На правах рукописи

Корягин Марк Евгеньевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.13.18 –
«Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2003

Работа выполнена на кафедре автоматизации исследований и технической кибернетики Кемеровского государственного университета

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доц. Чекменев Владимир Алексеевич

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, проф. Назаров Анатолий Андреевич
кандидат технических наук Кузнецов Дмитрий Юрьевич

Ведущая организация:
Научно-исследовательский институт систем управления, волновых процессов и технологий Министерства образования Российской Федерации (г. Красноярск)

Защита состоится 15 января 2004 г. в 10.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.08 при Томском государственном университете, адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах) просьба высылать по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, ученому секретарю университета Буровой Н.Ю.

Автореферат разослан «___» ноября 2003 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета,
доктор технических наук А.В. Скворцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. С середины прошлого века активно развивается логистика – наука о материальных потоках. Связующим звеном в логистической цепи является транспорт. Оптимизация его работы должна учитывать интересы поставщика, потребителя и затраты на перевозку. Множество различных условий транспортировки (расстояние, партия, периодичность, сроки поставки, условия перевозки и т.д.) порождает большое количество задач, которые необходимо решать предприятиям.

В России при значительных расстояниях между поставщиками и потребителями высок удельный вес затрат на перевозку грузов автомобильным транспортом. Более эффективное его использование – одно из важных направлений развития экономики России.

Недостаточная координация работы разных видов транспорта приводит к возникновению нерациональных перевозок - неэффективному использованию транспортных средств и снижению скорости перевозок. Задержки грузов и простой подвижного состава в транспортных узлах часто поглощают экономию, получаемую за счет оптимизации перевозок в пределах каждой отдельной задачи, учитывающей интересы поставщика, либо потребителей, либо транспорта.

В диссертации рассмотрена структура подмоделей, которая отражает порядок построения общей модели организации работы транспорта на предприятиях при циклических перевозках грузов между поставщиком и потребителями:

1) составление маршрутов перевозок между поставщиком и потребителями;
2) управление погрузкой у поставщика;
3) движение транспорта по маршруту.

Таким образом, на практике возникает широкий класс оптимизационных задач, решение которых позволит поднять на более высокий уровень обслуживание потребителей и приведет к снижению себестоимости продукции в логистической цепи «поставщик-потребитель».

Цель работы. Целью данной работы является исследование и оптимизация циклической перевозки грузов транспортными средствами: определение оптимального состава транспортных средств, способа диспетчерского управления транспортными потоками – для сокращения суммарных расходов поставщика, потребителей и транспорта.

Для реализации поставленных целей решаем следующие задачи:

- оптимизация маршрутизации перевозок при учете затрат потребителей на хранение и потерь от дефицита, определение периодов поставки;
- оптимизация размера транспортного парка при циклической перевозке грузов между поставщиком и потребителем с учетом случайного характера операций, связанных с погрузкой, разгрузкой и переездом между этими пунктами;
- оптимизация размера транспортного парка и выбор способа диспетчерского управления при циклической перевозке грузов от одного поставщика двум потребителям;
- выбор способа диспетчерского управления при циклической перевозке грузов от одного поставщика нескольким потребителям при самовывозе;
- выбор способа диспетчерского управления при циклическом движении транспорта по маршруту, обеспечивающего допустимые продолжительности интервалов между поставками транспорта каждому потребителю;
- оптимизация транспортного парка и прогнозирование работы транспорта при циклических перевозках в условиях частых поломок транспорта.

Методика исследования. Для исследования задач мелкопартионных перевозок используются методы целочисленного программирования и теории управления запасами.

Для оптимизации циклической перевозки грузов от поставщика одному, двум или нескольким потребителям используются аппарат теории массового обслуживания (замкнутые марковские сети массового обслуживания), регенерирующие случайные процессы и теория управления запасами. Сети и процессы рассматриваются в стационарном режиме, исследуются различные приоритеты обслуживания заявок.

Для оптимизации состава транспортного парка при циклических перевозках в условиях частых поломок используются замкнутые марковские сети массового обслуживания.

Научная новизна и результаты, выносимые на защиту, состоят в следующем**:**

– поставлены и исследованы задачи оптимизации составления маршрутов циклических перевозок с учетом управления запасами на складах, находящихся на маршрутах;
– получены аналитические и рекуррентные формулы для расчетов оптимального состава транспортных средств с учетом загрузки потребителя, поставщика и транспорта при циклических перевозках от поставщика потребителю;
– при снабжении одним поставщиком двух потребителей для локальносбалансированных сетей определен оптимальный диспетчерский параметр, принимающий значения 0, 1 или один из корней полинома с порядком, зависящим от количества транспортных средств;
– предложен новый вид динамического приоритета и проведен численный анализ, показывающий эффективность его использования в управлении запасами потребителей при циклическом снабжении.

Теоретическая ценность работы заключается в том, что построены и исследованы математические модели, описывающие работу транспорта с учетом управления запасами потребителей и способов организации порядка погрузки транспорта.

Практическая ценность работы состоит в том, что предложенные модели отражают существо прикладных задач оптимизации работы предприятий, использующих автомобильный транспорт для циклической перевозки грузов:

- модели маршрутизации циклических перевозок с управлением запасами потребителей необходимы при организации снабжения торговой сети города товарами повседневного спроса;
- циклические перевозки от одного поставщика одному, двум или нескольким потребителям решают задачи организации работы транспорта на карьерах, при строительстве дорог и срочной доставке грузов потребителям;
- оперативное управление составом транспортного парка в случаях частых поломок транспорта необходимо при организации перевозок в транспортных компаниях среднего размера при выполнении плановых перевозок.

Внедрения. Разработанный программный комплекс для хранения и обработки информации при перевозке грузов с прогнозированием развития ситуации и анализом способов принятия решений при управлении транспортным парком внедрен на ЗАО КМУ «Сибстальконструкция».

Разработанные математические модели внедрены в учебный процесс на кафедре «Автомобильные перевозки» Кузбасского государственного технического университета.

