МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Ижевский государственный технический университет» (ИжГТУ)
Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

Математическое моделирование в строительстве

Учебно-методическое пособие

Ижевск
Издательство ИжГТУ
2012

УДК 69-50 (07)
М34

Рецензент:
д.э.н., профессор Грахов В.П.

Составитель:
Иванова С.С., ст.преподаватель

Рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ИжГТУ (протокол №17 от 22.02.2012)

Математическое моделирование в строительстве. Учебно-методическое пособие/ Сост. Иванова С.С. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2012. – 100 с.

Цель данного учебного пособия – ознакомить в очень сжатой и простой форме студентов строительных ВУЗов и факультетов с арсеналом основных задач, стоящих перед строителями, а также методами и моделями, способствующими прогрессу проектирования, организации и управления строительством и нашедшими широкое применение и повседневной практике.

УДК 69-50 (07)

СОДЕРЖАНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ

Современное строительство - это очень сложная система, в деятельности которой принимает большое количество участников: заказчик, генподрядные и субподрядные строительно-монтажные и специализированные организации; коммерческие банки и финансовые органы и организации; проектные, а нередко и научно-исследовательские институты; поставщики строительных материалов, конструкций, деталей и полуфабрикатов, технологического оборудования; организации и органы, осуществляющие различные виды контроля и надзора за строительством; подразделения, эксплуатирующие строительную технику и механизмы, транспортные средства и т.д.

Для того, чтобы построить объект, необходимо организовать согласованную работу всех участников строительства.

Строительство протекает в непрерывно меняющихся условиях. Элементы такого процесса связаны между собой и взаимно влияют друг на друга, что усложняет анализ и поиск оптимальных решений.

На стадии проектирования строительной, любой другой производственной системы, устанавливаются ее основные технико-экономические параметры, организационно-управленческая структура, ставится задача определения состава и объема ресурсов - основных фондов, оборотных средств, потребности в инженерных, рабочих кадрах и т.д.

Чтобы вся система строительства действовала целесообразно, эффективно использовала ресурсы, т.е. выдавала готовую продукцию - здания, сооружения, инженерные коммуникации или их комплексы в заданные сроки, высокого качества и с наименьшими затратами трудовых, финансовых, материальных и энергетических ресурсов, надо уметь грамотно, с научной точки зрения, осуществлять анализ всех аспектов ее функционирования, находить наилучшие варианты решений, обеспечивающих ее эффективную и надежную конкурентоспособность на рынке строительных услуг.

В ходе поиска и анализа возможных решений по созданию оптимальной структуры предприятия, организации строительного производства и т.д. всегда появляется желание (требуется) отобрать лучший (оптимальный) вариант. Для этой цели приходится использовать математические расчеты, логические схемы (представления) процесса строительства объекта, выраженные в виде цифр, графиков, таблиц и т.д. - другими словами, представлять строительство в виде модели, используя для этого методологию теории моделирования.

В основе любой модели лежат законы сохранения. Они связывают между собой изменение фазовых состояний системы и внешние силы, действующие на нее.

Любое описание системы, объекта (строительного предприятия, процесса возведения здания и т.д.) начинается с представления об их состоянии в данный момент, называемом фазовым.

Успех исследования, анализа, прогнозирования поведения строительной системы в будущем, т.е. появления желаемых результатов ее функционирования, во многом зависит от того, насколько точно исследователь "угадает" те фазовые переменные, которые определяют поведение системы. Заложив эти переменные в некоторое математическое описание (модель) этой системы для анализа и прогнозирования ее поведения в будущем, можно использовать достаточно обширный и хорошо разработанный арсенал математических методов, электронно-вычислительную технику.

Описание системы на языке математики называется математической моделью, а описание экономической системы – экономико-математической моделью.

Многочисленные виды моделей нашли широкое применение для предварительного анализа, планирования и поиска эффективных форм организации, планирования и управления строительством.

Цель данного учебного пособия – ознакомить в очень сжатой и простой форме студентов строительных ВУЗов и факультетов с арсеналом основных задач, стоящих перед строителями, а также методами и моделями, способствующими прогрессу проектирования, организации и управления строительством и нашедшими широкое применение и повседневной практике.

Мы считаем, что каждый инженер, менеджер, работающий в сфере строительства - на возведении конкретного объекта, в проектном или научно-исследовательском институте, должен иметь представление об основных классах моделей, их возможностях и областях применения

Так как формулировка любой задачи, включая алгоритм ее решения, является в некотором смысле своеобразной моделью и более того, создание любой модели начинается с постановки задачи, мы сочли возможным начать тему моделирования с перечня основных задач, стоящих перед строителями.

Сами математические методы не являются объектом рассмотрения в данном учебном пособии, а конкретные модели и задачи приводятся с учетом их значимости и частоты применения в практике организации, планирования и управления строительством.

В случае создания модели сложных строительных объектов к процессу моделирования и анализа моделей привлекаются программисты, математики, инженеры-системотехники, технологи, психологи, экономисты, менеджеры и другие специалисты, а также используются электронно-вычислительная техника.

1. ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ В ЭКОНОМИКЕ

1.1. Исторический обзор

В практической деятельности человека математика используется очень давно. На протяжении многих веков применялись геометрия и алгебра для разнообразных хозяйственных вычислений и измерений. Хотя развитие математики долгое время определялось в основном потребностями естественных наук и внутренней логикой самой математики, применение математических методов в экономике имеет также богатое прошлое.

Родоначальник классической политической экономии В.Петти (1623-1687) писал в предисловии к своей "Политической арифметике": "...вместо того, чтобы употреблять слова только в сравнительной и превосходной степени и прибегать к умозрительным аргументам, я вступил на путь выражения своих мнений на языке чисел, весов и мер..." (Петти В. Экономические и статистические работы. М., Соцэкгиз, 1940, с. 156).

Первая в мире модель народного хозяйства была создана французским ученым Ф.Кенэ (1694-1774). В 1758 г. он опубликовал первый вариант своей знаменитой "Экономической таблицы", получившей название "зигзаг"; второй вариант - "арифметическая формула" - был опубликован в 1766 году. "Эта попытка, - писал К.Маркс о таблице Ф.Кенэ, - сделанная во второй трети XVIII века, в период детства политической экономии, была в высшей степени гениальной идеей, бесспорно самой гениальной из всех, какие только выдвинула до сего времени политическая экономия". (Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т.26, ч.1, с.345).

"Экономическая таблица" Ф.Кенэ представляет собой схему (графико-числовую модель) процесса общественного воспроизводства, из которой он делает вывод, что нормальный ход общественного воспроизводства может осуществляться только при соблюдении определенных оптимальных материально-вещественных пропорций.

Значительное влияние на развитие методологии экономико-математических исследований оказали труды К.Маркса. Его "Капитал" содержит немало примеров использования математических методов: обстоятельный параметрический анализ формулы средней прибыли; уравнения, связывающие абсолютную, дифференциальную и суммарную ренту; математическая формулировка соотношения стоимости и производительности труда (стоимость прямо пропорциональна производительной силе труда), законы массы прибавочной стоимости и денежного обращения, условия формирования цены производства и т.д. П.Лафарг в воспоминаниях о К.Марксе писал: "В высшей математике он находил диалектическое движение в его наиболее логичной и в то же время простейшей форме. Он считал также, что наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой". (Воспоминания о Марксе и Энгельсе.М., Гос-политиздат, 1956, с.66).

В рамках буржуазной экономической науки XIX-XX веков можно выделить три основных этапа развития экономико-математических исследований: математическая школа в политэкономии, статистическое направление, эконометрика.

Представители математической школы считали, что обосновать положения экономической теории можно только математически, а все выводы, полученные иными способами, могут приниматься в лучшем случае в качестве научных гипотез. Родоначальником математической школы является французский ученый, выдающийся математик, философ**,** историк и экономист О.Курно (1801-1877), выпустивший в 1838 г, книгу "Исследование математических принципов теории богатства". Виднейшими представителями математической школы были: Г.Госсен (1810-1858),| Л.Вальрас (1834-1910), У.Джевонс (1835-1882), Ф.Эджворт (1845-1926), В.Парето (1848-1923), В.Дмитриев (1868-1913). В целом эта школа относиться к субъективистскому направлению буржуазной политэкономии, идеологические и методологические принципы которого неоднократно подвергались критике со стороны ученых-марксистов. Вместе с тем, математическая школа показала большие возможности применения математического моделирования.

Представители математической школы выдвинули и пытались развить ряд важных теоретических подходов и принципов: понятие экономического оптимума; применение показателей затрат и предельных эффектов в рациональном хозяйствовании; взаимосвязанность проблем ценообразования и общей пропорциональности народного хозяйства. В современную экономическую науку вошли и широко в ней используются понятия кривых безразличия и ядра экономической системы Ф.Эджворта, понятие многоцелевого оптимума В.Парето, модель общего экономического равновесия Л.Вальраса, формула исчисления полных затрат труда и других ресурсов В.Дмитриева.

Статистическое направление (статистическая экономика), возникшее на пороге XX века, представляли собой, с точки зрения методологии исследования, прямую противоположность математической школе.

Стремление использовать эмпирический материал**,** конкретные экономические факты было несомненно прогрессивным явлением. Идеологи статистической экономики, провозгласив тезис: «наука есть измерение», впадали в другую крайность, пренебрегая теоретическим анализом. В рамках статистического направления было разработано большое количество "математико-статистических моделей" экономических явлений, используемых в основном для краткосрочного прогнозирования. Типичным примером может служить "Гарвардский барометр" - модель прогнозирования хозяйственной конъюнктуры (предсказания "экономической погоды**"),** разработанная учеными Гарвардского университета (США) под руководством Т.Парсона (1902-1979).

