

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 13.03.2024 16:00:36
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Рязанский институт (филиал)

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Автомобили и транспортно-технологические средства»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине:

**«Информационное обеспечение производственных процессов на
транспорте»**

для студентов направления подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»

направленность «Эксплуатация и техническая экспертиза транспортных
средств»

УДК 656.1

ББК 39.33-08

К 43

К 43 Информационное обеспечение производственных процессов на транспорте: методические указания/ Кирюшин И.Н. [и др.] – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2022. – 28 с.

Методические указания предназначены для изучения дисциплины «Информационное обеспечение производственных процессов на транспорте» студентами направления подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» направленность «Эксплуатация и техническая экспертиза транспортных средств»

В методических указаниях представлены: объектно-ориентированный подход к описанию автотранспортных систем; анализ удаленности объектов дорожной сети; анализ пропускной способности транспортной сети; анализ плана перевозок; список контрольных вопросов и рекомендуемая литература для изучения.

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 656.1

ББК 39.33-08

© Кирюшин И.Н., Асаева Т.А.,
Ретюнских В.Н., 2022

© Рязанский институт (филиал) ФГАОУ
ВО «Московский политехнический
университет», 2022

Информационное обеспечение производственных процессов на транспорте

Информационные потоки между элементами автотранспортных систем образуются массивами данных, используемых для характеристики системы в целом, ее фрагментов или отдельных автотранспортных объектов. Состав и структура данных при этом определяются как целями использования информации, так и подходами, и методами, применяемыми при характеристике (описании) объекта. Компактное описание любого автотранспортного объекта, отличающееся минимальной информационной избыточностью, в значительной степени способствует высокой эффективности технологий, используемых на всех этапах дальнейшей передачи и обработки информации.

Объектно-ориентированный подход является эффективным способом экономного, но в то же время достаточно полного и всестороннего описания предметной сущности; в настоящей главе рассмотрено его применение к описанию элементов автотранспортных систем. В данной главе также рассматриваются состав и структура информационных массивов, эффективных при выполнении часто встречающихся видов анализа автотранспортных систем, включая последовательность их модификации в процессе выполнения анализа.

1. Объектно-ориентированный подход к описанию автотранспортных систем

Автотранспортная система является примером сложной социально-технической системы, образованной множеством разнотипных элементов (транспортных средств, логистических комплексов, ремонтных и обслуживающих мощностей, персонала), объединяемых в единое целое разнообразными связями и отношениями между ними. Анализ функционирования и прогнозирование поведения такой системы требуют ее адекватного и максимально полного описания, которое, очевидно, может быть выполнено разными способами.

Наиболее очевидным и простым с точки зрения практической реализации является *статичное описание*, при котором дается характеристика текущего состояния элементов системы и их наблюдаемых связей с другими элементами (при этом может использоваться сочетание словесного, цифрового, табличного и графического материала, а также иные формы представления информации). С синтаксической точки зрения объем информации при этом может быть сколь угодно большим, что достигается увеличением детализации при описании элементов системы и их связей. Однако семантический объем информации оказывается обратно пропорциональным интервалу между текущим временем и моментом, к которому относятся зафиксированные в описании системы данные. Постоянное снижение семантической ценности информации (ее устаревание) приводит к необходимости организации и поддержания больших информационных потоков с

непрерывно обновляемыми данными, используемыми для описания системы, и образующими информационную поддержку процессов управления системой. Учитывая возможные технические и организационные задержки в доставке информации, а также сложность обработки и неоднозначность интерпретации больших информационных массивов, можно констатировать, что управление, выполняемое на основе статичного описания системы, заведомо не может быть достаточно оперативным и эффективным.

Устранение (или, по крайней мере, существенное смягчение) указанной проблемы возможно на основе объектно-ориентированного подхода к описанию автотранспортной системы. Центральным элементом при таком подходе является *объект* – элемент системы, при описании которого в первую очередь отражается не его текущее состояние, а его свойства и способность к образованию связей (взаимодействию) с другими объектами в системе. В результате кардинально сокращается объем информационных массивов (поскольку описание многочисленных однотипных объектов выполняется на основе унифицированных наборов данных), улучшается контроль корректности информации (данные, не соответствующие свойствам объекта, очевидно, являются ошибочными), расширяются возможности использования формальных методов при анализе и прогнозировании поведения системы.

Каждый объект имеет определенный жизненный цикл. Тремя основными этапами этого цикла являются создание (появление в системе), функционирование в качестве элемента системы, и удаление объекта из системы (уничтожение). Изменение характеристик объекта во времени формально отражает его взаимодействие с другими объектами.

Множество однотипных объектов в рамках объектно-ориентированного описания объединяются в *класс*. Примерами классов в автотранспортных системах могут служить «транспортное средство», «участок дорожной сети», «груз». При этом каждый конкретный объект является реализацией определенного класса. Все объекты одного класса изначально обладают одинаковыми характеристиками, которые в совокупности составляют их семантическое (смысловое) описание (для класса «транспортное средство» это могут быть «грузоподъемность», «мощность двигателя», «пробег с момента начала эксплуатации»). Одновременно с этим, каждый объект имеет (или, по крайней мере, может иметь) не зависящие от других объектов синтаксические показатели для каждой характеристики (весь класс «транспортное средство» характеризуется свойством «грузоподъемность», но у каждого объекта этого класса величина грузоподъемности своя). Таким образом, полное семантическое описание каждого объекта не требуется, поскольку оно выполняется на уровне соответствующего класса, а в отношении отдельных объектов необходима только процедура уточнения синтаксических показателей для их характеристик.

В качестве характеристик объектов определенных классов выступают свойства, методы и события. *Свойства* отражают текущее состояние объекта

и описываются с помощью фиксированных значений (таким значением может быть число – грузоподъемность транспортного средства в тоннах, текст – регистрационный номер, дата – день прохождения последнего технического осмотра, и так далее). Полное информационное описание объекта подразумевает как указание его принадлежности к определенному классу, так и фиксирование конкретных значений его свойств. Во многих случаях целесообразно при описании класса указывать, какие значения свойств будет получать каждый новый объект (экземпляр) этого класса; тогда создание нового объекта заключается только в обозначении его класса, а значения свойств могут быть изменены в дальнейшем. Возможен и другой подход, при котором все свойства вновь образованного объекта отмечаются особым маркером, свидетельствующим о том, что конкретные значения этих свойств еще не определены; это требует обязательного изменения значений для всех свойств объекта перед его использованием в задачах анализа системы. Механизм, позволяющий создавать информационные объекты определенного класса, с возможным присвоением начальных значений его свойствам, называется *конструктором* данного класса.

Изменение значения свойства может происходить двумя способами. Если это свойство является независимым от свойств других объектов, оно в любой момент времени доступно как для просмотра (операция чтения информации), так и для изменения (операция записи). Такое свойство называется *открытым*; примером может служить текущая скорость транспортного средства. *Закрытое* свойство допускает только чтение, а изменение осуществляется обязательно синхронно со свойствами связанных с ним объектов (например, загрузка транспортного средства, увозящего груз со склада, равна уменьшению запасов на этом складе, и изменение этих величин должно происходить одновременно). *Внутренние свойства* не могут быть просмотрены или изменены в обычном режиме и используются для служебных целей.

Возможные связи между объектами системы описываются с помощью *методов* – последовательностей действий по изменению состояний объектов при их взаимодействии. Таким образом, в отличие от свойств, описывающих текущее состояние объекта, методы отражают и объективно описывают процессы изменений, происходящих под влиянием других объектов в системе.

Каждый класс (и, соответственно, все объекты этого класса) имеют определенное количество методов; каждый метод описывает свое множество изменений в объектах. Для уточнения выполняемых действий некоторые методы могут иметь параметры. Примером метода без параметров для транспортного средства может служить «разгрузка», в результате которой его текущая загруженность становится нулевой (независимо от величины этого свойства до выполнения метода). «Погрузка», наоборот, является методом, как минимум, с одним параметром – объемом или весом размещаемого на транспортном средстве груза; вторым параметром при этом может являться тип груза, третьим – его габариты, и так далее.

