава АК5М2 при увеличении производственного плана плавки до 2000 тонн.

**Таблица 10 – Вариант реализации плана для производства сплава АК5М2**

План  В	№	Варианты шихтовки					Перерасход шихтового материала											
		1	2	3	4	5	А I	А III	А III (банки)	А II (АД31)	А VI	А IX	А X	А V- VII	Б III	Б VI	А VIII (АМГ)	А I (АЖ)
2000	1	108,1	-	34,1	8,4	1 849,3	42,3	1,3	-	21,3	-	-	82,1	-	-	-	0,6	-

При заданных начальных условиях выполнение производственного плана в 2000 тонн сплава АК5М2 не возможно. Производственный план достигается за счет перерасхода сырья А I – 42,3 тонны, А III – 1,3 тонны, А III(банки) – 21,3 тонны, А X – 82,1 тонны, А VIII(АМГ) – 0,6 тонны. Для того, чтобы избежать перерасхода сырья, установим для этих групп более высокий приоритет в целевой функции.

В таблице 11 представлены результаты расчета вариантов реализации плана для производства сплава АК5М2 после увеличения приоритета в целевой функции для сырья А I, А III, А III(банки), А X, А VIII(АМГ).

**Таблица 11– Вариант реализации плана для производства сплава АК5М2**

План  В	№	Варианты шихтовки					Перерасход шихтового материала											
		1	2	3	4	5	А I	А III	А III (банки)	А II (АД31)	А VI	А IX	А X	А V- VII	Б III	Б VI	А VIII (АМГ)	А I (АЖ)
2 000	1	2,5	-	-	381,3	1 616,2	-	-	-	-	70,8	130,3	-	-	-	-	24,0	-

Не смотря на то, что в решении удалось избавиться от перерасхода сырья А I, А III, А III(банки), А X, появился перерасход по сырью А VI – 70,8 тоны, А IX – 130,3 тонны, А VIII(АМГ) – 24 тонны.

Для того чтобы избежать перерасхода сырья изменим приоритеты целевой функции: цель, имеющая наивысший приоритет –

минимизировать перерасход шихтовых материалов, вторая по значимости цель –минимизировать недовыполнения плана.

В таблице 12 представлены результаты расчета вариантов реализации плана для производства сплава АК5М2 после изменения приоритета целевой функции.

**Таблица 12 – Вариант реализации плана для производства сплава АК5М2**

План В	№	Варианты шихтовки					Недовыполнение плана
		1	2	3	4	5	ΔВ
2 000	1	-	-	28,7	11,4	1 666,7	293,2

Несмотря на то, что в данном решении отсутствует перерасход сырья, при заданных начальных условиях выполнение производственного плана в 2000 тонн сплава АК5М2 не возможно. Недовыполнение производственного плана составит 293,2 тонны.

Результаты использования целевого программирования для решения прикладной задачи позволили сделать следующие выводы:

- Использование целевого программирования при расчете оптимального расхода шихтовых материалов при производстве алюминиевых сплавов позволяет получить рациональные варианты реализации плана плавов в зависимости от состояния складских запасов сырья на предприятии.
- Достижение целей записанных в целевой функции непосредственно зависит от уровня приоритета данных целей.
- Использование модели целевого программирования позволяет определить какое сырье и в каком количестве необходимо закупить дополнительно для того, чтобы производственный план был выполнен полностью, либо насколько производственный план не может быть выполнен, при текущих складских запасах сырья.
- Изменяя приоритет целей целевой функции, решение задачи предлагает различные варианты реализации плана.
- Изменяя вес переменной отклонения в целевой функции, пользователь имеет возможность контролировать перерасход отдельных групп сырья.



## Основные результаты работы

В настоящей диссертационной работе **проведено** исследование основных методов и моделей используемых при прогнозировании величины потребительского спроса на продукцию предприятия, рассмотрены используемые в настоящее время при производстве вторичных алюминиевых сплавов методы расчета оптимальных вариантов состава шихты.

В ходе выполнения работы **выяснилось**, что на сегодняшний день уровень автоматизации учетной информации на предприятиях Российской промышленности можно признать довольно высоким. Во многих из них накоплена большая история производственной и технической информации. В связи с этим, появляется возможность использования широкого спектра аналитических инструментов для решения задачи прогнозирования величины потребительского спроса на продукцию предприятия. Установлено, что используемые в настоящее время на металлургических предприятиях методы подбора оптимальных вариантов шихтовок обладают рядом существенных недостатков, к числу которых можно отнести: отсутствие стандартов унификации возможных вариантов шихтовок, отсутствию оценки объемов предстоящих плавов, при планировании расхода сырья, отсутствие возможности расчета оптимального объема закупок сырья.

