

На правах рукописи



Халдин Константин Сергеевич

**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ
РЕСУРСАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ ЕГО
ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРИОРИТЕТОВ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических
системах

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2016

Диссертационная работа выполнена на кафедре информационно аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук
Максимов Александр Александрович

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры автоматизированных систем управления ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» доктор технических наук, профессор
Куликов Геннадий Григорьевич

Научный советник Челябинского областного центра развития промышленных технологий, кандидат технических наук, доцент
Горбунов Николай Иванович

Ведущая организация – Высшая школа экономики и менеджмента при ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Защита состоится 26 декабря 2016 г. в 14:00, на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, зал заседания диссертационного совета № 1 (ауд. 1001 главного корпуса).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»:

<http://www.susu.ru/ru/dissertation/d-21229803/haldin-konstantin-sergeevich>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим выслать по адресу 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, ученый совет, тел. (351) 267-91-23, факс (351) 265-62-05.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.Н. Любицын

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертационной работе изложены опубликованные, апробированные и внедренные в практику модели и методы эффективного управления материальными ресурсами промышленного предприятия, актуальные в условиях экономической нестабильности и возрастающей значимости экологического фактора.

Диссертационная работа развивает идеи научной школы заслуженного деятеля науки Российской Федерации О.В. Логиновского и доктора технических наук А.А. Максимова. Исследование базируется на научных трудах таких известных ученых в области управления промышленными предприятиями и организациями, как Р. Акофф, Д.В. Блэквелл, В.Н. Бурков, И. Ведута, Б. Вагнер, М.К. Дженсен, К. Кокубо, А.В. Костров, Г.Г. Куликов, В.Д. Мазуров, Д. Медоуз, К.А. Мерчант, М. Мильн, М. Накаджима, Д.А. Новиков, М. Стробел, С. Шалтига, А.Л. Шестаков, В.И. Ширяев, Ф. Шмидт-Блик и др.

Актуальность темы.

Разработка методов и моделей управления материальными ресурсами промышленных предприятий в течение многих лет является весьма злободневной задачей. В то же время, осознание обществом важности экологического аспекта хозяйственной деятельности и необходимости гармоничного развития экономики во многих мировых державах привело к формированию государственной политики, направленной на защиту окружающей среды. Для реализации данной политики по отношению к предприятиям (особенно предприятиям тяжелой промышленности) применяются различные инструменты регулирования, выражающиеся, в частности, в экономических льготах и санкциях. Адаптация к этим новым воздействиям требует пересмотра существующих подходов, методов и моделей управления ключевыми ресурсами предприятия. Особого внимания в этом вопросе заслуживает именно управление материальными ресурсами, поскольку рациональное их использование определяет степень воздействия на окружающую среду и, соответственно, дополнительную налоговую нагрузку на само предприятие. Сформировавшиеся относительно недавно концепции и стандарты управления еще не в полной мере учитывают данный аспект, недостаточно приспособлены для использования в условиях отечественной экономики, а также не учитывают необходимость повышения гибкости процесса управления материальными ресурсами в условиях глобальной экономической нестабильности. Таким образом, они не позволяют на должном современном уровне осуществлять поддержку в процессе подготовки и принятия управленческих решений в сфере материально-технического обеспечения деятельности промышленного предприятия. Данное диссертационное исследование посвящено решению этой очень важной и актуальной задачи.

Цель и задачи диссертационной работы. Целью диссертационного исследования является разработка нового, эффективного в современных условиях метода и модели управления материальными ресурсами

промышленного предприятия с учетом рационального использования этих ресурсов и уменьшения вредных воздействий на окружающую среду.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- в рамках тематики исследования выполнен анализ существующих разработок по направлениям: современные международные и отечественные стандарты управления; законодательные акты, регулирующие производственную деятельность; подходы, методы и модели управления промышленными предприятиями; программные средства, используемые в процессе управления промышленными предприятиями;
- разработана обобщенная математическая модель управления материальными ресурсами промышленного предприятия на базе сети материальных потоков, уравнений материального баланса и выражений стоимости материальных потоков, которая отражает не только экономический, но и экологический аспекты производственной деятельности предприятия, их взаимосвязь;
- разработано программное средство для автоматизации расчетов указанной математической модели;
- разработаны методические положения по управлению материальными ресурсами промышленного предприятия, базирующиеся на использовании указанной математической модели и программного средства;
- осуществлено внедрение в практику работы предприятия «Кузнечские ферросплавы» разработанных в диссертационной работе методов, моделей и программных средств для управления материальными ресурсами.

Объект исследования – процесс управления материальными ресурсами промышленного предприятия.

Предмет исследования – методы и модели управления материальными ресурсами промышленного предприятия.

Методы исследования. Теоретической и методологической базой исследования является, факторный анализ, современная теория принятия решений, исследование операций, управление сетями поставок, экологический менеджмент.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- выполнена систематизация различных концепций, подходов, методов и моделей, которые в той или иной мере используются в процессе управления материальными ресурсами;
- разработана новая математическая модель оценки стоимости материальных потоков промышленного предприятия, обеспечивающая взаимосвязь его экономических и экологических приоритетов;
- разработаны оригинальные алгоритмы и программы для оптимизации производственной логистики предприятия;
- разработана актуальная методика управления материальными ресурсами промышленного предприятия на основе предложенных в

диссертации концептуальных положений, метода и модели управления материальными потоками.

Практическое значение результатов диссертационной работы состоит в:

1) Применимости на практике разработанных в диссертации методов, математических моделей и программных средств, дающих возможность повысить эффективность управления материальными ресурсами промышленных предприятий.

2) Сформулированные научно-технические и методические положения диссертационного исследования, а также практические рекомендации по управлению материальными ресурсами могут быть использованы при адаптации и развитии информационных систем промышленных предприятий в современных условиях ведения бизнеса.

3) Во внедрении основных научных положений и разработок диссертационного исследования в практику работы предприятия «Кузнечные Ферросплавы», в том числе осуществлены:

- поиск и выбор оптимальной структуры производственной системы;
- выбор оптимального распределения производственных мощностей;
- оптимизация внутренней и внешней логистики;
- обоснование приоритетов в обслуживании основных производственных фондов;
- контроль за расходованием материальных ресурсов.

Акт внедрения научных положений и разработок диссертации в практику деятельности предприятия «Кузнечные ферросплавы» приведен в приложении.