Гарвардская и другие подобные модели, построенные во многих капстранах, носили экстраполяционный характер и не вскрывали глубинных факторов экономики. Поэтому на протяжении ряда лет после первой мировой войны, в период экономической стабилизации, они хотя и хорошо предсказывали "экономическую погоду", но "не заметили" приближения крупнейшего в истории капитализма экономического кризиса 1929-1932 гг. Крах на Нью-Йоркской бирже осенью 1929 г. означал одновременно и закат статистического направления в экономико-математических исследованиях.

Заслугой статистического направления является разработка методических вопросов обработки экономических данных, статистических обобщений и статистического анализа (выравнивание динамических рядов и их экстраполяция, выделение сезонных и циклических колебаний, факторный анализ, корреляционный и регрессионный анализ, проверка статистических гипотез и т.д.).

На смену статистического направления пришла **эконометрика,** которая пытается соединить достоинства математической школы и статистической экономики. Термин эконометрика (или эконометрия) для обозначения нового направления в экономической науке ввел норвежский ученый Р.Фриш (1895-1973), провозгласивший, что экономика есть синтез экономической теории, математики и статистики. Эконометрика является наиболее быстро развивающейся областью буржуазной экономической науки. Трудно указать такие теоретические и практические проблемы капиталистической экономики, в решении которых в настоящее время не применялись бы математические методы и модели. Математическое моделирование стало наиболее престижным направлением в экономической науке Запада. Не случайно с момента учреждения Нобелевских премий по экономике (1969 г.) они присуждаются, как правило, за экономико-математические исследования. Среди Нобелевских лауреатов виднейшие эконометрики: Р.Фриш, Я.Тинберген, П.Самуэльсон, Д.Хис, В.Леонтьев, Т.Купманс, К.Эрроу.

1.2. Развитие моделирования в России

Значителен вклад ученых России в развитие экономико-математических исследований. В 1867 году в журнале "Отечественные записки" была опубликована заметка об эффективности применения математических методов к изучению экономических явлений. В русских изданиях критически анализировались работы Курно, Вальраса, Парето и других западных экономистов-математиков.

С конца XIX века появляются оригинальные экономико-математические исследования русских ученых: В.К.Дмитриева, В.И.Борткевича, В.С.Войтинского, М.Оржнецкого, В.В.Самсонова, Н.А.Столярова, Н.Н.Шапошникова.

Интересные работы по применению методов математической статистики, в частности по корреляционному анализу экономических явлений, выполнял А.А.Чупров (1874-1926).

Наиболее крупным экономистом-математиком дореволюционной России был В.К.Дмитриев (1868-1913). Его первая известная работа "Теория ценности Д.Рикардо. Опыт органического синтеза трудовой ценности и теории предельной полезности" была опубликована в 1898 г. Основной труд В.К.Дмитриева "Экономические очерки" вышел в 1904 году и состоял в разработке модели полных затрат труда и сбалансированных цен в виде системы линейных уравнений с технологическими коэффициентами. "Формула В.К.Дмитриева" спустя несколько десятков лет нашло широкое применение в моделировании межотраслевых связей в СССР и за рубежом.

Широко известен своими работами по теории вероятности и математической статистике Е.Е.Слуцкий (1880-1948). В 1915 г. Он опубликовал в итальянском журнале "Giomale degli economisti e rivista di statistica", № 1 статью «К теории сбалансированности бюджета потребителя», оказавшую большое влияние на экономико-математическую теорию. Спустя 20 лет, эта статья получила мировое признание.

Лауреат Нобелевской премии Д.Хикс в книге "Стоимость и капитал" (1939) писал, что Е.Е.Слуцкий был первым экономистом, сделавшим значительный шаг вперед по сравнению с классиками математической школы. Д.Хикс оценивал свою книгу как первое систематическое исследование той теории, которую открыл Е.Е.Слуцкнн" (Hicks I.R. Value and capital. Oxford, 1946, p. 10). Английский экономист-математик Р.Аллен, автор известной книги "Математическая экономия", отмечал в журнале "Эконометрика", что работы Слуцкого оказали "великое и прочное влияние на развитие эконометрики".

Е.Е.Слуцкий является одним из родоначальников праксеологии (науки о принципах рациональной деятельности людей) и первым, кто ввел праксеологию в экономическую науку.

Большое значение в становлении экономическом науки, создании общегосударственной системы учета, планирования и управления имели научные труды и практическая деятельность В.И.Ленина (1870-1924). Работы В.И.Ленина определили главные принципы и проблемы исследований по моделированию социалистической экономики.

В 20-е годы экономико-математические исследования в СССР проводились в основном по двум направлениям: моделирование процесса расширенного воспроизводства и применение методов математической статистики в изучении хозяйственной конъюнктуры и в прогнозировании.

Одним из первых советских специалистов области экономико-математических исследований являлся А.А.Конюс, опубликовавший в 1924 году по данной теме статью "Проблема истинного индекса стоимости жизни" ("Экономический бюллетень конъюнктурного института", 1924, № 11-12).

Значительной вехой в истории экономико-математических исследований явилась разработка Г.А.Фельдманом (1884-1958) математических моделей экономического роста. Свои основные идеи по моделированию социалистической экономики он изложил в двух статьях, опубликованных в журнале "Плановое хозяйство" в 1928-1929 гг Статьи Г.А.Фельдмана намного опередили работы западных экономистов по макроэкономическим динамическим моделям и в еще большей степени по двухсекторным моделям экономического роста. За рубежом эти статьи были "открыты" только в 1964 году и вызвали огромный интерес.

В 1938-1939 гг. ленинградский математик и экономист Л.В.Канторович в результате анализа ряда проблем организации и планирования производства сформулировал новый класс условно-экстремальных задач с ограничениями в виде неравенств и предложил методы их решения. Эта новая область прикладной математики позже получила название "линейное программирование". Л.В.Канторович (1912-1986) является одним из создателей теории оптимального планирования и управления народным хозяйством, теории оптимального использования сырьевых ресурсов. В 1975 году Л.В.Канторовичу совместно с американским ученым Т.Купмансом была присуждена Нобелевская премия за исследования по оптимальному использованию ресурсов.

Большой вклад в использование экономико-математических методов внесли: экономист Новожилов В.В. (1892-1970) - в области соизмерения затрат и результатов в народном хозяйстве; экономист и статистик Немчинов В.С. (1894-1964) - в вопросах экономико-математического моделирования планового хозяйства; экономист Федоренко Н.П. - при решении проблем оптимального функционирования экономики страны, применении математических методов и ЭВМ в планировании и управлении, а также многие другие видные российские экономисты и математики.

2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЗАДАЧ, РЕШАЕМЫХ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ, ПЛАНИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Роль технико-экономических расчетов для анализа и прогнозирования деятельности, планирования и управления строительными системами значительна, причем узловыми среди них являются вопросы выбора оптимальных решений. При этом решение представляет собой выбор параметров, характеризующих организацию определенного мероприятия, причем этот выбор почти полностью зависит от лица, принимающего решение.

Решения могут быть удачными или неудачными, обоснованными и неразумными. Практику, как правило, интересуют решения оптимальные, т.е. такие, которые являются по тем или иным причинам предпочтительнее, лучше, чем другие.

Выбор оптимальных решений особенно в сложных вероятностных динамических системах, к которым относятся строительные системы, немыслим без широкого применения математических методов решения экстремальных задач и средств вычислительной техники.

Сооружение любого строительного объекта происходи путем выполнения в определенной последовательности большого количества разноплановых работ.

Для выполнения любого вида работ требуется определенный набор материалов, машин, средств малой механизации, людских ресурсов, организационного обеспечения и т.д. и т.п. Причем зачастую количество и качество выделяемых ресурсов определяет длительность выполнения этих работ.

Распределяя правильно (или, как принято говорить "оптимально") ресурсы, можно влиять на качество, сроки, стоимость строительства, производительность труда.

Далее приводится систематизация основных организационных задач, возникающих в практической деятельности инженеров-строителей.

2.1. Задачи распределения

Задачи распределения в общем случае возникают тогда, когда существует ряд работ, подлежащих выполнению, и требуется выбрать наиболее эффективное распределение ресурсов и работ. Задачи этого типа можно разделить на три основных группы.

Задачи распределения первой группы характеризуются следующими условиями.

1.Существует ряд операций, которые должны быть выполнены.

2.Имеется достаточное количество ресурсов для выполнения всех операций.

3.Некоторые операции можно выполнять различными способами, с использованием различных ресурсов, их комбинаций, количества.

4.Некоторые способы выполнения операции лучше других (более дешевые, более прибыльные, требующие меньше затрат времени и т.д.).

5.Тем не менее, имеющееся количество ресурсов недостаточно для выполнения каждой операции оптимальным способом.

Задача заключается в том, чтобы найти такое распределение ресурсов по операциям, при котором достигается максимальная общая эффективность системы. Например, могут минимизироваться суммарные затраты или максимизироваться общая прибыль.

Вторая группа задач возникает, когда наличных ресурсов не хватает для выполнения всех возможных операций. В этих случаях приходится выбирать операции, которые должны быть выполнены, а также определять способ их выполнения.

Задачи третьей группы возникают тогда, когда имеется возможность регулировать количество ресурсов, т.е. определять, какие ресурсы следует добавить, а от каких целесообразно отказаться.

Большинство задач такого рода решается в целях оптимизации строительных и технологических процессов. Основное средство их анализа - модели математического программирования, сетевые графики.