В качестве параметров методов, помимо конкретных значений, могут выступать и объекты. В этом случае при описании метода должно быть указано, какие изменения должны быть выполнены с учетом информации, относящейся к объекту-параметру. К примеру, если параметром метода погрузки будет выступать единственный объект – «партия груза», то становится возможным средствами этого метода определить свойства «партии груза» («вес», «объем», «тип») и отразить их в свойствах транспортного средства, на которое он погружен. Естественно, такой объект-параметр («партия груза» в предыдущем примере) должен быть предварительно создан как экземпляр соответствующего класса, с присвоением необходимых значений его свойствам.

Часто встречающимся случаем является выполнение одинаковых по своему семантическому смыслу операций (таких, как погрузка на автотранспорт) с использованием существенно различающихся по свойствам объектов (партия груза может быть образована единым контейнером, множеством отдельных ящиков, представлять собой жидкий или сыпучий продукт). Для корректной обработки данных в каждом таком случае потребуется создавать соответствующее количество разных методов. При этом в процессе выполнения анализа данных потребуется точное соотнесение метода с объектом; для установления такого соответствия необходимо выполнять дополнительные действия. Удобным и мощным средством при объектно-ориентированном описании является *перегрузка методов*: наличие нескольких одноименных методов, способных воспринимать все возможные виды параметров и реализующих соответствующие алгоритмы обработки информации, из которых автоматически выбирается подходящий метод. Перегрузка существенно не уменьшает объема информации при описании связей в системе (так как все алгоритмы обработки данных все равно описываются полностью), но значительно упрощает процедуры анализа данных.

Множество объектов определенных классов, с соответствующими им свойствами и методами, составляют описание структуры и свойств автотранспортной системы, но не отражают процессов ее реального функционирования. Свойства позволяют судить о том, *что может* изменяться в системе; методы описывают, *как могут* эти изменения происходить. Реально же протекающие в системе процессы, с реализацией соответствующих им методов и изменением свойств объектов, описываются с помощью *событий*, которые превращают статичную по своей сути совокупность свойств и методов в динамичную систему. Объектно-ориентированное описание предусматривает возможность для каждого класса объектов указать алгоритмы обработки определенной совокупности событий. Результатом обработки события может быть изменение свойств объектов (непосредственно или через соответствующие методы), либо возникновение нового события или их последовательности.

Использование событий как элемента информационного описания автотранспортных систем подразумевает наличие некоторой среды передачи

сообщений, с которой взаимодействуют отдельные объекты, и из которой они получают сведения о наступлении событий. При этом возможны две стратегии: опрос и прерывание. *Опрос* основан на хранении сведений о произошедших событиях в некотором едином и общедоступном центре; в этот центр периодически обращаются объекты и, при обнаружении сведений о наступлении относящегося к ним события, реагируют на него в соответствии с заложенными в их класс алгоритмами. Недостатком этой стратегии является необходимость для каждого класса объектов в явном виде описывать процедуру такого обращения, прежде всего местоположение центра и правила обмена информацией с ним. Периодичность запросов объектов в центр сильно влияет на своевременность их реакции; слишком большой период между запросами может привести к существенному запаздыванию в выполнении соответствующих действий, причем неодинаковую для разных объектов (рассогласование состояний). Чрезмерно частые запросы могут приводить к нерациональной перегрузке информационных каналов, поскольку значительная их часть будет безрезультатной, особенно в случае сравнительно редко происходящих событий.

Прерывания основаны на принудительном привлечении внимания объектов к событию в момент его происхождения. Сообщения в этом случае, в отличие от опроса, отправляются самим событием; узкими местами этой стратегии является необходимость постоянного контроля наличия объектов в системе (с соответствующими изменениями при их динамическом добавлении или удалении из системы), а также отсутствие гарантии доставки сообщений адресатам. Таким образом, использование событий, являясь функционально удобным средством информационного обмена, одновременно требует сложной среды передачи сообщений, к которой должны быть адаптированы все объекты в системе.

Независимо от стратегии взаимодействия объектов, они при этом должны придерживаться некоторых единых и заранее согласованных правил; в противном случае информационный обмен между ними невозможен. Необходимо заранее зафиксировать в алгоритме поведения объекта, к каким свойствам и методам других объектов он может обращаться, и каков синтаксис таких обращений. Набор таких правил является *интерфейсом* между объектами. В процессе функционирования объекта его свойства и методы могут меняться, но интерфейсы должны сохраняться (поддерживаться) всегда. Разумеется, неизменность интерфейса не означает неизменности результатов, достигаемых при взаимодействии объектов с использованием данного интерфейса.

Использование объектно-ориентированных принципов приводит к новым возможностям при описании автотранспортных систем. Одной из наиболее важных возможностей является *наследование*, при котором на базе определенного класса объектов (родителей) могут создаваться другие классы (дочерние), в которых автоматически будут доступны свойства и методы родительского класса. Например, в качестве родительского класса может выступать «транспортное средство», со свойствами «регистрационный номер» и

«объем двигателя». Дочерними классами могут являться «грузовой автомобиль» и «автобус»; объекты обоих этих классов будут обладать обоими свойствами «транспортного средства» и, возможно, некоторыми специфичными только для них свойствами («грузоподъемность» у «грузового автомобиля» и «количество посадочных мест» у «автобуса»). То же относится и к методам: в примере возможно использование единого метода

«погрузка» для всех типов «транспортных средств»; за счет использования перегрузки он будет применим как к «грузовому автомобилю» (изменяя его загруженность), так и к «автобусу» (изменяя количество пассажиров в салоне).

Другая важная особенность объектно-ориентированного описания заключается в *инкапсуляции* – возможности регулирования доступа к свойствам и методам объектов в процессе анализа системы. В частности, инкапсуляция проявляется в закрытых и внутренних свойствах, которые не могут быть изменены напрямую, а нуждаются для этого в определенных процедурах. Инкапсуляция повышает безопасность данных (характеризующих состояния объектов) и способствует их согласованности. С помощью инкапсуляции, например, можно исключить возможность непосредственного изменения свойства «загруженность» у объекта класса «транспортное средство», и предусмотреть его изменение только методами объекта «склад». В результате разгрузка станет возможна только при наличии свободного места на складе, а также при выполнении разгрузки или загрузки «загруженность» (свойство объекта «транспортное средство») и «запасы на складе» (свойство объекта «склад») будут изменяться одновременно.

Полиморфизм также относится к ключевым возможностям объектно-ориентированного описания; он обеспечивает использование единого набора средств для операций над данными или объектами с различным семантическим содержанием. Таким образом, полиморфизм проявляется в обмене разнотипными данными через один и тот же интерфейс. Полиморфизм реализуется, в том числе, путем перегрузки методов.

Объектно-ориентированное описание автотранспортных систем и их элементов особенно эффективно при последующей программной реализации модели системы или ее исследовании формальными методами. В этом случае структура и методы информационного описания предметной области в максимальной степени соответствуют структуре и методам дальнейшего исследования, что значительно повышает эффективность управленческих решений, принимаемых по его результатам.

Контрольные вопросы

1. Что является статичное описание автотранспортной системы?

Приведите примеры.

2. Что такое синтаксический объем информации? Какими показателями он может быть измерен?

3. Какие недостатки свойственны статичному описанию системы?

4. В чем преимущества объектно-ориентированного подхода при

описании автотранспортных систем?

5. Что такое объект при объектно-ориентированном описании?

Приведите примеры объектов автотранспортных систем.

6. Что такое класс? Как связаны между собой класс и объект?

Приведите примеры классов автотранспортных объектов.