Апробация работы. Научные положения и основные результаты диссертационного исследования рассмотрены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях и форумах:

- VII научно-практическая конференция аспирантов и докторантов ЮУрГУ (Челябинск, 2015);
- всероссийская научно-техническая конференция «Управление промышленными предприятиями и организациями» (Новокузнецк, 2015);
- IV международная научно-практическая конференция «Современная экономика: опыт, проблемы и перспективы развития» (Ставрополь, 2015);
- форум «Информационное общество – 2015: вызовы и задачи» (Челябинск, 2015);
- XII международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире» (Санкт-Петербург, 2015);
- VIII научно-практическая конференция аспирантов и докторантов ЮУрГУ (Челябинск, 2016);
- всероссийская научно-техническая конференция «Управление промышленными предприятиями и организациями» (Новокузнецк, 2016);
- V Международный форум «Информационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса-2016» (Челябинск, 2016);

– форум «Информационное общество – 2016: вызовы и задачи» (Челябинск, 2016).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 14 статей, в том числе 6 статей в рецензируемых печатных изданиях, рекомендованных ВАК и 8 статей в других научных журналах и сборниках трудов. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, содержащего основные выводы и результаты исследования, списка литературы и приложения, содержащего сведения о внедрении основных научных положений и разработок автора в практику управления материальными ресурсами на предприятии «Кузнецкие ферросплавы». Общий объем работы составил 124 страницы, в том числе содержит 16 рисунков, 9 таблиц. Список литературы содержит 114 наименований.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) результаты выполненного в диссертации анализа подходов, методов и математических моделей управления материальными ресурсами промышленных предприятий;

2) новая математическая модель управления материальными ресурсами промышленных предприятий;

3) методические положения по управлению материальными ресурсами промышленных предприятий, базирующиеся на разработанных в диссертации алгоритмах и математических моделях;

4) результаты внедрения разработанной в диссертации методики управления материальными ресурсами промышленных предприятий, которая включает в себя предложенную автором математическую модель, вычислительные и оптимизационные алгоритмы, а также программные средства.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена информация об общей характеристике работы, в том числе актуальности работы, целях и задачах диссертационного исследования, научной и практической значимости и т.д.

В *главе 1* приводятся результаты анализа используемых на практике методов и моделей управления материальными ресурсами промышленных предприятий, а также рассматривается развитие подходов к управлению материальными ресурсами промышленных предприятий в исторической ретроспективе. Динамика указанных подходов во многом определяется постепенным изменением целей производственных организаций под действием различных социальных и экономических факторов. С этой точки зрения большинство существующих работ по данной тематике делится на две основные группы: сугубо материалистические (до 19-20 вв.) и социально-материалистические (с начала 20-ого в.). Для первой группы характерно абсолютное значение чисто экономических целей и задач, а рациональное использование природных ресурсов сводится к минимизации затрат на их добычу. При отсутствии надлежащего контроля со стороны государства это

привело многие развитые страны Европы, Азии и Америки того времени к целому ряду социальных и экологических кризисов. Для их разрешения была предложена концепция устойчивого развития, послужившая отправной точкой для переосмысления существующих управленческих методов и разработки новых. Такие подходы, методы и модели управления, составляющие вторую группу работ, позволили предприятиям адаптироваться к новой государственной политике за счет обеспечения гармоничного развития экономических, экологических и социальных аспектов производственной деятельности.

Используемые в работах как первой, так и второй группы математические модели управления материальными ресурсами подразделяются на:

- модели на базе емкостных показателей;
- модели взаимодействия предприятия и окружающей среды;
- модели на базе показателей отказоустойчивости оборудования.

Модели на базе емкостных показателей используются, как правило, для решения двух видов задач: для планирования потребности в материальных ресурсах и для осуществления контроля за их движением и использованием. Решение задач первого типа предполагает построение описательной модели, которая бы предоставила возможность детализации показателей по структурным подразделениям предприятия или этапам производственного процесса, а также возможность сравнения фактических и запланированных показателей. Для решения задач второго типа применяются, как правило, методы математического программирования, разработанные Д. Данцигом и Л.В. Канторовичем, а также модели межотраслевого баланса, впервые предложенные В.В. Леонтьевым в начале 20-ого века.

Отдельно здесь выделяются модели управления запасами, которые предназначены для сокращения неликвидных активов предприятия за счет поддержания их на уровне максимально близком к необходимому. Это требует более детального планирования графика поставок сырья по сравнению с описанными выше задачами, а также учет различных вероятностных показателей, связанных с непредвиденными отказами поставщиков, ремонтными работами, задержками транспорта и др. Развитию данного класса моделей во многом способствовало распространение идей «бережливого производства» и соответствующего математического и методологического инструментария.

Модели взаимодействия предприятия и окружающей среды помогают сформировать целостную картину взаимодействий между предприятием (или его подразделениями) и внешними агентами, к которым относятся потребители продукции, поставщики сырья и энергии, организации контроля производственной деятельности и, собственно, окружающая среда. К этому классу относятся модели жизненного цикла продукции и модели материальных потоков предприятия, описанные в семействе стандартов ISO 14000, а также различные узкоспециализированные информационные системы, задача которых заключается в моделировании воздействий производства на экологию региона.

Модели на базе показателей отказоустойчивости оборудования используются для планирования профилактических работ и распределения нагрузки между производственными единицами с целью снижения риска, связанного с их аварийной остановкой. По отношению к управлению материальными ресурсами предприятия особый интерес здесь представляют методы и модели оценки надежности производственных систем, описанные, в частности, в работах Н.А. Северцева. Надежность в этом случае выступает еще одним критерием, в соответствии с которым в системе распределяются ресурсы.

Анализ существующих на рынке программных продуктов, оказывающих поддержку в управлении материальными ресурсами, позволил выявить среди них две группы: системы управления ресурсами предприятия (ERPS – Enterprise Resource Planning Systems) и системы анализа взаимодействий с окружающей средой (EMS – Environment Management Systems). Программные продукты, относящиеся к первой группе, позволяют автоматизировать часть рутинных операций учета и контроля за перемещением и переработкой материальных ресурсов, однако повышение эффективности работы предприятия выходит за их функциональные рамки. Программные продукты, относящиеся ко второй группе, являются реализациями узкоспециализированных математических моделей, упомянутых ранее. Как и сами модели, эти программы выполняют функции описательного и прогнозного характера, но не принимают непосредственного участия в разработке оптимизационных мероприятий. Таким образом, совокупность существующих на данный момент информационных систем оставляет функциональную брешь, которую необходимо заполнить новыми методами, математическими моделями и программными средствами их реализующими.

В *главе 1* диссертационной работы также отмечаются особенности управления материальными ресурсами промышленных предприятий в современных условиях, причем особое внимание уделяется возрастающей значимости экологических факторов, глобальной экономической и социальной нестабильности, а также специфике отечественной экономики. Совокупность этих характерных черт нашего времени не позволяет в полной мере реализовать потенциал зарубежных разработок в сфере управления без их переработки, адаптации и дополнения специальным математическим обеспечением.

Новый метод повышения эффективности управления материальными ресурсами промышленного предприятия на базе модели материальных потоков

В *главе 2* представлены положения по управлению материальными ресурсами промышленного предприятия в современных условиях, поставлена задача оценки стоимости материальных потоков и описаны способы ее решения для систем с различной структурой, а также предложены методы оптимизации, базирующиеся на модели материальных потоков.