2.2. Задачи замены

Задачи замены связаны с прогнозированием замены оборудования в связи с их физическим или моральным износом.

Различают два типа задач замены. В задачах первого типа рассматриваются объекты, некоторые характеристики которых ухудшаются в процессе их эксплуатации, но сами они полностью выходят из строя через довольно продолжительное время, выполнив значительный объем работы.

Чем дольше эксплуатируется подобного рода объект без профилактики или капитального ремонта, тем менее эффективной становится его работа, повышается стоимость единицы продукции.

Для поддержания эффективности работы такого объекта необходимо его обслуживание, ремонт, что сопряжено с определенными затратами. Чем дольше он эксплуатируется, тем выше затраты на поддержание его в работоспособном состоянии. С другой стороны, если часто заменять такие объекты, то возрастает объем капиталовложений. Задача сводится, в этом случае, к определению порядка и сроков замены, при которых достигается минимум общих эксплуатационных затрат и капиталовложений.

Наиболее общим методом решения задач такого типа является динамическое программирование.

Объектами рассматриваемой группы являются строительно-дорожная техника, оборудование, транспортные средства и т.п.

Второй тип объектов характеризуется тем, что они полностью выходят из строя внезапно или через определенный отрезок времени. В этой ситуации задача сводится к определению целесообразных сроков индивидуальной или групповой замены, а также частоты этой операции, при этом стремятся выработать стратегию замены, которая обеспечивает сведение к минимуму затрат, включающих стоимость элементов, потери от отказов и расходы на замену.

К объектам второго типа относятся детали, узлы, агрегаты строительно-дорожной техники, оборудования. Для решения задач второго типа используются вероятностные методы **и** статистическое моделирование.

Частным случаем задач замены являются задачи эксплуатации и ремонта.

2.3. Задачи поиска

Задачи поиска связаны с определением наилучших способов получения информации с тем, чтобы минимизировать общую сумму двух типов затрат: затрат на получение информации и затрат, вызванных ошибками в принимаемых решениях из-за отсутствия точной и своевременной информации. Эти задачи используются при рассмотрении большого круга вопросов анализа хозяйственной деятельности строительной организации, например, задачи оценки и прогнозирования, построения спечем контроля качества, многие бухгалтерские процедуры и т.п.

В качестве средств, применяемых при решении таких задач, используются в основном вероятностные **и** статистические методы.

2.4. Задачи массового обслуживания или задачи очередей

Теория массового обслуживания предоставляет собой раздел теории вероятности, в котором изучается поведение систем, состоящих, как правило, из 2-х подсистем (см. рис.1). Одна из них является обслуживающей, а другая - источником заявок на обслуживание, которые образуют поток, носящий случайный характер. Заявки, не обслуженные и момент поступления, образуют очередь, поэтому теорию массового обслуживания иногда называют теорией очередей. Теория эта отвечает на вопрос, какой должна быть обслуживающая подсистема, чтобы суммарные экономические потери от простоя обслуживающей подсистемы и от простоя заявок в очереди были минимальными. Многие задачи из области организации и управления **в** строительстве относятся к задачам, решаемым **методами теории очередей.**

Рис. **1.** Система массового обслуживания

Так, в задачах массового обслуживания или задачах очередей рассматриваются связи между потоком строительных работ и машинами, используемыми для их механизации. Типичными задачами массового обслуживания являются задачи на определение количества строительных бригад, машинной техники, организации работы автоматических линий и систем комплексной автоматизации производственных процессов, задачи, связанные с организационно-производственной структурой строительных организаций и т.д.

Для решения задач массового обслуживания часто применяется метод статистических испытаний, заключающийся в воспроизведении на ЭВМ строительного процесса или, иначе говоря, случайного процесса, описывающего поведение системы, с последующей статистической обработкой результатов ее функционирования.

2.5. Задачи управления запасами (создание и хранение)

Каждая стройка нуждается в строительных конструкция, материалах, полуфабрикатах, сантехоборудовании и т.д. Как правило, поставки и расходование их неравномерны, часто в них вносится элемент случайности. Чтобы строительное производство не задерживалось из-за отсутствия материалов и оборудования, на стройке должен иметься некоторый их запас. Однако этот запас не должен быть велик, так как хранение строительных материалов и различного оборудования связано с расходами на строительство и эксплуатацию складов, а также с замораживанием средств, затраченных на их приобретение и строительство.

Различают два вида издержек, связанных с использованными ресурсами /1/:

- издержки, возрастающие с ростом запасов;
- издержки, убывающие с ростом запасов.

Возрастающие издержки включают складские расходы; потери, обусловленные старением, порчей; налоги, страховые взносы и т.п.

Издержки, убывающие при увеличении запасов, могут быть четырех видов.

1.Издержки, связанные с отсутствием запасов или несвоевременными поставками.

2.Расходы на подготовительно-заготовительные операции: чем большие объемы продукции закупаются или производятся, тем реже обрабатываются заказы.

3.Продажная цена или прямые издержки производства. Продажа по сниженным ценам, закупка товара большими партиями требует увеличения складских запасов.

4.Издержки, вызываемые наймом, увольнением и обучением работников.

Решение задач управления запасами позволяет определить, что заказывать, сколько заказывать и когда, чтобы минимизировать издержки, связанные как с созданием избыточных запасов, так и с их недостаточным уровнем, когда дополнительные издержки возникают из-за нарушения ритма производства.

Средствами анализа таких задач являются теория вероятностей, статистические методы, методы линейного и динамического программирования, методы моделирования.

2.6. Задачи теории расписаний

Многие задачи планирования и управления строительным производством требуют упорядочения во времени использования некоторой фиксированной системы ресурсов (сборные конструкции, краны, автотранспорт, трудовые ресурсы и т.д.) для выполнения заранее определенной совокупности работ в оптимальный промежуток времени.

Круг вопросов, связанных с построением оптимальных (по тому или иному критерию) календарных планов, с разработкой математических методов получения решений, на базе использования соответствующих моделей, изучается в теории расписаний.

Задачи теории расписаний возникают повсюду, где существует необходимость выбора того или иного порядка выполнения работ, т.е. изучаемые в теории расписаний модели отражают специфические ситуации, возникающие при организации любого производства, при календарном планировании строительства, во всех случаях целенаправленной человеческой деятельности.

Практические цели требуют, чтобы модель строительного производства полнее отражала реальные процессы и вместе с тем была настолько простой, чтобы искомые результаты можно было получать за приемлемое время. Анализируемые в рамках теории расписаний модели являются разумным компромиссом между этими естественными, но противоречивыми тенденциями.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

3.1. Основные положения

Практически для любой задачи организации, планирования и управления строительством характерна множественность ее возможных решений, зачастую большая неопределенность и динамичность осуществляемых процессов. В процессе разработки плана работы строительной организации, плана возведения объекта строительства приходится сравнивать между собой огромное количество вариантов и выбирать из них оптимальный в соответствии с выбранным критерием. **Критерий** - это тот показатель, который является мерилом эффективности плана (пути) достижения цели.

Для предварительного анализа и поиска эффективных форм организации, а также планирования и управления строительством используется моделирование.

Моделирование - это создание модели, сохраняющей существенные свойства оригинала, процесс построения, изучения и применения модели. Моделирование является основным инструментом анализа, оптимизации и синтеза строительных систем. **Модель** - это упрощенное представление некоторого объекта (системы), процесса, более доступное для изучения, чем сам объект.

Моделирование дает возможность проводить эксперименты, анализировать конечные результаты не на реальной системе, а на ее абстрактной модели и упрощенном представлении-образе, привлекая, как правило, для этой цели ЭВМ. При этом необходимо иметь в виду, что модель является лишь орудием исследования, а не средством получения обязательных решений. Вместе с тем она дает возможность выделить наиболее существенные, характерные черты реальной системы. К модели, как и к любой научной абстракции, относятся слова В.И.Ленина: "Мышление, восходя от конкретного к абстрактному, не отходит.. .от истины, а подходит к ней.. .все научные (правильные, серьезные, невздорные) абстракции отражают природу глубже, важнее, полнее" (В.И.Ленин. Поли.собр.соч. Изд. 5-е, т.29, с. 152).

Современное строительство как системный объект характеризуется высокой степенью сложности, динамичностью, вероятностным характером поведения, большим числом составляющих элементов со сложными функциональными связями и другими особенностями. Для эффективного анализа и управления такими сложными системными объектами необходимо иметь достаточно мощный аппарат моделирования. В настоящее время интенсивно ведутся исследования в области совершенствования моделирования строительства, однако практика пока еще располагает моделями с довольно ограниченными возможностями полного адекватного отображения реальных процессов строительного производства. Разработать универсальную модель и единый метод ее реализации в настоящее время практически невозможно. Одним из путей решения данной проблемы является построение локальных экономико-математических моделей и методов их машинной реализации.

В общем случае модели подразделяются на **физические и знаковые**. Физические модели, как правило, сохраняют физическую природу оригинала.

Для построения знаковых моделей может использоваться, в принципе, любой язык - естественный, алгоритмический, графический, математический. Наибольшее значение и распространение имеют математические модели в силу универсальности, строгости, точности математического языка. Математическая модель представляет собой совокупность уравнений, неравенств, функционалов, логических условий и других соотношений, отражающих взаимосвязи и взаимозависимости основных характеристик моделируемой системы.

Проблема выбора оптимальных решений имеет, применительно к каждой конкретной задаче, свои специфические особенности, а круг таких задач весьма широк. Тем не менее возможно и полезно выделить некоторые характерные черты и вытекающие из них общие подходы к постановке задач оптимизации и поиску наивыгоднейших решений.