7. Какие характеристики используются для описания объектов? Какие из них характеризуют состояние объекта, а какие – его связи с другими объектами?

8. Приведите примеры автотранспортных объектов, которые в методах объектов других классов могут выступать как параметры.

9. Что такое перегрузка методов? Какие преимущества она дает при информационном описании систем?

10. Что такое события? Каким образом объекты могут реагировать на события?

11. Приведите примеры интерфейсов объектов автотранспортных систем.

12. Приведите примеры наследования применительно к автотранспортным объектам.

13. Охарактеризуйте инкапсуляцию и полиморфизм. Приведите примеры из области описания автотранспортных систем.

2. Анализ удаленности объектов дорожной сети

Одной из наиболее распространенных задач анализа автотранспортных систем является поиск кратчайшего пути в пределах некоторого фрагмента дорожной сети. Постановка задачи при этом заключается в следующем. Имеется сеть общего вида, которая может содержать циклы (рис. 1). Для каждой дуги сети известна обобщенная длина c_{ij} , где i и j – соответственно начальный и конечный узлы данной дуги. В качестве обобщенной длины могут выступать как собственно расстояния (тогда c_{ij} будет измеряться в метрах или километрах), так и стоимость, связанная с преодолением данного участка дорожной сети, длительность, трудоемкость, и так далее. Требуется найти путь минимальной суммарной длины между двумя узлами сети; начальный узел при этом называется источником, а конечный – стоком. Задача анализа в данном случае заключается в том, чтобы определить дуги, принадлежащие маршруту с минимальной суммарной длиной. Для этого каждой дуге сети можно поставить в соответствие переменную x_{ij} , которая может принимать два возможных значения: $x_{ij} = 1$, если соответствующая дуга принадлежит кратчайшему маршруту, и $x_{ij} = 0$ в противоположном случае. Например, если на рис. 10.1 кратчайшим будет маршрут $1 - 2 - 4$, то соответствующие значения переменных $x_{12} = x_{24} = 1$ (дуги, принадлежащие кратчайшему пути), и $x_{13} = x_{32} = x_{34} = 0$ (дуги, по которым кратчайший маршрут не проходит).

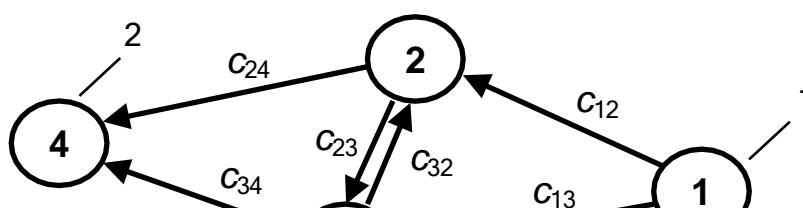


Рис. 1. Сеть общего вида: 1 – источник; 2 – сток

Данную задачу можно сформулировать как задачу линейного программирования в виде:

$$\sum_i c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\sum x_{ij} - \sum x_{ki} = \begin{cases} 1 - \text{если } i - \text{источник} \\ 0 - \text{если } i - \text{промежуточный}, \\ -1 - \text{если } i - \text{сток} \end{cases}$$

$$i = 1 \dots n, x_{ij} = 0; 1.$$

Для сети, показанной на рис. 10.1, в которой имеется четыре узла (определяющих количество ограничений) и шесть дуг (определяющих количество переменных), задача примет вид:

$$\begin{array}{rcccccccc} c_{12}x_{12} & + & c_{13}x_{13} & + & c_{23}x_{23} & + & c_{24}x_{24} & + & c_{32}x_{32} & + & c_{34}x_{34} & \rightarrow & \min \\ x_{12} & + & x_{13} & & & & & & & & & & = & 1 \\ -x_{12} & & & + & x_{23} & + & x_{24} & - & x_{32} & & & & = & 0 \\ & - & x_{13} & - & x_{23} & & & + & x_{32} & + & x_{34} & & = & 0 \\ & & & & & - & x_{24} & & & - & x_{34} & & = & -1 \end{array}$$

Решение может быть найдено любым из известных методов, например, симплекс-методом, или заменами Жордана. Характерной особенностью здесь является наличие вырожденного базиса, поскольку количество узлов, определяющее количество ограничений и равное ему количество переменных в базисе, обычно больше, чем количество дуг на кратчайшем маршруте; в результате в базисе появляются нулевые переменные. Это усложняет процедуру нахождения значений x_{ij} и, при неудачной реализации алгоритма, может привести к заикливанию.

Более простой алгоритм нахождения кратчайшего пути основан на решении двойственной задачи линейного программирования. При этом каждому узлу сети ставится в соответствие переменная y_i (i – номер узла), предварительно принимается $y_{\text{стока}} = 0$, а все остальные $y_i = \square$. Далее последовательно просматриваются все дуги сети (более эффективен алгоритм, когда порядок рассмотрения дуг зависит от их удаленности от стока: более близкие к стоку дуги рассматриваются раньше, а более близкие к источнику – позже). Для каждой дуги проверяется условие $y_i > c_{ij} + y_j$, и если оно выполняется, то принимается $y_i = c_{ij} + y_j$. Может потребоваться несколько циклов полного просмотра всех

дуг сети. Когда значения y_i стабилизируются (не останется дуг, в которых $y_i > c_{ij} + y_j$), определяется кратчайший путь; при этом учитывается, что окончательные значения переменных y_i равны длине кратчайшего пути от i -го узла до стока.

На рис. 2 показан пример определения кратчайшего пути на основе предварительно вычисленных значений y_i . В первую очередь рассматриваются все дуги сети, примыкающие к стоку (рис. 2 б); очевидно, что для кратчайшего пути одна из этих дуг является конечной. Сначала проанализируем возможность того, что частью кратчайшего пути является дуга В–D. Для ее начального узла В значение переменной $y_B = 5$, и значит, что, начав движение из этого узла, можно достигнуть стока с затратами 5 единиц. Но прямое движение из узла В к стоку (по дуге В–D) приведет к затратам 8 единиц, что больше минимально возможного значения. Значит, дуга В–D не принадлежит кратчайшему пути. Далее рассматриваем дугу С–D, для которой $y_C = 2$; поскольку, начав движение из узла С сразу в узел D, будет затрачено ровно столько же единиц (две), то дуга С–D принадлежит кратчайшему пути.

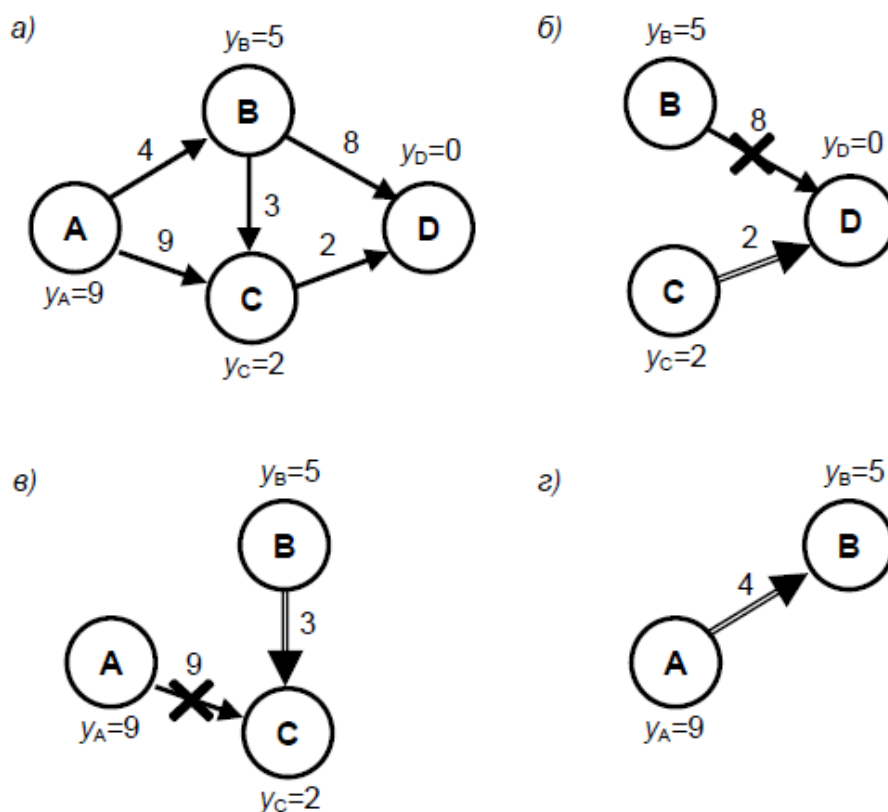


Рис. 2. Определение кратчайшего пути в сети: а) – исходная сеть; б) – последняя дуга пути; в) – предпоследняя дуга пути; г) – первая дуга пути