Апробация работы. Основные положения диссертации и отдельные ее результаты докладывались и обсуждались:

1. Областная научная конференция «Молодые ученые Кузбассу. Взгляд в XXI век», 19 ноября 2000, Кемерово.
2. Первая региональная научно-практическая конференция «Информационные недра Кузбасса» 31 января – 2 февраля 2001, Кемерово.
3. Всероссийская научная конференция «Новые технологии и комплексные решения: наука, образование, производство», 19 октября 2001, Анжеро-Судженск.
4. Четвертая Всероссийская научная конференция «Краевые задачи и математическое моделирование», 2-4 декабря 2001, Новокузнецк.
5. IV Всероссийская конференция с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур», 10-13 сентября 2002, Томск.
6. Всероссийская научно-практическая конференция «Информационные технологии и математическое моделирование», 15 ноября 2002, Анжеро-Судженск.
7. Вторая региональная научно-практическая конференция «Информационные недра Кузбасса» 28-30 января 2003, Кемерово.
8. На научных семинарах кафедры автомобильных перевозок Кузбасского государственного технического университета в 2002-2003 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ: 6 статей, 3 материала конференций и 5 тезисов докладов в трудах российских, межрегиональных и региональных конференций.

Структура диссертации. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 170 страниц. Библиография содержит 119 наименований.

Обзор литературы. Практические направления в организации и управлении работой транспорта рассматривает транспортная логистика. Основа логистики – связь поставщика и потребителей. Здесь поднимаются основные вопросы, связанные с транспортом: маршрутизация перевозок, транспортная задача, управление запасами, описываются системы поставки «Канбан» (циклическая) и «точно в срок».

Диссертация включает несколько направлений исследований. В литературе маршрутизация упоминается как задача М-коммивояжеров, соответственно, большой вклад в постановку задач маршрутизации, сведение задач маршрутизации к задаче коммивояжера, в методы решения от точных (динамическое программирование, симплекс-метод, метод ветвей и границ) до эвристических, и в их численный анализ внесли Авен О.И., Ловецкий С.Е., Житков В.А., Сигал И.Х., Меламед И.И.

В данной работе предлагаются постановки задач маршрутизации перевозок с учетом складских затрат потребителей. Для их решения модернизированы вычислительные алгоритмы.

Некоторые замкнутые марковские сети массового обслуживания обладают свойством локального баланса, и здесь необходимо упомянуть следующие имена: Джексон Дж., Gordon W.J., Newell G.F., Moor F.R., Lam S.S., Sevcik K.C., Башарин Г.П., Герасимов А.И., Жожикашвили В.А., Ивницкий О.В., Малинковский Ю.В., Назаров А.А. Пороцкий С.М. Применение приоритетов в замкнутых сетях обслуживания отображено в работах Джейсоула Н., Постана М.Я., Тимофеева Б.Б., Швидкой Г.Д.

В диссертационной работе рассматриваются замкнутые марковские сети, описывающие процессы циклической перевозки. Разработаны и исследованы различные приоритеты организации порядка обслуживания и разделения потоков заявок. В качестве критериев рассмотрены затраты, связанные с простоями заявок и узлов обслуживания.

Имитационное моделирование, его основные принципы и программные средства реализации, основные языки программирования и их применение к транспортным системам изложены у Шеннона Р., Гордона Д., Лифшица А.Л., Мальца Э.А., Геронимуса Б.Л.

Случайным процессам, помогающим описать широкий класс замкнутых сетей массового обслуживания, посвящены труды Вентцель Е.С., Броди С.М., Погосяна И.А, Карлина С. Для этих процессов удобнее перейти к регенеративному моделированию, благодаря которому с помощью имитационного моделирования можно получить интервальные оценки характеристик сети массового обслуживания. Данные вопросы рассмотрены у Иглхарда Д.Л., Шедлера Д.С., Климова Г.П.

Интерес представляют работы, описывающие движение по маршруту или циклическое обслуживание потоков заявок (Шульга Ю.Н., Федоров В.П., Сейдль Л).

В диссертационной работе модернизированы циклические модели, в которых введено управление движением транспортными средствами. Для проведения расчетов построены регенеративные имитационные модели.

Одной из важных особенностей транспорта является его склонность к внезапным поломкам, которые сложно предвидеть. Это оказывает большое влияние на процесс циклической перевозки грузов в условиях круглосуточной эксплуатации транспорта. Расчету объема выработки и вероятности пребывания в состояниях ремонт/работа посвящены исследования по нестационарным случайным процессам Гнеденко Б.В., Вентцель Е.С., Сильвестрова Д.С., Бертена Б.

В данной работе проведен расчет плотности распределения выполнения объема работ при пребывании транспортного средства на начальный момент в рабочем состоянии или в состоянии ремонта.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Во введении обосновывается научная новизна и практическая ценность, формулируются цель и основные положения работы, дается анализ исследований, проведенных другими авторами.

В первой главе рассматривается ряд задач маршрутизации перевозок с учетом затрат на хранение и потерь от дефицита у потребителей, предлагаются постановки задач. Для их решения рассматриваются точные и модифицируются вычислительные алгоритмы.

Во второй главе исследуются транспортные системы с центральным узлом-поставщиком и периферийными узлами-потребителями, производится оптимизация размера транспортного парка, диспетчерской работы, простоев транспорта, поставщика и потребителей. В качестве моделей применяются замкнутые сети массового обслуживания, вводятся узлы, отвечающие за дорожную систему.

В третьей главе рассматриваются регенерирующие процессы. Они необходимы для поиска некоторых характеристик сети, в частности, затрат потребителей при управлении запасами при циклических перевозках от одного поставщика N потребителям. Показывается эффективность использования динамического приоритета в организации порядка разгрузки при снабжении сети складов.

Также рассматривается движение транспорта по циклическому маршруту, предлагаются способы диспетчерского управления транспортом, обеспечивающее сокращение продолжительности интервалов между приходом транспорта в пункты назначения маршрута.

Четвертая глава посвящена исследованию и оптимизации работы ЗАО КМУ «Сибстальконструкция». Проведен статистический анализ. Построены модели старения транспорта и управления составом транспортных средств при частых поломках транспорта. Представлен программный комплекс, внедренный на предприятии.

В приложениях приведены акты о внедрении на ЗАО КМУ «Сибстальконструкция» и в учебном процессе в Кузбасском техническом университете. Представлена статистическая информации, на основе которой построены модели в главах 1 и 4.

Подробнее рассмотрим содержание каждой из глав.

