ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

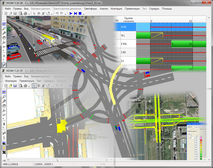
Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова

А.Е. Боровской, Е.С. Татаринцев

**Моделирование задач транспортных перевозок**

Учебное пособие



Белгород 2013

Федеральное агентство по образованию

Белгородский государственный технологический   
университет им. В.Г. Шухова

А.Е. Боровской, Е.С. Татаринцев

**Моделирование задач транспортных перевозок**

*Утверждено ученым советом университета в качестве учебного пособия для студентов специальности 190702 – Организация и безопасность движения*

Белгород 2013

УДК 629.113(07)

ББК 39.33я7

Б\_\_\_\_

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова Р.Р. Шарапов

Кандидат технических наук, руководитель Белгородского регионального центра экспертиз и оценки ОАО «Центр инновационных технологий» В.П. Логвинов

**А.Е. Боровской, А.С. Остапко**

|  |  |
| --- | --- |
| Б97 | Моделирование задач транспортных перевозок / Боровской А.Е., Остапко А.С.,– Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. – 80 с. |

В учебном пособии дан обзор основных идей и методов в области математического моделирования транспортных потоков, изложены теоретические и практические аспекты этого вопроса, использованы современные технологии и методы расчета.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 190702 – Организация и безопасность движения.

Данное пособие публикуется в авторской редакции

**УДК 629.113(07)**

**ББК 39.33я7**

© Белгородский государственный технологический университет

(БГТУ) им В.Г. Шухова, 2013

**Оглавление**

[Введение 4](#_Toc245990630)

[1. Общие понятия моделирования. Математические модели транспортного потока 4](#_Toc245990631)

[1.1. Роль моделирования в оптимизации транспортных перевозок 4](#_Toc245990632)

[1.2. Понятия модель, моделирование. Виды моделей 4](#_Toc245990633)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990634)

[1.3. Характеристики транспортного потока (ТП) 4](#_Toc245990635)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990636)

[1.4. Особенности транспортного потока как объекта исследования 4](#_Toc245990637)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990638)

[1.5. Системный подход при решении задач моделирования ТП. Классификация моделей ТП 4](#_Toc245990639)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990640)

[1.6. Макроскопические модели ТП 4](#_Toc245990641)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990642)

[1.7. Микроскопические модели ТП 4](#_Toc245990643)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990644)

[1.8. Стохастические модели ТП. Моделирование работы АТС и погрузочно-разгрузочных средств как системы массового обслуживания 4](#_Toc245990645)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990646)

[2. Планирование и управление грузовыми перевозками 4](#_Toc245990647)

[2.1. Планирование перевозок грузов 4](#_Toc245990648)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990649)

[2.2. Моделирование транспортных сетей и расчет кратчайших расстояний 4](#_Toc245990650)

[Вопросы для повторения 4](#_Toc245990651)

[Примеры решения задач 4](#_Toc245990652)

[Тест для самопроверки 4](#_Toc245990653)

[Экзаменационные вопросы к разделу 1 4](#_Toc245990654)

[Экзаменационные вопросы к разделу 2 4](#_Toc245990655)

[Экзаменационные задачи 4](#_Toc245990656)

[Список литературы 4](#_Toc245990657)

[Список условных обозначений и сокращений 4](#_Toc245990658)

# Введение

Современное общество нуждается в постоянном увеличении объема транспортного сообщения, повышении его надежности, безопасности и качества. Это требует увеличения затрат на улучшение инфраструктуры транспортной сети, превращения ее в гибкую, высокоуправляемую логистическую систему. При этом риск инвестиций значительно возрастает, если не учитывать закономерности развития транспортной сети, распределение загрузки ее участков. Игнорирование этих закономерностей приводит к частому образованию транспортных пробок, перегрузке/недогрузке отдельных линий и узлов сети, повышению уровня аварийности, экологическому ущербу.

Для поиска эффективных стратегий управления транспортными потоками в мегаполисе, оптимальных решений по проектированию улично-дорожной сети и организации дорожного движения необходимо учитывать широкий спектр характеристик транспортного потока, закономерности влияния внешних и внутренних факторов на динамические характеристики смешанного транспортного потока.

Теория транспортных потоков развивалась исследователями различных областей знаний - физиков, математиков, специалистов по исследованию операций, транспортников, экономистов. Накоплен большой опыт исследования процессов движения. Однако, общий уровень исследований и их практического использования не достаточен в силу следующих факторов:

транспортный поток нестабилен и многообразен, получение объективной информации о нем является наиболее сложным и ресурсоемким элементом системы управления;

критерии качества управления дорожным движением противоречивы: необходимо обеспечивать бесперебойность движения одновременно снижая ущерб от движения, накладывая ограничения на скорость и направления движения;

дорожные условия, при всей стабильности, имеют непредсказуемые как в части отклонения погодно-климатических параметров так и, собственно, дороги;

исполнение решений по управлению дорожным движением всегда неточно при реализации и, учитывая природу процесса дорожного движения, приводит к непредвиденным эффектам [[*Report*](http://www.keldysh.ru/papers/2004/prep34/prep2004_34.html#Report)].

Таким образом, трудности формализации процесса движения транспортного потока стали серьезной причиной отставания результатов научных исследований от требований практики. 1. Общие понятия моделирования. Математические модели транспортного потока

## 1.1. Роль моделирования в оптимизации транспортных перевозок

Увеличение выпуска автомобилей приводит к дальнейшему росту интенсивности движения и увеличению загрузки дорог. В настоящее время транспортные магистрали городов работают в условиях высокой интенсивности, при которых не обеспечивается удобство, экономичность и безопасность движения. Ежегодно прирост интенсивности движения составляет 10–20 %, а увеличение пропускной способности улично-дорожной сети за этот период не превышает 5 %. Улично-дорожная сеть города исчерпывает или уже исчерпала резервы пропускной способности и находится в условиях постоянного образования заторов, создания аварийных ситуаций при пропуске транспортных и пешеходных потоков. Средняя скорость движения транспорта за последние 5 лет неуклонно снижается, причем на некоторых участках улично-дорожной сети снижается почти на 40 % и составляет 20–40 км/ч, а в часы "пик" падает до 5–10 км/ч.

В связи с этим особую актуальность приобретает проблема повышения эффективности средств организации дорожного движения (ДД). Одной из основных задач для решения указанной проблемы является моделирование и оптимизация транспортных потоков (ТП) с целью повышения эффективности управления им.

Одной из важных особенностей выработки эффективного управления ТП является наличие математической модели транспортного потока, состоящего из транспортных средств, с одной стороны и водителей автомобилей, обладающих свободной волей и реализующих при движении свои частные цели, с другой стороны.

Таким образом, ТП представляет собой техносоциальную систему, обладает свойствами нестационарности, стохастичности и неполной управляемости, имеет множество критериев качества регулирования, большинство из которых нельзя замерить. Указанные свойства говорят о сложности его формализации и моделирования. Учитывая невозможность замера многих характеристик ТП и невозможность проведения масштабных натурных испытаний, возникает необходимость создания моделей ДД, позволяющих прогнозировать последствия изменений, влияющих на характеристики ТП, и оценивать качество управления ими. При проведении вычислительного эксперимента с помощью ЭВМ (моделирования) появляются неограниченные возможности исследования всех состояний ТП в течение короткого времени и без существенных затрат.

## 1.2. Понятия модель, моделирование. Виды моделей

Моделирование – процесс создания модели объекта-оригинала (ТП), его исследования и распространения результата исследования на объект-оригинал (ОО).

Модель – некоторая система, воспроизводящая свойства ОО, которые полагаются существенными и не содержащая свойств ОО, которые считаются несущественными. Именно подобная избирательность является основным признаком модели. Кроме того, модель обладает свойством целенаправленности.

Требования к модели:

* модель должна быть более точной, чем требуется для конкретной задачи;
* модель должна быть простой, удобной, и предельно чувствительной к исследуемым свойствам.

Виды моделей:

* физические, воспроизводящие изучаемый процесс (ОО) с сохранением его физической природы (аэродинамическая труба, сложные металлические конструкции, сложные гидротехнические сооружения);
* математические, описывающие процессы в ОО в математических терминах.

Способы исследования математически моделей (ММ):

* Аналитические. Возможны, если удается преобразовать исходную ММ в систему математических соотношений (уравнения, формулы, графики), содержащие искомую величину в явном виде, или допускающую их получение каким-либо известным способом.
* Изоморфные. Свойство изоморфизма позволяет изучение одних физических явлений заменить изучением других, например, процессы, протекающие в математическом маятнике или при колебании тела на пружине, можно исследовать с помощью электрических цепей (аналоговое моделирование).
* Компьютерные.

Численное моделирование. Включает этап преобразования исходной ММ в форму, допускающую численное решение и этап многократной реализации численного метода путем применения ЭВМ.

Имитационное моделирование. Предполагает изучение некоторого моделируемого алгоритма, имитирующего функционирование ОО. Основное отличие от численного моделирования состоит в том, что основой является некоторый моделируемый алгоритм, который обязательно сохраняет определенные аналогии с ОО;

## Вопросы для повторения

1. Что такое модель?
2. Перечислите основные виды моделей.
3. Чем физическая модель отличается от математической?
4. Перечислите способы исследования математических моделей.
5. Чем имитационная модель отличается от численной?

## 1.3. Характеристики транспортного потока (ТП)

Наиболее часто используемыми характеристиками транспортного потока являются: интенсивность движения, состав ТП, плотность ТП, скорость движения ТП, продолжительность задержек.

Интенсивность движения ТП Na – это количество транспортных средств, проходящих через сечение дороги за единицу времени – год, месяц, час, минута, секунда. Интенсивность движения ТП имеет ярко выраженную временную (дневную и сезонную) и пространственную неравномерность (по длине магистралей и по встречным направлениям).



а)



б)

Рисунок 1.1 Дневное (а) и сезонное (б) изменение интенсивности движения

Состав ТП характеризуется соотношением в нем транспортных средств различного рода.

Плотность ТП (qa) – является пространственной характеристикой, характеризующей степень стесненности движения (загрузки полосы дороги). Ее измеряют количеством транспортных средств, приходящихся на 1 км протяженности полосы дороги.

В зависимости от плотности ТП условно разделяют условия движения на свободное, частично-связанное, насыщенное, колонное и перенасыщенное.

Скорость движения является важнейшим показателем ДД, характеризующим его целевую функцию. Наиболее объективно скорость ТС характеризует кривая ее изменения на протяжении маршрута движения.

Задержки движения ТП – все периоды снижения скорости ТП по сравнению с расчетной, а также периоды вынужденных остановок перед перекрестками, ж/д переездами и при заторах.

Более подробно характеристики ТП представлены в [4].

Значительное влияние на характер образования ТП оказывают планировочные особенности и геометрические параметры путей сообщения улично-дорожной сети, пешеходные потоки, характеризующиеся скоростью, интенсивностью и плотностью [5], а также окружающая среда.

## Вопросы для повторения

1. Перечислите основные характеристики ТП
2. Какие характеристики на Ваш взгляд являются наиболее важными и часто используемыми на практике?
3. Какие различают условия движения ТП в зависимости от его плотности?

## 1.4. Особенности транспортного потока как объекта исследования

Первой и довольно очевидной особенностью городских транспортных потоков является их нестационарность, причем наблюдаются колебания их характеристик по крайней мере в трех циклах: суточном, недельном и сезонном.

Второй особенностью является стохастичность транспортных потоков, характеристики которых допускают прогноз только с определенной степенью вероятности. Останавливаясь на этом моменте подробнее, отметим, что транспортный поток в первом приближении ведет себя как традиционный технический объект и описывается теми же характеристиками, что и поток жидкости или газа: скоростью, плотностью интенсивностью и составом потока, связи между которыми достаточно хорошо исследованы и описаны как с помощью дифференциальных уравнений, так и другими методами. Транспортный поток движется по транспортной сети, в свою очередь обладающей определенными характеристиками, допускающими более или менее строгое описание. Как правило, достаточно просто описывается топология транспортной сети, длины и пропускные способности ее участков, сложнее - состояние покрытия, для оценки которого не существует общепринятой шкалы и методики. Характеристики транспортной сети тоже являются нестационарными. Состояние покрытия зависит от погодных условий, топология сети - от градостроительных мероприятий и просто от проведения дорожных работ. Естественно, транспортная сеть влияет на характеристики транспортных потоков, внося дополнительный элемент нестационарности. Кроме того, на транспортные потоки могут влиять разнообразные случайные события: дорожно-транспортные происшествия, выход пешеходов на проезжую часть и так далее.

Третьей особенностью дорожного движения как объекта управления является неполная управляемость, суть которой состоит в том, что даже при наличии у системы управления полной информации о транспортных потоках и возможности доведения управляющих воздействий до каждого водителя, эти воздействия в ряде случаев в принципе могут носить только рекомендательный характер. Эта особенность делает весьма проблематичным достижение глобального экстремума любого критерия управления.

Четвертой особенностью, относящейся уже не только к собственно дорожному движению, объединяющему транспортные потоки, движущиеся по транспортной сети, но и к системе управления ими, относится множественность критериев качества управления. Дорожное движение в районе или городе, управляемое определенным образом, обладает некоторыми синтетическими характеристиками, среди которых могут быть названы: транспортная работа, задержка, скорость сообщения, число дорожно-транспортных происшествий, объем вредных выбросов атмосферу и так далее. Большинство перечисленных характеристик взаимосвязаны, но назвать одну из них главной или даже однозначно ранжировать их не представляется возможным.

Пятой особенностью дорожного движения как объекта управления является сложность и даже невозможность замера практически всех характеристик качества управления. Так, оценка величины транспортной работы требует либо наличия датчиков транспортных потоков на всех направлениях их движения, либо использования данных аэрофотосъемки, либо проведения трудоемкого ручного обследования. В России ситуация осложняется отсутствием надежных и недорогих технических средств (датчиков), предназначенных для получения данных о транспортных потоках.

Наконец, необходимо отметить принципиальную невозможность проведения масштабных натурных экспериментов в сфере управления дорожным движением. Эта невозможность предопределена, во-первых, необходимостью обеспечения безопасности движения, во-вторых, материальными и трудовыми затратами на проведение эксперимента (изменение разметки и дислокации дорожных знаков) и, в-третьих, тем что серьезные изменения в комплексной схеме организации движения затрагивают интересы большого количества людей - участников движения.