Данная работа, в свою очередь, **направлена** на разработку нового подхода, позволяющего устранить недостатки традиционных подходов. В основе нового подхода лежит расчет одного ограниченного набора рациональных шихтовок. В дальнейшем при производстве сплавов из полученного набора выбирается такой вариант шихтовки, который удовлетворяет складским запасам исходных шихтовых материалов. На основе расчета прогнозного значения объема предстоящих плавов и определения интенсивности использования сырья, решается задача оценки потребности в дополнительных материальных ресурсах, а также организации планирования их последующей закупки.

Предложенная в результате работы модель **позволила** существенно повысить качество принимаемых решений при выборе оптимальных вариантов шихтовок с учетом наличия сырья на складе. В результате предприятия алюминиевой промышленности смогут оптимизировать складские запасы, путем их более рационального использования и планировать закупку недостающего для выполнения прогнозного производственного плана сырья.

Проделанная работа привела к следующим практическим результатам:

- проведено исследование существующих методов интеллектуального анализа данных, методов прогнозирования величины потребительского спроса;

- исследованы существующие методы расчета оптимального состава шихты и проведен анализ основных причин затрудняющих их использование в условиях производства вторичных алюминиевых сплавов;
- построена математическая модель и алгоритм расчета множества рациональных шихтовок с учетом наличия сырья на складе предприятия;
- решена задача расчета рациональных шихтовок при суточном планировании производства с учетом наличия сырья на складе предприятия;
- решена задача расчета рациональных шихтовок при стратегическом планировании производства с учетом спрогнозированного спроса на продукцию предприятия и наличия сырья на складе предприятия;
- построена математическая модель решения задачи формирования плана закупок при долгосрочном планировании производства;
- разработана структурная схема моделирующего алгоритма диалоговой человеко-машинной системы расчета потребности в исходных материалах и управление сырьевыми запасами при производстве вторичных алюминиевых сплавов

**Основные положения диссертационной работы опубликованы в  
следующих работах:**

- 1) Белозёров, М. Н. Расчет графика использования конечного набора вариантов шихтовок / М. Н. Белозёров, Е. А. Калашников // Цветные металлы. – 2010. – № 3. – С. 88–91.
- 2) Белозёров, М. Н. Диалоговая процедура расчета потребности в исходных материалах и управление сырьевыми запасами при производстве вторичных алюминиевых сплавов / М. Н. Белозёров, Е. А. Калашников // Цветные металлы. – 2009. – № 10. – С. 75–78.
- 3) Belozyorov, M. N. The interactive multistep flexible method of calculation of raw materials requirement and inventories optimization in production of aluminum alloy materials / M. N. Belozyorov, E. A. Kalashnikov // Text processing and cognitive technologies : The XI-th International Conference Cognitive Modeling in Linguistics Proceedings, Constantza, September 7-14, 2009. – Kazan : KSU, 2009. – P. 452–463.
- 4) Белозёров, М. Н. Использование целевого программирования при решении задач поиска альтернативных решений при подготовке производства новых видов продукции / М. Н. Белозёров, Е. А. Калашников // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов : Труды I международной казахско-российско-японской научной конференции и VI российско-японского семинара, Усть-Каменогорск, 24–25 июня 2008 г. – М. : Интерконтактнаука, 2008. – С. 690-695.
- 5) Оптимизация состава и характеристик программных и технических средств используемых для построения АСУП : отчет о НИР (промежуточ.) / Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное предприятие – Всероссийский Научно Исследовательский Институт Электромеханики с заводом имени А. Г. Иосифьяна» ; рук. Макриденко Л. А. ; исполн.: Сычиков В. С. – М., 2007. – 124 с. – № ГР Ф40550. – Инв. № ОАБ.121.192.
- 6) Исследование существующих автоматизированных систем планирования и управления государственными научно-производственными предприятиями. Разработка протоколов информационно-логического взаимодействия между структурными подразделениями предприятия, а также предприятием и смежными организациями : отчет о НИР (промежуточ.) / Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное предприятие – Всероссийский Научно Исследовательский Институт Электромеханики с заводом имени А. Г. Иосифьяна» ; рук. Макриденко Л. А. ; исполн.: Сычиков В. С. – М., 2006. – 53 с. – № ГР Ф40550. – Инв. № ОАБ.121.186.

7) Исследование существующих ИПИ (Информационная поддержка наукоемких изделий) технологий, применяемых на предприятиях Роскосмоса. Выявление информационных угроз, сопутствующих внедрению покупных импортных технологий и оборудования организациями : отчет о НИР (промежуточ.) / Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное предприятие – Всероссийский Научно Исследовательский Институт Электромеханики с заводом имени А. Г. Иосифьяна» ; рук. Волков С. Н. ; исполн.: Сычиков В. С. – М., 2006. – 55 с. – № ГР Ф40550. – Инв. № ОАБ.121.187.