Первая глава посвящена маршрутизации циклических перевозок на сети складов, в которой каждый склад осуществляет хранение и реализацию товаров, поступающих от общего поставщика. Спрос товаров на складах детерминированный. Управление запасами потребителя формирует его расходы, которые пропорциональны количеству товаров, хранящихся на складе.

В работах Авена О.И., Ловецкого С.Е., Житкова В.А., Сигала И.Х., Меламеда И.И. рассмотрены постановки задач маршрутизации и сведение их к задаче коммивояжера. В диссертационной работе в качестве критерия рассматриваются не только затраты на транспортировку, но и расходы складов (пунктов маршрута) на хранение (6).

Необходимо составить набор маршрутов и определить период поставки для каждого потребителя, чтобы минимизировать суммарные затраты на перевозки и хранение на складах при ограничении на грузоподъемность.

Из пункта с номером 0 происходит снабжение складов с номерами $1..n$. Количество составляемых маршрутов примем p ($p \le n$).

$X_{i,j}^k$ ($i = 0..n, j = 0..n, k = 1..p$) принимает значение 1, если на k-м маршруте происходит переезд из i склада в склад j. Иначе принимает значение 0. Т.е. данный параметр определяет порядок объезда складов.

Ограничения (1,2) вводятся для того, чтобы в каждый склад 1 раз приезжало транспортное средство и выезжало из него:

$$\sum_{k=1}^{p}\sum_{i=0}^{n} X_{i,j}^k = 1 \ , \ j = 1..n \ , \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=0}^{n} X_{i,j}^k = 1 \ , \ i = 1..n \ . \qquad (1,2)$$

Ограничение (3) – связанность маршрута, чтобы в каждый пункт маршрута въезжало транспортное средство и выезжало из него:

$$\sum_{j=0}^{n} X_{i,j}^k = \sum_{l=0}^{n} X_{i,l}^k \quad k = 1..p, i = 0..n \ . \qquad (3)$$

Ограничение (4) предназначено для того, чтобы объезд пунктов был последовательным:

$$y_i - y_j + (n+1)\sum_{k=1}^{p} X_{i,j}^k \le n \ , y_i \in Z_0, i, j = 1..n, i <> j \ . \qquad (4)$$

Исходя из теории управления запасами с детерминированным спросом и циклической поставкой, для каждого периода рассчитываем объём заказа, исходя из чего, выводим ограничение на грузоподъёмность:

$$T_k \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} w_i X_{i,j}^k \le \overline{F} \ , \ k = 1..p \ , \qquad (5)$$

где T_k – период снабжения, $\overline{F}$ – максимальная грузоподъёмность транспортных средств, w_i – интенсивность спроса у *i*-го склада.

Необходимо найти набор маршрутов $X_{i,j}^k$ и периоды поставки T_k ($i = 0..n, j = 0..n, k = 1..p$), чтобы минимизировать суммарные расходы транспорта и складов:

$$\sum_{k=1}^{p}\frac{1}{T_k}\sum_{i=0}^{n}\left(\sum_{j=0}^{n} C_{i,j} X_{i,j}^k + \sum_{j=1}^{n} \alpha_j X_{i,j}^k\right) + \sum_{k=1}^{p}\frac{T_k}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} h_i w_i X_{i,j}^k \to min \ , \quad (6)$$

где $C_{i,j}$ – затраты на переезд из пункта i в пункт j, h_i – затраты на хранение 1 единицы товара в единицу времени на i-том складе, α_j – постоянные затраты на погрузочно-разгрузочные работы.

Таким образом, (1 - 6) – задача оптимизации циклического снабжения сети складов.

Отметим, что задача в данном виде не является задачей дискретного программирования из-за нелинейности в критерии.

Продолжительность интервала доставки для k-го маршрута:

$$T_k = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{2C^k}{w^k h^k}}, \sqrt{\dfrac{2w^k C^k}{h^k}} < \overline{F} \\ \dfrac{\overline{F}}{w^k}, \sqrt{\dfrac{2w^k C^k}{h^k}} \geq \overline{F} \end{cases}. \qquad (7)$$

Где $h^k = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} h_i w_i X_{i,j}^k}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} w_i X_{i,j}^k}$ – затраты на хранение 1 единицы товара в единицу времени на каждом складе маршрута, $w^k = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} w_i X_{i,j}^k$ – интенсивность спроса на складах маршрута, $C^k = \sum_{i=0}^{n}\left(\sum_{j=0}^{n} C_{i,j} X_{i,j}^k + \sum_{j=1}^{n} \alpha_j X_{i,j}^k\right)$ – транспортные расходы на перевозку по маршруту.

Т.к. задача нелинейная, то обычным способом точного решения является метод полного перебора всех возможных маршрутизаций. Но для решения задач размерности более 12-15 модернизированы вычислительные алгоритмы маршрутизации (Кларка-Райта) и коммивояжера (PRH). Модернизация заключается в том, что на каждом этапе при изменении маршрутов решается задача управления запасами на складах.

На имитационной модели проведено сравнение решений, полученных вычислительными алгоритмами при разных соотношениях расходов транспорта на переезд по маршруту и складов на хранение.

Для $n = 12$ пунктов проведено сравнение решений, полученных вычислительными алгоритмами с точным (полный перебор).

Алгоритм PRH более эффективен, но требует большего числа вычислений, а при некоторых соотношениях затрат транспорта и потребителей решения, полученные этими алгоритмами, близки. Что позволяет определить зоны эффективного использования алгоритмов.

Во второй главе рассматриваются задачи циклических перевозок грузов при случайном характере операций, связанных с погрузкой, разгрузкой и переездом между поставщиком и потребителями.

В качестве моделей рассмотрены замкнутые сети массового обслуживания, где транспортные средства – заявки, а погрузка, разгрузка и переезд между поставщиком и потребителем – системы массового обслуживания.

Подобного рода сети массового обслуживания исследованы в работах следующих авторов: Дж. Джексон, Гордон, Ньюэлл, Myp, Lam S., Sevcik K.C., Башарин Г.П., Герасимов А.И., Жожикашвили В.А., Ивницкий О.В., Малинковский Ю.В., Назаров А.А., Пороцкий С.М. Основным отличием диссертационной работы является применение моделей при циклических перевозках, для чего вводятся бесконечноканальные системы массового обслуживания, описывающие процесс переезда транспортных средств между поставщиком и потребителем. Исследуются способы диспетчерского управления порядком погрузки и разделения транспортных потоков между потребителями.