Оптимальные решения в технико-экономических задачах должны отбираться не путем использования интуитивных представлений, а, как правило, на основе строгого расчета. Для этого исходную технико-экономическую задачу необходимо соответствующим образом формализовать, т.е. описать с помощью математических выражений характерные для нее связи, зависимости между параметрами.

Совокупность всех этих математических выражений и составляет, вместе с экономической характеристикой входящих в них величин, экономико-математическую модель задачи (объекта исследования, системы). Таким образом, экономико-математическая модель - это математическое описание экономического процесса (объекта, системы).

Теоретические основы экономико-математических методов были разработаны российскими учеными В.С.Немчиновым, Л.В.Канторовичем, В.В.Новожиловым, Н.П.Бусленко. Им же принадлежит заслуга в разработке методологии экономико-математического моделирования и методов количественного подхода к социально-экономическим процессам.

Корректно составленная и предназначенная для практического использования модель должна удовлетворять двум условиям:

- адекватно отражать наиболее существенные черты анализируемого явления, процесса, системы;

- должна быть разрешима, т.е. в описывающей ее системе условий должны отсутствовать математические, экономические, технологические противоречия и иметься эффективные вычислительные алгоритмы для поиска решений. Так как экономико-математическая модель - это всего лишь постановка экономической задачи на математическом языке, то для ее решения необходимо разработать или подобрать из существующих метод решения (алгоритм).

Экономико-математические модели подразделяются на **описательные** (не содержащие управляемых переменных) и **конструктивные,** главным образом, **оптимизационные** (бывают статистическими и динамическими, открытыми, учитывающими внешние воздействия на моделируемый объект, и закрытыми, содержащими управляемые переменные), а по форме представления **аналитическими, графоаналитическими, графическими** и т.д. Экономико-математические модели являются основой применения математических методов и электронно-вычислительной техники в экономике.

Экономико-математические методы (термин введен В.С.Немчиновым) представляют собой комплекс экономических и математических дисциплин, таких как:

- экономико-статистические методы (экономическая статистика, математическая статистика);

- эконометрия - наука, изучающая конкретные количественные взаимосвязи экономических объектов и процессов (с помощью математических и статистических методов и моделей);

- исследование операций (методы принятия оптимальных решений);

- экономическая кибернетика - отрасль науки, занимающаяся приложением идей и методов кибернетики к экономическим системам.

Использование экономико-математических методов и ЭВМ в целях оптимального планирования и управления строительным производством требует последовательного выполнения ряда ниже перечисленных работ математического, технического, информационного и экономического порядка, таких как:

- разработка экономико-математических моделей;

- подготовка соответствующих алгоритмов и вычислительных схем;

- программирование для электронных вычислительных машин;

- формирование необходимой информации или исходных данных, требующихся для соответствующих расчетов;

- классификация и кодирование объектов для расчетов на ЭВМ;

- анализ полученных результатов и их использование в практической деятельности.

3.2. Виды экономико-математических моделей в области организации, планирования и управления строительством

Модели, используемые при решении задач организации, планирования и управления строительным производством, условно можно разделить на модели линейного программирования, нелинейные модели, модели динамического программирования, оптимизационные модели, модели управления запасами, целочисленные модели, цифровое моделирование, имитационные модели, вероятностно-статистические модели, модели теории игр, модели итеративного агрегирования, организационно-технологические модели, графические модели, сетевые модели. Рассмотрим каждую из них в отдельности.

3.2.1. Модели линейного программирования

Понятие линейности связано с понятиями пропорциональности и аддитивности (аддитивность - возможность суммирования результатов). Методами математического программирования решаются задачи на экстремум (максимум, минимум) функций многих переменных с ограничениями на область изменения этих переменных. Из методов математического программирования наибольшее распространение получил метод линейного программирования. Слово программирование показывает, что они применяются для планирования, т.е. для составления плана (программы), который обеспечивал бы оптимальное использование материальных и трудовых ресурсов. Слово линейное определяет математическую природу этих моделей. Она состоит в том, что условия задач выражаются системой линейных уравнений или неравенств, содержащих неизвестные только первой степени.

Для любых задач линейного программирования характерны три следующих условия (по академику В.С.Немчинову):

- наличие системы взаимосвязанных факторов;
- строгое определение критерия оценки оптимальности;
- точная формулировка условий, ограничивающих использование

наличных ресурсов. С учетом этих условий экономическим содержанием задач линейного программирования является отыскание наилучших способов использования имеющихся ресурсов, например, определение оптимального плана закрепления потребителей однородного груза за поставщиками. Такого рода задачи получили название транспортных задач линейного программирования. Если нужно использовать разнородные ресурсы, например, различные машины, материалы и т.д. для выполнения какой-либо работы, то применяется общий метод линейного программирования, который получил в соответствии со своей математической основой название **симплекс-метода,** предложенного американским ученым Дж.Данцигом. Рассмотрим существо модели линейного программирования на простейшем примере.

Задача поиска экстремума линейной функции при линейных ограничениях параметров называется линейным программированием (ЛП).

В задачах ЛП требуется найти минимум некоторой линейной функции, вида (1):

$$c_1 x_1 + c_2 x_2 + \ldots + c_n x_n = \sum_1^n c_i x_i \to \min \quad (1)$$

при линейных ограничениях на параметры (2):

$$A\bar{x} = \bar{b}; \bar{x} = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}^T \qquad \bar{b} = \{b_1, b_2, \ldots, b_n\}^T$$

$$A = \begin{Bmatrix} a_{11} \ldots & a_{1n} \\ \ldots \quad \ldots & \ldots \\ a_{m1} \ldots & a_{mn} \end{Bmatrix} \qquad (2)$$

Методами дифференциального исчисления эта задача не решается, т.к. производные от линейных функций - постоянные величины, которые не приравняешь нулю для нахождения экстремума, как это выполняется в методах решения задач оптимизации с помощью производной.

Для решения задач ЛП используют специальные методы. В частности, так называемый **симплекс метод**.

Если размерность задачи не велика, то она хорошо иллюстрируется **графическими методами**.

Воспользуемся известным положением ЛП о том, что экстремум линейной функции находится в одной из вершин многогранника в пространстве или многоугольника на плоскости, образованных ограничениями, которые могут быть представлены в виде плоскостей в пространстве или прямыми линиями на плоскости соответственно, поскольку ограничения есть линейные функции (рис.2).

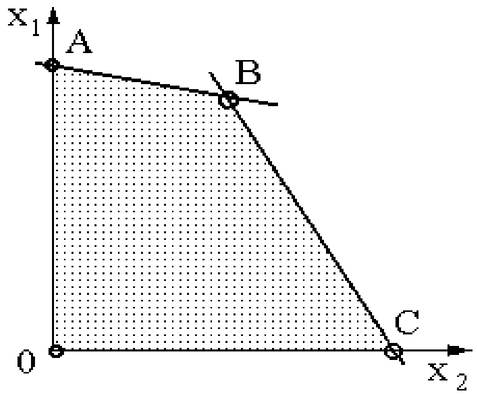

Рис.2. Плоскости в пространстве

Общий вид задачи на плоскости можно представить в виде выражений (3) и (4):

$$c_1 x_1 + c_2 x_2 \to \min$$

$$A\bar{x} = \bar{b}; \bar{x} = \{x_1, x_2\}^T \quad \bar{b} = \{b_1, b_2\}^T \quad (3)$$

$$A = \begin{Bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{Bmatrix}; x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \quad (4)$$

Пример 1.

Цех производит два вида изделий *A* и *B*. Их производство ограничено наличием сырья и временем машинной обработки. На изготовление изделия *A* требуется сырья - 3 кг, а изделия *B* - 4 кг. Всего сырья в неделю отпускается 1700 кг. Машинного времени требуется на изготовление изделия *A* - 12 мин., а изделия *B* - 30 мин. Всего машинного времени в неделю - 160 часов. При этом прибыль от продажи, допустим, изделия *A* - 2 у.е., изделия *B* - 4 у.е.

Вопрос: Сколько цеху производить деталей вида *A* и *B*, чтобы прибыль была максимальной?

Решение: Разработаем математическую модель.

Пусть x_1 - количество изделий *A*, выпускаемых в неделю;

x_2 - количество изделий *B*, выпускаемых в неделю.

Тогда еженедельная прибыль находится по уравнению (5):

$$C = 2x_1 + 4x_2 \to \max$$
$$x_1 \geq 0; \qquad x_2 \geq 0 \quad (5)$$

Наша задача обеспечить ее максимум.

Ограничение на сырье и ограничение на машинное время определим уравнениями (6) и (7):

$$3x_1 + 4x_2 \leq 1700 \qquad (6)$$
$$0{,}2x_1 + 0{,}5x_2 \leq 160 \text{ или } 2x_1 + 5x_2 \leq 1600 \quad (7)$$

Задача двухмерная, поэтому она может быть легко решена графически.

Нарисуем область определения параметров x_1 и x_2.

Она определяется тремя линиями на плоскости в системе декартовых координат (рис. 3).