Сформированные в работе основные положения по управлению материальными ресурсами промышленного предприятия основываются на таких ключевых понятиях, как эффективность и управление материальными ресурсами. *Эффективность* – это характеристика системы, которая показывает ее способность к достижению поставленных целей и выражается в соотношении положительного и отрицательного эффектов, возникающих при изменении ее состояния. Сущность положительного эффекта определяется исходя из поставленной цели, тогда как в качестве отрицательного эффекта, как правило, принимаются затраты ресурсов на изменение и поддержание состояния системы. *Управление материальными ресурсами*, в соответствии с ГОСТ Р 52106-2003 подразумевает организацию снабжения сырьем, материалами, веществами и комплектующими изделиями согласно установленным нормам и нормативам. Также это разработка, документация и внедрение рациональных мер, способствующих сокращению количества образуемых в технологическом цикле отходов и качественной их утилизации. *Эффективность управления материальными ресурсами*, таким образом, определяется вкладом данного процесса, а также подчиненных ему процессов, в общую эффективность предприятия как производственной системы.

Исходя из указанных понятий, а также представленных в *главе 1* результатов выполненного анализа существующих разработок по тематике диссертационного исследования, были сформированы следующие концептуальные положения по управлению материальными ресурсами промышленного предприятия в современных условиях:

1) основные задачи управления материальными ресурсами заключаются в осуществлении контроля за их рациональным использованием, а также в повышении эффективности производственной системы за счет изменения конфигурации (структуры) производственной системы и перераспределения ресурсов между ее элементами;

2) должна быть обеспечена гибкость в переходе между различными показателями эффективности производственной системы (экономические, экологические, гибридные и другие показатели);

3) эффективное управление материальными ресурсами крупного промышленного предприятия невозможно без формирования целостной картины взаимосвязей между элементами производственной системы и окружающей средой;

4) методы управления материальными ресурсами должны быть достаточно универсальными по отношению к масштабу объекта управления (отдельное подразделение, предприятие в целом или группа предприятий).

В соответствии с перечисленными положениями автором предложена математическая модель материальных потоков предприятия, которая позволяет решить поставленные задачи и при этом отвечает требованиям наглядности, гибкости, детализации и масштабирования.

Разработанный на базе модели материальных потоков метод, в свою очередь, опирается на два базовых понятия – точка контроля и материальный

поток. *Точка контроля* (ТК) представляет собой участок производственного процесса, на котором возможна регистрация объемов входящих и исходящих материальных потоков. ТК характеризуется набором входящих и исходящих материальных потоков (включая отходы), минимальной и максимальной пропускной способностью, объемом системных затрат (амортизация оборудования, оплата труда, арендная плата, затраты на переработку отходов, затраты на энергоносители и т.д.). В зависимости от выбранного масштаба, ТК может представлять собой базовую производственную операцию, их последовательность или производственный процесс в целом. Масштаб каждой ТК устанавливается индивидуально при условии, что соответствующие множества производственных операций не имеют общих элементов. *Материальный поток* (МП) – это совокупность поставок сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих из одной ТК в другую за данный период времени. МП характеризуется объемом, стоимостью, минимальной и максимальной пропускной способностью. В зависимости от предметной области могут использоваться различные единицы измерения объема МП: штуки, тонны, метры кубические. Хотя в общем случае этот выбор не принципиален, для определенности в работе используются тонны. Совокупность ТК и МП образует *сетевую модель* производственного процесса; *математическая модель* формируется из выражений стоимости материальных потоков, уравнений материального баланса и ограничений, отражающих пропускную способность сети.

Постановка задачи оценки стоимости материальных потоков и способы ее решения для систем с различной структурой

Процесс построения модели и расчета ее параметров описан в *главе 2* диссертационной работы. Суть процесса заключается в следующем: производственную систему можно представить в виде полного направленного взвешенного графа с числом вершин (ТК) n и количеством ребер (МП) $n(n - 1)$. Вес каждого ребра принимается равным объему соответствующего МП. Вес ребер, началом и концом которых служит одна и та же вершина, принимается равным 0. Исключив из рассмотрения неиспользуемые ребра (вес которых равен 0), можно разделить все возможные сетевые модели на три вида: имеющие внутренние циклы (циклические, рис.1), не имеющие внутренних циклов (ациклические с ветвлением, рис.2) и линейные (ациклические без ветвления, рис.3). В зависимости от структуры модели, для расчета ее параметров могут использоваться различные алгоритмы. Кроме того, если модель имеет ациклическую структуру и ни одна из ТК не имеет более одного входящего МП, то эту модель также можно считать линейной, так как каждую «ветвь» сети можно обрабатывать независимо и последовательно. Для нелинейных структур определение правильного порядка обработки МП играет первостепенную роль.

Для формального описания модели и вычислительных алгоритмов используются следующие обозначения:

ТК[i] – i -ая точка контроля ($i = 1, 2, \dots, n$).

ТК[i].СЗ – системные затраты на ТК[i], в руб.

ТК[i].Отх – незарегистрированные отходы на ТК[i].

ТК[i].Отх.О – объем незарегистрированных отходов на ТК[i], в т.

ТК[i].Отх.С – стоимость незарегистрированных отходов на ТК[i], в руб.

МП[i,j] – материальный поток из ТК[i] в ТК[j] ($j = 1, 2, \dots, n$).

МП[i,j].О – объем МП[i,j], в т.

МП[i,j].С – стоимость МП[i,j], в руб.

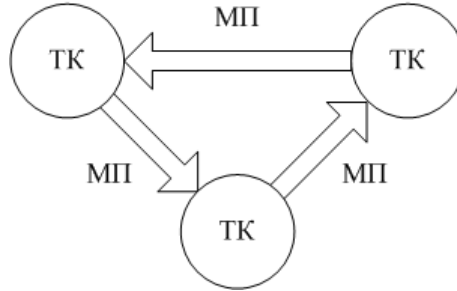


Рисунок 1. Циклическая структура.

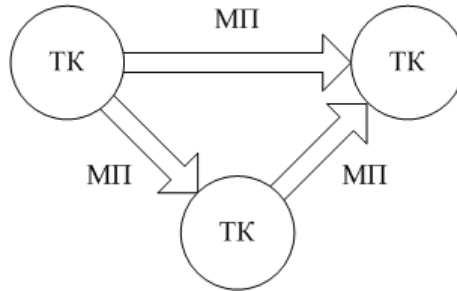


Рисунок 2. Ациклическая структура с ветвлением.

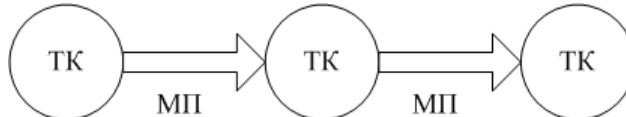


Рисунок 3. Ациклическая структура без ветвления (линейная).