Первая модель – циклические перевозки между 1 поставщиком и 1 потребителем. В данном случае каждое транспортное средство последовательно проходит 4 этапа: погрузка у поставщика; переезд до потребителя по дорожной сети; разгрузка у потребителя; возвращение к поставщику по дорожной сети. После чего цикл, состоящий из этих этапов, повторяется.

Рассмотрена система, в которой находятся N заявок (транспортных средств). Узел 0 (поставщик) – центральный, узел 1 (потребитель) - периферийный, а узлы 2 и 3 (дорожная сеть) – промежуточные. Узлы 0 и 1 –одноканальные, а узлы 2 и 3 – бесконечноканальные системы массового обслуживания.

Каждая заявка последовательно проходит узлы 0,2,1,3 и возвращается на узел 0, после чего цикл повторяется. Предположим, что распределение времени обслуживания на каждом узле *i* подчинено экспоненциальному закону с параметром: $\mu_i = \dfrac{1}{\tau_i}$, где τ_i – среднее время обслуживания на узле *i*.

Для марковских сетей представляется возможным вычислять финальные характеристики. Введем состояние сети $n = (n_0, n_1, n_2, n_3)$ (n_i – количество заявок, находящихся в узле *i*), где $n \in S(N), S(N) = \{n : n_0 \geq 0, n_1 \geq 0, n_2 \geq 0, n_3 \geq 0, n_0 + n_1 + n_2 + n_3 = N\}$ $S(N)$ – множество состояний сети.

Данная сеть обладает свойством локальной сбалансированности по Теореме BCMP (по фамилиям авторов). Данная теорема описывает типы узлов, порядок переходов заявок, при которых сеть массового обслуживания обладает свойством локального баланса. И выводится вид мультипликативных сомножителей для каждой сети. В частности, для узлов 0 и 1: $\tau_0^{n_0}, \tau_1^{n_1}$, а для узлов 2 и 3: $\dfrac{\tau_2^{n_2}}{n_2!}, \dfrac{\tau_3^{n_3}}{n_3!}$. Поэтому финальная вероятность состояния сети (вероятность того, что в узле i будет n_i заявок $i = 0,1,2,3$):

$$p(n_0, n_1, n_2, n_3) = \frac{1}{G(N)} \tau_0^{n_0} \frac{\tau_2^{n_2}}{n_2!} \tau_1^{n_1} \frac{\tau_3^{n_3}}{n_3!}, \qquad (8)$$

где коэффициент $G(N)$ находится из условия нормировки вероятностей: $1 = \sum_{n \in S(N)} p(n_0, n_1, n_2, n_3)$.

Рассмотрим задачу минимизации количества заявок при выполнении ограничения на простои узла 1.

$$\begin{cases} min\, N \\ P_N(n_1 = 0) < P^* \end{cases} \qquad (9)$$

где P^* – максимально допустимая вероятность простоя узла 1 (разгрузчика), $P_N(n_1 = 0) = \sum_{\substack{n \in S(N) \\ n_1 = 0}} p(n)$ финальная вероятность простоя узла 1.

Задача имеет решение, когда выполняется условие:

$$P^* > max\left\{0; 1 - \frac{\tau_1}{\tau_0}\right\}. \qquad (10)$$

Выведены рекуррентные формулы для расчета простоев узла 1, что позволяет решить задачу, последовательно увеличивая количество заявок в сети:

A) При $\tau_0 = \tau_1$ $P_k(n_1 = 0) = \dfrac{D_1(k)}{D_2(k)}$. (11)

B) При $\tau_0 \neq \tau_1$ $P_k(n_1 = 0) = \dfrac{(\tau_1 - \tau_0) D_1(k)}{\tau_1 D_3(k) - \tau_0 D_1(k)}$. (12)

$$D_0(0) = 1 \;\; D_0(k) = D_0(k-1)\frac{\tau_2 + \tau_3}{k},$$

$$D_1(0) = 1 \;\; D_1(k) = \tau_0 D_1(k-1) + D_0(k),$$

$$D_2(0) = 1 \;\; D_2(k) = \tau_0 D_2(k-1) + D_1(k),$$

$$D_3(0) = 1 \;\; D_3(k) = \tau_1 D_3(k-1) + D_0(k).$$

Вторая модель этой главы – с одним поставщиком и двумя потребителями, соединенными дорожной сетью.

Пусть N – количество заявок, находящихся в системе. Узел 0 (погрузки), узел 1 и узел 2 (разгрузки) – системы, не зависящие от нагрузки (однолинейные), с интенсивностями обслуживания $\frac{1}{\tau_0}, \frac{1}{\tau_1}, \frac{1}{\tau_2}$ и бесконечной очередью. Узлы 3-6 (дорожная сеть) системы типа IS (бесконечнолинейные), с интенсивностями $\frac{1}{\tau_3}, \frac{1}{\tau_4}, \frac{1}{\tau_5}, \frac{1}{\tau_6}$.

Заявки с узла 0 разделяются на 2 направления – узел 3 и 5. С узла 3 заявка последовательно проходит узлы 1,5,0. С узла 4 заявка последовательно проходит узлы 2,6,0.

Первый способ разделения потока заявок: с узла 0 с вероятностью *p* заявки отправляются на узел 3 (первому потребителю), а с вероятностью *1-p* на узел 4 (второму потребителю).

Состояние сети n (n_i – количество заявок, находящихся в узле *i*).

$n \in S(N), S(N) = \left\{ n : n_i \geq 0, i = 1..6, \sum_{i=0}^{6} n_i = N \right\}$, где $S(N)$ – множество состояний сети.