## Вопросы для повторения

1. Перечислите пять основных особенностей ТП как объекта моделирования?
2. Чем обусловлена нестационарность ТП?
3. Что такое стохастичность ТП?
4. Почему ТП обладает свойством стохастичности?
5. Почему управляющие воздействия на ТП могут носить только «рекомендательный» характер?
6. Перечислите известные Вам критерии качества регулирования и докажите их противоречивость.
7. В чем состоит сложность экспериментального исследования ТП?

## 1.5. Системный подход при решении задач моделирования ТП. Классификация моделей ТП

В терминах системного подхода, ТП и комплекс условий, в которых он движется, представляет собой типичный пример сложной системы (СС). Под СС понимают большое количество взаимно связанных и взаимодействующих между собой элементов, организованных таким образом, чтобы наиболее эффективно достичь поставленной цели. При разработке проблемы, связанной с движением ТП следует рассматривать СС «водитель – средства управления автомобилем – автомобиль – дорога – средства организации движения – среда». Особенностью этой системы является функционирование в условиях действия большого количества случайных факторов.

В настоящее время однозначного, четкого определения сложной системы нет. Известны различные подходы и предложены различные формальные признаки ее определения. Так, советский ученый Г.Н. Поворов предлагает относить к сложным системы имеющие 104-107 элементов; к ультросложным - системы, состоящие из 107-1030 элементов; и к суперсистемам – системы из 1030-10200 элементов.

Такой подход имеет тот недостаток, что данное определение сложности является относительным, а не абсолютным.

Английский кибернетик С. Бир предлагает к сложным относить системы, описываемые на языке теоретико-вероятностных методов (мозг, экономика, форма и т.п.).

Наиболее четким определением сложных систем является определение: Сложной системой называется система, в модели которой недостаточно информации для эффективного управления этой системой.

Таким образом, признаком простоты системы является достаточность информации для ее управления. Если же результат управления, полученный с помощью модели, будет неожиданным, то такую систему относят к сложной.

От сложных систем необходимо отличать большие системы.

Система, для моделирования которой в целях управления недостает материальных ресурсов (машинного времени, емкости памяти, других материальных средств моделирования) называется большой.

К таким системам относятся экономические, организационно-управленческие, нейрофизиологические, биологические и т.п. системы.

Способом перевода больших систем в простые является создание новых более мощных средств вычислительной техники.

Движение ТП является результатом непрерывного взаимодействия между отдельными элементами системы, как в пространстве, так и во времени. Подсистемами ТП как СС могут быть: подсистема потока автомобилей, подсистемы дорожных условий и средств организации движения, подсистемы управления автомобилем и т.д. (рис.1). Каждая из этих подсистем также является СС, требующей применения тех же методов анализа и оценки функционирования, как вся сложная система «В-СУА-А-Д-СОД-С».

Чтобы обеспечить наиболее эффективное функционирование системы, т.е. наиболее безопасные, удобные и экономичные условия ДД, необходимо определить количественные связи внутри системы (построить модель структуры) и установить их влияние на поведение всей системы как единого целого – выявить интегративные (эмерджентные) свойства.

Основная концепция системного подхода – это представление исследуемого объекта или процесса в виде системы S и ее последующий анализ с целью выявления основных закономерностей функционирования. Этапы методики системного подхода: формулировка целей функционирования, выделение системы из среды ее функционирования, моделирование, разработка структуры системы управления, обеспечивающей достижение заданных целей.

Система, по В.Н. Согатовскому, – это «конечное множество функциональных элементов A и отношений между ними R, выделенное из среды SR в соответствии с определенной целью Z в рамках определенного временного интервала ΔT».

S≡<A, R, Z, SR, ΔT> (1.1)

Для описания ТП как СС могут быть использованы: теория вероятностей, математическая статистика, вычислительная техника, теория массового обслуживания, теория игр, линейное программирование, моделирование, теория информации и психофизиология человека [4].



Рисунок 1.2 ДД как СС

Известные и нашедшие практическое применение ММ в ОДД можно разделить на две группы: детерминированные и стохастические.



Рисунок 1.3 Модели ТП

К детерминированным (динамическим) относятся модели, в основу которых заложена функциональная зависимость между отдельными показателями ТП, например, связь между скоростью и дистанцией, интенсивностью и скоростью и т.д. В случаях, часто наблюдаемых в большом городе или на скоростной дороге, когда много автомобилей движутся в группе, транспортный поток может быть рассмотрен как детерминированный и непрерывный. Таким образом, с помощью детерминированных моделей исследуют ТП высокой плотности, в которых автомобили находятся в тесном взаимодействии между собой и решающую роль играет человек как оператор.

Стохастические (вероятностные) модели рассматривают ТП как вероятностный, случайный процесс, например, распределение интервалов между автомобилями в ТП может приниматься не строго определенным, а случайным. ТП, движущийся по УДС, состоит из множества автомобилей, которые управляются по более или менее свободному желанию водителей, и маневры каждого автомобиля могут быть расценены как вероятностные события. Таким образом, с помощью стохастических моделей исследуют ТП низкой плотности.

Если обсуждаются условия, влияющие на безопасность движения на дороге, или стартовые характеристики автомобилей, начинающих движение от регулируемого перекрестка, то следует использовать вероятностный подход и микроскопические модели, которые представляют движение отдельных автомобилей. C другой стороны, имея дело с ТП, движущимся по УДС, оборудованных множеством регулируемых перекрестков, возможно, что выгоднее пользоваться макроскопической моделью, которая отображает ТП как стационарное явление, представляемое общей средней скоростью, плотностью потока и интенсивностью, поскольку микроскопическая модель слишком детальна для представления потоков с высокой плотностью.

## Вопросы для повторения

1. Что такое сложная система?
2. Почему ТП относят к СС?
3. В чем состоит основная концепция системного подхода?
4. Какие элементы включает система по Согатовскому?
5. Перечислите основные виды математических моделей ТП.
6. Чем детерминированные модели ТП отличаются от стохастических?
7. В каких случаях используют макроскопические модели, а в каких микроскопические?

## 1.6. Макроскопические модели ТП

Макроскопические модели рассматривают ТП как сплошную среду, состоящую из большого количества близко расположенных друг к другу автомобилей. Для математического описания состояния движущегося ТП как сплошной среды необходимо использовать следующие основные законы: уравнение состояния потока автомобилей, уравнение неразрывности, закон сохранения количества движения, закон сохранения энергии. Процессы, происходящие внутри ТП, не могут быть исследованы с помощью данной теории. Основное практическое значение имеет анализ волнового движения ТП с точки зрения выявления степени влияния препятствий.

Макроскопическая модель ТП определяется как модель, представляющая средние характеристики ТП (средняя скорость v, плотность q и интенсивность N), состоящего из автомобилей, каждый из которых имеет стохастические характеристики.

Под уравнением состояния ТП как сплошной среды понимают следующее уравнение:

. (1.2)



Получим уравнение неразрывности ТП, основанное на принципах закона сохранения масс. Анализируя ТП, рассматривается постоянство общего числа автомобилей во времени dK/dt=0. Изменение общего числа автомобилей на участке дороги dx за время dt может происходить как в результате изменения плотности q, так и в результате изменения интенсивности N.



Рисунок 1.4

Если рассматривать ТП как стационарную систему, то изменение между числом автомобилей по длине дороги dx за время dt должно быть равно разности между числом автомобилей входящих на участок x и числом автомобилей, выходящих с участка x+dx.

Пусть x – расстояние вдоль дороги. Рассмотрим бесконечно малый участок дороги dx. Изменение количества автомобилей dK за время dt может быть найдено как разность между прибывающими автомобилями в точку x и убывающими из точки x+dx.

, (1.3)



где dN – бесконечно малое изменение интенсивности на участке dx.

С другой стороны изменение количества автомобилей dK можно выразить через изменение плотности q за время dt.

. (1.4)



Приравняем выражения (1.3) и (1.4)

, (1.5)



и получим «закон сохранения автомобилей»

, (1.6)



выведенный при условии, что на участке дороги нет въездов и съездов. Смысл этого уравнения следующий: количество автомобилей, входящих в момент времени dt на участок dx, равно количеству автомобилей, выходящих с этого участка.

Рассмотрим связь между характеристиками ТП: скоростью v плотностью q. Получим уравнение движения ТП.

Будем считать, что скорость v в точке x определяется только плотностью q в x: . Определим v’ как:



. (1.7)



Примем среднее ускорение наблюдателя таким, какое обычно имеет патрульный автомобиль дорожной службы, двигающийся со скоростью, равной средней скорости потока v.

. (1.8)



Выполним следующие преобразования

. (1.9)



С учетом (1.6.6) получим:

. (1.10)



Учитывая, что N=ν\*ϥ и с учетом выражения (1.6), а также пользуясь правилами дифференцирования произведения, получим

. (1.11)



Подставим (1.11) в выражение (1.10) и получим уравнение движения ТП

, (1.12)



где отрицательный коэффициент можно интерпретировать, как коэффициент трения в случае динамики жидкостей. Для классической сжимаемой жидкости уравнение (1.12) носит название уравнения движения и имеет вид:



, (1.13)



где С – неотрицательная константа с размерностью скорости.

Однако гипотеза о рассмотрении ТП аналогично классической жидкости излишне груба и следует рассматривать более общий класс моделей, таких как:

. (1.14)



Уравнение (1.13) соответствует случаю, когда n=-1, следовательно, мы предполагаем, что

. (1.15)



Учитывая (1.7), выразим , выполним разделение переменных и проинтегрируем



. (1.16)



Следует отметить, что при n=-1 (15) имеет вид

. (1.17)



|  |  |
| --- | --- |
| начальные условия q=qmax, при v=0 | ;  начальные условия q=qmax, при v=0  ; |

Приведенные уравнения имеют следующие решения:

при n=-1

, (1.18)



при n≠-1

, (1.19)



где qmax – максимально возможная плотность ТП на дороге, при которой v=0.

Модель, выраженная уравнением (1.18) была впервые получена Гринбергом в 1959 г. Результаты расчетов по данной модели достаточно хорошо сходятся с экспериментальными данными для плотностей потока отличных от нуля (рис. 1.6).



Рисунок 1.5 Приближенная связь между v и q

(модель Гриншильдса)

Для модели с n≥0 обозначим через v0 скорость при q=0:



Рисунок 1.6. Модель Гринберга и экспериментальные данные

(1.20)



Модель, представленная на рис. 1.5, получается, как частный случай из уравнения (1.20), при n=1 (линейно зависит от q) и называется моделью Гриншильдса, которая впервые была получена в 1934 г.

Рассмотрим взаимосвязь между v, q, N. Подставим N=q⋅v в уравнения (1.18) и (1.20) и получим:

. (1.21)



. (1.22)



(1.23)



(1.24)



Рисунок 1.7 Влияние параметра n на вид модели

Величина скорости v1 и плотности q1, которые максимизируют интенсивность потока N, могут быть получены путем дифференцирования вышеприведенных моделей (1.23), (1.24) и даны ниже:

n=-1 (модель Гринберга) v1=C, q1=qmax/e, Nmax=C⋅qmax/e;

n=1 (модель Гриншильдса) v1=v0/2, q1=qmax/2, Nmax= v0⋅qmax/4;

n≠-1 (обобщенная модель) v1=(n+1)v0/(n+3), q1=qmax((n+3)/2)2/(n+1),   
Nmax= v0⋅qmax((n+1)/(1/22/n+1(n+3)2/(n+1)+1));

Рассмотрим уравнение сохранения количества движения. При движении ТП по аналогии с движением жидкости количество движения характеризуется величиной qv. Данное уравнение получается умножением на v уравнения неразрывности (1.6.5) и умножением на q уравнения движения (1.6.13). Затем, складывая полученные уравнения, получаем уравнение сохранения количества движения.

. (1.25)



Рассмотрим уравнение, характеризующее энергетическое состояние ТП. Общее энергетическое состояние ТП, пользуясь гидродинамической аналогией, можно характеризовать суммой кинетической Ek и внутренней U энергии.

E=Ek + U (1.26)

Уравнение (1.26) является законом сохранения энергии ТП. При этом кинетическая энергия ТП определяется как:

Ek=γqv2, (1.27)

где γ - постоянная.

Внутренняя энергия характеризует степень устойчивости движения ТП, от которой зависит величина этой энергии. Потеря внутренней энергии может быть вызвана неблагоприятными дорожными условиями или увеличением плотности потока. Величиной внутренней энергии считают среднеквадратичную величину ускорения движения автомобилей σа на участке дороги S.

E=γqv2 + σа. (1.28)

Граничными условиями закона являются:

при v→0,

E=γqmaxv2max; (1.29)

при Ek→0,

Е=(σа)max. (1.30)

Исходя из граничных условий (26) получим γ как

γ=(σа)max/(qmaxv2max). (1.31)

Таким образом, уравнение (1.27) примет окончательный вид:

. (1.32)



Основная диаграмма ТП. Основные уравнения движения ТП как сплошной среды можно использовать для анализа возникновения волн в потоке, вызывающих качественные изменения в нем. Скорость распространения кинематической волны определяют с помощью основной диаграммы ТП.



Рисунок 1.8 Основная диаграмма ТП

При этом средняя скорость vcp движения ТП и мгновенная скорость vм будут определяться как:

(1.33)



(1.34)



Скорость распространения кинематической волны vм равна тангенсу угла наклона к оси х касательной к кривой N(q). С увеличением плотности q угол наклона β касательной уменьшается, вызывая уменьшение скорости потока vср. Как следует из уравнения (1.34) величина vм принимает меньшие значения, чем vср при условии отрицательного отношения dv/dq. Скорости vм и vср принимают равные значения только при интенсивности, при которой начинает сказываться взаимное влияние автомобилей в ТП. В этой точке кривой N(q) отношение dv/dq=0.

Рассматриваемые волны можно назвать волнами изменения интенсивности ТП по длине дороги. При максимальной интенсивности движения, соответствующей пропускной способности, возникает стационарная волна. Наложение более быстрых волн на более медленные, приводит к образованию ударной волны.