Поскольку кратчайший маршрут проходит через узел С, далее рассматриваем все дуги, которые в этом узле заканчиваются (рис. 10.2 в). Вариант движения из узла А отбрасываем, поскольку из него можно добраться до стока за 9 единиц ($y_A = 9$), а перемещение в узел С приведет к немедленным затратам 9 единиц

(обобщенная длина дуги А–С), к которым далее прибавятся 2 единицы затрат на дальнейший путь ($y_C = 2$). Поскольку при движении из узла А в узел С общая длина всего пути до стока составляет $9 + 2 = 11$ единиц, что превышает минимально возможные 9 единиц, то дуга А–С не принадлежит кратчайшему пути. При движении же из узла В немедленные затраты в 3 единицы (длина дуги В–С) будут прибавлены к длине оставшегося пути ($y_C = 2$), что в сумме составит 5 единиц и совпадает с минимально возможным значением $y_B = 5$. Таким образом, частью кратчайшего пути является дуга В–С. Последняя по порядку выявления дуга определяется рассмотрением всех дуг, приходящих в узел В. Такая дуга одна (рис. 10.2 г), и при движении из ее начала (узла А) общие затраты на весь путь составят $4 + y_B$, или 9 единиц, что совпадает со значением y_A ; при наличии нескольких вариантов движения выбор дуги производится аналогично предыдущему. Итак, кратчайший путь сети на рис. 10.2 а проходит через узлы А–В–С–D, и его общая длина равна 9 единиц ($y_A = 9$); это легко проверить сложением длин соответствующих дуг.

Рассмотрим один из возможных вариантов построения информационных массивов, используемых при анализе автотранспортных систем с целью нахождения кратчайшего пути (рис. 3).

а)																
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>Тула</td><td>...</td><td>Ржев</td></tr> <tr><td>Орел</td><td>...</td><td>Минск</td></tr> <tr><td>15</td><td>...</td><td>110</td></tr> <tr><td>1</td><td>...</td><td>17</td></tr> <tr><td>2</td><td>...</td><td>21</td></tr> </table>	Тула	...	Ржев	Орел	...	Минск	15	...	110	1	...	17	2	...	21	<div style="margin-bottom: 10px;">} — 1</div> <div style="margin-bottom: 10px;">} — 2</div> <div style="margin-bottom: 10px;">} — 3</div>
Тула	...	Ржев														
Орел	...	Минск														
15	...	110														
1	...	17														
2	...	21														

б)							
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>Тула</td><td>...</td><td>Минск</td></tr> <tr><td>540</td><td>...</td><td>0</td></tr> </table>	Тула	...	Минск	540	...	0	<div style="margin-bottom: 10px;">} — 1</div> <div style="margin-bottom: 10px;">} — 4</div>
Тула	...	Минск					
540	...	0					

Рис. 3. Структура информационного обеспечения при поиске кратчайшего пути: а) – массив Р с описанием структуры сети; б) – массив Q с длинами путей; 1 – метки узлов сети; 2 – обобщенные длины дуг; 3 – индексы вершин в массиве Q; 4 – текущие значения длин путей из узлов до стока

Целесообразно использовать два массива, первый из которых включает 5 строк и имеет количество столбцов, равное количеству дуг в сети (массив Р на рис. 10.3 а); таким образом, каждый столбец массива характеризует определенную дугу сети. Первые две строки каждого столбца содержат метки узлов в начале и в конце дуги соответственно; в третьей строке находится длина дуги. Две последние строки обеспечивают связь массива Р с массивом данных о длинах кратчайших путей Q. Массив Q (рис. 10.3 б) имеет две строки и количество столбцов, совпадающее с количеством узлов сети; каждый узел (столбец массива Q) характеризуется своей меткой (первая строка) и длиной кратчайшего пути от узла до стока (вторая строка). При этом две последние строки массива Р содержат индексы начальной и конечной вершин каждой дуги, соответствующие расположению этих вершин (столбцов) в массиве Q.

Порядок создания, заполнения и модификации информационных массивов следующий:

- Создается массив P размером $5 \times N$ (N – количество дуг в сети), в котором заполняются первые три строки (метки вершин и длины дуг).
- На основе данных из массива P формируется массив Q , содержащий неповторяющиеся метки вершин в своей первой строке. Вторая строка массива содержит заведомо большие числовые значения (аналог бесконечно больших величин) во всех столбцах, кроме столбца, который соответствует стоку (для него во второй строке размещается нулевое значение).
- В массиве P заполняются 4 и 5 строки – на основании порядка расположения меток узлов в массиве Q .
- Последовательно просматриваются все столбцы в массиве P . Считая i номером столбца, определяются индексы узлов в массиве Q : $s_1 = P(4, i)$ и $s_2 = P(5, i)$. Определяется $S_1 = Q(2, s_1)$ и сравнивается с $S_2 = P(2, i) + Q(2, s_2)$. Если $S_1 > S_2$, то в элемент $Q(2, s_1)$ заносится значение S_2 ; если нет, то никаких модификаций информационных массивов не выполняется. Эти действия повторяются до достижения неизменных значений в массиве Q (на протяжении полного цикла просмотра всех столбцов в P).
- На основе окончательно зафиксированных значений из массива Q пошагово определяется кратчайший путь, в соответствии с алгоритмом, показанным на рис. 10.2.

Отсутствие циклов в сети делает целесообразным использование при анализе автотранспортной системы подходов, основанных на динамическом программировании. В этом случае, когда за конечное количество шагов гарантировано достижение стока (сеть, удовлетворяющая этому требованию, называется ациклической), удобно применять динамическое рекуррентное соотношение:

$$f_n(s) = \min[c_{sj} + f_{n-1}(j)],$$

где n – количество шагов (дуг) до достижения стока; $f_n(s)$ – длина кратчайшего пути из узла s до стока (для чего необходимо сделать n шагов).

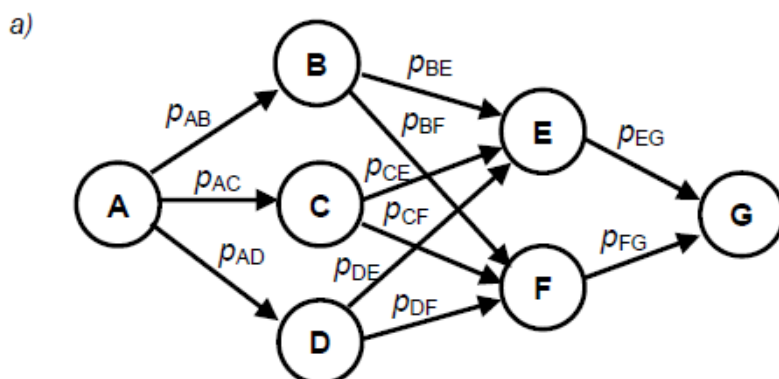
Таким образом, формула (10.3) означает, что, зная длину кратчайшего пути за 1 шаг до стока $f_1(s)$, можно на ее основе определить $f_2(s)$, затем $f_3(s)$, и так далее; в последнюю очередь определяется $f_N(s)$, где N – общее количество дуг, составляющих кратчайший путь. Таким образом, кратчайший путь находится от конца к началу; на каждом этапе этого процесса используется свой информационный массив, отражающий структуру отдельного фрагмента (этапа) сети.