Данная сеть обладает свойством локальной сбалансированности по Теореме BCMP. Финальная вероятность состояния системы:

$$p(n) = \frac{1}{G(N,p)} \tau_0^{n_0} (p \times \tau_1)^{n_1} ((1-p) \times \tau_2)^{n_2} \frac{(p \times \tau_3)^{n_3}}{n_3!} \frac{(p \times \tau_5)^{n_5}}{n_5!} \frac{((1-p) \times \tau_4)^{n_4}}{n_4!} \frac{((1-p) \times \tau_6)^{n_6}}{n_6!} \qquad (13)$$

где коэффициент $G(N,p)$ находится из условия нормировки вероятностей и представляет собой полином степени N по p:

$$G(N,p) = \sum_{j=0}^{N} p^j \sum_{s=0}^{j} \sum_{m=j-s}^{N-s} \sum_{k=0}^{s} \sum_{l=0}^{m} \left[(-1)^{j-s} \frac{m!}{(j-s)!(m-j+s)!} \times \right.$$

$$\left. \times \tau_1^{s-k} \tau_2^{m-l} \frac{(\tau_3 + \tau_5)^k}{k!} \frac{(\tau_4 + \tau_6)^l}{l!} \tau_0^{N-m-s} \right]. \qquad (14)$$

Время простоя узла i в установившемся режиме за период:

$$Q_i(N,p) = T \times P_N(n_i = 0), i = 0,1,2, \qquad (15)$$

где $P_N(n_0 = 0) = 1 - \tau_0 \dfrac{G(N-1,p)}{G(N,p)}$ – финальная вероятность простоя узла 0, $P_N(n_1 = 0) = 1 - p \times \tau_1 \dfrac{G(N-1,p)}{G(N,p)}$ – финальная вероятность простоя узла $P_N(n_2 = 0) = 1 - (1-p) \times \tau_2 \dfrac{G(N-1,p)}{G(N,p)}$ – финальная вероятность простоя узла 2.

Рассмотрим следующую задачу: при фиксированном количестве заявок необходимо найти распределение потока заявок (*p*) между узлами 3 и 4. Рассмотрим критерий оптимизации при помощи свертки:

$$F(N,p)=C_0\times Q_0(N,p)+C_1\times Q_1(N,p)+C_2\times Q_2(N,p)=$$
$$=\frac{C_0\tau_0 G(N-1,p)+C_1 p\times\tau_1 G(N-1,p)+C_2(1-p)\times\tau_2 G(N-1,p)}{G(N,p)} \qquad (16)$$

Тогда, исходя из (14-16) – $F(N,p)$ – отношение полиномов степени *N*. Причем $G(N,p)\neq 0, p\in[0,1]$.

Получен следующий результат: оптимальный параметр принимает значение 0 или 1, либо один из корней полинома степени *2N-1* (полученного после дифференцирования $F(N,p)$ по p).

Также для данной модели рассмотрен способ разделения потоков с прикреплением заявок к периферийным узлам (1 и 2) и обслуживанием на центральном узле (0) в порядке их поступления. Тогда N_1 – количество заявок для узла 1 и $N_2=N-N_1$ для узла 2.

Состояние сети: $n=(n_0,n_1,n_2,n_3,n_4,n_5,n_6)$ (n_i – количество заявок, находящихся в узле *i*).

$n\in S''(N), S''(N)=\left\{n: n_i\geq 0, i=1..6, n_1+n_3+n_5\leq N_1, n_2+n_4+n_6\leq N_2, \sum_{i=0}^{6} n_i=N\right\}$, где $S''(N)$ – множество состояний сети.

Данная сеть обладает свойством локальной сбалансированности по Теореме ВСМР. Финальная вероятность состояния сети:

$$p(n)=\frac{1}{G(N)}\frac{\tau_0^{n_0}(n_0)!}{(N_1-n_1-n_3-n_5)!(N_2-n_2-n_4-n_6)!}\tau_1^{n_1}\tau_2^{n_2}\frac{\tau_3^{n_3}}{n_3!}\frac{\tau_4^{n_4}}{n_4!}\frac{\tau_5^{n_5}}{n_5!}\frac{\tau_6^{n_6}}{n_6!}.$$

Нормировочный коэффициент:

$$G(N)=\sum_{i=0}^{N_1}\sum_{l=0}^{N_1-i}\tau_1^{\,i}\frac{(\tau_3+\tau_5)^l}{l!}\sum_{j=0}^{N_2}\sum_{m=0}^{N_2-j}\tau_2^{\,j}\frac{(\tau_4+\tau_6)^m}{m!}\frac{\tau_0^{\,N-i-j}(N_2-i-j)!}{(N_1-i-l)!(N_2-j-m)!}.$$

Финальная вероятность простоя (доля времени простоя) узла 0:

$$P_N(n_0=0)=1-\tau_0\frac{\sum_{i=0}^{N_1}\tau_1^{\,i}\frac{(\tau_3+\tau_5)^{N_2-i}}{(N_2-i)!}\sum_{j=0}^{N_2}\tau_2^{\,j}\frac{(\tau_4+\tau_6)^{N_2-j}}{(N_2-j)!}}{G(N)}.$$

Разработан третий способ обслуживания – динамический приоритет, по которому заявки отправляются на тот периферийный узел, у которого в сумме в очереди и на промежуточном узле заявок меньше. Если количество заявок совпадает, то с одинаковой вероятностью заявка может быть отправлена на любой периферийный узел.

Состояние сети: $n=(n_0,n_1,n_2,n_3,n_4,n_5,n_6)$ (n_i – количество заявок, находящихся в узле *i*).

$n\in S'''(N), S'''(N)=\left\{n: n_i\geq 0, i=1..6, n_1+n_3\leq \frac{N}{2}+1, n_2+n_4\leq \frac{N}{2}+1, \sum_{i=0}^{6} n_i=N\right\}$, где $S'''(N)$ – множество состояний сети.

В отличие от предыдущих двух систем эта система локально не сбалансирована. Поэтому для поиска решения составим систему уравнения глобального баланса. Запишем переходы из каждого состояния $(n_0,n_1,n_2,n_3,n_4,n_5,n_6)$:

в состояние $(n_0,n_1+1,n_2,n_3-1,n_4,n_5,n_6)$ с интенсивностью $\frac{n_3}{\tau_3}$,

в $(n_0,n_1-1,n_2,n_3,n_4,n_5+1,n_6)$ с интенсивностью $\frac{1}{\tau_1}$,

в $(n_0+1,n_1,n_2,n_3,n_4,n_5-1,n_6)$ с интенсивностью $\frac{n_5}{\tau_5}$,

в $(n_0,n_1,n_2+1,n_3,n_4-1,n_5,n_6)$ с интенсивностью $\frac{n_4}{\tau_4}$,

в $(n_0,n_1,n_2-1,n_3,n_4,n_5,n_6+1)$ с интенсивностью $\frac{1}{\tau_2}$,

в $(n_0+1,n_1,n_2,n_3,n_4,n_5,n_6-1)$ с интенсивностью $\frac{1}{\tau_6}$,

если $(n_1+n_3)>(n_2+n_4)$ с интенсивностью $\frac{1}{\tau_0}$ – в состояние $(n_0-1,n_1,n_2,n_3,n_4+1,n_5,n_6)$,