С учетом этих обозначений, стоимость каждого МП рассчитывается согласно формуле:

$$\text{МП}[i, j].\text{С} = \frac{\text{МП}[i, j].\text{О}}{\sum_{l=1}^n \text{МП}[l, i].\text{О}} \left(\text{ТК}[i].\text{СЗ} + \sum_{l=1}^n \text{МП}[l, i].\text{С} \right). \quad (1)$$

Стоимость незарегистрированных отходов вычисляется аналогично:

$$\text{ТК}[i].\text{Отх.С} = \frac{\text{ТК}[i].\text{Отх.О}}{\sum_{l=1}^n \text{МП}[l, i].\text{О}} \left(\text{ТК}[i].\text{СЗ} + \sum_{l=1}^n \text{МП}[l, i].\text{С} \right). \quad (2)$$

Объем незарегистрированных отходов вычисляется на основании уравнений материального баланса, которые записываются для каждой ТК:

$$TK[i].Отх.О = \sum_{j=1}^n МП[i, j].О - \sum_{j=1}^n МП[i, j].О. \quad (3)$$

Важно отметить, что при таком способе оценки материальных потоков их суммарная стоимость распределяется на основании пропорции масс, как следует из (1) и (2). Это, однако, не всегда корректно: если в пределах одной ТК производится несколько различных типов промежуточной или конечной продукции (что особенно характерно для моделей большого масштаба), то стоимость единицы продукции каждого вида будет одинаковой. Чтобы избежать такого несправедливого равенства, необходимо установить стоимости МП вручную, задать другой закон распределения стоимости или выполнить декомпозицию ТК.

В стандарте ISO 14051 приводится последовательный алгоритм для расчета выражений (1), однако очевидно, что этот алгоритм может быть использован только для систем с линейной структурой (рис. 3). В то же время, выражения вида (1) образуют систему линейных уравнений, которая разрешается относительно неизвестных $МП[i, j].С$.

Исходя из соображений, что вычислительная сложность операции обращения матрицы r на r составляет $O(r^3)$, вычислительная сложность алгоритма решения системы из $n(n - 1)$ линейных уравнений может достигать соответственно $O(n^6)$. Снизить объем вычислений можно за счет сегментации графа: из множества вершин выделяется p подмножеств, мощность которых соответственно равна $n_1, n_2, \dots, n_p$, причем $n_1, n_2, \dots, n_p > 1$, $\sum n_i = n$ и $p \leq n(n - 1)$. Тогда, если для выполнения вычислений без сегментации требовалось время t , суммарное время работы алгоритма составит $(n_1/n)^6 t + (n_2/n)^6 t + \dots + (n_p/n)^6 t < t$. Процедура сегментации включает в себя поиск всех циклов на графе и упорядочивание полученных подмножеств. Сегментом может стать либо пара связанных вершин, не входящих одновременно ни в один цикл, либо набор вершин, образующих цикл (или несколько циклов с общими ребрами). Для систем с циклической структурой сложность их поиска может достигать $O(n^n)$, поэтому в общем случае использование процедуры не представляется целесообразным. Для ациклических систем процедура заменяется индексацией вершин графа таким образом, чтобы на момент вычисления стоимости очередного материального потока все члены правой части выражения (1) были известны. Блок-схема алгоритма получения индекса приведена на рисунке 4. Сложность алгоритма оценивается как $O(n^2)$. Для описания алгоритма используются дополнительные обозначения:

$TK[i].ИсхМП - \{МП[i, 1], МП[i, 2], \dots, МП[i, n]\};$

$TK[i].ВхМП - \{МП[1, i], МП[2, i], \dots, МП[n, i]\};$

$TK[i].М$ – метка ТК ($M0$ – нет метки; $M1$ – ТК проиндексирован; $M2$ – ТК находится в очереди на обработку);

$ВТК$ – выбранная точка контроля;

$ТКСВП$ – точки контроля, связанные входящими потоками (с $ВТК - TK[i]$), то есть такие $TK[j]$, что $МП[j, i] > 0$;

ТКСИП – точки контроля, связанные входящими потоками (с ВТК – ТК[i]), то есть такие ТК[j], что $МП[i, j] > 0$;

Стек – очередь ТК для формирования опорного набора;

Список1 – циклический список ТК, которые потенциально могут быть добавлены в индекс;

Список2 – упорядоченный набор ТК, искомый индекс.

После выполнения описанной процедуры можно последовательно, в соответствии с построенным индексом, вычислить стоимость каждого потока в модели. Преимущество индексации вершин заключается также в том, что процедуру необходимо выполнять только в случае структурных изменений модели, но не при изменении ее количественных параметров.

Способы оптимизации модели материальных потоков предприятия

В зависимости от особенностей, целей и задач предприятия, целевая функция может принимать одну из следующих форм:

$$Z = \sum_{i \in S1} \sum_{j=1}^n МП[i, j].О \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j \in S2} МП[i, j].C \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$Z = \sum_{i=1}^n ТК[i].Отх.C + \sum_{j \in S3} \sum_{i=1}^n МП[i, j].C \rightarrow \min, \quad (6)$$

где S1 – множество номеров ТК, представляющих поставщиков сырья и материалов (а также склады предприятия);

S2 – множество номеров ТК, представляющих потребителей готовой продукции (а также склады предприятия);

S3 – множество номеров ТК, представляющих точки утилизации отходов.

Другие формы целевой функции, как правило, получаются за счет преобразований выражений (4-6). В качестве дополнительных условий, обеспечивающих целостность системы, здесь выступают ограничения на пропускную способность сети:

$$\begin{aligned} МП[i, j].О &\leq МП[i, j].Макс, \\ МП[i, j].О &\geq МП[i, j].Мин, \\ \sum_{k=1}^n МП[k, i].О &\leq ТК[i].ВхМакс, \\ \sum_{k=1}^n МП[k, i].О &\geq ТК[i].ВхМин, \\ \sum_{k=1}^n МП[i, k].О &\leq ТК[i].ИсхМакс, \\ \sum_{k=1}^n МП[i, k].О &\geq ТК[i].ИсхМин, \end{aligned} \quad (7)$$