Линия № 1 (8) Определяет огранич. на сырье:

$$3x_1 + 4x_2 = 1700 \quad (8)$$

Линия № 2 (9) Огранич. на машинное время:

$$2x_1 + 5x_2 = 1600 \quad (9)$$

Линия № 3 (10) Целевая функция:

$$C = 2x_1 + 4x_2 \quad (10)$$

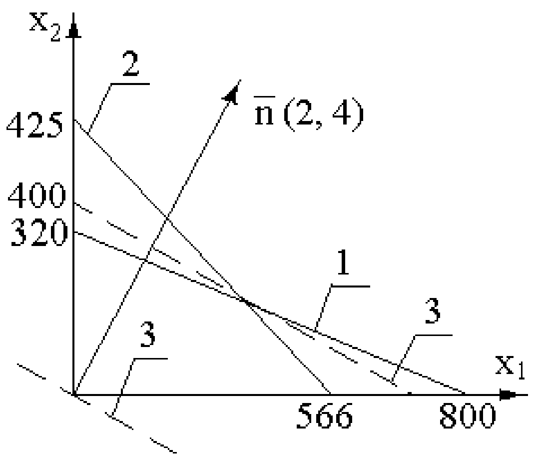

Рис. 3. Область определения параметров

Определим ориентацию градиента целевой функции:

$$C = 2x_1 + 4x_2$$

Градиент – это вектор $\overline{n} = (2,4)$.

Нарисуем вектор параллельный градиенту из начала координат и, используя информацию о том, что экстремум будет в одной из вершин многоугольника определим его.

Он будет в точке В (300, 200).

Заметим, что координату точки экстремума можно определить как точку пересечения двух прямых:

$$2x_1 + 5x_2 = 1600$$
$$3x_1 + 4x_2 = 1700$$

Решая систему, найдем, что $x_1 = 300$ и $x_2 = 200$.

По формуле (10.10) находим, что максимальная прибыль составит 1400 у. е.

3.2.2. Нелинейные модели

Слово *нелинейные* показывает, что соответствующие задачи описываются нелинейными уравнениями. Свойство нелинейности состоит в том, что о результат взаимодействия нескольких факторов не равен простой алгебраической сумме их действий. Например, если планировать одновременную работу двух рабочих, то их производительность будет одна, если четырех - она может быть и меньше из-за недостаточности фронта работ, несогласованности действий рабочих и т.д. Нелинейная зависимость между переменными характерна и для задач размещения, в которых неизвестными являются не только пункты производства, но и объемы производства в каждом из них. Затраты на выпуск единицы строительной продукции обычно уменьшаются с ростом объема производства нелинейно. Поэтому в критерии оптимальности задачи размещения производства, представляющем собой приведенные затраты на производство и транспортировку продукции, будут содержаться нелинейные члены.

Покажем на примере различия в линейной и нелинейной постановках задач.

Пусть задача связана с определением оптимального распределения m однотипных строительных бригад для строительства n однотипных объектов.

Задан требуемый темп выполнения работ и норма их выполнения дли каждой бригады – q_i.

Требуется найти такое распределение бригад, при котором темп выполнения всего объема работ будет максимальным.

Введем обозначения:

$V_I^{\text{тр}}$- требуемый темп выполнения работ на i-ом объекте;

q_i - норма по выполнению работ на i-ом объекте;

x_i- количество бригад, назначаемых на выполнение работ на i-ом объекте.

Рассмотрим функцию,

$$V_I = V_i(x_i\ q_i)$$

характеризующую темп выполнения работ на i-ом объекте при выделении на этот объект x_i бригад.

В линейной постановке этой задачи целевая функция и ограничения должны быть линейными. В частности, функция

$V_I = V_i(x_i\ q_i)$ запишется в виде:

$$V_I = q_i\ x_i$$

Графически эта зависимость представлена на рис.4.

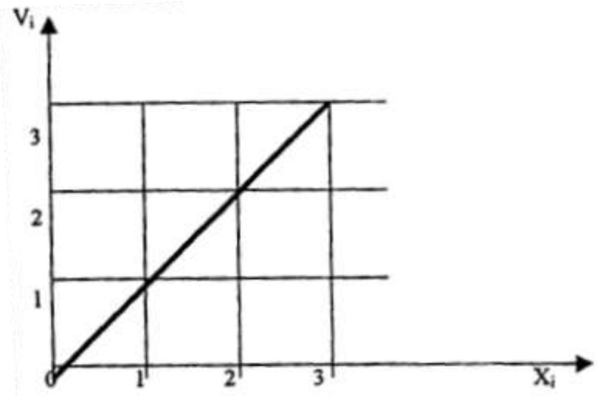

Рис. 4. Зависимость темпа выполнения работ на объекте от количества выделенных бригад

В качестве критерия выберем средний темп выполнения работ на n объектах.

$$\mathrm{V_{cp}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mathrm{q_i x_i}$$

Если обозначить величину $\frac{1}{n}q_i$ через C_1, то целевая функция будет иметь вид:

$$V_{\text{ср}}(x_1, x_2, \dots\dots\dots. x_n) = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{C_i x_i}$$

Систему ограничений можно построить следующим образом:

$$x_1 + x_2 \dots \dots \dots + x_n \leq m$$

$$q_i * x_i \leq V_i^{\text{тр}}, \qquad i = \overline{1, n}$$

$$x_i \geq 0$$

x_i - целые числа

Таким образом, постановка задачи имеет следующий вид: найти такое количество бригад x_i, выделяемых на каждый объект, при котором достигает максимума функция

$$V_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{n} \text{C}_\text{i} \text{x}_\text{i}$$

и выполняются ограничения:

$$x_1 + x_2 + \cdots + x_n \leq m$$
$$\text{q}_1 \text{x}_1 \leq V_1^{mp}$$
$$q_2 x_2 \leq V_2^{mp}$$

$$q_n x_n \leq V_n^{mp}$$
$$x_i - \text{целые и } x_i \geq 0, \qquad i = \overline{\iota, n}$$

На практике функцию $V_i(x_i)$ вряд ли правильно считать при значениях $x_i > 3$ линейной. Учитывая тенденцию так называемого "насыщения", она скорее всего будет иметь вид, показанный на рис.5.

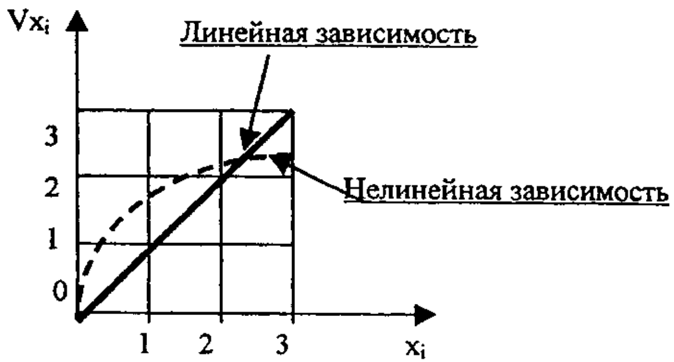

Рис. 5. Характер изменения общей производительности бригад в зависимости от их количества

Рассмотрим нелинейную постановку задачи, сняв требование линейности с функции $V_i(x_i)$ и целевой функции.

$F(x_i, x_2, \ldots, x_n)$, т.е. будем считать их произвольного вида.

Покажем важнейший недостаток приведенной ранее линейной постановки задачи, а именно: критерий - средний темп выполнения работ

$$V_{\text{ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mathrm{C_i x_i}$$

Он не учитывает возможности выполнения работ на отдельном объекте. Например, для следующих 2-х вариантов распределения бригад может оказаться средний темп выполнения работ одинаковым

$V_{\text{ср}}^1 = \frac{1}{3}$ (30 + 60 + 0)= 30 ед.объема работ/сут.

$V_{\text{ср}}^2 = \frac{1}{3}$ (30 + 30 + 30)= 30 ед.объема работ/сут.

Более полным будет обобщенный критерий, если его построить на принципе учета расстояния или "дефицита" показателей эффективности по отдельным объектам, в частности, "дефицита" по темпам возведения отдельных объектов:

$$V_i(x_i q_i) = V_i^{mp} - V_i(x_i q_i)$$

Обычно "дефицит" выражают в относительных величинах

$$V_i(x_i q_i) = max\,(\frac{V_i^{mp} - V_i(x_i q_i)}{V_i^{mp}}$$

Целевая функция с учетом приведенных ранее соображений может быть записана в виде:

$$F(x_1, x_2, ..., x_n) = \max\left[\frac{V_i^{mp} - V(x_i q_i)}{V_i^{mp}}\right] \to \min$$

Иначе говоря, чем меньше значения максимального "дефицита", т.е. функции $F(x_1\ x_2, ..., x_n)$, тем в целом успех выполнения работ будет выше. При этом ограничения будут иметь вид:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i \leq m$$

$$V_i(x_i q_i) \leq V_i^{mp} + q_i$$

$$x_i \leq M_i$$

$x_i \geq 0$, $x_i -$ целые, $i = \overline{1, n}$

Если в линейной постановке зависимость темпа строительства от количества выделенных на объект бригад описывалась формулой

$$V_i = q_i x_i$$

то в нелинейной постановке она может иметь следующий вид:

$$V_i = L_i * q * x_i^{\alpha i},$$

где L_i - коэффициент, учитывающий условия выполнения работ (например, зима)

При $L_i = 1, \quad \alpha_1 = 0{,}5, \quad i = \overline{1{,}3}$ график функции $V = 2\sqrt{x}$ показан на рис.6

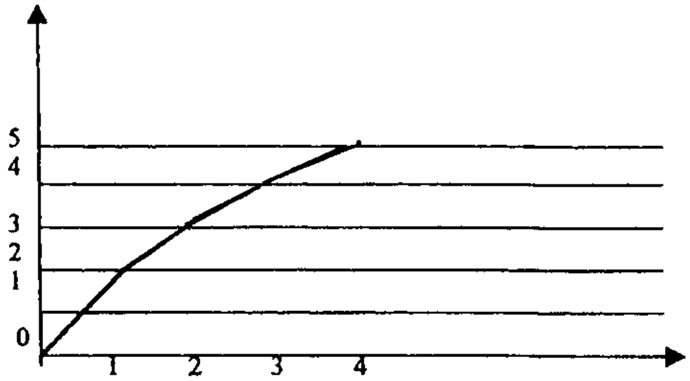

Рис.6. Характер изменения возможностей бригад от их количества

В рассмотренном примере показана разница в линейной и нелинейной постановке аналогичной задачи. Пример взят из */2/*.