На рис. 4 приведен пример ациклической сети и показана структура информационного обеспечения, используемого при определении кратчайшего пути. Поскольку, как можно видеть на рис. 4 а, любой маршрут от источника до стока (в том

числе и кратчайший) требует выполнения трех шагов, общее количество информационных массивов также должно быть равно трем. Количество строк в каждом массиве (не считая заголовка) равно количеству узлов в начале соответствующего этапа: 2 узла в начале этапа 3 (E и F), 3 узла в начале этапа 2 (B, C и D), и один узел-источник A в начале этапа 1. Количество столбцов (также без учета заголовков) равно количеству узлов в конце этапа, плюс два итоговых для каждого этапа. Для последнего этапа, когда в его конце возможен только один узел G, массив состоит из 2 строк и 3 столбцов (рис. 4 б). В каждой из двух строк массива величина стоимости преодоления соответствующей дуги (p_{EG} и p_{FG}) складывается с минимально возможной длиной оставшегося пути; поскольку в конце этапа расположен сток, эта добавочная величина равна нулю.

Предпоследний столбец, обозначаемый как $f_1(s)$, содержит минимально возможную длину всего пути из узла, соответствующего определенной строке (E или F), до стока; таким образом, для первой строки- это будет $f_1(E)$, а для второй – $f_1(F)$. Последний столбец содержит номер узла, в который нужно двигаться, чтобы остаться на кратчайшем пути; поскольку конечный узел этапа совпадает с конечным узлом всей сети, для обеих строк указывается узел G.

Информационный массив для последнего этапа можно считать тривиальным, но правила его формирования используются и для всех остальных массивов, которые имеют более сложную структуру. Так, массив для предпоследнего этапа имеет два основных и два итоговых столбца (рис. 4 в). На примере первой строки (соответствующей началу движения из узла B) можно видеть, что имеются два варианта перемещения. Переход в узел E сопряжен с немедленными затратами p_{BE} , к которым впоследствии (до достижения стока) добавятся затраты $f_1(E)$; их величина уже определена и содержится в предыдущем массиве (рис. 4 б). Второй вариант движения из узла B (в узел F) приводит к сумме затрат p_{BF} (немедленно) и $f_1(F)$, которая также определяется из предыдущего массива, но уже из другой его строки. Необходимо выбрать минимальную из этих сумм $f_2(B)$; она будет размещена в предпоследнем столбце. В последнем столбце содержится идентификатор узла (E или F), соответствующего этому минимально возможному значению $f_2(B)$. Аналогичная информация содержится в остальных строках массива.



б)

Возможные состояния		j (в конце)		$f_1(s)$	$j_1(s)$
		G			
s (в начале)	E	$\rho_{EG}+0$		ρ_{EG}	G
	F	$\rho_{FG}+0$		ρ_{FG}	G

в)

Возможные состояния		j (в конце)		$f_2(s)$	$j_2(s)$
		E	F		
s (в начале)	B	$\rho_{BE}+f_1(E)$	$\rho_{BF}+f_1(F)$
	C	$\rho_{CE}+f_1(E)$	$\rho_{CF}+f_1(F)$
	D	$\rho_{DE}+f_1(E)$	$\rho_{DF}+f_1(F)$

Рис. 4. Структура информационного обеспечения при поиске кратчайшего пути в ациклической сети: а) – структура сети; б) – информационный массив последнего этапа; в) – информационный массив предпоследнего этапа

По вышеописанным правилам формируется и последний информационный массив, соответствующий первому этапу ациклической сети на рис. 4 а. Этот массив имеет единственную строку для начального узла А, а также три основных столбца (соответствующих узлам В, С и D) и два итоговых. После формирования этого массива станет понятной общая длина кратчайшего пути $f_3(A)$, а также узел $j_3(A)$, в который необходимо двигаться из узла А. Дальнейший маршрут определяется последовательным анализом остальных информационных массивов.

Можно видеть, что при анализе автотранспортной сети любого вида, структура информационных массивов имеет матричную форму. Это существенно упрощает их реализацию и обработку программными средствами.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте задачу поиска кратчайшего пути в общем виде.
2. Какая информация необходима для нахождения кратчайшего пути в автотранспортной сети?
3. Почему задачу нахождения кратчайшего пути нецелесообразно представлять в виде линейной задачи?
4. Опишите алгоритм нахождения кратчайшего пути в сети общего вида. Какие данные в этой процедуре являются исходными, а какие – расчетными?
5. Опишите структуру информационных массивов для поиска кратчайшего пути в сети общего вида. Каким образом они взаимосвязаны?

6. Опишите последовательность создания и обработки информационных массивов для поиска кратчайшего пути в сети с циклами.
7. Что такое ациклическая сеть? Приведите примеры таких сетей в автотранспортных системах.
8. Запишите и объясните рекуррентное соотношение, используемое в ациклических сетях.
9. Опишите структуру информационных массивов для анализа ациклической сети.
10. Опишите последовательность обработки данных в информационных массивах ациклической сети.

3 Анализ пропускной способности транспортной сети

Анализ недостаточной интенсивности транспортных потоков, обуславливаемой параметрами дорожной сети, является еще одной часто встречающейся практической задачей. Постановка задачи может быть выполнена следующим образом. Имеется сеть общего вида, для каждой дуги которой известна ее пропускная способность. Обозначая пропускную способность дуги, соединяющей узлы i и j как c_{ij} , для примера сети можно использовать рис. 1 (не забывая при этом, что смысл параметров c_{ij} , по сравнению с задачей определения кратчайшего пути, уже другой). Требуется определить максимальный объем перевозок от источника до стока с учетом пропускной способности дуг сети (этот объем перевозок часто называется *максимальным потоком*). Каждой дуге сети можно поставить в соответствие переменную x_{ij} , равную объему перевозок по данной дуге (который, разумеется, не может быть больше, чем ее пропускная способность c_{ij}). Обозначив максимальный поток в сети как F , и учитывая, что именно такой поток уходит (суммарно по всем дугам) от источника, и он же приходит (так же суммарно по всем дугам) к стоку, можем формально представить задачу нахождения F в виде:

$$\begin{aligned}
 & F \rightarrow \min, \\
 & \sum x_{ij} - \sum x_{ki} = \begin{cases} F & \text{если } i \text{ — источник,} \\ 0 & \text{если } i \text{ — промежуточный,} \\ -F & \text{если } i \text{ — сток,} \end{cases} \\
 & i = 1 \dots n, 0 \leq x_{ij} \leq c_{ij}.
 \end{aligned}$$

Задача нахождения максимального потока (4), несмотря на свое кажущееся сходство с задачей нахождения кратчайшего пути (1), имеет от нее принципиальные отличия, и для ее решения используются другие алгоритмы и иная структура информационного обеспечения. От источника до стока последовательно организуются отдельные маршруты, каждый со своим объемом перевозок; маршрут проходит по недогруженным дугам сети, а объем перевозок по нему равен наименьшей пропускной способности среди всех дуг, по которым он проходит. С каждым новым маршрутом суммарный поток во всей сети растет, а пропускная

способность дуг сокращается. Расчет заканчивается, когда от источника до стока становится невозможно организовать ни одного нового маршрута.