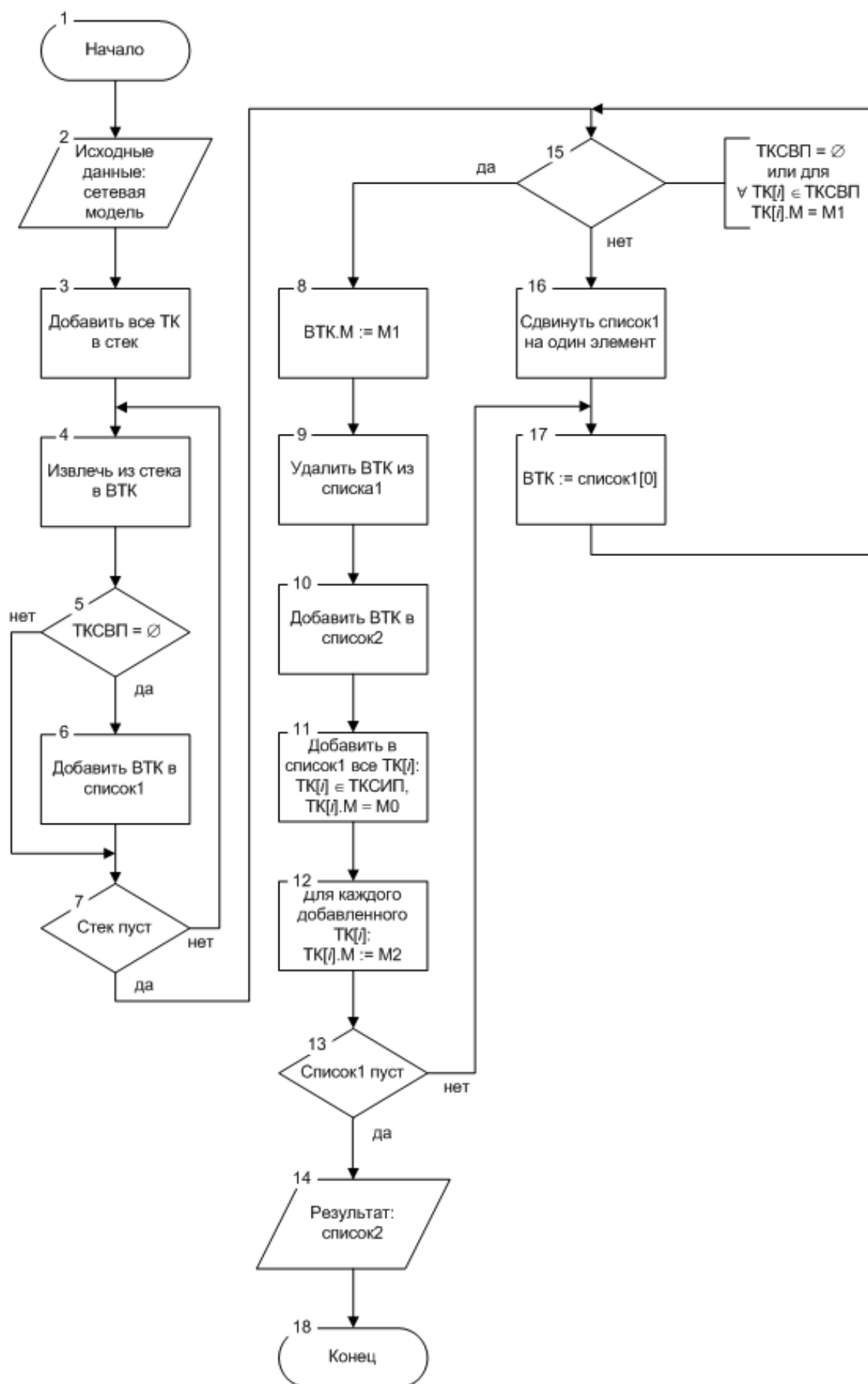


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма индексации точек контроля.

где $МП[i, j].Макс$ – максимальный объем $МП[i, j]$, в т;
 $МП[i, j].Мин$ – минимальный объем $МП[i, j]$, в т;
 $ТК[i].ВхМакс$ – максимальная пропускная способность входа $ТК[i]$, в т;
 $ТК[i].ВхМин$ – минимальная пропускная способность входа $ТК[i]$, в т;
 $ТК[i].ИсхМакс$ – максимальная пропускная способность выхода $ТК[i]$, в т;
 $ТК[i].ИсхМин$ – минимальная пропускная способность выхода $ТК[i]$, в т;
 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$.

Существующие методы оптимизации не позволяют эффективным образом решить данную задачу для целевых функций вида (5) и (6) из-за специфики расчета стоимости материальных потоков. Поэтому в диссертационной работе предлагается два специальных метода оптимизации, основанных на эвристических алгоритмах.

Во-первых, речь здесь идет о поиске альтернативных способов производства путем сравнительного анализа возможных вариации имеющихся ТК. Этот процесс включает в себя следующий набор шагов:

- 1) выделение наиболее приоритетной ТК (или группы взаимосвязанных ТК, если заменить одну только выделенную ТК технически невозможно);
- 2) поиск альтернативных технологий или режимов работы оборудования;
- 3) построение модели для каждого варианта;
- 4) замена выделенного фрагмента системы на один из возможных вариантов;
- 5) перерасчет показателей модели, оценка системного эффекта от замены;
- 6) реализация варианта, дающего наибольший системный эффект.

Отметим, что физическая замена сопряжена с расходами на покупку и установку нового оборудования, демонтаж или переналадку старого. Эти расходы должны учитываться при определении системных затрат новых ТК. Кроме того, для различных технических и технологических решений характерны различные же показатели материалоемкости, что приводит к необходимости предварительного перерасчета объемов связанных МП и системных затрат на связанных ТК. Также нужно отметить, что полный анализ всех возможных конфигураций производственной системы (перебор всех сочетаний доступных вариантов ТК) может оказаться весьма трудоемкой задачей, однако ее можно упростить, если решать ее локально или же отбросить часть вариантов на основании логических рассуждений.

Во-вторых, более эффективного использования материальных ресурсов промышленного предприятия можно достичь за счет перераспределения материальных потоков. Суть процесса заключается в выборе таких значений $МП[i, j].О$, которые не нарушают целостность системы и обеспечивают лучшее значение выбранной целевой функции. Метод базируется на следующем допущении: системные затраты на ТК изменяются пропорционально по отношению к объемам входящих (исходящих) МП:

$$\frac{ТК[i].СЗ}{\sum_{l=1}^n МП[i, l].О} \approx const, \quad \frac{ТК[i].СЗ}{\sum_{l=1}^n МП[l, i].О} \approx const. \quad (8)$$

Тогда, согласно (1) и (2), уменьшить стоимость МП без изменения объема входящих МП можно за счет уменьшения члена $\sum \text{МП}[l,i].C$. Для этого достаточно увеличить объем МП с меньшим значением удельной стоимости и, соответственно, уменьшить объем МП с большим значением удельной стоимости. Подобные манипуляции, очевидно, допустимы только в пределах группы МП однородных по своему составу, поэтому необходимо предварительно выделить для каждой i -ой ТК такие подмножества среди $\text{ТК}[i].\text{ВхМП}$. Если всего в производстве используется m видов сырья, материалов и смесей, то эти подмножества можно обозначить как $\text{ТК}[i].\text{ВхМП}[k]$, где $k = 1, 2, \dots, m$.

Также должен быть явно определен порядок, в котором обрабатываются выделенные группы МП. Предлагается в первую очередь обрабатывать группы МП с наибольшей суммарной стоимостью. Для этого используется

список пар вида $(k; \sum_{i=1}^n \sum_j \text{ТК}[i].\text{ВхМП}[k][j])$, упорядоченный по убыванию

второй компоненты. Таким образом, в начале списка окажутся идентификаторы материалов, в которых сосредоточена наибольшая часть вложенных в производство средств. Этот список далее будет называться рейтингом. Блок-схема алгоритма изображена на рисунке 5. Для описания алгоритма используются следующие обозначения:

$\text{МП}[i, j].\text{УС}$ – удельная стоимость МП, в р/т;

$\text{МП}[i, j].\text{ИТ}$ – $\text{ТК}[i]$;

$\text{МП}[i, j].\text{М}$ – метка МП (М0 – нет метки, М1 – МП обработан);

ВГМП – выбранная группа МП.