В некоторых задачах из области организации и управления строительством в качестве "дефицита" может быть использовано отклонение требуемого времени продолжительности строительства от расчетного, т.е.

$$\Delta T_i = \max\left[\frac{T_i(q_i x_i) - T_i^{mp}}{T_i}\right], \quad i = \overline{1,n}$$

При этом целевая функция будет иметь вид:

$$F = \max(\Delta T_i)$$

$$1 \le i \le n$$

Алгоритмом для поиска решений в случае нелинейных моделей является математический аппарат нелинейного программирования. Если целевая функция отыскивается в условиях неопределенности, то такая задачи относится к стохастическому программированию. Применительно к экономико-технологическим явлениям и процессам нелинейное программирование относится к наиболее неизученному математическому направлению.

3.2.3. Модели динамического программирования

Динамическое программирование - метод оптимизации решений, разработанный для многошаговых или многоэтапных операций.

Существуют операции, имеющие многоходовой характер. В частности, можно представить в виде многоэтапных операции развитие экономической ситуации в течение некоторого периода времени, обучение студентов в вузе от сессии до сессии, некоторые военные операции и многие другие. В некоторых случаях этапы вводят искусственно.

Итак, рассмотрим операцию, состоящую из *m* шагов. Эффективность (выигрыш) операции характеризуется показателем *W*. Выигрыш за всю операцию складывается из отдельных выигрышей ωi на каждом этапе.

$$W = \sum_{i=1}^{m} \omega_i \qquad (11)$$

Если критерий *W* обладает таким свойством, то его называют ***аддитивным*** **критерием**.

Допустим, операция является управляемой, то есть выигрыш зависит от решений на каждом шаге. Т.е. мы имеем дело с “шаговым управлением”. Управление операцией *x* складывается из отдельных шаговых управлений *xi* (12):

$$X = (x_1, x_2, ..., \quad x_m) \qquad (12)$$

В общем виде величины *xi* могут быть и не числа, а векторы, функции и т.д.

Требуется найти такое управление *X*, при котором выигрыш *W* обращается в максимум (13):

$$W = \sum_{i=1}^{m} \omega_i \Rightarrow W_{\max} = W^* \quad (13)$$

То управление, при котором достигается максимум эффективности называется оптимальным управлением. Оно состоит из оптимальных пошаговых управлений (14):

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, ..., \quad x_m^*) \quad (14)$$

Примеры постановки задач многошаговой операции.

Пример 1. Планируется деятельность группы промышленных предприятий П1,П2, ..., Пk на *m* - лет. В начале периода выделены некоторые средства *M*, которые должны быть распределены между предприятиями. 1

Вопрос: Какое количество средств необходимо выделять каждому предприятию в начале каждого года, чтобы суммарный доход за эти *m* - лет был максимальным.

Суммарный доход представляет собой сумму доходов на отдельных этапах (15), то есть обладает свойством аддитивности:

$$W = \sum_{i=1}^{m} \omega_i \quad (15)$$

Годовое управление состоит в распределении средств между предприятиями:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., \quad x_{im})$$

где первый индекс $i = 1, 2, ... , m$ - год работы предприятия, а второй индекс – номер предприятия.

Совокупное управление состоит из суммы шаговых управлений:

$$X = (x_1, x_2, ..., \quad x_m)$$

Требуется найти распределение средств по предприятиям и по годам, при котором величина W обращается в максимум и, таким образом, найти путь оптимального управления.

Пример 2. Прокладка наивыгоднейшего пути между двумя пунктами.

Для постановки задачи допустим, что путь от одного пункта, до другого можно разбить на отрезки, при этом движение может быть в строго перпендикулярных друг к другу направлениях на восток или север (рис.7)

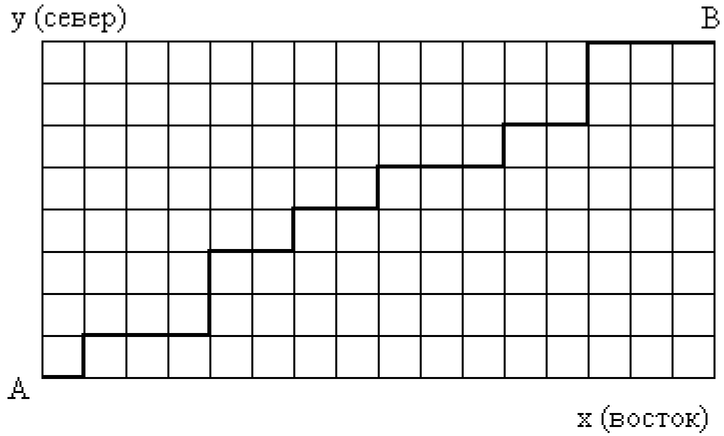

Рис. 7. Схема задачи

В задаче требуется проложить такой путь, чтобы суммарные затраты на перемещение были минимальными.

Перебор всех вариантов может быть затруднителен.

Проведем оптимизацию на каждом шаге с помощью динамического программирования. Рассмотрим конкретный пример решения в упрошенном виде (рис. 8).

Разделим путь в восточном и северном направлении части, так чтобы любой путь из пункта *A* в пункт *B* состоял из четырех шагов. Поставим на каждом из отрезков число, выражающее стоимость движения на каждом из отрезков. А в узлах сетки минимальную стоимость на перемещение.

Поскольку последний шаг всегда оптимален, так как выбор для последнего шага, вообще говоря, или отсутствует, или очевиден, то процедуру оптимизации будем разворачивать в обратном направлении - от конца к началу, т.е. от точки В к точке А.

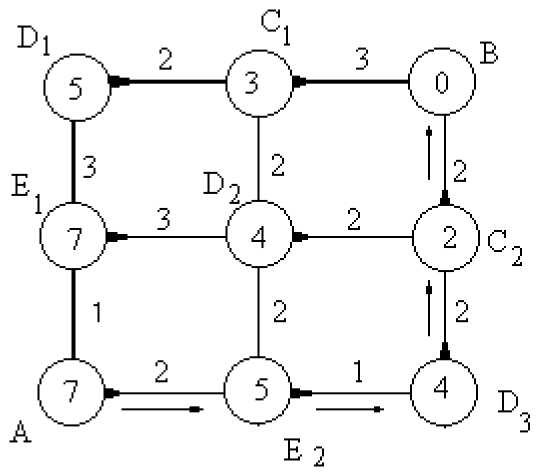

Рис. 8. Решение в упрощенном виде

Так из точки C1 возможен путь только на восток и он стоимостью - 3 руб., из точки C2 - только на север стоимостью 2 руб. Поэтому в узлах условной сетки пути, в точке C1 ставим цифру - 3, а в точке C2 - цифру 2 и стрелки, однозначно указывающие направление движения из данных узлов. Оптимальным из двух возможных шагов является путь - C2B.

Рассмотрим стоимости предпоследних шагов из точек: D1, D2, D3, и их влияние на общий выигрыш. Из D1 можно двигаться только в точку C1, общая стоимость пути - 5 руб. Из D3 также путь однозначно определен - в точку C2. Общая стоимость пути из D3 - 4 руб. В то же время из D2 существует два варианта движения: на север или на восток. Причем, если мы пойдем на север, то затратим 2руб. и в сумме до конца пути 5 руб., а если на восток, - то на предпоследнем шаге затратим также 2 руб., но до конца пути только 4 руб. Поэтому в пункте D2 ставим число 4 р. как меньшее и укажем стрелкой направление оптимального движения. Аналогично рассматриваются все оставшиеся отрезки и пункты к началу движения.

В каждом пункте находим условное оптимальное управление, которое обозначаем стрелкой и условный оптимальный выигрыш, который записан в кружечке. Последний вычисляется путем сложения оптимизированного расхода на отрезке с предыдущим оптимизированным расходом до конца пути.

Таким образом выполняется условная оптимизация. Из любой точки мы знаем куда идти (стрелка) и во что нам обойдется путь до конца (число в кружочке). В точке А записан оптимальный выигрыш за весь путь: W* = 7р.

Остается построить безусловное оптимальное управление - траекторию, ведущую из А в В самым дешевым способом. Для этого нужно только “слушаться стрелок”, т.е. двигаться их начального пункта в направлении по стрелкам. Такую оптимальную траекторию отметим стрелками. Соответствующее безусловное оптимальное управление выполняется по формуле (16):

$$X^* = \left(B, B, C, C\right) \qquad (16)$$

Если в дороге встречается пункт, из которого то и другое направления оптимальны, то можно придумать дополнительный, второстепенный критерий для облегчения выбора. Если ничего не придумывать, то оба пути равнозначны.

Решим задачу наивным способом, выбирая с первого шага тот путь, который дешевле. Например по точкам: А-Е1-D2-С1-В. И путь в лучшем случае окажется на одну единицу дороже.

Основные этапы задач динамического программирования.

Первый этап: Выбор параметров характеризующих управляемую систему. От выполнения этого первого шага зависит принципиальная возможность решения задачи. Если учитывать множество параметров, то над нами повисает, по меткому выражению Белмана “проклятие многомерности” - бич не только метода ДП, но и всех других методов оптимизации.

Второй этап: Расчленение операции на шаги. Т.е. выбор отрезка или шага, на котором мы способны оценить изменение в системе. Переход ее в новое качество.