Ударные волны в ТП. Рассмотрение макроскопической модели ТП показывает, что в ней, т.е. на кривых N(v) существуют области неустойчивости. Получим уравнение в приращениях для модели Гриншильдса (n=1), путем придания приращения Δv, отбрасывания составляющих второго порядка и составляющих не содержащих Δv:

. (1.35)



Рисунок 1.9 Влияние положительной обратной связи (ПОС)



Рисунок 1.10 Движение границ плотности ТП

Считаем что скорость v∈[0, v0] и dv/dq>0, тогда если по любой причине скорость некоторой части потока понизится на Δv, то интенсивность N, в соответствии с (1.35) понизится на ΔN. Следовательно, плотность этой части потока повысится, и скорость дальше будет снижаться. Таким образом, вследствие воздействия контура положительной обратной связи, возмущение скорости является незатухающим, что и демонстрирует неустойчивость поведения ТП. В этих случаях автомобили вынуждены неоднократно трогаться с места и останавливаться. Такое явление носит название ударная волна.

Как показано на рис. 1.10 примем, что плотности соседних участков 1 и 2 дороги различны, и обозначим плотность и скорость движения через q1, q2 и v1, v2. Если С – скорость движущейся границы между 1 и 2, то исходя из уравнения неразрывности (5), имеем:

(1.36)



Решая уравнение относительно С, получим:

(1.37)



В случае малых изменений плотности q мы можем легко получить скорость с передвижения граничной точки из уравнения (1.37) т.е. с=dN/dq. Учитывая уравнение состояния ТП, получим:

. (1.38)



Например, для модели Гриншильдса (соотношения (1.23), (1.24) при n=1) величины с и С определяют по формулам:



Рисунок 1.11 Образование ударной волны



Рисунок 1.12 Ударная волна

. 1.39)



. (1.40)



Из уравнения (1.40) следует, что скорость граничной точки с при пренебрежимо малом изменении q (или v) удовлетворяет условиям:

(1.41)



Таким образом, в ТП, показанном сплошной линией на рис. 1.11, часть волны над линией q=qmax/2 будет двигаться назад против потока, а часть волны ниже линии – вперед в направлении потока. Поэтому исходная форма волны транспортного потока изменяется и в пределе приобретает форму, показанную пунктиром, при которой существуют резкие изменения в плотности. Эта точка разрыва плотности называется ударным фронтом ТП, который после образования движется со скоростью, определяемой уравнением (31). Когда образуется ударная волна, автомобили начинают вести себя в соответствии с рис. 1.12 и вынуждены замедлять скорость или останавливаться.

## Вопросы для повторения

1. Перечислите основные уравнения транспортного потока при описании его на макроуровне.
2. Постройте график зависимости плотности от скорости ТП для модели Гриншилдса.
3. Запишите зависимость интенсивности от плотности потока для модели Гринберга.
4. Как из обобщенной модели ТП получить модели Гриншилдса и Гринберга?
5. Запишите уравнение состояния ТП.
6. В чем суть уравнения неразрывности ТП?
7. Что такое основная диаграмма ТП? Изобразите график основной диаграммы ТП.
8. Какие характеристики можно вычислить, пользуясь основной диаграммой ТП?

## 1.7. Микроскопические модели ТП

При учете взаимодействия между автомобилями возникают задачи установления закономерностей режима движения одиночных автомобилей и механизма передачи воздействия автомобилей друг на друга. При этом необходимо детально рассматривать систему «водитель-автомобиль», основным регулятором которой является человек. При разработке теоретических моделей движения плотных ТП учитывают показатели, характеризующие действия водителей. На основе изучения взаимодействия между автомобилями можно определить такие общие характеристики, как пропускная способность, средняя скорость, плотность. Данная теория особенно эффективна при решении задач, связанных со сравнительно короткими участками дорог.

Дистанция между автомобилями является основным параметром, зависящим от действий водителя при взаимодействии в плотном ТП. Первые динамические теории ТП строились на гипотезе о существовании определенной закономерности взаимодействия автомобилей, движущихся друг за другом на близком расстоянии, и позволяли определять среднюю дистанцию между автомобилями при различных скоростях движения.

Развитием теории упрощенных динамических моделей является теория «следования за лидером», основанная на гипотезе о существовании определенной закономерности взаимодействия автомобилей, движущихся друг за другом на близком расстоянии. Дифференциальное уравнение теории «следования за лидером» получено исходя из предпосылки, что все автомобили движутся в колонне на расстоянии, требуемом правилами дорожного движения.



Рисунок 1.13 Координаты положения автомобилей при движении в колонне

Из рис. 1.13 видно, что при соблюдении требований правил движения положения n-ного и (n+1) автомобилей можно выразить зависимостью:

, (1.42)



где l0 – минимальное расстояние между стоящими автомобилями, tpvn – расстояния между автомобилями, устанавливаемые в зависимости от скорости движения, ln+1 – длина автомобиля, n – порядковый номер автомобиля.

Дифференцируя (1.42) по времени получим:

, (1.43)



где n=1, 2, 3…N.

Выразим соотношение (1.43) через скорость v следующим образом:

(1.44)



или

, (1.45)



где dvn/dt – ускорение заднего автомобиля, vn и vn+1 – скорости заднего и переднего автомобилей, α=1/tp, tp – продолжительность реакции.

Уравнение (1.45) является первым дифференциальным уравнением теории «следования за лидером» (или линейной теории «следования за лидером») и формулируется следующим образом: при следовании двух автомобилей друг за другом на достаточно близком расстоянии, когда сказывается их взаимное влияние, ускорение заднего автомобиля прямо пропорционально разности скоростей переднего и заднего автомобилей (относительной скорости). Коэффициент α называют чувствительностью водителя.

Следует отметить, что на практике коэффициент α не является постоянной величиной, а принимает меньшие значения при появлении больших величин пространственных интервалов по отношению к автомобилю лидеру и большие значения при высоких скоростях. Кроме того, чувствительность зависит от скорости автомобиля, чем скорость движения выше, тем чувствительность также становится выше. С этой точки зрения преобразуем уравнение (1.45) к виду:

. (1.46)



Соотношение (1.45) является вторым уравнением теории «следования за лидером» (нелинейная теория «следования за лидером») и формулируется следующим образом: «ускорение заднего автомобиля прямо пропорционально разности скоростей переднего и заднего автомобиля и обратно пропорционально расстоянию между ними».

На основании соотношений (1.45) и (1.46) запишем обобщенное уравнение теории «следования за лидером»:

, (1.47)



где а – постоянная, m, k – показатели степени.

В простейшем случае m=0, k=1, соотношение (1.47) примет вид:

. (1.48)



Проинтегрируем уравнение (1.48), путем выполнения разделения переменных и выполнения следующих преобразований:

. (1.49)



. (1.50)



. (1.51)



После интегрирования (1.51) получим:

, (1.52)



где С – постоянная интегрирования.

Дальнейшее преобразование (1.52) даст нам следующую зависимость:

. (1.53)



Когда ТП является стационарным, то плотность q выражается следующим соотношением:

. (1.54)



Учитывая (1.54) и то, что скорость v в стационарном режиме постоянна, то получим:

. (1.55)



Выражение (1.55) идентично уравнению (1.22), и мы из микроскопической модели «следования за лидером» получаем макроскопическую модель Гринберга.

Основные выводы и общая оценка детерминированных моделей ТП.

Условия гидродинамической теории предполагают существование однородного ТП, состоящего из автомобилей одного типа. Однако на практике такие потоки наблюдаются редко. С практической точки зрения наиболее реальной является ТСЛ, которая описывает взаимодействие между автомобилями и учитывает психофизиологические особенности водителей.

Несмотря на различные начальные модели, все детерминированные (динамические) теории тесно связаны между собой. Теоретические исследования показывают, что решение уравнений ТСЛ приводит к конечному уравнению гидродинамической теории. Кроме того, с помощью каждой из детерминированных теорий можно построить основную диаграмму движения ТП «интенсивность-плотность», в которой связаны между собой характеристики движения ТП.

По диаграмме «N-q» можно определить все характеристики движения ТП: скорость, плотность, интенсивность, скорость распространения ударной волны и т.п.

Часть кривой расположенная слева от линии 0,5 соответствует нормальным условиям движения без образования заторов, правая часть кривой – движению автомобилей при возникновении заторов.



Рисунок 1.14 Основная диаграмма ТП

Максимальная интенсивность, получаемая по диаграмме соответствует пропускной способности рассматриваемого участка дороги. По основной диаграмме можно определить среднюю скорость ТП и скорость распространения кинематической волны в ТП.

Кроме того, из основной диаграммы ТП можно оценить среднюю величину интервала во времени между следующими друг за другом автомобилями Δt и интервала во времени между заднем бампером переднего автомобиля и передним бампером заднего автомобиля δt.

Общий вид уравнения «N-q», полученный на основе теории следования за лидером следующий

(1.56)



Таким образом, результаты, полученные по различным теориям совпадают.

## Вопросы для повторения

1. Для решения каких задач применяют микроскопические модели ТП?
2. В чем состоит основная гипотеза МСЛ?
3. Что описывает первое дифференциальное уравнение ТСЛ?
4. Запишите и объясните смысл второго уравнения ТСЛ?
5. Какие результаты дают детерминированные модели ТП?

## 1.8. Стохастические модели ТП. Моделирование работы АТС и погрузочно-разгрузочных средств как системы массового обслуживания

Основные понятия теории массового обслуживания. В произ­водственной деятельности автомобильного транспорта постоян­но встречаются ситуации, когда появляется потребность в по­грузке или разгрузке большого количества автомобилей, прибы­вающих в случайные моменты времени. При этом мощность погрузочно-разгрузочных пунктов, как правило, ограничена. Это приводит к созданию очередей автомобилей, когда все посты погрузки-разгрузки заняты, или к простою погрузочно-разгру­зочных средств, если выделено недостаточное количество авто­мобилей.

Оптимизацией таких процессов занимается теория массового обслуживания, которая является разделом теории вероятностей.

С помощью теории массового обслуживания решаются задачи организации и планирования процессов, в которых, с одной сто­роны, постоянно в случайные моменты времени возникает тре­бование выполнения каких-либо работ, а с другой — постоянно происходит удовлетворение этих требований, время выполнения которых является также случайной величиной.

Система массового обслуживания характеризуется структурой, которая определяется составом входящих в нее элементов и функ­циональными связями между ними. К этим элементам относятся следующие.

1) Требование — это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ.

2) Очереди требований — это число требований, ожидающих об­служивания. Очередь характеризуется своей величиной, которая, как правило, переменная, и средним временем простоя одного требования в ожидании обслуживания (toб).

3) Входящий поток — совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью. Входящий поток характеризует­ся интенсивностью λ, нагрузкой на одно требование q и законом распределения, который описывает распределение требований по времени.

Интенсивность поступления требований — это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времени:

λ =1/T (1.57)

где Т — среднее значение интервала между поступлением оче­редных требований.

Для автомобилей нагрузка на одно требование будет совпадать со средней величиной их фактической грузоподъемности.

Процесс поступления в систему массового обслуживания по­тока требований является вероятностным и представляет собой поток однородных или неоднородных событий, которые наступа­ют через случайные промежутки времени. Случайные промежутки времени между наступлениями событий в потоке могут подчи­няться различным законам распределения. Однако в подавляющем числе случаев рассматривается пуассоновский (простейший) поток, в котором вероятность поступления в промежуток времени равно к требований задается формулой Пуассона:

Pk(t) = [(λt)k/k!]еxp(-λt). (1.58)

Простейший поток обладает тремя основными свойствами: ста­ционарностью, отсутствием последействия, ординарностью по­тока требований.

Случайный поток называется стационарным, если вероятность поступления определенного количества требований в течение оп­ределенного отрезка времени зависит от его величины и не зави­сит от начала отсчета времени работы системы. Таким образом, два простейших потока будут отличаться друг от друга только сво­ими параметрами λ.

Отсутствие последействия состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени t определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований. Отсутствие последействия предполагает взаимную независимость протекания процесса в не перекрывающиеся между собой промежутки вре­мени.

Ординарность потока требований означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени.

Выходящий поток — это поток требований, покидающих сис­тему обслуживания. Требования этого потока могут быть обслуже­ны или не обслужены в системе. Этот поток может оказаться вхо­дящим для другой группы обслуживающих устройств.

Обслуживающие устройства — средства, которые осуществляют обслуживание. Обслуживающие устройства характеризуются своей производительностью V и надежностью.

Производительность устройства, которая часто называется интенсивностью обслуживания, определяется по формуле:

V=1/tоб. (1.58)

Обслуживающая система — совокупность обслуживающих уст­ройств.

Каждой из систем массового обслуживания свойственна опре­деленная организация. По своему составу эти системы можно раз­делить на одноканальные и многоканальные. Многоканальные сис­темы могут обслуживать несколько требований одновременно. При этом многоканальные системы могут быть однотипными или разно­типными, в которых обслуживающие устройства, работающие па­раллельно, имеют разную производительность.

*Аналитические методы моделирования*

Для пуассоновских систем массового обслуживания разработаны методы, позволяющие достаточно просто аналитически рассчитывать их характеристики.

Системы с отказом в обслуживании являются наиболее просты­ми. В таких системах каждое поступающее требование либо обслуживается, если обслуживающее устройство свободно, либо теряет­ся. Характерным примером такой системы является традиционная телефонная связь. Если абонент свободен, поступающий звонок соединяется с ним, если занят, звонок приходится повторять.

Коэффициент загрузки системы определяет минимальное число обслуживающих устройств, которое необходимо иметь в системе для предотвращения роста очереди на обслуживание:

α= λtоб=λ/v. (1.59)

Вероятность того, что обслуживанием поступающих требова­ний заняты к устройств, равна

Pk=(ak/k!)/ Σ(ak/k!), (1.60)

где k изменяется от 0 до n — числа обслуживающих устройств.

Вероятность того, что все обслуживающие устройства свободны: Pk=1/ Σ(ak/k!). (1.61)

Вероятность того, что все обслуживающие устройства заняты: Pn=P0/(ak/k!). (1.62)

Системы с неограниченным потоком требований относятся к ра­зомкнутым системам. В таких системах отсутствует связь между обслуженными требованиями и требованиями, поступающими на обслуживание. Другими словами, работа системы никак не влияет на характеристики входящего потока. К таким системам можно отнести работу ПРП, обслуживающих ПС, занятый на междуго­родных или международных перевозках.