Метод управления материальными ресурсами промышленных предприятий на базе модели материальных потоков

В главе 3 диссертационной работы описаны методические положения по управлению материальными ресурсами промышленного предприятия при помощи разработанной модели материальных потоков и способов ее оптимизации. Метод включает в себя следующие этапы:

- 1) построение модели материальных потоков предприятия;
- 2) сбор исходных данных для моделирования;
- 3) контроль расхода ресурсов;
- 4) коррекция модели в соответствии с полученными данными;
- 5) расчет стоимости материальных потоков;
- 6) назначение приоритетов для каждого элемента системы;
- 7) разработка оптимизационных мероприятий.

К оптимизационным мероприятиям относятся:

- поиск альтернативных способов производства;
- перераспределение материальных потоков.

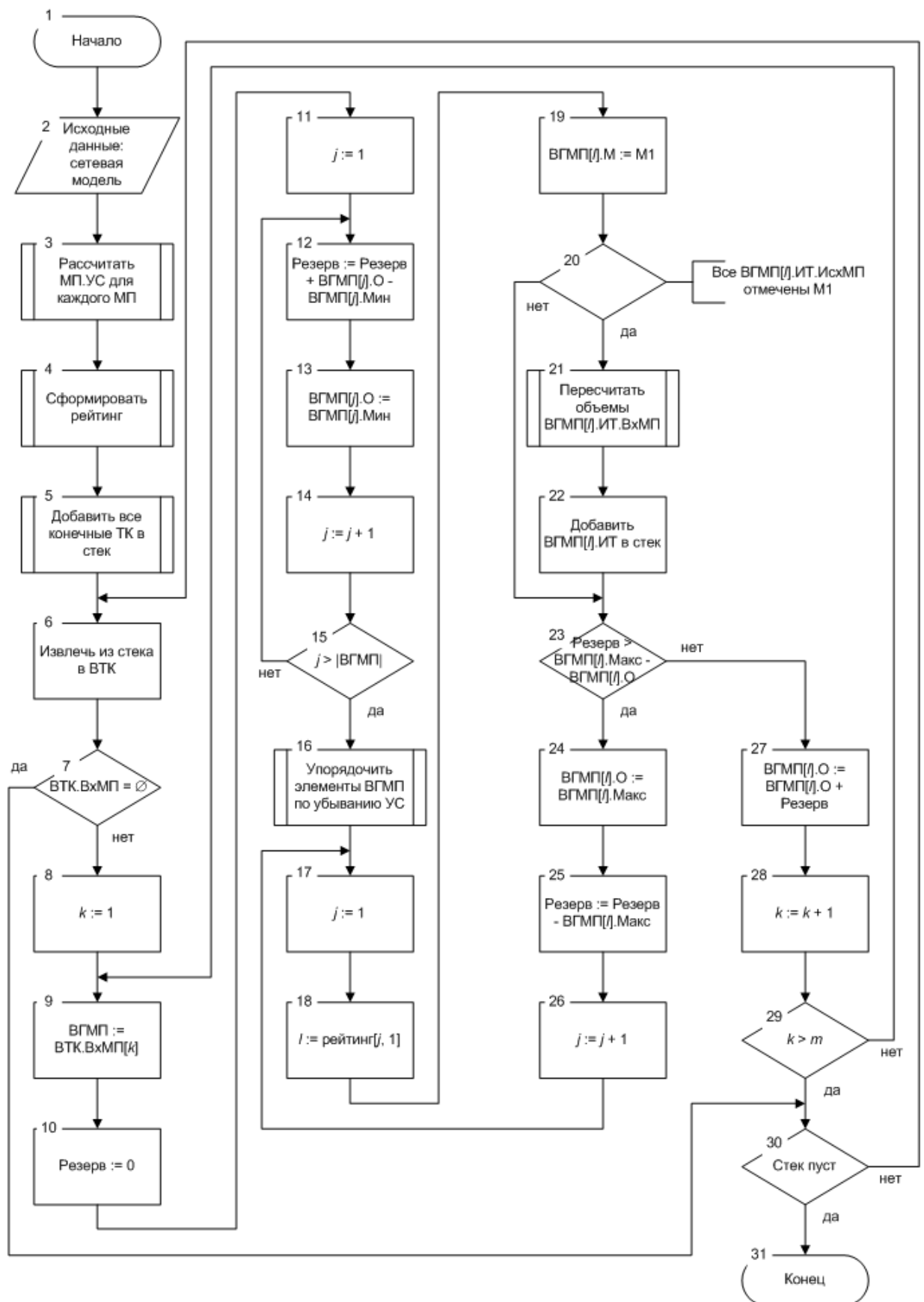


Рисунок 5. Блок-схема алгоритма перераспределения материальных потоков.

Вычислительная часть пунктов 1, 4 и 5 подробно описана в предыдущем разделе. Сбор данных включает в себя получение достоверной информации об объемах входящих и исходящих материальных потоков, а также детализированных сведений о системных затратах для каждой ТК за истекший период. В некоторых случаях, однако, сбор данных может быть затруднен по техническим причинам (что особенно характерно для закрытых производственных линий). Тогда можно либо скорректировать модель путем объединения прилегающих ТК, либо выполнить дополнительное моделирование данного участка производственного процесса при помощи цепей Маркова с поглощающими состояниями.

На этапе контроля за расходом ресурсов выполняется сопоставление запланированных системных затрат и объемов МП с их фактическими значениями. Рекомендуются при этом двигаться от укрупненной модели к более детализированной вплоть до выявления конкретного структурного подразделения или участка производственного процесса. При обнаружении значительных расхождений между плановыми и фактическими показателями важно также выявить причину этих расхождений, после чего внести соответствующие правки в модель.

Под назначением приоритетов подразумевается оценка ТК (или МП) посредством выбранного показателя эффективности. Цель выполнения этого этапа заключается в построении обоснованного порядка обработки элементов системы в ходе формирования оптимизационных мероприятий, в частности – в процессе поиска альтернативных способов производства.

Для достижения максимального эффекта от применения описанного метода необходимо выполнять процедуру моделирования и оптимизации регулярно. На практике этот период составляет один год, однако в условиях глобальной экономической нестабильности и бурного технологического развития более целесообразно было бы повторять процедуру по факту резкого изменения цен на сырье и энергоносители или же в случае появления новых технологий производства выпускаемой продукции. В случае аварийных ситуаций имеет место локальное тактическое перепланирование, связанное с изменением ограничений алгоритма перераспределения потоков или структуры модели в целом.