если $(n_1+n_3)<(n_2+n_4)$ с интенсивностью $\frac{1}{\tau_0}$ – в $(n_0-1,n_1,n_2,n_3+1,n_4,n_5,n_6)$,

если $(n_1+n_3)=(n_2+n_4)$ с интенсивностью и вероятностью $\frac{1}{2\tau_0}$ – в состояния $(n_0-1,n_1,n_2,n_3+1,n_4,n_5,n_6)$ и $\frac{1}{2\tau_0}$ в $(n_0-1,n_1,n_2,n_3,n_4+1,n_5,n_6)$.

По полученным переходам построим систему уравнений глобального равновесия, в которой одно из уравнений заменяется на условие нормировки вероятностей: $\sum_{n \in S'''(N)} p(n) = 1$.

Проведено сравнение простоев центрального узла при использовании различных приоритетов, которое показывает, что динамический приоритет дает лучшие показатели (загрузка центрального и периферийных узлов), а разделение потоков заявок с вероятностью – худшие. Сделан вывод об эффективности разработанного динамического приоритета.

Третья модель второй главы – снабжение нескольких потребителей от 1 поставщика транспортными средствами потребителей.

Каждый периферийный узел (потребитель) (1,2..N) обслуживает одну заявку (транспортное средство), которая курсирует между этим и центральным (поставщиком) узлом (0). Узлы одноканальные СМО, время обслуживания подчинено экспоненциальному распределению с параметром $\frac{1}{\tau_i}, i = \overline{0, N}$.

Первый способ – обслуживание в порядке поступления. Пользуясь тем, что данная сеть обладает свойством локальной сбалансированности по Теореме BCMP, запишем финальную вероятность состояния сети в мультипликативной форме:

$p(n) = \frac{Factorial\left(N - \sum_{i=1}^{N} n_i\right)}{G} \prod_{i=1}^{N} \left(\frac{\tau_i}{\tau_0}\right)^{n_i}$, где $\tau_i, i = \overline{0, n}$ – среднее время обслуживания на *i*-м узле; n – состояние сети $n = (n_1, n_2, .., n_N) \in S', S' = \left\{n : n_i = \{0,1\}, i = \overline{1, N}\right\}$;

$n_i = 1$ - *i*-я заявка находится на обслуживании в узле *i*;

$n_i = 0$ - *i*-я заявка находится на обслуживании или в очереди в узле 0;

S' – множество состояний сети; *G* – коэффициент, определяемый из условия нормировки вероятностей: $\sum_{n \in S'} p(n) = 1$.

Среднее время цикла обслуживания (суммарное время обслуживания на центральном и периферийном узлах) для *i*-й заявки: $T_i' = \frac{\tau_i}{\sum_{\substack{n \in S' \\ n_i = 1}} p(n)}$. (17)

Второй способ – относительный приоритет обслуживания заявок, причем больший приоритет соответствует большему среднему времени обслуживания на периферийном узле. Пусть *i*-й заявке соответствует *i*-й приоритет ($\tau_i > \tau_{i-1}, i = \overline{2, N}$). Тогда состояние сети:

$(j, n) = (j, n_1, n_2, .., n_N) \in S'', S'' = \left\{n : n_i = \{0,1\}, i = \overline{1, N}, n_j = 0, j \in \overline{1, N}\right\}$,

где *j* – номер обслуживающейся на узле 0 заявки;

$n_i = 1$ – *i*-я заявка находится на обслуживании в узле *i*;

$n_i = 0$ – *i*-я заявка находится на обслуживании или в очереди в узле 0;

S'' – множество состояний сети.

Уравнение для каждого состояния сети:

$$\left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} \frac{n_i}{\tau_i} + \frac{min(j,1)}{\tau_0}\right) \times p(j,n) = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} \frac{(1-n_i)}{\tau_i} p(j, n - \delta_i) + f(j,n) \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} \frac{n_i}{\tau_0} p(i, n + \delta_i),$$

где $n \pm \delta_i = (n_1, n_2, ... n_i \pm 1, ..., n_N)$, $f(j,n) = max\left\{0, \underline{min}_{k=\overline{1,N}}\left[j + 1 - k \times (1 - n_k)\right]\right\}$.

Для получения финальных вероятностей состояний сети, исходя из переходов, строим систему уравнений глобального баланса, где одно из уравнений должно быть заменено на условие нормировки вероятностей:

$\sum_{(j,n) \in S''} p(j,n) = 1$.

Среднее время цикла обслуживания для *i*-й заявки: $T_i'' = \frac{\tau_i}{\sum_{\substack{(j,n) \in S'' \\ n_i = 1}} p(j,n)}$. (18)

Третий способ, разработанный в диссертации – динамический приоритет обслуживания заявок, причем больший приоритет соответствует заявке, которая последний раз на центральном узле была обслужена раньше.

Состояние сети: $(j, n) = (j_1, j_2, .., j_N, n_1, n_2, .., n_N) \in S'''$,

$S''' = \left\{(j,n) : n_i = \{0,1\}, i = \overline{1, N}, n_{k: j_k = N} = \prod_{i=1}^{N} n_i, j_i \in \overline{1, N}, j_i = j_k \Leftrightarrow i = k\right\}$, где $n_i = 1$ – *i*-я заявка находится на обслуживании в узле *i*;

$n_i = 0$ – i-я заявка находится на обслуживании или в очереди в узле 0;

S''' – множество состояний сети; j_i – приоритет обслуживания заявок, причем, если заявка обслуживается на узле 0, то ее приоритет равен N. Для поиска финальной вероятности состояния сети выпишем переходы из узла (j,n) и затем по ним восстановим матрицу переходов:

с интенсивностью $\frac{n_i}{\tau_i}$ – в состояния $(j, n-\delta_i)$ $(i=\overline{1,N})$;

с интенсивностью $\frac{1-\prod_{i=1}^{N} n_i}{\tau_0}$ – в состояние (j', n');

где: $j'_s = \begin{cases} j_s+1, j_s < j_l \\ 1, s=k \\ N, s=l \end{cases}$, где $l = \arg\max_{l: j_l <> N}(n_l \times j_l)$, $k: j_k = N$. Т.е. на обслуживание берется заявка с большим приоритетом, из находящихся в очереди на узле 0. Заявка, обслуженная на узле 0, получает меньший приоритет.