Третий этап: Определение шаговых управлений. То есть, определение набора инструментария для управления.

Четвёртый этап: Определение величины выигрыша на каждом шаге управления при переходе в новое состояние, которое определим в виде (17):

$$W_i = f_i\left(S, x_i\right) \quad (17)$$

Пятый этап: Определение степени изменения состояния системы, под влиянием управления в виде (18):

$$S' = \varphi_i\left(S, x_i\right) \quad (18)$$

Шестой этап: Нахождение основного рекуррентного уравнения ДП, выражающего условный оптимальный выигрыш в виде (19):

$$W_i\left(S\right) = \max\left[f_i\left(S, x_i\right) + W_{i+1}\left(S'\right)\right] \quad (19)$$

Седьмой этап: Произвести условную оптимизацию, начиная с последнего до первого шага. Выполнить подготовку рекомендаций управления на каждом шаге.

Восьмой этап: Произвести безусловную оптимизацию, читая рекомендации на каждом шаге от первого до последнего.

Пример 3.

Задача: Необходимо распределить 4 бригады по 10 человек на строительство новых четырех объектов, чтобы выполнить максимальный объем строительно-монтажных работ, если известно, что объем СМР на объектах с 1 по 17 в зависимости от количества рабочих, направляемых на эти объекты, различен и записан в виде следующей матрицы:

Таблица 1

Количество рабочих	Номера объектов			
	I	II	III	IV
	Объем СМР, тыс.руб.			
0	0	0	0	0
10	10	8	12	11
20	23	18	20	19
30	27	25	31	28
40	29	32	35	36

Решение: В качестве этапов вычисления будем рассматривать направление рабочих сначала на один объект, затем на два, на три и, наконец, на четыре объекта.

Таблица 2

Количество рабочих	$F_1(x)$	$F_2(x)$	$q_2(x)$	$F_3(x)$	$q_3(x)$	$F_4(x)$	$q_4(x)$
0	0	***0***	0	0	0	0	0
10	10	8	10	***12***	12	***11***	12
20	***23***	18	***23***	20	23	19	23
30	27	25	31	31	***35***	28	35
40	29	32	41	35	43	36	***46***

Функции объемов СМР в зависимости от количества рабочих на каждом объекте: $F_1(x)$- по первому объекту; $F_2(x)$ - по второму; $F_3(x)$ - по третьему; $F_4(x)$ - по четвертому; где x - количество рабочих.

Функции оптимального распределения объемов СМР:

$q_1(x)$ - по первому объекту;

$q_2(x)$ - по двум;

$q_3(x)$ - по трем;

$q_4(x)$ - по четырем объектам.

Нахождение оптимума на каждом этапе производится методом простого перебора всех возможных вариантов.

1. В первом столбце $F_1(x)$записаны объемы СМР, получаемые при направлении рабочих на I объект.
   $F_1(x) = q_1(x)$, так как при направлении всех рабочих на первый объект размер СМР $F_1(x)$для него и будет оптимальным.
2. Во втором столбце $F_2(x)$ записаны объемы СМР, получаемые при направлении всех рабочих на второй объект.
3. Третий столбец формируется как результат выполнения объемов СМР по двум объектам (первому и второму).

3.1. При составлении бригады 10 человек их можно направить только в один из двух рассматриваемых объектов. Так как объем СМР при распределении 10 человек на I объект (10 тыс. руб.) больше, чем на II (8 тыс. руб.), то этих рабочих выгоднее направить на I-й объект.

В столбце q_2 (10) записываем 10 тыс. руб.

$$q_2(10) = \max \begin{Bmatrix} 10 + 0 = 10 \\ 0 + 8 = 8 \end{Bmatrix} = 10$$

3.2. Если количество рабочих равно 20 чел., то могут быть три варианта их распределения:

3.2.1. Всех рабочих (20 чел.) направить на I объект, что даст объем СМР 23 тыс. руб.;

3.2.2. Всех рабочих направить на II объект, при этом объем СМР составит 18 тыс. руб.

3.2.3. 10 человек направить на I объект, 10 человек - на II объект, что даст суммарный объем СМР 18 тыс. руб.

Максимальный объем СМР при распределении 20 человек по трем вариантам составит 23 тыс. руб.

$$q_2(20) = \max \begin{Bmatrix} 23 + 0 = 23 \\ 0 + 18 = 18 \\ 10 + 8 = 18 \end{Bmatrix} = 23$$

3.3. Если количество рабочих равно 30 человек, то могут быть четыре варианта распределения:

3.3.1. Всех рабочих (30 чел.) направить на I объект, что даст объем СМР 27 тыс. руб.;

3.3.2. Всех рабочих направить на II объект, при этом объем СМР составит 25 тыс. руб.;

3.3.3. 20 человек направить на I объект, 10 человек - на II объект, что даст суммарный объем СМР 31 тыс. руб.;

3.3.4. 10 человек направить на I объект, 20 человек - на II объект, что даст суммарный объем СМР - 28 тыс. руб.

Максимальный объем СМР при распределении 30 человек на I и II объектах составит

$$q_2(30) = \max \begin{Bmatrix} 27 + 0 = 27 \\ 0 + 25 = 25 \\ 23 + 8 = 31 \\ 10 + 18 = 28 \end{Bmatrix} = 31$$

3.4. Если количество рабочих равно 40 человек, то могут быть пять вариантов их распределения:

3.4.1. Всех рабочих (40 чел.) направить на I объект, что даст объем СМР - 29 тыс. руб.;

3.4.2. Всех рабочих (40 чел.) направить на II объект, при этом объем СМР составит 32 тыс. руб.;

3.4.3. 20 человек направить на I объект и 20 человек направить на II объект, что даст суммарный объем СМР - 41 тыс. руб.;

3.4.4. 30 человек направить на I объект, 10 человек - на II объект, что даст суммарный объём СМР - 35 тыс. руб.;

3.4.5. 10 человек - на I объект, 30 человек - на II объект, что даст суммарный объем СМР - 35 тыс. руб.

Максимальный объем СМР при распределении 40 человек на I и II объектах составит 41 тыс, руб.

$$q_2(40) = \max \begin{Bmatrix} 29 + 0 = 29 \\ 0 + 32 = 32 \\ 23 + 18 = 41 \\ 27+8=35 \\ 10 + 25 = 25 \end{Bmatrix} = 41$$

4. Далее находим, пользуясь вышеизложенной методикой, оптимальное распределение рабочих по трем объектам, рассматривая оптимальные распределения $q_2(x)$, найденные на предыдущей итерации, в качестве исходных данных

$$q_3(10) = \max \begin{Bmatrix} 10 + 0 = 10 \\ 0 + 12 = 12 \end{Bmatrix} = 12$$

$$q_3(20) = \max \begin{Bmatrix} 23 + 0 = 23 \\ 0 + 20 = 20 \\ 10 + 12 = 22 \end{Bmatrix} = 23$$

$$q_3(30) = \max \begin{Bmatrix} 31 + 0 = 31 \\ 0 + 31 = 31 \\ 23 + 12 = 35 \\ 10 + 20 = 30 \end{Bmatrix} = 35$$

$$q_3(40) = \max \begin{Bmatrix} 41 + 0 = 41 \\ 0 + 35 = 35 \\ 23 + 20 = 43 \\ 31 + 12 = 43 \\ 10 + 31 = 41 \end{Bmatrix} = 43$$

5. Найдем оптимальное распределение рабочих по четырем объектам. Составляем оптимальный вариант q_4(x) на следующей итерации, перебирая варианты по паре, образованной оптимизированным вариантом q_3(x) = и четвертым (исходным) вариантом

F_4(x).

$$q_4(10) = \max \begin{Bmatrix} 12 + 0 = 12 \\ 0 + 11 = 11 \end{Bmatrix} = 12$$

$$q_4\,(20) = \max \begin{Bmatrix} 23 + 0 = 23 \\ 0 + 19 = 19 \\ 12 + 11 = 23 \end{Bmatrix} = 23$$

$$q_4\,(30) = \max \begin{Bmatrix} 35 + 0 = 35 \\ 0 + 25 = 25 \\ 23 + 11 = 34 \\ 12 + 19 = 31 \end{Bmatrix} = 35$$

$$q_4\,(40) = \max \begin{Bmatrix} 43 + 0 = 43 \\ 0 + 36 = 36 \\ 23 + 19 = 42 \\ 35 + 11 = 46 \\ 12 + 25 = 37 \end{Bmatrix} = 46$$

Полученные числа 12, 23, 35,46 заносят в столбец q_4(x) новой матрицы (таблица 2).

Обратным порядком определяем оптимальный вариант.

На основании полученной матрицы (табл. 2) сделаем следующий вывод: максимальный объем СМР будет выполнен, если на I объект направить 20 человек, на III объект направить 10 человек, на IV объект - 10 человек. Объем строительно-монтажных работ при этом составит 46 тыс. рублей.

Из примера видно, что благодаря применению метода динамического программирования задача с четырьмя пара метрами превратилась в три задачи с одним параметром, что позволило легко и просто решить задачу.

3.2.4. Оптимизационные модели (постановка задачи оптимизации)

Оптимизационные модели представляют собой обширный класс экономико-математических моделей, позволяющих выбрать из всех возможных решений самый лучший, оптимальный вариант. В математическом смысле оптимальность понимается как достижение экстремума (максимума или минимума) критерия оптимальности, именуемого также нулевой или целевой функцией.