Применение разработанной модели материальных потоков для анализа деятельности горнодобывающего предприятия

В главе 3 приводятся результаты моделирования производственного процесса по добыче кварцевой руды, который реализован на месторождении «Сопка-248». Разработкой месторождения занимается горнодобывающее предприятие «Антоновское рудоуправление», являющееся филиалом «Кузнецких ферросплавов». Руда добывается поверхностным способом при помощи экскаваторов и карьерных самосвалов. Вскрышная порода отвозится на отвалы, в то время как полезная руда доставляется на дробильно-обоганительную фабрику (ДОФ), где происходит ее дробление до требуемой фракции. Товарная фракция затем отправляется на склад, мелкие

осколки вывозятся на отвалы. Таким образом, можно выделить 9 ключевых этапов процесса:

- 1) добыча руды (исходный);
- 2) перевозка вскрышных пород до отвала;
- 3) утилизация вскрышных пород (конечный);
- 4) перевозка добытой руды до ДОФ;
- 5) дробление руды;
- 6) перевозка мелких фракций руды до отвала;
- 7) утилизация мелких фракций руды (конечный);
- 8) перевозка товарной фракции руды до склада;
- 9) отгрузка товарной фракции руды (конечный).

Для расчетов также необходимо определить системные затраты для каждого процесса и объемы материальных потоков, которыми эти процессы взаимосвязаны. В рамках данного примера используются условные значения этих величин: условные единицы массы (у.е.м.) и условные денежные единицы (у.д.е.). Распределения масс и системных затрат приведены в таблицах 1 и 2. Столбцы, соответствующие исходным процессам, и строки, соответствующие конечным процессам, нулевые, поэтому в таблице распределения масс они не показаны. На основании этих данных можно построить модель и рассчитать ее параметры при помощи специального программного средства, разработанного автором диссертации на базе платформы .NET 4.5 с применением технологии WPF и библиотеки Math.Numerics. Результат вычислений показан на рисунке 6.

Таблица 1

Объемы материальных потоков, у.е.м.								
№	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.66	0	0.34	0	0	0	0	0
2	0	0.66	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0.34	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0.07	0	0.27	0
6	0	0	0	0	0	0.07	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0.27

Таблица 2

Исходные системные затраты, у.д.е.									
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значение	61	9	1,8	13	12	1,3	0,5	1,7	0

Для ТК[2], ТК[4] и ТК[6] имеется возможность использовать технику с меньшими показателями системных затрат (таблица 3). С целью оценки системного эффекта от внедрения этой техники построена соответствующая модель стоимости материальных потоков, показанная на рисунке 7. Из результатов моделирования следует, что при внедрении на всех трех ТК новой техники соответствующие системные расходы сократятся на 6%,

суммарные системные расходы сократятся на 1,4%. На основании этих соотношений, а также абсолютных величин системных затрат и объемов МП можно сделать вывод, что с экономической точки зрения наиболее целесообразно осуществить внедрение новой техники сначала на ТК[4] (эффект составит до 1,4 у.д.е.), затем на ТК[2] (0,54 у.д.е.) и, наконец, на ТК[6] (0,08 у.д.е.).

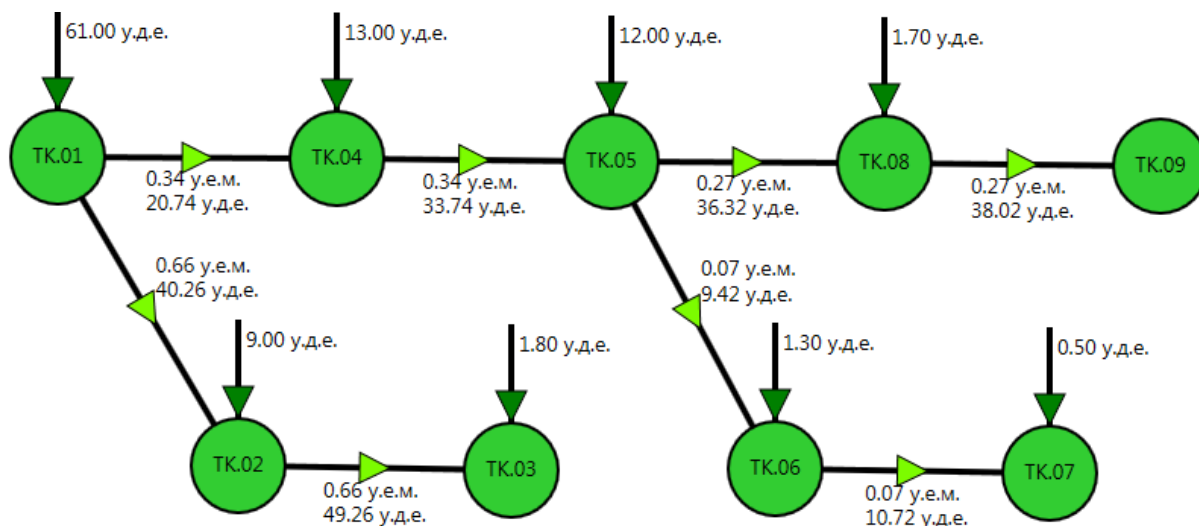


Рисунок 6. Поточная модель производственного процесса по добыче кварцевой руды.

Таблица 3

Альтернативные системные затраты, у.д.е.									
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значение	61	8,46	1,8	12,22	12	1,22	0,5	1,7	0

Практическое внедрение разработанных научных положений

Практическое внедрение разработанных в диссертации моделей, методов и алгоритмов позволило добиться следующих положительных результатов за истекший год:

- 1) сокращение расходов на 7% за счет перераспределения материальных потоков, связывающих предприятие с поставщиками сырья, комплектующих и энергоносителей;
- 2) сокращение расходов на 2% за счет перераспределения внутренних материальных потоков предприятия (оптимизация использования складских площадей);
- 3) сокращение объема твердых отходов на 6% и выбросов в атмосферу на 2% за счет перераспределения материальных потоков в пользу менее материалоемких производственных линий.

Акт внедрения основных научных положений диссертационного исследования в практику работы предприятия «Кузнецкие ферросплавы» и свидетельство о регистрации разработанного программного средства для моделирования и анализа материальных потоков приводится в приложении.