Вероятность того, что все обслуживающие устройства свободны: . (1.63)



Вероятность того, что все обслуживающие устройства заняты: Pn=(Po αn)/[(n-1)!(n-α)]. (1.64)

Среднее вреднее время ожидания обслуживания

t=(Pntоб)/(n-α). (1.65)

Среднее число требований, ожидающих обслуживания:

Aож= (α Pn)n(1- α/n)2. (1.66)

Среднее число простаивающих обслуживающих устройств за единицу времени:

(1.67)



Потери от простоя АТС можно определить по формуле:

Ca=tожСпр.а λ. (1.68)

Потери от простоя ПРМ

Спрм=NожСпр.прм (1.69)

где Спр.а и Спрпрм — удельные потери от простоя АТС и ПРМ соответственно.

Системы с ограниченным потоком требований относятся к зам­кнутым системам. В таких системах ярко выражена связь между обслуженными требованиями и требованиями, поступающими ни обслуживание, так как после обслуживания эти требования вновь возвращаются на следующее обслуживание. Работа такой системы существенно влияет на характеристики входящего потока. К подобным можно отнести работу ПРП, обслуживающих постоянный состав АТС, занятых на коротких городских и строи­тельных перевозках.

Вероятность того, что все обслуживающие устройства свободны: (1.70)



Среднее число требований, ожидающих обслуживания:

. (1.71)



Среднее число простаивающих обслуживающих устройств за единицу времени

(1.72)



## Вопросы для повторения

1. Что такое система массового обслуживания?
2. Что такое требование, очереди требований,?
3. Что такое отсутствие последействия, ординарность потока требований?
4. Что такое выходящий поток, входящий поток,
5. Что такое обслуживающие устройства и обслуживающая система?
6. Зависимость коэффициента системы?
7. Что такое система с ограниченным потоком требований?
8. Что такое система с неограниченным потоком требований?

# 2. Планирование и управление грузовыми перевозками

## 2.1. Планирование перевозок грузов

*Принципы планирования грузовых перевозок*

Планирование грузовых перевозок подразделяется на перспективное, текущее и оперативное.

Перспективное (стратегическое) планирование включает в себя разработку основных направлений и показателей деятельности длительный период от 5 до 15 лет. В его рамках все расчеты выполняются на основании прогнозов развития экономических и социальных процессов в регионе и анализа рыночной конъюнктур. При перспективном планировании большое значение имеет правильное использование современных методов прогнозирования.

Прогнозируемые объемы перевозок промышленных грузов определяются относительно объемов существующих перевозок и прогнозов развития промышленности по следующей формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| Qп = QcKиKп, | (2.1) |

где Qп — прогнозируемый объем грузов, перевозимых автотранспортом, тыс. т; Qc — фактический объем грузов, перевозимых автотранспортом в существующий период, тыс. т; Ки — коэффициент изменения объема промышленных грузов к прогнозируемому сроку; Кп — коэффициент повторности перевозок промышленных грузов, Кп = 1,05... 1,2.

|  |  |
| --- | --- |
| Ки =КСНVП/VC | (2.2) |

где Ксн — коэффициент, учитывающий снижение материалоемкости промышленного производства и снижение объемов автомобильных перевозок, приходящихся на 1 млн р. валовой продукции промышленности, ориентировочно Ксн = 0,95...0,98; Vп - валовая продукция промышленности к прогнозируемому сроку млн р.; Vс — валовая продукция промышленности на существующий период, млн р.

Прогнозируемый объем перевозок строительных грузов определя­ется исходя из планируемых объемов строительства отдельно по строительству промышленных и гражданских объектов.

Объем перевозок для грузов промышленного строительства рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| Qп=Kн{Kп[0,01Σ(CпHпc)+0,005Σ(СпНрс)]+0,01[ΣCп+0,5Σ(СпНм)]}/Y, | (2.3) |

где Кн — коэффициент неравномерности строительства по годам, Кн - 1,3... 1,4; Кп — коэффициент повторности перевозок грузов промышленного строительства, Кп = 1,1... 1,4; Сп — стоимость промышленного строительства, выполняемого в расчет­ный период, млн р.; Нпс — средние нормы расхода строитель­ных материалов, деталей и конструкций, тыс. т на 100 тыс. р. сметной стоимости строительно-монтажных работ в зависимости от отрасли промышленности; Нрс — средняя норма расхода строительных материалов и конструкций на 100 тыс. р. стоимости ремонта, Нрс = 4,0...6,0 тыс. т; Нм — средняя норма обра­зования строительного мусора на 100 тыс. р. стоимости промыш­ленного строительства и ремонта, Нм = 1,5...2,0 тыс. т; Y — количество лет в рассматриваемом периоде.

Объем перевозок для грузов гражданского строительства опре­деляется по следующей формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| Qп=Кн{Кп[Σ(СжНж)+0,01Σ(Ск-бНк-б)+ 0,01\*Σ(СнНн)+  +0,001Σ(RHр)]+0,01Σ(Сж+Ск-б+Сн+R)Нм}/Y, | (2.4) |

где Сж — объем строительства нового жилищного фонда, прогнозируемый на рассматриваемый период, тыс. м2 общей площади; Hж — средние нормы расхода строительных материалов и конструкций на одну тысячу кв. метров общей площади, тыс. т; Ск-б — стоимость строительства новых учреждений культурно-бытового обслуживания, млн р.; Hк-б — средняя норма расхода строительных материалов на 100тыс. р. сметной стоимости строительно-монтажных работ по учреждениям культурно-бытового назначения, Hк-б = 4,3...4,8 тыс. т; Сн — стоимость нового коммунального строительства и инженерного оборудования, млн р.; Cн — средняя норма расхода строительных материалов на 100 тыс. р. сметной стоимости строительно-монтажных работ коммунального строительства и инженерного оборудования, Hн = 4,0...6,0 тыс. т; R — стоимость ремонта объектов жилищного, культурно-бытового и коммунального строительства (принимается в размере 10...20% общей стоимости нового строитель­ства); Hр — средняя норма расхода строительных материалов на 100 тыс. р. сметной стоимости ремонтных строительно-монтаж­ных работ, Hр = 2,0...3,0 тыс. т; Нм — норма строительного му­сора от всех видов гражданского строительства на 100 тыс. р., Hм = 2,0...3,0 тыс. т.

Для расчетных целей можно принять следующие средние показатели массы строительных материалов в зависимости от типа жилищного строительства в тыс. т на 1 тыс. м2:

* деревянные дома 2,0
* каменные дома 2-этажные 5,6
* каменные дома 3-этажные 5,9
* каменные дома 4-этажные 5,6
* каменные дома 5-этажные 5,3
* крупнопанельные дома 3 — 5 этажей 4,3...4,4
* крупнопанельные дома 12— 16 этажей 4,2

Прогнозирование объемов перевозки потребительских грузов вы­полняется по нормам или уровню потребления на одного челове­ка с учетом массы перевозимой тары и повторности перевозок:

|  |  |
| --- | --- |
| Qп = (1 + Kпp)Hпот N Kт KпKдн + Qоч+ Qт, | (2.5) |

где Kпр — коэффициент, учитывающий долю промтоварных грузов по отношению к продовольственным грузам, принимае­мым за единицу, Kпр=0,25...0,35; Hпот — норма потребления продовольственных товаров на одного человека в год, Hпот = 1,0... 1,3 т, N — численность населения; Кдн — коэффициент, учитывающий дневное население региона как частное от деле­ния суммарного населения при маятниковой миграции на чис­ленность постоянного населения; Кт — коэффициент, учитыва­ющий массу тары, Кт = 1,1... 1,2; Кп — коэффициент повторно­сти перевозок потребительских грузов, Кп = 1,3... 1,5; Qоч — масса грузов очистки, включающая перевозки твердых бытовых отходов (0,2 т на одного жителя в год), уличного смета (0,05 т на жителя) и снега (0,25 т на жителя); Qт — масса топливных грузов, включающая перевозки жидкого топлива (0,05...0,01 т на одного жителя в год) и твердого топлива для загородных домов (0,5 т на жителя).

При планировании провозных возможностей парка АТС исполь­зуется формула:

|  |  |
| --- | --- |
| Q=Дк αв Σ(АспUр.д.)i, | (2.6) |

где индекс i обозначает перебор списочного состава парка гру­зовых АТС по моделям, выполняющих определенное суточное задание.

На коэффициент выпуска αв при стабильной организации ра­боты основное влияние оказывает время простоя.

Объем груза, который перевозится за смену, Up.д., помимо дру­гих факторов, зависит от дорожных условий, технической скоро­сти ПС на линии, надежности АТС. Техническая скорость ПС с большими сроками службы снижается как за счет ухудшения тягово-динамических качеств, так и в связи с увеличением просто­ев на линии для устранения мелких неисправностей.

Текущее планирование проводится на год. В этом случае воз­можный объем работы и необходимые для его выполнения ресур­сы рассчитываются на основании имеющихся и подготовленных к заключению договоров.

При расчете ресурсов, необходимых для освоения объемов ра­бот по договорам, используют коэффициент запаса, который дол­жен учитывать выработку ресурса ПС и возможность выполнения разовых заказов.

При составлении годового плана работы АТО по перевозкам грузов рассчитываются следующие показатели по типам ПС: ко­эффициент выпуска и использования парка АТС; автомобилей в работе; возможные объемы перевозок; годовой пробег, в том числе с грузом; требуемые ресурсы для поддержания АТС в рабо­тоспособном состоянии, расход топлива и ГСМ; себестоимость перевозок.

Оперативное планирование — это конкретизация плановых за­даний по времени выполнения, в пространстве (по местам вы­полнения производственных заданий), по специфике технологии и организации производства управляемого объекта (структура ПС, ПРМ, выбор технологии и т.д.). Оперативное планирование вклю­чает в себя разработку планов работы в целом АТО и конкретных АТС и водителей на месяц, неделю и смену.

Основным документом оперативного планирования является сменно-суточный план.

С одной стороны, сменно-суточный план составляется на ос­новании данных о потребностях в перевозках, которые складыва­ются из заключенных АТО договоров и поступивших разовых за­явок на перевозки. С другой стороны, оцениваются провозные воз­можности АТО на основании данных об исправном ПС и готовых к работе водителях.

*Задачи оптимизации и их место в планировании перевозок*

В настоящее время одним из главных путей повышения качества и эффективности работы AT является выбор вариантов использо­вания АТС, который включает в себя целый ряд задач, при реше­нии каждой из которых, начиная с получения заказа на выполне­ние перевозок, из множества вариантов должен выбираться опти­мальный, т.е. наилучший. В зависимости от вида решаемой задачи выбирается конкретный показатель, для которого стремятся най­ти наилучшее значение (например, минимальный пробег АТС, максимальная прибыль и т.д.). Такой показатель называется кри­терием оптимальности и является функцией независимых пара­метров (исходных данных) задачи

|  |  |
| --- | --- |
| F = F(x1, х2, ..., хn). | (2.7) |

Уменьшение или увеличение значения критерия оптимальнос­ти определяется необходимостью выполнения различных требо­ваний заказчика, дорожными условиями, техническими парамет­рами АТС, ПРМ и т.д.

Показатели и характеристики, на значения которых наложены ограничения, являются также функциями независимых параме­тров и называются функциями ограничений, которые могут зада­ваться в виде равенств и неравенств:

|  |  |
| --- | --- |
| R =Ri (X1, X2, ..., Xn) = 0;Rj=Rj{X1, X2, ..., Xn) < 0; Xк < 0. | (2.8) |

При решении задач оптимизации необходимо определить и обосновать критерий оптимальности и четко выделить показатели и характеристики, принимаемые в качестве ограничений.

Совокупность формул, позволяющая для заданного набора значений параметров х1, х2, ..., хn рассчитать значения функций ограничений и критерия оптимальности, называется математической моделью.

Особенности задач оптимизации на транспорте. Широкое использование методов оптимизации на AT неразрывно связано с развитием средств вычислительной техники, которая позволяет находить оптимальные решения в оперативном режиме, с учетом быстро меняющейся обстановки. Объективная предпосылка ис­пользования методов оптимального планирования перевозок за­ключается в том, что все задачи перевозочного процесса — задачи с экстремумом, причем определение наилучших решений вызы­вается условиями дефицитности, ограниченности заданных ре­сурсов.

Таким образом, выбор оптимального варианта — очередной, закономерный этап более высокой организации планирования и управления AT.

Специфические свойства задач планирования перевозочного процесса, особенно задач оперативного планирования, которые вызвали необходимость привлечения математического аппарата и современных средств вычислительной техники, следующие.

1.Подавляющее число таких задач являются многовариантными.

2.Задачи характеризуются ограниченностью времени на обра­ботку исходной информации.

3.Значительные исходные размеры задач. Это свойство особен­но характерно для крупных промышленных центров, где насчи­тывается большое число АТО, ГОП и ГПП.

4.Наличие большого числа существенных ограничений, неучет которых может привести к недопустимым вариантам транспорти­ровки

5.Различная периодичность решения. Так, попытки решения задач маршрутизации на любой плановый период, кроме сменно-суточного, оказывались бесплодными.

6.При планировании перевозочного процесса число пунктов разгрузки намного превышает число пунктов погрузки.

Основные методы оптимального планирования грузовых автомобильных перевозок. В зависимости от решаемой задачи в практике планирования перевозок для получения оптимальных решений применяют различные математические методы. В связи с тем, что в качестве критерия оптимальности, как правило, используют экономические показатели, часто такие методы носят название экономико-математических.

Линейное программирование — это математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями.

Таким образом, экономическое содержание задач линейною программирования — отыскание наилучших способов использования наличных ресурсов, когда условия задачи выражаются сис­темой линейных уравнений (равенств или неравенств), содержа­щих неизвестные только первой степени. Многие задачи планиро­вания грузовых автоперевозок имеют именно такое содержание. Например, закрепление грузополучателей (ГПП) за грузоотправителями (ГОП), распределение автомобилей по объектам и мар­шрутам и т.д.

Для любых задач линейного программирования характерны следующие три условия:

1. наличие системы взаимосвязанных факторов ;
2. строгое определение критерия оптимальности ;точная формулировка условий,
3. ограничивающих использо­вание наличных ресурсов.

В математической форме общая задача линейного программи­рования состоит в максимизации или минимизации линейной функции:

F=с1х1+с1х1+…+ cn xn (2.9)

от n вещественных переменных х1,х2 ,..., хn, удовлетворяющих условиям не отрицательности (x1 > 0, х2 > 0, ..., хn > 0) и m линейным ограничениям.

Среди ограничений могут одновременно встречаться знаки «>», «<» и «=». Значения сi, аij, bj предполагаются известными.