Для получения финальных вероятностей состояний сети, исходя из переходов, строится СЛАУ, где одно из уравнений должно быть заменено на условие нормировки: $\sum_{(j,n)\in S'''} p(j,n) = 1$.

Среднее время цикла обслуживания для i-й заявки: $T_i''' = \frac{\tau_i}{\sum_{\substack{(j,n)\in S''' \\ n_i=1}} p(j,n)}$. (19)

Проведено сравнение приоритетов при разной интенсивности обслуживания на узле 0 для среднего времени циклов обслуживания (17-19). Показаны области применения приоритетов по данному критерию для разных потребителей.

В третьей главе рассмотрено регенеративное моделирование процессов циклических перевозок, основные положения которого описаны в работах Иглхарда Д.Л., Шедлера Д.С., Климова Г.П. С помощью этого метода проведены численные расчеты характеристик сетей массового обслуживания с необходимой точностью.

Сначала вернемся к третьей модели (вторая глава). Для описанных приоритетов обслуживания исследованы такие характеристики, как дисперсия времени цикла обслуживания и потери потребителей от дефицита при доставке скоропортящихся товаров, пользующихся детерминированным спросом.

В этом случае предложенный динамический приоритет дает значительно лучшие результаты, чем в порядке поступления, а относительный – значительно худшие показатели. В итоге сделан вывод об эффективности использования динамического приоритета.

В работе Шульги Ю.Н. рассматривается случайное поступление потока потребителей на остановочные пункты. В диссертационной работе в качестве критерия рассмотрен интервал между посещениями транспортными средствами остановочного пункта и предлагаются способы диспетчерского управления ритмичностью движения транспорта.

Пусть время обслуживания на каждом узле (кроме конечного узла 0) подчинено экспоненциальному распределению с параметром $\mu_i, i=\overline{1,N}$. Заявки в этих узлах могут обслуживаться параллельно («обгонять» друг друга), поэтому системы обслуживания, расположенные в узлах, бесконечноканальные (или количество каналов не меньше количества заявок). Заявки последовательно проходят обслуживание на узлах соответственно их номерам, с узла N заявка переходит в узел 0. В сети находится M заявок.

Первый вариант – заявки обслуживаются независимо друг от друга. При этом время обслуживания на корректирующем узле 0 равно нулю и его можно убрать из указанной схемы (из узла N заявка переходит в узел 1 автоматически).

Второй вариант – время обслуживания определяется по местоположению предыдущей и последующей заявок. Т.е. рассчитывается, через какое количество узлов от текущего находится ближайшая следующая и ближайшая предыдущая заявки. Пусть $\delta N \in N$ – рекомендуемый «интервал» (количество узлов между ближайшими заявками), N_f – номер узла, в котором находится ближайшая заявка на пути от узла 0, N_p – номер узла, в котором находится заявка, ближайшая на пути к узлу 0. В этом случае заявка обслуживается, когда выполняются условия: $N_f \geq \delta N$, $N_f \geq N - N_p$, иначе заявка продолжает оставаться в узле 0, выдерживая необходимый «интервал». Таким образом поддерживается продолжительность интервала по количеству остановок («расстоянию») между предыдущей и последующей заявками.

Разработан третий вариант – время обслуживания на узле 0 разбивается на 2 варианта и зависит от продолжительности интервала времени, прошедшего после последнего обслуживания заявки на узле 0:

1) время обслуживания равно 0 (или заявка с узла N переходит в узел 1), если $\delta t \geq \bar{t}$, где δt – время последнего обслуживания заявки на узле 0, $\bar{t}$ – рекомендуемая продолжительность интервала между заявками (обычно, среднее время между приходами заявок в узлы);

2) время обслуживания $\bar{t} - \delta t$, если $\delta t < \bar{t}$.

Определяющее значение для потребителей, находящихся в узлах, имеет отклонение от какого-то фиксированного времени (порог ожидания).

Расчеты показывают, что при увеличении пунктов остановок на маршруте, системы с задержками (особенно разработанный автором способ задержки «по расстоянию») позволяют значительно повысить качество обслуживания потребителей при более низких эксплуатационных расходах.

Четвертая глава – применение результатов диссертационной работы на ЗАО КМУ «Сибстальконструкция». Предприятие занимается циклической перевозкой щебня на угольный разрез ЗАО «Черниговец». При выполнении плана перевозок выплачивается значительная премия. Поэтому необходимо прогнозировать выполнение объема перевозок в зависимости от состояния транспортного парка и оставшегося времени до конца отчетного периода.

Проведена статистическая обработка информации, которая показывает следующие характеристики, необходимые для построения математической модели:

1) с течением времени имеется тенденция к снижению продолжительности интервала времени между ремонтами. Этот процесс протекает у каждого транспортного средства по-своему;

2) за отчетный период (месяц) продолжительность интервала между ремонтами незначительно изменяется, поэтому на данный период считаем этот параметр постоянным;

3) время, затрачиваемое каждым транспортным средством на ремонт, распределено экспоненциально, со средним 2,5 суток;

4) продолжительность интервала безостановочной работы транспортного средства распределена экспоненциально, со своим параметром для каждого транспортного средства.

Исходя из этих предположений, задача разбивается на 3 части:

1) отслеживать изменение продолжительности интервала безостановочной работы каждого транспортного средства с помощью прогнозирования;

2) получить функцию распределения объема перевозок транспортного средства за оставшийся период до конца месяца, учитывая его состояние (ремонт, работа);

3) получить общую функцию распределения объема перевозок всем транспортным парком за оставшийся период до конца месяца. Используя функцию распределения, оценить необходимые параметры для принятия решений по изменению транспортного парка (аренда стороннего или дополнительные работы собственного транспорта).

Разработана математическая модель распределения объема перевозок транспортного средства. Т.к. время ремонта и безостановочной работы распределено экспоненциально, построена марковская сеть массового обслуживания.