Информационное обеспечение при анализе автотранспортной сети с целью выявления максимального потока, состоит из двух элементов. Массив G (рис. 5 а) служит для описания структуры сети и хранит информацию о накопленных потоках в ней. Массив состоит из 6 строк, а количество столбцов определяется количеством дуг в сети; таким образом, каждый столбец соответствует определенной дуге, для каждой из которых зафиксировано 6 показателей. Первые две строки массива G содержат метки начального и конечного узлов дуги, третья строка – ее максимальную пропускную способность. Четвертая и пятая строки служат для связи двух массивов. В шестой строке находится текущий поток по дуге, образованный всеми ранее организованными в сети маршрутами.

Для организации нового потока используется массив Q (рис. 5 б). Каждый его столбец соответствует одному из узлов сети; метки узлов содержатся в первой строке. Вторая строка содержит величину потока, пришедшую в узел; это максимальное значение потока, которое может быть отправлено в следующий узел в процессе организации очередного маршрута. В третьей строке располагается метка узла, из которого пришел поток с величиной, указанной в предыдущей строке. Последняя строка отражает состояние узла в процессе организации нового потока; три возможных состояния характеризуются соответствующими значениями: 0 – поток еще не достиг узла; 1 – поток пришел в узел, но еще не отправлен дальше; 2 – поток отправлен из узла.

а)			б)		
Тула	...	Ржев	Тула	...	Минск
Орел	...	Минск	∞	...	0
15	...	25	-1	...	Полоцк
1	...	17	2	...	1
2	...	21			
15	...	18			

Рис. 5. Структура информационного обеспечения при определении максимального потока: а) – массив G с описанием структуры сети и суммарного потока; б) – массив Q с описанием текущего потока; 1 – метки узлов; 2 – пропускная способность дуги; 3 – индексы узлов в массиве V ; 4 – суммарный поток по дуге; 5 – поток, пришедший в узел; 6 – узел, из которого пришел поток; 7 – текущее состояние узла

Последовательность создания и модификации информационных массивов в процессе анализа автотранспортной сети включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Создается массив G размером $6 \times N$ (N – количество дуг в сети), в котором заполняются первые три строки (метки начального и конечного узлов каждой дуги, а также ее пропускная способность). На основе массива G создается массив Q , количество столбцов которого равно количеству узлов, и его первая строка

заполняется извлеченными из G неповторяющимися метками узлов.

Этап 2. Массив Q подготавливается для организации очередного потока. В массиве обнуляется вторая строка, за исключением столбца, соответствующего узлу-источнику; в нем проставляется некоторое заведомо большое значение (аналог бесконечно большой величины), что означает возможность организации сколь угодно большого потока (если это позволит пропускная способность остальных дуг сети). В третью строку узла-источника заносится -1 , как признак того, что у источника нет предшествующего узла в сети; для остальных узлов третья строка обнуляется. Четвертая строка узла-источника отмечается значением 1 (в этом узле имеется неограниченно большой поток), а остальные узлы в этой строке содержат нулевые значения (поток к ним еще не дошел).

Этап 3. Последовательно просматриваются все узлы, помеченные в четвертой строке массива Q значением 1 (первоначально это только узел-источник, но в дальнейшем так будут помечаться и другие узлы). Для каждого такого узла (текущего), в который пришел поток, пытаются направить этот поток во все соседние узлы, рассчитывая, что в итоге он дойдет до конечного узла-стока. При этом фиксируются все дуги, смежные с текущим узлом (независимо от их направления, т.е. рассматриваются как исходящие из текущего узла дуги, так и входящие в него). Для каждой из этих дуг поочередно выполняются следующие действия (при этом узлом i считается текущий, узлом j — смежный с ним, а сама дуга описывается столбцом k в массиве G):

- Если до смежного узла j поток уже дошел каким-либо другим путем, что отмечено значением $Q(4, j) \neq 0$, то вторично отправлять в него поток нельзя. Не изменяя массива Q , производится переход к рассмотрению следующей дуги, смежной с текущим узлом i .

- Если дуга направлена из текущего узла, но уже насыщена (ее текущая загрузка равна пропускной способности), что характеризуется выполнением условия $G(3, k) = G(6, k)$, то отправить по ней дополнительный поток невозможно. Не изменяя Q , переходим к следующей дуге, смежной с узлом i .

- Если дуга направлена из узла i и не насыщена, то есть $G(3, k) > G(6, k)$, направляем в узел j максимально возможный поток. Он не может быть больше потока, который пришел в узел i , и равен $Q(2, i)$. Также нельзя отправить поток больше, чем оставшаяся пропускная способность дуги (с учетом ее частичной загрузки на данный момент), которая определяется как $G(3, k) - G(6, k)$. Наименьшее из этих двух значений заносится в элемент $Q(2, j)$, отражая тем самым величину потока, доставленного в узел j . Одновременно изменяются остальные элементы в столбце j массива Q : элемент $Q(3, j)$ становится равен $Q(1, i)$ (фиксируется, из какого узла в узел j пришел поток), а в элемент $Q(4, j)$ заносится значение 1 (фиксируя факт доставки потока до узла j). После этого выполняется переход к рассмотрению следующей дуги, смежной с текущим узлом. Схема анализа

дуги, и вносимые по его результатам изменения в информационные массивы, показаны на рис. 6 а.

Если дуга направлена в узел i , и уже существует поток (загрузка дуги ненулевая), то по ней можно отправить встречный поток, тем самым разгрузив дугу на величину этого встречного потока. Величина встречного потока не может быть больше потока, пришедшего в узел i , и не может превышать текущей загрузки дуги (иначе дуга будет разгружена до потока отрицательной величины, что невозможно). Окончательно величина встречного потока определяется как минимальная величина из двух значений: $Q(2, i)$ и $G(6, k)$. После определения величины потока производятся изменения в столбце j массива Q (аналогично предыдущему случаю); схема анализа дуги и производимых изменений показана на рис. 6 б.

Этап 4. Когда все соседние с узлом i дуги рассмотрены, в элемент $Q(4, i)$ заносится значение 2, что означает отправку потока из узла i по всем возможным направлениям. После этого осуществляется возврат к этапу 3: выявление узла i , для которого $Q(4, i) = 1$, и рассмотрение всех смежных с ним дуг.

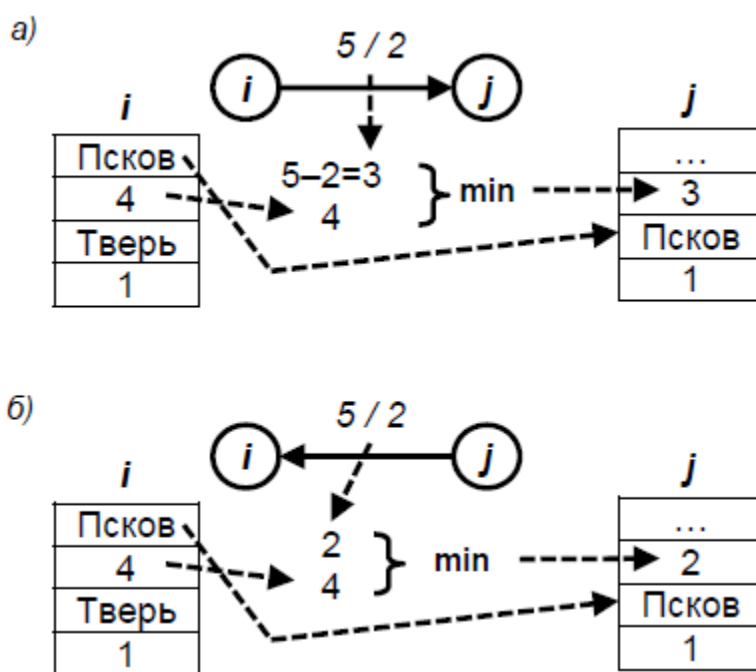


Рис. 6. Продвижение потока в следующий узел:
а) – по направлению дуги; б) – против направления дуги

На этапе 3 возможны два особых случая. Первый случай возникает, когда одним из смежных с текущим узлом является узел-сток, и он уже помечен значением 1 в последней строке массива Q . Это означает, что добавляемый поток дошел до конца сети и, соответственно, увеличил загрузку тех дуг, по которым он прошел. Величина этого потока зафиксирована в элементе $Q(2, n)$, где n – номер столбца в массиве Q с данными об узле-стоке. В элементе $Q(3, n)$ содержатся сведения об узле-предшественнике, из которого поток пришел в сток. Выявив столбец в массиве Q , соответствующий этому узлу, можно определить предыдущий узел на пути

добавочного потока, а за ним предыдущий ему, и так далее, вплоть до источника, который всегда является первым узлом для любого маршрута.