В линейном программировании имеются различные методы решения соответствующих планово-экономических задач. Если имеются всего две переменные, может быть использован графи­ческий метод решения. Однако на практике для решения подавля­ющего большинства задач используются специальные эвристичес­кие алгоритмы, основные из которых будут рассмотрены ниже.

(2.10)



К математическому программированию относятся также и ме­тоды нелинейного программирования. Соответствующие задачи в этом случае описываются нелинейными уравнениями.

Свойство нелинейности состоит в том, что результат взаимо­действия двух факторов не равен простой алгебраической сумме их действий. Функция принимает экстремальные значения в точ­ках, в которых значение ее первой производной равно нулю, т.е. необходимое условие минимума или максимума функции f’(х) = 0. Решение задачи нелинейного программиро­вания состоит в определении глобального экстремума.

Некоторые задачи планирования грузовых автоперевозок свя­заны с принятием ряда последовательных и поэтапных решений. Для решения таких задач используются методы динамического про­граммирования, в основе которых лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения.

Кроме методов математического программирования, в реше­нии планово-экономических задач находят применение методы, созданные в прикладной математике. Эти методы базируются на теории вероятностей, математической статистике и теории мас­сового обслуживания. При построении стохастических моделей исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров. При этом каждой входящей в модель величине приписывается не одно какое-либо число, а указывается вероят­ностный закон распределения значений этой величины и харак­теристики этого распределения (математическое ожидание, дис­персия и т.д.).

## Вопросы для повторения

1. В чем заключаются особенности задач оптимизации на транспорте?
2. Что такое критерий оптимальности?
3. В чем особенность решения задач на транспорте методом линейного программирования?
4. Какие особенности характерны для задача линейного программирования?
5. В чем особенность решения задач на транспорте методом нелинейного программирования?
6. Как определить прогнозируемые объемы перевозок промышленных грузов?
7. Как определить прогнозируемые объемы перевозок промышленного строительства?
8. Как определить прогнозируемые объемы перевозок гражданского строительства?
9. Что такое текущее планирование?
10. Что такое оперативное планирование?
11. Что такое сменно-суточный план?

## 2.2. Моделирование транспортных сетей и расчет кратчайших расстояний

При планировании перевозок возникает необходимость в оп­ределении кратчайших расстояний между АТО, пунктами потреб­ления и пунктами отправления грузов. Кратчайшие расстояния между пунктами являются основой для оплаты клиентами транспортных услуг, для учета расхода топлива, определения грузообо­рота АТО, расчета заработной платы водителей и т.д.

Определение расстояний перевозок осуществляется нескольки­ми практическими способами.

1) Непосредственный замер расстояний по местности. Этот метод мало пригоден из-за значительных расстояний, на которые пере­возятся грузы.

2) Обкатка маршрутов на автомобиле может производиться на основании показаний штатного спидометра или специального измерителя расстояний, который представляет собой дополни­тельное колесо с устройством для фиксации числа оборотов.

3) Замер по карте (плану) города или района с помощью курви­метра.

Всем этим способам присущ один серьезный недостаток: нет гарантии, что выбранный путь будет кратчайшим. Этот недоста­ток особенно сказывается при густоразветвленной дорожной сети современных городов, когда между удаленными точками имеется множество различных путей.

Для нахождения оптимального решения используются матема­тические методы, при применении которых необходима в каче­стве исходных данных транспортная сеть, отражающая транспорт­ные связи между различными точками.

Построение модели транспортной сети. Множество всех дорог города или района составляет дорожную сеть. Транспортная сеть — это совокупность дорог региона, пригодных для движения задан­ных транспортных средств.

Модель транспортной сети может быть представлена в виде графа.

Граф — это фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяю­щих их отрезков (звеньев).

Вершины графа — это точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения.

Звенья графа — это отрезки транспортной сети, характеризую­щие наличие дорожной связи между соседними вершинами. Зве­нья графа характеризуются числами, которые могут иметь раз­личный физический смысл. Чаще всего это расстояние, но может использоваться, например, и время движения.

Ориентированные по направлению звенья графа называются дугами.

Фактически вся­кое неориентированное звено графа включает в себя две равно­ценные, но противоположно направленные дуги. В зависимости от того, все или часть звеньев имеют направление, граф является ориентированным или смешанным. Граф, каждая вершина которого может быть соединена некото­рой последовательностью звеньев с любой другой его вершиной, называется связанным графом. Иначе говоря, каждая вершина свя­занного графа должна иметь как минимум одну входящую и одну выходящую дугу. Граф, моделирующий транспортную сеть, обя­зательно должен быть связанным, чтобы всегда был путь из лю­бой вершины в любую другую вершину.

Моделирование транспортной сети начина­ют с размещения вершин графа. За вершины графа принимают ГОП, ГПП, центры крупных жилых кварталов или небольших обособленных жилых пунктов и пересечения улиц. Каждой вер­шине присваивается порядковый номер или другое условное обо­значение. После размещения вершин их связывают дугами или звеньями.

При построении модели транс­портной сети особое внимание сле­дует уделить максимально возможно­му уменьшению числа вершин. В про­тивном случае транспортная сеть бу­дет излишне сложна и определение кратчайших расстояний потребует длительного времени.

Одним из наиболее тривиальных методов определения минимального расстояния на графе является метод потенциалов.

Метод потенциалов для определения кратчайших расстояний заключается в следующем. Начальной вершине сети, за которую может быть принята любая из вершин, присваивают потенциал, равный нулю. Затем определяют потенциалы соседних с началь­ной точкой вершин сети. Значение потенциала равно расстоянию до вершины. Выбирают наименьший потенциал и присваивают его соответствующей вершине. Затем вычисляют потенциалы вер шин, соседних с выбранной, и снова выбирают наименьший потенциал и присваивают его соответствующей вершине и т.д.

Полное решение задачи включает в себя столько этапов, сколько вершин имеет транспортная сеть, поскольку на каждом этапе определяют потенциал или кратчайшее расстояние от начальной точки до одной из вершин сети.

## Вопросы для повторения

1. Какими практическими способами определяется непо?
2. Что такое критерий оптимальности?
3. В чем особенность решения задач на транспорте методом линейного программирования?
4. Какие особенности характерны для задача линейного программирования?
5. В чем особенность решения задач на транспорте методом нелинейного программирования?

*Формулировка и методы решения транспортной задачи*

Оптимальное закрепление поставщиков однородного груза за потребителями, т.е. нахождение оптимальных грузопотоков, является классическим примером транспортной задачи. В этом случае потребителя не интересует, с какого конкретно склада ему будет доставлен, например, щебень. Но с точки зре­ния снижения транспортных издержек может наблюдаться существенная разница. Уменьшение расстояния перевозки грузов от поставщиков к потребителям в этом случае будет являться основ­ным резервом снижения транспортных издержек.

В отдельных случаях транспортная задача может решаться не только для определения минимума пробега, который будет вы­полнен для доставки груза, но и для определения наиболее ко­роткого времени, требуемого для выполнения перевозок, или их минимальной стоимости. В этом случае вместо матрицы расстоя­ний между поставщиками и потребителями необходимо использовать матрицы времени движения или стоимости перевозок. Так как в подавляющем большинстве случаев перевозчик заинтересо­ван в минимизации пробега, то в дальнейшем будет рассматри­ваться транспортная задача только на определение минимума рас­стояния (грузооборота).

Суть транспортной задачи линейного программирования состоит в следующем:

В пунктах отправления А1, А2, ..., Аn, имеется одно­родный груз в количестве а1, а2, ..., аn. Этот груз необходимо до­ставить в пункты потребления В1, В2, ..., Вm в количестве b1, b2 ,..., bm. Известны кратчайшие расстояния сij, между всеми пунктами отправления и получения груза. Необходимо построить план пере­возок таким образом, чтобы была удовлетворена потребность в грузе всех пунктов потребления, был бы вывезен весь груз из пун­ктов производства и при этом был бы обеспечен минимум транс­портной работы в тонно-километрах.

Имеется m пунктов отправления (или пунктов производства) Аi …, Аm, в которых сосредоточены запасы однородных продуктов в количестве a1, ..., аm единиц. Имеется n пунктов назначения (или пунктов потребления) В1, ..., Вm, потребность которых в указанных продуктах составляет b1, ..., bn единиц. Известны также транспортные расходы Сij, связанные с перевозкой единицы продукта из пункта Ai в пункт Вj, i 1, …, m; j 1, ..., n. Рассмотрим вариант, при котором потребности количество груза у ГПП полностью покрываются наличием груза у ГОП, т.е. имеет место соотношение:



|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.11) |

Требуется составить такой план перевозок (откуда, куда и сколько единиц продукта везти), чтобы удовлетворить спрос всех пунктов потребления за счет реализации всего продукта, произведенного всеми пунктами производства, при минимальной общей стоимости всех перевозок. Приведенная формулировка транспортной задачи называется замкнутой транспортной моделью. Формализуем эту задачу.

Пусть хij - количество единиц продукта, поставляемого из пункта Аi в пункт Вj. Подлежащие минимизации суммарные затраты на перевозку продуктов из всех пунктов производства во все пункты потребления выражаются формулой:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.12) |

Суммарное количество продукта, направляемого из каждого пункта отправления во все пункты назначения, должно быть равно запасу продукта в данном пункте. Формально это означает, что

|  |  |
| --- | --- |
| , i =1, …, m | (2.13) |

Суммарное количество груза, доставляемого в каждый пункт назначения из всех пунктов отправления, должно быть равно потребности. Это условие полного удовлетворения спроса:

|  |  |
| --- | --- |
| , j =1, …, n | (2.14) |

Объемы перевозок - неотрицательные числа, так как перевозки из пунктов потребления в пункты производства исключены:

|  |  |
| --- | --- |
| xij ≥0, i 1, ..., m; j =1, ..., n | (2.15) |

Транспортная задача сводится, таким образом, к минимизации суммарных затрат при выполнении условий полного удовлетворения спроса и равенства вывозимого количества продукта запасам его в пунктах отправления.

*Определение 1.*

Всякое неотрицательное решение системы линейных уравнений

, j 1, …, n и , i 1, …, m,



определяемое матрицей X=(xij)(i 1, …, m; j 1, ..., n), называется планом транспортной задачи.



*Определение 2.*

План X\*=(x\*ij)(i 1, …, m; j 1, ..., n), при котором функция



принимает свое минимальное значение, называется оптимальным планом транспортной задачи.

Обычно исходные данные записываются в виде таблицы 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пункты отправления | Пункты назначения | | | | | Запасы |
| В1 | … | Bj | … | Bn | А1 |
| A1 | C11  X11 | … | C1j  X1j | … | C1n  X1n | a1 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| Ai | Ci1  Xi1 | … | Cij  Xij | … | Cin  Xin | ai |
| … | … | … | … | … | … | … |
| Am | Cm1  Xm1 | … | Cmj  Xmj | … | Cmn  Xmn | am |
| Потребности | b1 | … | bj | … | bn |  |

Очевидно, общее наличие груза у поставщиков равно , а общая потребность в грузе в пунктах назначения равна единице. Если общая потребность в грузе в пунктах назначения равна запасу груза в пунктах отправления, т.е.



|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.16) |

то модель такой транспортной задачи называется закрытой.

Транспортная задача, в которой суммарные запасы и потребности не совпадают, т. е. не выполняется условие , называется открытой. Для открытой модели может быть два случая:



а) суммарные запасы превышают суммарные потребности ;



б) суммарные потребности превышают суммарные запасы .



Линейная функция одинакова в обоих случаях, изменяется только вид системы ограничений.

Открытая модель решается приведением к закрытой модели.

В случае (а), когда суммарные запасы превышают суммарные потребности, вводится фиктивный потребитель Bn+1, потребности которого bn+1 = . В случае (б), когда суммарные потребности превышают суммарные запасы, вводится фиктивный поставщик Am+1, запасы которого am+1 = .



Стоимость перевозки единицы груза как фиктивного потребителя, так и стоимость перевозки единицы груза от фиктивного поставщика полагают равными нулю, так как груз в обоих случаях не перевозится.

После преобразований задача принимает вид закрытой модели и решается обычном способом. При равных стоимостях перевозки единицы груза от поставщиков к фиктивному потребителю затраты на перевозку груза реальным потребителям минимальны, а фиктивному потребителю будет направлен груз от наименее выгодных поставщиков. То же самое получаем и в отношении фиктивного поставщика.

Прежде чем решать какую-нибудь транспортную задачу, необходимо сначала проверить, к какой модели она принадлежит, и только после этого составить таблицу для ее решения (таблица 2.1).

*Определение оптимального и опорного плана транспортной задачи*

Определение оптимального плана транспортной задачи начинают с нахождения какого-нибудь ее опорного плана.

Число переменных Xij в транспортной задаче с m пунктами отправления и n пунктами назначения равно nm, а число уравнений равно n+m. Так как мы предполагаем, что выполняется условие (1), то число линейно независимых уравнений равно n+m-1.

Если в опорном плане число отличных от нуля компонентов равно в точности n+m-1, то план является не выраженным, а если меньше - то выраженным.

Для определения опорного плана существует несколько методов. Три из них - метод северно-западного угла, метод минимального элемента и метод аппроксимации Фогеля - рассмотрены ниже.

При составлении первоначального опорного плана методом северо-западного угла стоимость перевозки единицы не учитывается, поэтому построенный план далек от оптимального, получение которого связано с большим объемом вычислительных работ.

Для определения оптимального плана транспортной задачи можно использовать изложенные ниже методы. Ввиду исключительной практической важности этой задачи и специфики ее ограничений для определения оптимального плана транспортной задачи разработаны специальные методы. Один из них - Венгерский метод - рассматриваются ниже.

*Методы определения первоначального опорного плана*

*Метод северо-западного угла*

Построение допустимого первоначального плана методом северо-западного угла начинается с заполнения левой верхней клет­ки матрицы и заканчивается в правой нижней клетке матрицы. В каждую клетку заносят максимально возможную поставку, учи­тывая при этом возможности поставщика и спрос потребителя.

Груз, имеющийся у первого поставщика, распределяется так, чтобы сначала по возможности полностью удовлетворить потреб­ности первого потребителя, потом второго и т.д. Затем переходят к распределению груза, имеющегося у второго поставщика, и так до полного распределения груза у всех поставщиков. Если спрос какого-либо потребителя превышает наличие груза у поставщи­ка, то недостающий спрос удовлетворяют за счет следующего поставщика.