В литературе (Гнеденко Б.В., Вентцель Е.С., Сильвестров Д.С., Бертен Б.) для таких задач рассчитывается вероятность пребывания прибора в состоянии обслуживания или простоя через фиксированный промежуток времени или среднее время пребывания прибора в этих состояниях. В диссертационной работе рассчитывается плотность распределения времени пребывания прибора в состоянии обслуживания.

Рассмотрим время, которое i -й прибор (транспортное средство) находится в состоянии обслуживания.

T – время функционирования прибора (до конца отчетного периода), S_i^0 – состояние прибора на начальный момент (0 – находится в состоянии простоя, 1 – в состоянии обслуживания), μ_i – интенсивность перехода прибора из состояния простоя в состояние обслуживания, λ_i – интенсивность перехода прибора из состояния обслуживания в состояние простоя.

Получим плотность распределения времени, которое прибор находится в состоянии обслуживания:

1) если $S_i^0 = 1$,

$$\lambda_i \, exp\{-\lambda_i t_i - \mu(T - t_i)\} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(\lambda_i t_i \mu(T - t_i))^{j-1}}{(j)!^2} \left[1 + \frac{\mu t_i}{j+1}\right]; \qquad (20)$$

2) если $S_i^0 = 0$,

$$\mu \, exp\{-\lambda_i t_i - \mu(T - t_i)\} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(\lambda_i t_i \mu(T - t_i))^{j-1}}{(j)!^2} \left[1 + \frac{\lambda_i (T - t_i)}{j+1}\right]. \qquad (21)$$

После чего аппроксимируем общую функцию распределения выполняемого объема работ и с ее помощью оценим решение об аренде стороннего или дополнительных работах собственного транспорта.

Анализ практических данных показывает эффективность предложенной модели. И программное обеспечение, внедренное для организации расчетов по данной модели, эффективно используется на предприятии.

В диссертационной работе рассмотрены математические модели, описывающие процесс циклической перевозки грузов от одного поставщика потребителям. Эти модели позволяют решать широкий класс оптимизационных задач: определение оптимального состава транспортных средств, выбор способа диспетчерского управления транспортными потоками у поставщика, организацию движения транспорта по маршрутам. При этом в качестве критериев и ограничений рассмотрены суммарные расходы поставщика, потребителей и транспорта.

Общая модель разбита на несколько подмоделей, благодаря чему можно проектировать практические экономические системы снабжения, поэтапно решая отдельные задачи оптимизации логистической цепи. Набор моделей, представленных в данной работе, предназначен для разработки программных комплексов для предприятий, занимающихся циклическими перевозками автомобильным транспортом, и теоретических исследований в области циклических перевозок.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Корягин М.Е., Чекменев В.А. Оптимальное управление грузопотоками при циклическом снабжении двух потребителей// Вестник КузГТУ. 2003. №1.- С. 37-40.
2. Корягин М. Е. Замкнутые марковские сети массового обслуживания при циклическом снабжении сети складов// Вестник Красноярского государственного технического университета. Вып. 31. Транспорт. 2003. С. 35-39.
3. Корягин М.Е. Оптимальное управление транспортом при снабжении двух потребителей// Труды региональной научно-практической конференции «Информационные недра Кузбасса» (28-30 января 2003г.). Кемерово, 2003. С. 81-83.
4. Корягин М.Е. Обеспечение приемлемого интервала оборота заявок в замкнутой СМО с различными типами заявок// Сборник трудов молодых ученых Кемеровского государственного университета, посвященный 60-летию Кемеровской области. Том 2. Кемерово, 2002. С. 115-117.

5. Корягин М.Е. Обеспечения приемлемого интервала оборота заявок в замкнутой СМО// Материалы всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и математическое моделирование» (15 ноября 2002г., Анжеро-Судженск). Томск, 2002. С. 177-179.
6. Корягин М.Е., Чекменев В.А. Оптимизация распределения грузопотоков по транспортной сети// Вестник ТГУ 1 (I). Доклады IV Всероссийской конференции с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур» (10-13 сентября 2002г., Томск). ТГУ, 2002. С. 73-77.
7. Корягин М.Е. Оптимизация маршрутов перевозок при начальном снабжении складов от одного поставщика// Материалы докладов межрегиональной научно-технической конференции «Научная сессия ТУСУР» (14-16 мая 2002г., Томск). Часть 2. Томск, 2002. С. 26-29.
8. Корягин М.Е., Чекменев В.А. Задачи перевозки грузов, как замкнутые марковские сети массового обслуживания// Сборник трудов 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Краевые задачи и математическое моделирование» (2-4 декабря 2001г., Новокузнецк). Том 4. Новокузнецк, 2001. С. 36-40.
9. Корягин М.Е.. Циклическое снабжение сети складов// Сборник трудов 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Краевые задачи и математическое моделирование» (2-4 декабря 2001г., Новокузнецк). Том 4. Новокузнецк, 2001. С. 31-35.
10. Корягин М.Е., Чекменев В.А. Марковские сети массового обслуживания для задач циклической доставки грузов// Материалы всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии и комплексные решения: наука, образование, производство» (19 октября 2001г., Анжеро-Судженск). Часть II (Математика). КемГУ, 2001. С. 37-39.
11. Корягин М.Е. Система управления запасами на сети// Сборник трудов областной научной конференции «Молодые ученые Кузбассу. Взгляд в XXI век». Кемерово, 2001. С. 15-20.
12. Корягин М.Е. Планирование перевозок автомобильным транспортом в торговой сети// Вестник Кемеровского государственного университета. 2000. №4. Серия Математика. С. 76-81.
13. Корягин М.Е., Тюрин А.Ю. Планирование автомобильных перевозок в торговой сети// Вестник КузГТУ. 2000. № 1. С. 43-45.
14. Корягин М.Е. Оптимизация снабжения торговой сети хлебопродуктами// в кн. «Социально-экономические преобразования в России». Кемерово, 1999. С. 154-155.

Подписано в печать 13.11. 2003г. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Бумага белая. Печ. л. 1,5.
Тираж 100 экз. Заказ №151

Кемеровский государственный университет.
650043, г. Кемерово, ул. Красная,6.
Отпечатано в издательстве «Кузбассвузиздат»
650043, г. Кемерово, ул. Ермака, 6