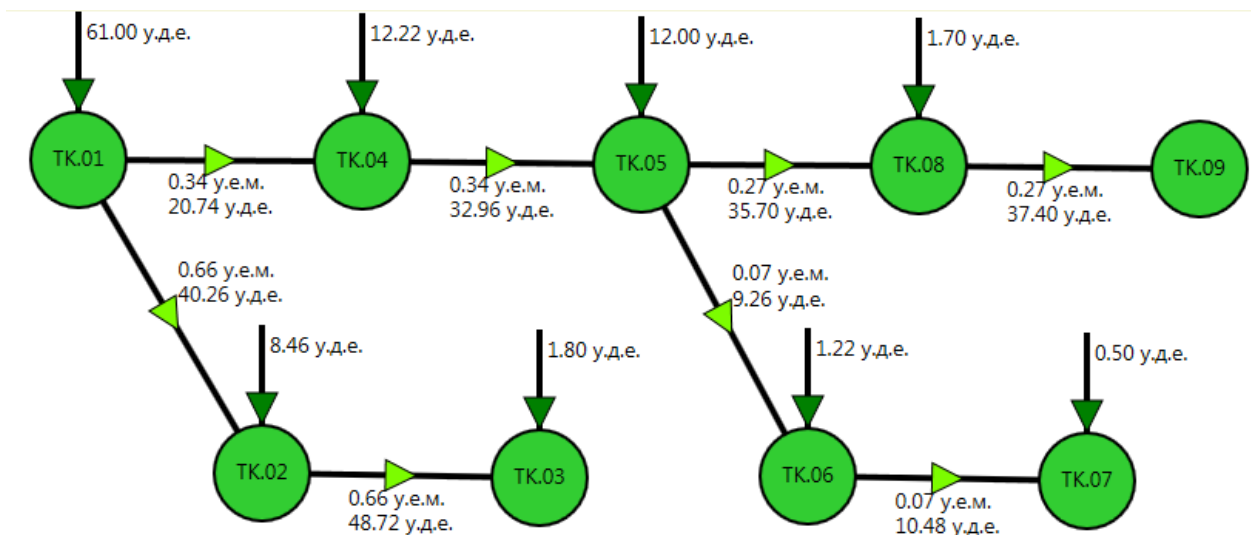


Рисунок 7. Поточная модель производственного процесса по добыче кварцевой руды (альтернативный вариант).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Диссертационное исследование позволило решить важную научно-практическую задачу повышения эффективности управления материальными ресурсами промышленного предприятия, обеспечивающую взаимосвязь его экономических и экологических приоритетов с помощью разработанного метода, математических моделей, алгоритмов и реализующих их компьютерных программ.

Основные выводы и результаты диссертационного исследования состоят в следующем:

1. Анализ современных стандартов управления, нормативных и законодательных актов, а также методов и моделей управления промышленными предприятиями позволил систематизировать существующие подходы и концепции управления материальными ресурсами, выявить их достоинства и недостатки. В частности установлено, что используемые на практике методы и средства управления не в полной мере соответствуют актуальной сегодня политике государства, направленной на обеспечение устойчивого развития. Во многом это обусловлено отсутствием или недостаточной проработкой новейших управленческих механизмов, неразработанностью математического и программного обеспечения и др.

2. Разработаны следующие новые модели и алгоритмы:

- сетевая модель материальных потоков, способствующая формированию целостной картины взаимодействия предприятия и внешней среды, которая представляет собой средство контроля за перемещением и использованием материальных ресурсов;

- математическая модель оценки стоимости материальных потоков, основанная на указанной сетевой модели и включающая в себя целевую функцию (вид функции зависит от цели предприятия) и набор ограничений (пропускная способность элементов системы, уравнения материального

баланса, взаимосвязь объемов входящих и исходящих потоков для каждой точки контроля);

– специальный алгоритм расчета стоимости материальных потоков для систем с ациклической структурой, который позволяет снизить вычислительную сложность моделирования за счет упорядочивания точек контроля перед их последующей обработкой;

– алгоритм перераспределения материальных потоков, предназначенный для поиска более эффективной конфигурации производственной системы без изменения ее структуры.

Для всех перечисленных математических моделей созданы программные средства, позволяющие осуществить их практическую эксплуатацию для конкретных предприятий и организаций.

3. Сформированы методические положения по управлению материальными ресурсами промышленного предприятия на базе разработанного в диссертации подхода, а также концепции управления промышленным предприятием с использованием стратегического и прогнозно-адаптивного подходов.

4. Разработаны рекомендации по изменению и дополнению информационной системы промышленных предприятий с учетом созданной в диссертационной работе новой модели управления материальными ресурсами и программных средств для ее эксплуатации.

5. Осуществлено внедрение основных научных положений и разработок диссертационного исследования, в том числе математической модели и программного средства управления материальными ресурсами в практику акционерного общества «Кузнецкие ферросплавы» с экономическим эффектом 230 млн. р./год. При этом удалось сократить объем твердых отходов на 6% и выбросов в атмосферу на 2%, а также уменьшить суммарные издержки предприятия на 9%.

Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в следующих печатных изданиях:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Халдин, К.С. Метод оценки эффективности линейных производственных процессов на базе подходов LCA и MFCA // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление радиотехника». – 2015. – №4. – С. 145-149.

2. Khaldin, K.S. Material Resources Efficiency Evaluation Method for Manufacturing Systems with Generalized Structure // Bulletin of SUSU. Series: “Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics”. – 2016. – №1. – P. 153-160.

3. Loginovskiy, O.V. Integration of Operational and Strategic Management as a Conceptual Framework for the Development of an Industrial Enterprise / O.V. Loginovskiy, K.A.Korennaya, A.A. Maksimov, K.S. Khaldin // Bulletin of SUSU. Series: “Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics”. – 2016. – №1. – P. 92-102.

4. Логиновский, О.В. Управление материальными ресурсами промышленного предприятия в современных условиях / О.В. Логиновский, А.А. Максимов, К.С. Халдин // Динамика сложных систем. – 2016. – № 2. – С.33-38.

5. Khaldin, K.S. A New Method of Material Resources Management Based on Material Flow Cost Accounting for Industrial Enterprises // Bulletin of SUSU. Series: "Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics". – 2016. – №3. – P.132-137.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Анализ материальных потоков / К.С. Халдин; правообладатель К.С. Халдин. № 2016618047. 20.07.2016. – М.: ФИПС.

Статьи в журналах и сборниках трудов:

7. Халдин, К.С. Методы анализа эффективности использования ресурсов промышленного предприятия // Управление в социальных и экономических системах: сборник научных трудов, под ред. О.В. Логиновского. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Вып. 3. – С.126-129.

8. Халдин, К.С. Модели оценки эффективности использования ресурсов промышленного предприятия // Управление в социальных и экономических системах: сборник научных трудов, под ред. О.В. Логиновского. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Вып. 3. – С.129-134.

9. Халдин, К.С. Типовые задачи оптимального планирования // Управление в социальных и экономических системах: сборник научных трудов, под ред. О.В. Логиновского. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Вып. 3. – С.134-138.

10. Халдин, К.С. Современная концепция эффективности управления материальными ресурсами промышленного предприятия // Сборник материалов 4ой международной конференции «Современная экономика: опыт, проблемы и перспективы развития». – 2015. – С.74-77.

11. Халдин, К.С. Повышение эффективности управления материальными ресурсами промышленного предприятия при помощи оценки стоимости материальных потоков // Доклады научно-технической конференции всероссийского форума «Информационное общество – 2015: вызовы и задачи». – 2015. – С. 100-107.

12. Халдин, К.С. Концептуальная основа системы управления материальными ресурсами промышленного предприятия // Материалы 12ой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире». – 2015. – Т.2. – С. 101-105.

13. Халдин, К.С. Математическая модель оценки стоимости материальных потоков промышленных предприятий // Известия высших учебных заведений: Уральский регион. – 2015. – № 5. – С.45-53.

14. Логиновский О.В. Обеспечение взаимосвязи стратегического и оперативного управления промышленным предприятием как концептуальная основа его развития / Логиновский, К.А. Коренная, А.А. Максимов, К.С. Халдин // Известия высших учебных заведений: Уральский регион. – 2015. – № 4. – С.34-46.