Способ построения первоначального допустимого плана мето­дом северо-западного угла очень прост, но, как правило, полу­ченный план далек от оптимального. Это объясняется тем, что составление плана производится механически, без учета расстоя­ний между пунктами или стоимости перевозок.

*Метод минимального элемента*

Суть метода заключается в том, что из всей таблицы стоимостей выбирают наименьшую и в клетку, которая ей соответствует, помещают меньшее из чисел ai и bj. Затем из рассмотрения исключают либо строку, соответствующую поставщику, запасы которого полностью израсходованы, либо столбец, соответствующий потребителю, потребности которого полностью удовлетворены, либо и строку и столбец, если израсходованы запасы поставщика и удовлетворены потребности потребителя. Из оставшейся части таблицы стоимостей снова выбирают наименьшую стоимость, и процесс распределения запасов продолжают, пока все запасы не будут распределены, а потребности удовлетворены.

*Метод аппроксимации Фогеля*

При определении опорного плана транспортной задачи методом аппроксимации Фогеля находят разность по всем столбцам и по всем строкам между двумя записанными в них минимальными тарифами. Эти разности записывают в специально отведенных для этого строке и столбце в таблице условий задачи. Среди указанных разностей выбирают минимальную. В строке (или в столбце), которой данная разность соответствует, определяют минимальная стоимость.

Если минимальная стоимость одинакова для нескольких клеток столбца (строки), то для заполнения выбирают ту клетку, которая расположена в столбце (строке), соответствующем наибольшей разности между двумя минимальными стоимостями, находящимися в данном столбце (строке).

*Методы определения оптимального плана*

*Венгерский метод*

Идея метода была высказана венгерским математиком Эгервари и состоит в следующем. Строится начальный план перевозок, не удовлетворяющий в общем случае всем условиям задачи (из некоторых пунктов производства не весь продукт вывозится, потребность части пунктов потребления не полностью удовлетворена). Далее осуществляется переход к новому плану, более близкому к оптимальному. Последовательное применение этого приема за конечное число итераций приводит к решению задачи.

Алгоритм венгерского метода состоит из подготовительного этапа и из конечного числа итераций. На подготовительном этапе строится матрица X0 (xij[0])m,n, элементы которой неотрицательны и удовлетворяют неравенствам:



|  |  |
| --- | --- |
| , i =1, …, m;  , j =1, …, m. | (2.17) |

Если эти условия являются равенствами, то матрица Хo - решение транспортной задачи. Если среди условий имеются неравенства, то осуществляется переход к первой итерации. На k-й итерации строится матрица Хk (xij[0])m,n. Близость этой матрицы к решению задачи характеризует число Δk — суммарная невязка матрицы Хk:



|  |  |
| --- | --- |
| . | (2.18) |

В результате первой итерации строится матрица Хl, состоящая из неотрицательных элементов. При этом Δl Δ0. Если Δl Δ0, то Хl - оптимальное решение задачи. Если Δl 0, то переходят к следующей итерации. Они проводятся до тех пор, пока Δk при некотором k не станет равным нулю. Соответствующая матрица Хk является решением транспортной задачи.



Венгерский метод наиболее эффективен при решении транспортных задач с целочисленными объемами производства и потребления. В этом случае число итераций не превышает величины Δ0/2 (Δ0 - суммарная невязка подготовительного этапа).

Достоинством венгерского метода является возможность оценивать близость результата каждой из итераций к оптимальному плану перевозок. Это позволяет контролировать процесс вычислений и прекратить его при достижении определенных точностных показателей. Данное свойство существенно для задач большой размерности.

# Примеры решения задач

**1)** Построить модели Гриншильдса, Гринберга и обобщенную для (n=0,2).

При условие интесивности движения Nmax = 1200 авт/час, qmax = 20 авт/км. C = 140 км/ч

*Решение*

А) Модель Гринберга:

при n=-1

, (1.18)



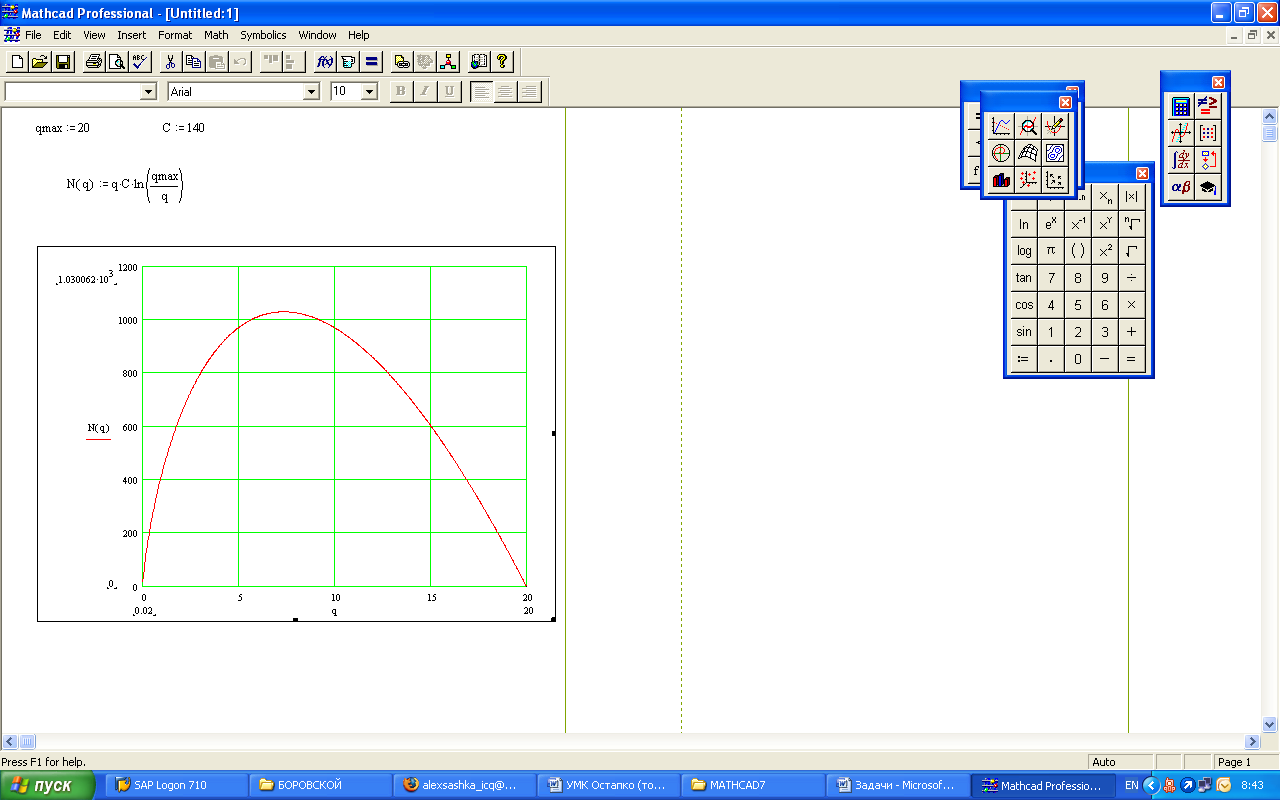
Учитывая уравнение состояния:

. (1.2)



Имеем

,



Б) Модель Гриншильдса

(1.20)



При n = 1

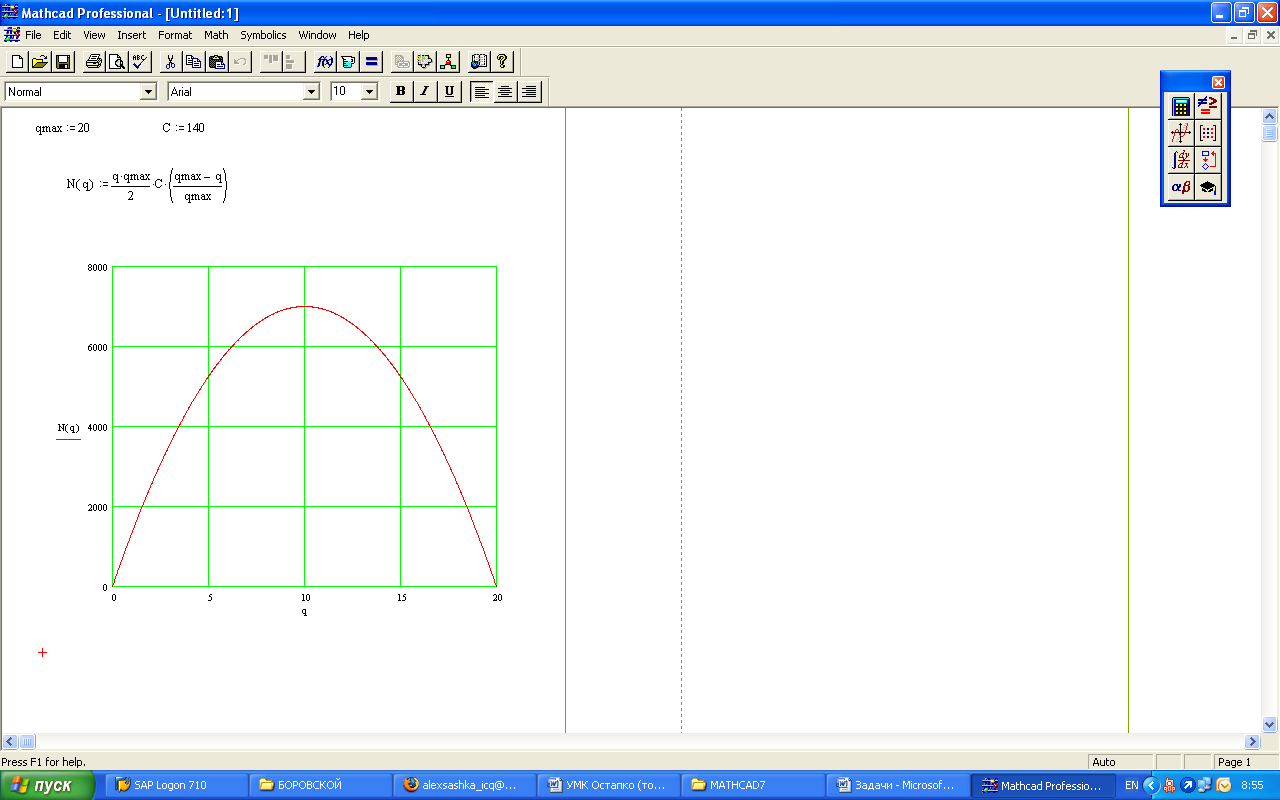


Учитывая уравнение состояния:

. (1.2)



.



В)Обобщенная модель n =0,2

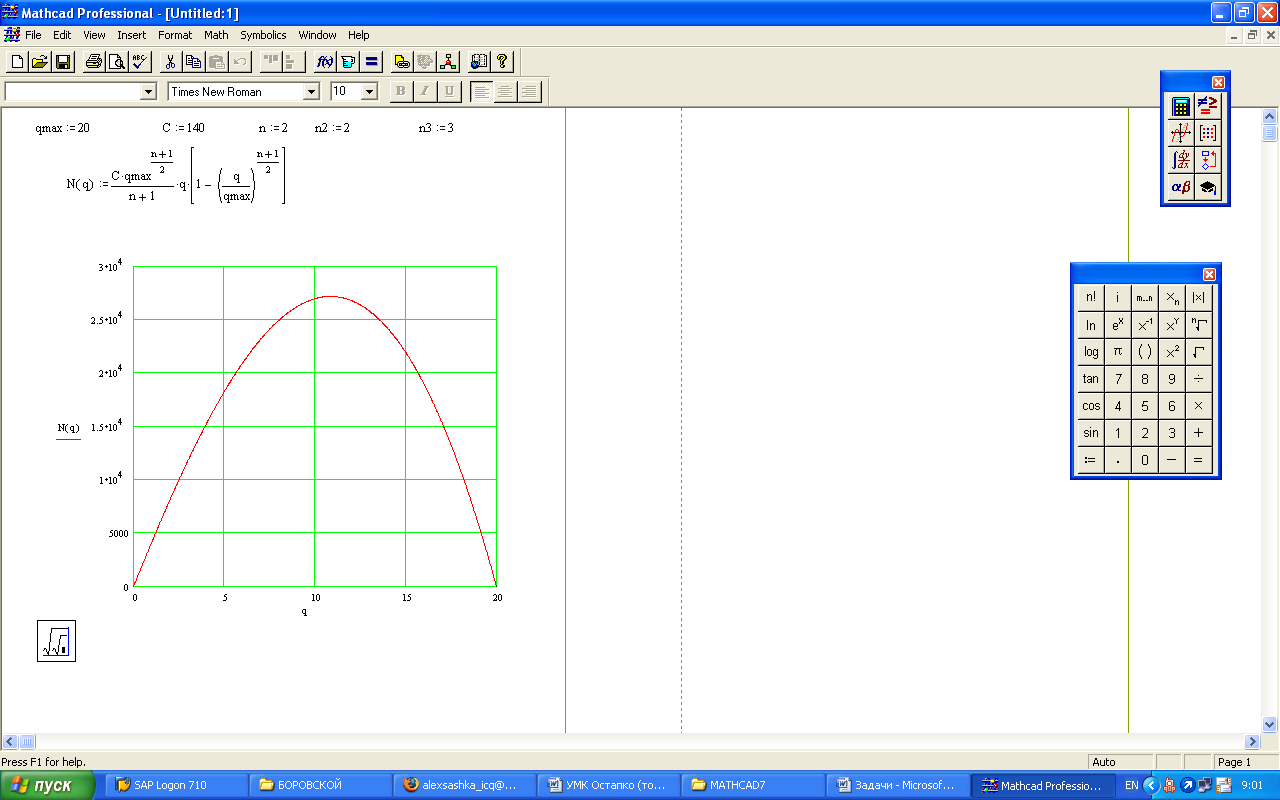
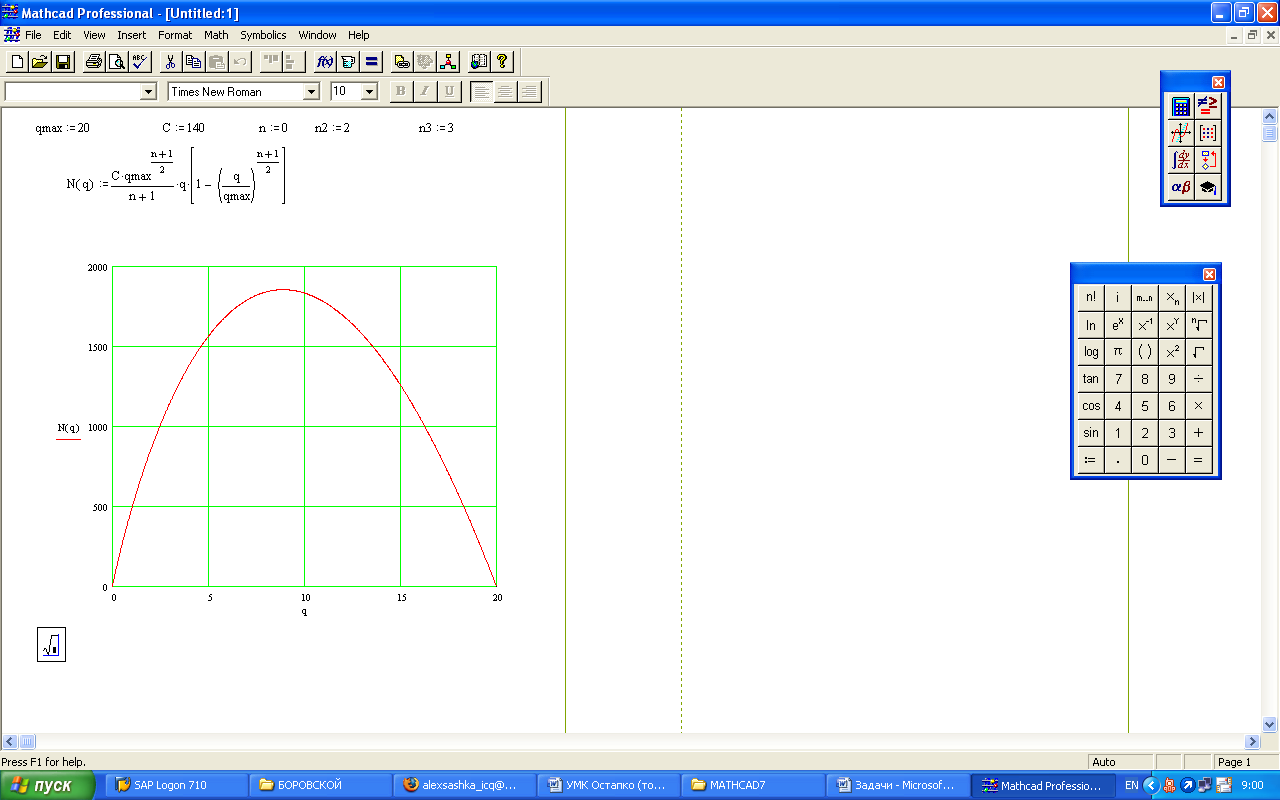
(1.24)