Восстановив, таким образом, цепочку узлов и дуг, через которые прошел добавочный поток, необходимо отразить наличие этого потока в сети соответствующими изменениями массива G . При этом выявляются столбцы, соответствующие каждой из этих дуг, и в этих столбцах корректируются значения в последней, шестой строке (текущая загрузка дуги). Если направление дуги k совпадает с направлением потока, то она догружается, и к значению $G(6, k)$ прибавляется величина добавочного потока. Для дуг, направление которых противоположно потоку, выполняется разгрузка, с уменьшением значения $G(6, k)$ на величину потока. После завершения корректировки массива G осуществляется возврат к этапу 2, для попытки организовать еще один добавочный поток в сети.

Второй особый случай на этапе 3 связан с невозможностью продолжить поток из текущего узла, когда все смежные с ним дуги либо полностью загружены, либо поток уже достиг их второго узла каким-то другим путем. Это означает, что организовать дополнительных потоков больше нельзя, и сеть максимально насыщена. Величина максимального потока определяется с помощью массива G , в котором выявляются столбцы, характеризующие дуги, выходящие из источника, либо дуги, входящие в сток. Для любой из этих двух групп дуг сумма значений, находящихся в шестой строке массива G (текущих загрузок каждой дуги) и характеризует максимально возможный поток в сети.

Контрольные вопросы

1. Что такое пропускная способность автотранспортной сети? Каким показателем она характеризуется?
2. Сформулируйте задачу нахождения максимального потока в формальном виде.
3. Дайте общую характеристику процедуре определения максимального потока. Из каких повторяющихся действий она состоит?
4. Какова структура информационного обеспечения при анализе пропускной способности сети?
5. Опишите общую последовательность организации дополнительного потока в сети.
6. Опишите структуру информационного массива, используемого при организации дополнительного потока, и охарактеризуйте семантический смысл его элементов.
7. Каким образом поток, достигший узла, может быть отправлен дальше по сети? Как определяется величина этого потока?
8. Какие состояния возможны у узлов сети в процессе организации дополнительного потока?
9. Что является признаком завершения организации добавочного потока? Что является признаком невозможности его организации?
10. Как определить величину максимального потока в насыщенной сети?

4 Анализ плана перевозок

При планировании перевозочного процесса, как правило, существует несколько альтернативных маршрутов, из которых необходимо выбрать один. Когда определенное количество однотипного товара должно быть развезено с нескольких складов к потребителям, причем возможна доставка товара каждому потребителю с любого склада, возникает задача определения наилучшего плана перевозок (классическая транспортная задача).

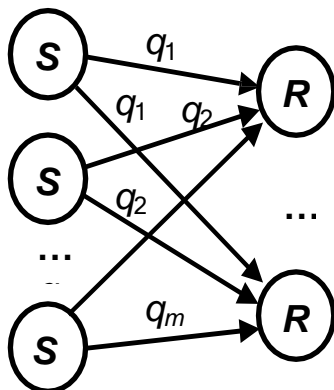
Транспортная задача может быть представлена в виде двудольной сети (рис. 7 а). Часть узлов сети, из которых исходят дуги, соответствует *поставщикам*; оставшиеся узлы, в которых дуги заканчиваются, соответствуют *потребителям*. Каждый из m поставщиков располагает определенным количеством товара $S_1, S_2 \dots S_m$. Каждый из n потребителей нуждается в $R_1, R_2 \dots R_n$ единицах этого же товара. Товар можно перевести по различным маршрутам, связывающих поставщиков и потребителей. Для каждого возможного маршрута, связывающего i -го поставщика с j -м потребителем, известна стоимость перевозки одной единицы товара q_{ij} .

Транспортная задача может быть представлена как задача линейного программирования:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n q_{ij} x_{ij} &\rightarrow \min, \\ \sum_{j=1}^n x_{1j} &= S_1 \quad \dots \quad \sum_{j=1}^n x_{mj} = S_m, \\ \sum_{i=1}^m x_{i1} &= R_1 \quad \dots \quad \sum_{i=1}^m x_{in} = R_n, \\ x_{ij} &\geq 0, \end{aligned}$$

где x_{ij} – объемы перевозок по каждому из возможных маршрутов; определение этих объемов является целью задачи. При этом не обязательно задействовать все возможные маршруты; минимальная общая стоимость перевозок достигается при использовании не более $m + n - 1$ маршрута, а для остальных маршрутов $x_{ij} = 0$.

а)



б)

Q			X		
q_{11}	...	q_{1n}	x_{11}	...	x_{1n}
q_{21}	...	q_{2n}	x_{21}	...	x_{2n}
...
q_{m1}	...	q_{mn}	x_{m1}	...	x_{mn}

Рис. 10.7. Анализ плана перевозок:

а) – структура сети; б) – структура информационных массивов

Решение транспортной задачи методами линейного программирования достаточно часто приводит к появлению вырожденного базиса. Более эффективной в этом случае является табличная форма анализа, при которой используются два информационных массива Q и X (рис. 7 б). В этих массивах строки соответствуют поставщикам, а столбцы – потребителям; каждый элемент в любом из массивов расположен на пересечении какой-либо строки и столбца. При такой форме записи каждый элемент массивов соответствует определенному маршруту – от поставщика из строки массива до потребителя из столбца для этого же массива.

Массив Q содержит единичные стоимости перевозок по каждому маршруту; он формируется на основе данных о сети и остается неизменным на протяжении всей процедуры анализа. Массив X , наоборот, в процессе анализа подвергается изменениям, что отражает различные варианты плана перевозок, рассматриваемые и сравниваемые между собой при анализе.

Анализ автотранспортной сети, выполняемый с целью определения наилучшего плана перевозок, начинается с составления пробного варианта перевозок от производителей к потребителям, в котором задействовано ровно $m + n - 1$ маршрутов. Задействованные для перевозки товара маршруты называются *базисными* (по этим маршрутам объемы перевозок $x_{ij} > 0$). По остальным маршрутам (небазисным) перевозок нет, и $x_{ij} = 0$. Следовательно, анализ начинается с заполнения в массиве X ровно $m + n - 1$ элемента так, чтобы сумма по каждой строке была равна S_i (i – номер строки), а по каждому столбцу R_j (j – номер столбца). При этом пробный план не должен образовывать *цикл* – замкнутый многоугольник, у которого стороны строго вертикальны или горизонтальны (наклонных сторон нет), а вершины расположены в центрах ячеек массива X с базисными маршрутами (с ненулевыми объемами перевозок). Всегда возможны несколько различных пробных вариантов, удовлетворяющих данным условиям, однако независимо от того, какой именно вариант был принят начальным, итоговый результат (план перевозок) по окончании анализа будет один и тот же. Дальнейший анализ заключается в последовательном улучшении плана, зафиксированного в массиве X , вплоть до достижения наилучшего плана перевозок из всех возможных. Процедура улучшения текущего плана (которая, как уже говорилось, может выполняться неоднократно) состоит из следующих этапов.