Из 1.20



Таким образом:



**2)** Посчитать мгновенную и среднюю скорость потоков для условий (qmax= 20 авт/км, С = 150 км/ч):

А) Гриншильдса

Б) Гринберга

В)Обобщенная (n=0)

Для плотности потока q = 10 авт/км

Для плотности потока q = 15 авт/км

Для плотности потока q = 18 авт/км

*Решение*:

Средняя

(1.33)



Мгновенная



а) n = 1



Vср = 103,9км/ч

43,52 км/ч

15,8 км/ч

б) n = -1



Vср = 750км/ч

375 км/ч

150 км/ч

В)



n = 0

196 км/ч

89 км/x

34км/ч

n = 2

196 км/ч

89 км/x

34км/ч

**3)** Посчитать вероятность того что из 3-х погрузочно разрузоных устройств 2 будут заняты (все устройства свободны), если время обслуживания – 20мин, а промежуток через который поступает требование 30 минут

*Решение:*

А)

Все заняты:

|  |  |
| --- | --- |
| α= λtоб/=λ/v. | (1.59) |

Вероятность того, что обслуживанием поступающих требова­ний заняты к устройств, равна

|  |  |
| --- | --- |
| Pk=(ak/k!)/ Σ(ak/k!), | (1.60) |

где k изменяется от 0 до n — числа обслуживающих устройств.

Вероятность того, что все обслуживающие устройства свободны:

|  |  |
| --- | --- |
| P0=1/ Σ(ak/k!). | (1.61) |

Вероятность того, что все обслуживающие устройства заняты:

|  |  |
| --- | --- |
| Pn=P0/(ak/k!). | (1.62) |

α = (1/30)\*20 = 2/3

2 будут свободны:

P = 0,431

Все будут свободны

P0 = 0,516

# Тест для самопроверки

1. Процесс моделирования это:
   1. Процесс создания модели объекта-оригинала, его исследования и распространения результата исследования на объект-оригинал
   2. Процесс создания программных модулей в целом отображающих свойства модели
   3. Процесс создания математического описания существующих процессов и физических свойств объекта-оригинала
2. Модель это:
   1. некоторая система, воспроизводящая свойства объект-оригинала, которые полагаются существенными и не содержащая свойств объект-оригинала, которые считаются несущественными.
   2. некоторая система, описывающая объект-оригинал как совокупность его физических свойств.
   3. некоторая система, воспроизводящая все свойства объект-оригинала.
3. Выберите существующие виды моделей, которые используются при моделировании задача ТП:
   1. физические, воспроизводящие изучаемый процесс с сохранением его физической природы
   2. химические, воспроизводящие изучаемый процесс с сохранением его химической природы
   3. математические, описывающие процессы в ОО в математических терминах
4. Какие из перечисленных ниже моделей не имеют отношение к математическим моделям:
   1. Аналитические
   2. Изоморфные
   3. Компьютерные
   4. Физические
5. Что такое интенсивность движения:
   1. это количество транспортных средств, проходящих через сечение дороги за единицу времени – год, месяц, час, минута, секунда
   2. величина, характеризующаяся соотношением в нем транспортных средств различного рода
   3. это количеством транспортных средств, приходящихся на 1 км протяженности полосы дороги
6. Что такое плотность потока:
   1. это количество транспортных средств, проходящих через сечение дороги за единицу времени – год, месяц, час, минута, секунда
   2. величина, характеризующаяся соотношением в нем транспортных средств различного рода
   3. это количеством транспортных средств, приходящихся на 1 км протяженности полосы дороги
7. Состав ТП:
   1. это количество транспортных средств, проходящих через сечение дороги за единицу времени – год, месяц, час, минута, секунда
   2. величина, характеризующаяся соотношением в нем транспортных средств различного рода
   3. это количеством транспортных средств, приходящихся на 1 км протяженности полосы дороги
8. Особенности транспортного потока как объекта исследования, исключите лишнее:
   1. Нестационарность
   2. Стохастичность
   3. Неполная управляемость
   4. Множественность критериев управления
   5. Возможность распространения результатов измерения всех основных параметров ТП в текущем срезе времени, на любой момент времени движения ТП
   6. невозможность замера практически всех характеристик качества управления
   7. принципиальная невозможность проведения масштабных натурных экспериментов в сфере управления дорожным движением
9. Какие из представленных моделей относятся к детерминированным:
   1. Микроскопические
   2. Детерминированные
   3. Макроскопические
10. Какие из представленных моделей относятся к стохастическим:
    1. Микроскопические
    2. Детерминированные
    3. макроскопические
11. Детерминированные модели:
    1. модели, в основу которых заложена функциональная зависимость между отдельными показателями ТП
    2. модели, рассматривающие ТП как вероятностный, случайный процесс
12. Стохастические модели:
    1. модели, в основу которых заложена функциональная зависимость между отдельными показателями ТП
    2. модели, рассматривающие ТП как вероятностный, случайный процесс
13. Математическая модель это
    1. комплекс основных соотношений, описывающих поведение объекта, выраженный с использованием математических соотношений;
    2. комплекс основных соотношений, описывающих поведение объекта;
    3. уменьшенная копия объекта-оригинала;
14. Аналитический способ исследования применим для
    1. физических моделей;
    2. математических моделей;
    3. имитационных моделей.
15. Имитационное моделирование имеет в своей основе
    1. некоторое аналитическое выражение;
    2. некоторый алгоритм;
    3. программу на языке высокого уровня.
16. Какая характеристика имеет размерность авт/км?
    1. задержки;
    2. плотность;
    3. интенсивность.
17. Какая особенность характеризует изменчивость ТП на различных временных отрезках?
    1. нестационарность;
    2. стохастичность;
    3. интенсивность.
18. Стохастичность ТП это
    1. свойство, при котором все управляющие воздействия сводятся лишь к "советованию";
    2. вероятностный характер поведения ТП;
    3. свойство не полной управляемости ТП.
19. Детерминированные модели ТП характеризуются
    1. вероятностными соотношениями;
    2. нестационарностью ТП;
    3. аналитическими зависимостями между основными характеристиками ТП.
20. Детерминированные модели ТП применяют
    1. при исследовании ТП высокой плотности;
    2. при исследовании ТП низкой плотности;
    3. для исследования движения одного ТС в ТП.
21. В основе стохастическх моделей лежит идея
    1. что характеристики ТП являются случайными величинами;
    2. что характеристики ТП являются неслучайными величинами;
    3. что главная характеристика ТП это скорость.
22. Какие модели применяются для анализа поведения автомобиля в ТП
    1. макроскопические;
    2. детерминированные;
    3. микроскопические.
23. Модели, которые применяются для анализа поведения ТП?
    1. макроскопические;
    2. детерминированные;
    3. микроскопические.
24. Модель Гриншильдса
25. линейная зависимость между скоростью и плотностью;
26. нелинейная зависимость между скоростью и плотностью;
27. произведение плотности на скорость;
28. Уравнение состояния ТП это
29. произведение плотности ТП на скорость ТП;
30. отношение плотности ТП к скорости ТП;
31. первая производная координаты по времени;
32. Количество автомобилей, въезжающих на участок дороги равно количеству автомобилей покидающих участок дороги есть суть уравнения
33. состояния ТП;
34. неразрывности ТП;
35. движения ТП;
36. Модель Гринберга получается из обобщенной модели ТП при
37. n=-1;
38. n=1;
39. n≠-1;
40. Основная диаграмма ТП это
41. зависимость плотности от скорости;
42. интенсивности от задержек ТП;
43. интенсивности от плотности;
44. С помощью основной диаграммы ТП можно определить
45. мгновенную скорость ТП;
46. состав ТП;
47. задержки ТП;
48. На рисунке, представленном ниже tg(α) это



Основная диаграмма ТП

1. средняя скорость ТП;
2. скорость распространения кинематической волны в ТП;
3. скорость волны изменения интенсивности ТП;
4. При каком значении плотности ТП значение скорости распространения кинематической волны равно нулю?
5. q=0;
6. q=qmax/2;
7. q=qmax;
8. Ударная волна в ТП это явление когда
9. скорость ТП максимальна;
10. автомобили вынуждены многократно трогаться и останавливаться;
11. интенсивность максимальна;
12. Модель, позволяющая учитывать реакцию водителя
13. Гриншильдса;
14. Следования за лидером;
15. стохастическая;
16. Какими элементами характеризуется система массового обслуживания:
    1. Требование
    2. Очереди требований
    3. Входящий поток
    4. Интенсивность поступления требований
    5. Отсутствие последействия
    6. Выходящий поток
    7. Внутренний поток
    8. Очередь поступлений
    9. Обслуживающие устройства
    10. Обслуживающая система
17. Требование:
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
18. Очереди требований*:*
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
19. Входящий поток
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
20. Интенсивность поступления требований
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
21. Отсутствие последействия
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
22. Ординарность потока требований
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
23. Выходящий поток
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
24. Обслуживающие устройства
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
25. Обслуживающая система
    1. Это запрос на удовлетворение некоторой потреб­ности в выполнении работ
    2. Это число требований, ожидающих об­служивания
    3. Это совокупность требований, поступающих с определенной закономерностью
    4. Это среднее число требований, поступающих в систему за единицу времен
    5. состоит в том, что вероятность по­ступления за отрезок времени **t** определенного числа требований не зависит от того, сколько требований уже поступило в систему, т. е. не зависит от числа уже обслуженных требований
    6. означает практическую не­возможность появления двух и более требований в один и тот же момент времени
    7. средства, которые осуществляют обслуживание
    8. совокупность обслуживающих устройств
26. Какие системы относятся к замкнутым системам:
27. Системы с неограниченным потоком требований
28. Системы с ограниченным потоком требований
29. Какие системы относятся к разомкнутым системам:
30. Системы с неограниченным потоком требований
31. Системы с ограниченным потоком требований
32. Какие системы относятся к разомкнутым системам:
33. Системы с неограниченным потоком требований
34. Системы с ограниченным потоком требований
35. Планирование бывает:
    1. Перспективное
    2. Текущее планирование
    3. Годовое
    4. Оперативное планирование
    5. Месячное
36. перспективное планирование:
    1. включает в себя разработку основных направлений и показателей деятельности длительный период от 5 до 15 лет
    2. проводится на год. В этом случае воз­можный объем работы и необходимые для его выполнения ресур­сы рассчитываются на основании имеющихся и подготовленных к заключению договоров
    3. это конкретизация плановых за­даний по времени выполнения, в пространстве (по местам вы­полнения производственных заданий), по специфике технологии и организации производства управляемого объекта (структура ПС, ПРМ, выбор технологии и т.д.)
37. оперативное планирование:
    1. включает в себя разработку основных направлений и показателей деятельности длительный период от 5 до 15 лет
    2. проводится на год. В этом случае воз­можный объем работы и необходимые для его выполнения ресур­сы рассчитываются на основании имеющихся и подготовленных к заключению договоров
    3. это конкретизация плановых за­даний по времени выполнения, в пространстве (по местам вы­полнения производственных заданий), по специфике технологии и организации производства управляемого объекта (структура ПС, ПРМ, выбор технологии и т.д.)
38. текущее планирование:
    1. включает в себя разработку основных направлений и показателей деятельности длительный период от 5 до 15 лет
    2. проводится на год. В этом случае воз­можный объем работы и необходимые для его выполнения ресур­сы рассчитываются на основании имеющихся и подготовленных к заключению договоров
    3. это конкретизация плановых за­даний по времени выполнения, в пространстве (по местам вы­полнения производственных заданий), по специфике технологии и организации производства управляемого объекта (структура ПС, ПРМ, выбор технологии и т.д.)
39. Специфические свойства задач планирования перевозочного процесса следующие:
    1. Подавляющее число таких задач являются многовариантны­ми.
    2. Задачи характеризуются ограниченностью времени на обра­ботку исходной информации
    3. Значительные исходные размеры задач. Это свойство особен­но характерно для крупных промышленных центров, где насчи­тывается большое число АТО, ГОП и ГПП
    4. Наличие большого числа существенных ограничений, неучет которых может привести к недопустимым вариантам транспорти­ровки
    5. Различная периодичность решения
    6. При планировании перевозочного процесса число пунктов разгрузки намного превышает число пунктов погрузки
    7. Невозможность измерения первичных данных, на основании которых проводится планирование, как-то количества АТО, ГОП, объёмов перевозимых грузов и т.д.
40. Основные методы оптимального планирования грузовых автомобильных перевозок:
    1. Линейное программирование
    2. нелинейное программирование
    3. динамическое про­граммирование
    4. построение стохастических моделей
    5. построение физических моделей
41. Выберите наиболее точное описание линейного программирования*:*
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
42. Выберите наиболее точное описание нелинейного программирования:
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
43. Выберите наиболее точное описание динамического моделирования:
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
44. Выберите наиболее точное описание стохастического моделирования:
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
45. Какими методами определяют **расстояний перевозок:**
    1. Непосредственный замер
    2. Обкатка маршрутов
    3. Замер по карте
46. Граф это*:*
    1. это фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяю­щих их отрезков (звеньев)
    2. это точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения
    3. это отрезки транспортной сети, характеризую­щие наличие дорожной связи между соседними вершинами
47. Вершины графа это*:*
    1. это фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяю­щих их отрезков (звеньев)
    2. это точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения
    3. это отрезки транспортной сети, характеризую­щие наличие дорожной связи между соседними вершинами
48. Звенья графа это*:*
    1. это фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяю­щих их отрезков (звеньев)
    2. это точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения
    3. это отрезки транспортной сети, характеризую­щие наличие дорожной связи между соседними вершинами
49. Какие из методов перечисленных ниже относятся к методам определения опорного плана?
    1. Метод северо-западного угла
    2. Метод минимального элемента
    3. Метод аппроксимации Фогеля
    4. Метод конечных элементов
    5. Венгерский метод
    6. Метод половинного деления
50. Какие из методов перечисленных ниже относятся к методам определения оптимального плана?
    1. Метод северо-западного угла
    2. Метод минимального элемента
    3. Метод аппроксимации Фогеля
    4. Метод конечных элементов
    5. Венгерский метод
    6. Метод половинного деления
51. перспективное планирование нельзя описать следующим образом:
    1. включает в себя разработку основных направлений и показателей деятельности длительный период от 5 до 15 лет
    2. проводится на год. В этом случае воз­можный объем работы и необходимые для его выполнения ресур­сы рассчитываются на основании имеющихся и подготовленных к заключению договоров
    3. это конкретизация плановых за­даний по времени выполнения, в пространстве (по местам вы­полнения производственных заданий), по специфике технологии и организации производства управляемого объекта (структура ПС, ПРМ, выбор технологии и т.д.)
52. оперативное планирование нельзя описать следующим образом:
    1. включает в себя разработку основных направлений и показателей деятельности длительный период от 5 до 15 лет
    2. проводится на год. В этом случае воз­можный объем работы и необходимые для его выполнения ресур­сы рассчитываются на основании имеющихся и подготовленных к заключению договоров
    3. это конкретизация плановых за­даний по времени выполнения, в пространстве (по местам вы­полнения производственных заданий), по специфике технологии и организации производства управляемого объекта (структура ПС, ПРМ, выбор технологии и т.д.)
53. текущее планирование нельзя описать следующим образом:
    1. включает в себя разработку основных направлений и показателей деятельности длительный период от 5 до 15 лет
    2. проводится на год. В этом случае воз­можный объем работы и необходимые для его выполнения ресур­сы рассчитываются на основании имеющихся и подготовленных к заключению договоров
    3. это конкретизация плановых за­даний по времени выполнения, в пространстве (по местам вы­полнения производственных заданий), по специфике технологии и организации производства управляемого объекта (структура ПС, ПРМ, выбор технологии и т.д.)
54. К специфическим свойствам задач планирования перевозочного процесса не относятся:
    1. Подавляющее число таких задач являются многовариантны­ми.
    2. Задачи характеризуются ограниченностью времени на обра­ботку исходной информации
    3. Значительные исходные размеры задач. Это свойство особен­но характерно для крупных промышленных центров, где насчи­тывается большое число АТО, ГОП и ГПП
    4. Наличие большого числа существенных ограничений, неучет которых может привести к недопустимым вариантам транспорти­ровки
    5. Различная периодичность решения
    6. При планировании перевозочного процесса число пунктов разгрузки намного превышает число пунктов погрузки
    7. Невозможность измерения первичных данных, на основании которых проводится планирование, как-то количества АТО, ГОП, объёмов перевозимых грузов и т.д.
55. Укажите методы, которые не имеют отношения к оптимальному планированию грузовых автомобильных перевозок:
    1. Линейное программирование
    2. нелинейное программирование
    3. динамическое про­граммирование
    4. построение стохастических моделей
    5. построение физических моделей
56. Какие модели и методы не относятся к линейному программированию:
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
57. Какие модели и методы не относятся нелинейному программированию*:*
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
58. Какие модели и методы не относятся к динамическому моделированию:
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
59. Какие модели и методы не относятся к стохастическому моделированию*:*
    1. математическая дисциплина, с помощью которой выполняется анализ и решение экстремальных задач с линейными связями и ограничениями
    2. математическому программированию, задачи в которого нелинейными уравнениями.
    3. математическое моделирование, в основе которого лежит совокупность приемов, позволяющих находить оптимальные решения, основанные на вычислении последствий каждого из принятых решений и выра­ботке оптимальных стратегий для последующего решения
    4. при построении модели исходят из вероятностной трактовки экономического процесса и его параметров
60. Графом неявляется*:*
    1. фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяю­щих их отрезков (звеньев)
    2. точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения
    3. отрезки транспортной сети, характеризую­щие наличие дорожной связи между соседними вершинами
61. Вершинами графа неявляются*:*
    1. фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяю­щих их отрезков (звеньев)
    2. точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения
    3. отрезки транспортной сети, характеризую­щие наличие дорожной связи между соседними вершинами
62. Звеньями графа неявляются*:*
    1. фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяю­щих их отрезков (звеньев)
    2. точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения
    3. отрезки транспортной сети, характеризую­щие наличие дорожной связи между соседними вершинами
63. Какие из методов перечисленных ниже не относятся к методам определения опорного плана?
    1. Метод северо-западного угла
    2. Метод минимального элемента
    3. Метод аппроксимации Фогеля
    4. Метод конечных элементов
    5. Венгерский метод
    6. Метод половинного деления
64. Какие из методов перечисленных ниже не относятся к методам определения оптимального плана?
    1. Метод северо-западного угла
    2. Метод минимального элемента
    3. Метод аппроксимации Фогеля
    4. Метод конечных элементов
    5. Венгерский метод
    6. Метод половинного деления

# Экзаменационные вопросы к разделу 1

1. Роль моделирования в оптимизации транспортных перевозок
2. Модель. Моделирование. Виды и способы исследования моделей.
3. Особенности транспортного потока как объекта моделирования.
4. Характеристики транспортного потока.
5. Системный подход при решении задач моделирования транспортных потоков.
6. Классификация моделей дорожного движения
7. Макроскопические модели. Уравнение состояния и уравнение неразрывности транспортного потока.
8. Макроскопические модели. Уравнение движения транспортного потока. Модель Гринберга.
9. Макроскопические модели. Обобщенное уравнение движения транспортного потока. Модель Гриншильдса.
10. Макроскопические модели. Уравнение сохранения количества движения и уравнение энергетического состояния транспортного потока.
11. Макроскопические модели. Взаимосвязь между основными характеристиками транспортного потока на примере модели Гринберга. Характер кривых v(q) и N(q).
12. Макроскопические модели. Взаимосвязь между основными характеристиками транспортного потока на примере обобщенной модели.
13. Макроскопические модели. Взаимосвязь между основными характеристиками транспортного потока на примере модели Гриншильдса. Характер кривых v(q) и N(q).
14. Определение оптимальной скорости транспортного потока для модели Гринберга.
15. Определение оптимальной плотности транспортного потока для модели Гринберга.
16. Определение оптимальной скорости транспортного потока для модели Грнишильдса.
17. Определение оптимальной плотности транспортного потока для модели Грнишильдса.
18. Определение оптимальной скорости транспортного потока для обобщенной модели.
19. Определение оптимальной плотности транспортного потока для обобщенной модели.
20. Основная диаграмма транспортного потока. Волны в транспортном потоке. Скорость транспортного потока и скорость распространения кинематической волны. Графическая интерпретация.
21. Ударные волны в транспортном потоке.
22. Определение скорости кинематической волны на примере модели Гриншильдса.
23. Микроскопические модели транспортного потока.
24. Линейная теория следования за лидером.
25. Нелинейная теория следования за лидером.
26. Связь между макроскопическими и микроскопическими теориями.
27. Моделирование работы АТС и погрузочно-разгрузочных средств как системы массового обслуживания.
28. Основные понятия теории массового обслуживания. Основные параметры описания СМО.
29. Аналитические методы моделирования.

# Экзаменационные вопросы к разделу 2

1. Принципы планирования грузовых перевозок. Перспективное и текущее планирование.
2. Задачи оптимизации и их место в планировании перевозок.
3. Особенности задач оптимизации на транспорте
4. Основные методы оптимального планирования грузовых автомобильных перевозок.
5. Моделирование транспортных сетей и расчет кратчайших расстояний.
6. Линейное моделирование.
7. Нелинейное моделирование.
8. Динамическое программирование.
9. Стохастическое моделирование.
10. Построение модели транспортной сети.
11. Метод потенциалов.
12. Формулировка и методы решения транспортной задачи.
13. Определение оптимального и опорного плана транспортной задачи
14. Метод северо-западного угла.
15. Метод минимального элемента.
16. Метод аппроксимации Фогеля.
17. Венгерский метод.
18. Системы с неограниченным и ограниченным потоком требований.

# Экзаменационные задачи

1) Составить первоначальный опорный план методом минимального элемента для транспортной задачи вида:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 2 | 3 | 4 | 15 |
| 11 | 6 | 10 | 1 |
| 8 | 9 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 21 |
| 10 | 20 | 10 |  |

2) Составить первоначальный опорный план методом северо-западного угла (данные см. пример 1)

3) Составить первоначальный опорный план методом Фогеля (данные см. пример 1)

4) Фирма должна отправить некоторое количество кроватей с трёх складов в пять магазинов. На складах имеется соответственно 15, 25 и 20 кроватей, а для пяти магазинов требуется соответственно 20, 12, 5, 8 и 15 кроватей. Стоимость перевозки одной кровати со склада в магазин приведены в таблице.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Склады | Магазины | | | | |
| B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
| А1 | 1 | 0 | 3 | 4 | 2 |
| А2 | 5 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| А3 | 4 | 8 | 1 | 4 | 3 |

Как следует спланировать перевозку, чтобы её стоимость была минимальной?

Определить опорный план методами:

а) северо-западного угла

б)минимального элемента

с) аппроксимации Фогеля.

Оптимальный план определить методами Венгерским методом.

5) Для системы с неограниченным потоком требований определить:

а) вероятность того, что все обслуживающие устройства свободны,

б) вероятность того, что все обслуживающие устройства заняты,

в) среднее вреднее время ожидания обслуживания

г) среднее число требований, ожидающих обслуживания:

д) среднее число простаивающих обслуживающих устройств за единицу времени.

Для следующих условий:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер варианта | T, мин | tоб, мин | k | n |
| 1 | 20 | 15 | 10 | 12 |
| 2 | 15 | 13 | 20 | 32 |
| 3 | 10 | 8 | 25 | 33 |
| 4 | 25 | 23 | 30 | 43 |
| 5 | 8 | 5 | 12 | 15 |

6) Для системы с ограниченным потоком требований определить:

а) вероятность того, что все обслуживающие устройства свободны,

б) среднее число требований, ожидающих обслуживания,

с) среднее число простаивающих обслуживающих устройств за единицу времени.

Для следующих условий:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер варианта | T, мин | tоб, мин | k | m |
| 1 | 20 | 15 | 10 | 12 |
| 2 | 15 | 13 | 20 | 32 |
| 3 | 10 | 8 | 25 | 33 |
| 4 | 25 | 23 | 30 | 43 |
| 5 | 8 | 5 | 12 | 15 |

# Список литературы

1. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. Пер. с англ.- : Машиностроение, 1982.- 284с
2. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими.- М.: Транспорт, 1972.
3. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля (теоретический анализ) . – М.: Машиностроение, 1966, 280с.
4. Иносе Х., Хамада Т. Управление дорожным движением.- М.: Транспорт, 1983.
5. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: Учебник для автодорожных ВУЗов. – М.: Транспорт, 1981.- 240 с.
6. Сильянов В.В. Имитационное моделирование транспортных потоков в проектировании дорог.- М.: Транспорт, 1981, 299 с.
7. Хайт Ф. Математическая теория транспортных потоков.- М.: Мир, 1966.
8. Чудаков Е.А. Теория автомобиля. - М.: Машгиз, 1960, 386с.

# Список условных обозначений и сокращений

АТО - автотранспортный отдел

АТС –автотранспортная станция

ГОП – грузоотправителями

ГПП – грузополучателей

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ДМТП – детерминированная модель транспортного потока

МакроМТП – макроскопическая модель транспортного потока

МикроМТП – микроскопическая модель транспортного потока

ММ – математическая модель

ОО – объект-оригинал

ПРМ – производственно-ремонтные мастерские

ПС – пропускная способность

СМТП – стохастическая модель транспортного потока

СС –сложная система

ТП – транспортный поток

ТС – транспортное средство

ТСЛ – теория следования за лидером

Учебное издание

Боровской Алексей Евгеньевич

Остапко Александр Сергеевич

Моделирование задач транспортных перевозок

Учебное пособие

Редактор

Корректор

Изд. лиц. ИД № 00434 от 10. 11. 99. Подписано в печать

Формат 60×84/16. Усл. п. л. Уч.-изд. л. Тираж экз.

Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46