Этап 1. Каждой строке массива X ставится в соответствие вспомогательная переменная v_i (всего используется m таких переменных – по числу строк или, что тоже самое, по числу производителей). Каждому столбцу ставится в соответствие вспомогательная переменная w_j (всего n переменных – по числу столбцов/поставщиков). В результате каждому маршруту (элементу массива X) соответствует две вспомогательные переменные – одна из строки, и другая – из столбца, в которых расположен объем перевозок по маршруту.

Этап 2. Определяются значения вспомогательных переменных при текущем наборе базисных маршрутов; для этого:

- для каждого базисного маршрута (с ненулевыми значениями в массиве X) составляется уравнение $v_i + w_j = q_{ij}$, всего получается система из $m + n - 1$ уравнений

– по количеству ненулевых значений в X ;

- в составленной системе уравнений одна любая переменная приравняется нулю;
- находится решение системы уравнений (в которой одна переменная уже известна и равна нулю) и определяются значения остальных вспомогательных переменных.

Теперь известны значения вспомогательных переменных для каждой строки и для каждого столбца таблицы.

Этап 3. Определяется, какой маршрут можно задействовать, чтобы уменьшить суммарную стоимость всех перевозок; для этого:

- для каждого небазисного маршрута (которым соответствуют нулевые значения в массиве X) вычисляется потенциал по формуле $p_{ij} = v_i + w_j - q_{ij}$;
- фиксируется маршрут с *наибольшим положительным потенциалом* (он далее будет называться «маршрут p_{\max} »).

Если маршрутов с положительными потенциалами нет, то решение транспортной задачи найдено. Дальше уменьшать общую стоимость перевозок невозможно.

Этап 4. Определяется, по какому маршруту нужно прекратить перевозки, чтобы, с учетом нового маршрута p_{\max} , общее количество базисных маршрутов осталось ровно $m + n - 1$; для этого:

- в массиве X строится цикл, у которого начальный угол расположен в маршруте p_{\max} , а все остальные углы – в ненулевых маршрутах (базисных); такой цикл может быть только один;
- производится обход многоугольника по контуру, начиная с маршрута p_{\max} (в любую сторону), и помечаются его углы как «плюс» и «минус» (маршрут p_{\max} будет «плюс», маршрут в следующем углу цикла – «минус», далее снова будет маршрут «плюс» и так до тех пор, пока не вернемся к маршруту p_{\max});
- среди всех маршрутов, помеченных «минус», находим тот, где объем перевозок меньше всего, обозначим это значение как x_{\min} ;
- прибавляем x_{\min} ко всем значениям в массиве X , помеченным «плюс», и отнимаем x_{\min} от всех значений, помеченных «минус».

В результате в элементе массива, соответствующему маршруту p_{\max} , образуется значение x_{\min} , и этот маршрут, таким образом, добавляется в базис (вместо маршрута, где ранее был объем перевозок x_{\min} , а теперь образовался ноль). За счет этой замены удастся несколько снизить общую стоимость перевозок по всем маршрутам; величина этого снижения зависит от наибольшего потенциала.

Шаг 5. Выполняется очередная попытка подобрать еще одно изменение в плане перевозок, при котором общая их стоимость, возможно, снова снизится. Для этого осуществляется переход к шагу 2.

Транспортная задача, в которой общее количество товара, необходимое потребителям, совпадает с количеством, суммарно имеющимся у поставщиков, называется *сбалансированной*. *Несбалансированная* задача, характеризующаяся

избытком либо дефицитом товара у поставщиков, сводится к сбалансированной путем добавления в структуру сети фиктивного поставщика либо фиктивного потребителя, с нулевыми стоимостями доставки товара по примыкающим к ним маршрутам. Это позволяет сбалансировать задачу и выполнять анализ соответствующей автотранспортной системы вышеописанными методами.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается транспортная задача? Какова цель анализа при ее решении?
2. Опишите структуру сети, соответствующей транспортной задаче.
3. Сформулируйте транспортную задачу как задачу линейного программирования.
4. Опишите структуру информационных массивов, используемых при анализе перевозок в автотранспортной сети.
5. Что такое базисный маршрут? Сколько таких маршрутов должно быть включено в план перевозок?
6. По каким правилам выбирается начальный план перевозок для его последующего анализа?
7. Какие изменения производятся в информационных массивах в процессе анализа плана перевозок?
8. Опишите процедуру выявления возможных улучшений в текущем плане перевозок.
9. Как определить, что текущий план перевозок не может быть улучшен?
10. Что такое несбалансированная транспортная задача? Как она приводится к сбалансированной?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкое использование компьютеризированных средств и методов обработки

информации является обязательным условием успешного функционирования любого современного предприятия. Внедрение информационных технологий закономерно способствует повышению эффективности и конкурентоспособности как всего автотранспортного комплекса страны в целом, так и его отдельных элементов – на уровне региона, города или отдельного автотранспортного предприятия. Настоящее учебное пособие направлено на формирование у будущего специалиста цельного, всестороннего и системного взгляда на информационные процессы, протекающие в автотранспортной отрасли. В результате становятся практически возможными организация и поддержание информационного обмена с высоким качеством и минимально возможными затратами. При этом не существует универсальных решений – владение информационными технологиями является лишь основой для разработки конкретных инженерно-технических решений, в наиболее полной мере учитывающих индивидуальные особенности определенной автотранспортной структуры.

Вместе с тем, основные принципы, лежащие в основе тех или иных информационных технологий, а также реализующие их программные и аппаратные средства, развиваются постоянно ускоряющимися темпами. Это предъявляет к современному специалисту требования постоянного самосовершенствования, умения своевременно увидеть наиболее перспективные информационные технологии, оценить их преимущества и быть заранее готовым к их своевременному внедрению на производстве. Дальнейшее расширение и углубление знаний в этих направлениях достигается как за счет изучения программной и аппаратной базы будущего (квантовые компьютеры, нано-технологии, интеллектуальные и роботизированные системы, и так далее), так и путем более детального анализа автотранспортных систем и объектов, с целью выявления и оптимизации, протекающих в них процессов информационного обмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов, В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. Власов Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. – М.: ООО Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.
2. Первухин, Д.А. Информационные сети и телекоммуникации / Д.А. Первухин, О.В. Афанасьева, Ю.В. Ильюшин. – СПб.: Изд-во «СатисЪ», 2015. – 267 с.
3. Волков, Н.Н. Системная инженерия: структурный анализ срединформационного обмена, ввода/вывода и хранения данных в ИВС, сетях ЭВМ и телекоммуникациях / Н.Н. Волков. – М.: Техполиграф-центр, 2012. – 120 с.
4. Прохоренок, Н.А. HTML, JavaScript, PHP и MySQL. Джентльменский набор Web-мастера / Н.А. Прохоренок, В.А. Дронов. – СПб.:БХВ-Петербург, 2015. – 768 с.
5. Горев, А.Э. Информационные технологии на транспорте. Электронная идентификация автотранспортных средств и транспортного оборудования: учебное пособие / А.Э. Горев. – СПб: Изд-во СПбГАСУ, 2010. – 96 с.
6. Бескид, П.П. Геоинформационные системы и технологии / П.П. Бескид, Н.И. Куракина, Н.В. Орлова. – СПб.: Изд-во Российского государственного гидрометеорологического университета, 2013. – 173 с.
7. Загинайлов, Ю.Н. Теория информационной безопасности и методология защиты информации / Ю.Н. Загинайлов. – М.: Директ-Медиа, 2015. – 253 с.
8. Шаньгин, В.Ф. Информационная безопасность и защита информации / В.Ф. Шаньгин. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 702 с.
9. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Г. Буч[и др.]. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 720 с.
10. Карпенков, С.Х. Современные средства информационных технологий / С.Х. Карпенков. – М.: Кнорус, 2009. – 400 с.
11. Трофименко, Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю. В. Трофименков, М. Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 447 с.
12. Ваксман, С.А. Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом (задачи, опыт, проблемы) / под ред. С.А. Ваксман. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2012. – 250 с.