Оптимизационные модели решаются с помощью методов математического программирования с использованием электронно - вычислительной техники и формируются в общем виде следующим образом: "Надо отыскать значения показателей X_1, X_2,...,X_n, характеризующие экономический объект или процесс, придающие максимальное или минимальное значение нулевой (целевой) функции $F(X_1, X_2,...,X_n)$, при соблюдении ограничений, накладываемых на область изменения показателей X_1, X_2,...,X_n, и связей между ними в виде

$$f_j(X_1, X_2, \dots, X_n) \le a_j j = l, m$$

Если решение X_1 , X_2,...,X_n не противоречит ограничениям, принятым в задаче, то его называют допустимым. Допустимое решение, при котором нулевая функция принимает экстремальное (максимальное или минимальное решение) считается оптимальным. Иначе говоря, полученные таким обратом значения неизвестных X_1, X_2,...X_n будут искомыми величинами в рассматриваемой задаче.

Если целевая функция, ограничения, связи между искомыми показателями выражены в виде линейных зависимостей, то оптимизационная мидель сводится к задаче **линейного программирования.** На практике часто целевую функцию выразить в виде линейных зависимостей не удается. Это приводит к необходимости рассмотрения задач **нелинейного программирования.**

Оптимизационные модели в строительстве чаще всего встречаются в задачах отыскания лучшего способа использования экономических и материальных ресурсов, размещения производственных мощностей предприятий по производству строительных изделий, парка строительных машин и т.д.

3.2.5. Модели управления запасами

Модели управления запасами используются при необходимости определения в строительстве объема запаса строительных материалов, конструкций и изделий, характера изменения его в процессе возведения объекта, обновления запаса в связи с поступлением и расходованием ресурсов, с целью обеспечения бесперебойности и надежности строительного процесса при минимальных затратах, связанных с хранением, пополнением, расходованием запаса.

Так как уровень спроса неожиданно возникающих потребностей в ресурсах носит чаще всего случайный характер, то модели управления запасами должны быть стохастическими, вероятностными, в упрощенной постановке возможно использование детерминированных моделей.

В строительстве чаще всего применяются модели управления складскими запасами.

В общем виде экономико-математическая модель управления запасами может быть представлена:

$$З(t) = З_{нач} + P(t) - R(t)$$

где $З(t)$ - текущий уровень запаса стройматериалов на складе в момент времени t;

Знач - начальный запас материалов на складе в момент t = 0;

$P(t)$ - поступление материалов на склад за время t;

$R(t)$) - расходование материалов со склада за время t;

Очевидно, что в любой момент запас материалов на складе не может быть отрицательным, то есть:

$З(t) \geq 0$

Поступление и расходование материалов со склада обычно производится партиями. Обозначив объем поставки через P_j, а объем расходуемой партии R_j преобразуем исходное соотношение к виду:

$$З(t) = З_{нач} + \sum_{i=1}^{n} P_i - \sum_{j=1}^{m} R_j$$

где n - количество поставляемых партий стройматериалов;

m - количество расходуемых партий стройматериалов.

Это равенство является базисным в модели управления запасами. В зависимости от того, какие величины (показатели) в нем заданы, а какие являются искомыми, различают разные виды моделей. Часто в модель включают показатели, характеризующие затраты на поставку, хранение, отправку товаров со склада.

Критерием оптимальности моделей управления запасами, как правило, является объем затрат, их минимум (минимум исследуемой функции). В процессе определения экономического содержания затрат учитываются затраты, связанные с заказом каждой новой партии материальных ресурсов; транспортные расходы; расходы на содержание складов и хранение материалов; затраты на складские операции, штрафы и т.д.

Ограничения в задачах управления запасами могут быть самого различного характера. Как правило, они используются для описания предельной величины тех или иных параметров системы (модели). Например, ограничения могут устанавливаться по максимальному объему запасов; максимальной площади, занимаемой складируемыми материалами и конструкциями; максимальной стоимости; средней стоимости числу поставок в заданном интервале времени, максимальному объему и т.д.

Многообразие реальных практических ситуаций предопределяет рассмотрение большого числа вариантов задач управления запасами.

Методом теории запасов можно решать очень широкий круг задач оптимального планирования таких ресурсов, как финансы, парк строительных машин и транспортных средств, трудовые ресурсы и т.д.

3.2.6. Целочисленные модели

Результаты решений многих задач, стоящих перед строителями, должна быть**.** выражены в целых числах (например, определение оптимального количества заводов, являющихся поставщиками строительных конструкций или числа монтажных кранов **и т.д.).** Но если даже в простую задачу линейного программирования внести дополнительное требование целочисленности неизвестных (x = 1,2,3 и т.д.), то решать ее обычными методами уже нельзя. На первый взгляд кажется, что можно легко выйти из положения, округлив полученное каким-либо методом решение. Но что может означать к примеру 2, 3 дома? Надо строить 3 дома? Это решение невозможно**,** либо возможно осуществить за счет уменьшения других показателей плана. Найти целочисленный оптимальный план - задача непростая. Для решения ее требуется применение довольно тонких специальных математических методов (например, **метод "Гомори",** основанный на идеях симплекс-метода)

Одним из примеров целочисленного программирования является задача о назначениях. Покажем на примере сущность этой задачи и алгоритм ее решения**,** в основе которого лежит так называемый **венгерский метод.**

Пример. Пусть имеется необходимость перебросить пять строительных бригад к месту строительства пяти различных объектов.

Под назначением понимается факт приписки бригады к одному из объектов

Задача состоит в том, чтобы найти такое назначение, при котором общее время доставки бригад **к** месту работы было минимальным.

Представим время t_{ij} доставки *i*-ой бригады в *j*-ый пункт назначения и виде табл.3.

Таблица 3

3	5	7	2	{4}
4	6	7	3	1
{2}	{1}	3	4	5
6	3	{2}	7	8
5	4	3	{1}	9

Таблица 4

1	4	5	1	|0|
2	5	5	2	$\cancel{0}$
0	$\cancel{0}$	1	3	4
4	2	|0|	6	7
3	3	1	|0|	8

Основной принцип задачи о назначениях состоит в следующем: оптимальность решения не нарушается при уменьшении (увеличении) элементов t_{ij} строки (или столбца) таблицы (матрицы) на одну и ту же величину t..

Алгоритм решения может быть представлен в виде этапов.

Этап 1. Образование нулей.

Среди элементов каждого столбца табл.1 выбирается наименьший элемент (в таблице эти элементы обведены кружочками) и вычитается из всех элементов этого столбца. В результате этих действий получаем таблицу 6, в которой элементами являются разности

$$t_{ij}^{(1)} = t_{ij} - min_i t_{ij}$$

Таблица 5

					$x_{(2)}$	
1	1	4	5	1	$\boxed{0}$	$x_{(3)}$
2	2	5	5	2	$\cancel{0}$	$x_{(1)}$
3	$\boxed{0}$	$\cancel{0}$	1	3	4	
4	4	2	$\boxed{0}$	6	7	
5	3	3	1	$\boxed{0}$	8	
	1	2	3	4	5	

Таблица 6

1	$\boxed{0}$	3	4	$\cancel{0}$	$\cancel{0}$
2	1	4	4	1	$\boxed{0}$
3	$\cancel{0}$	$\boxed{0}$	1	3	4
4	4	2	$\boxed{0}$	6	7
5	3	3	1	$\boxed{0}$	8
	1	2	3	4	5

Этап 2. Поиск возможного оптимального решения

Оптимальное решение в данной постановке означает, что все затраты имеют нулевое значение. Если такое решение найти не удалось, то следует перейти к третьему этапу. Последовательность действий при поиске оптимального решения состоит в следующем. Анализ табл.6 начинается с выявления строк, содержащих минимальное число нулей, при этом один из нулей такой строки обводится квадратиком. Затем вычеркиваются все остальные нули, находящиеся в этой строке. Процесс продолжается до тех пор, пока в таблице все нули будут либо обведены квадратиками, либо вычеркнутыми. На данном этапе оптимального решения получить не удалось, так как во второй строке таблицы нет нулевого элемента.

Возьмем, например, элемент t_{22} = 5, тогда решение будет иметь вид:

$$t_{22} + t_{15} + t_{31} + t_{43} + t_{54} = 5 + 0 + 0 + 0 + 0 = 5,$$

а это решение не оптимально (см. табл.4).

Этап 3. Образование набора строк и столбцов, содержащих все нули, имеющиеся в таблице (см. табл.5)

Последовательность действий:

1 .Пометим крестиком (*x*) строки, не содержащие ни одного обведенного квадратиком нуля. В нашем случае строка 2.

2.Отметим каждый столбец, содержащий зачеркнутый нуль хотя бы одной из помеченных строк. В нашем случае 5-ый столбец.

3. Пометим каждую строку, в которой содержится обведенный квадратиком нуль хотя бы в одном из помеченных столбцов. В нашем случае строка 1

4.Далее повторяем перечисленные действия 2 и 3 пока не останется строк и столбцов, которые еще можно пометить. Переходим к этапу 4.

Этап 4. Завершение этапа 3

Прочеркнем каждую непомеченную строку и каждый помеченный столбец (см. табл.5). Прочеркнем строки 3, 4, 5 и 5-ый столбец. Переходим к этапу 5.

Этап 5. Добавление нулей

В части таблицы, состоящей из неперечеркнутых элементов, выберем наименьший элемент (см.табл.5). Это будет элемент 1-ой строки, равный 1. Вычтем этот элемент из всех элементов столбцов 1, 2, 3, 4, 5 и прибавимего ко всем элементам перечеркнутых строк, т.е. строк 3, 4, 5. В результате получаем табл.6.

Этап 6. Получение оптимального решения или переход к этапу 3

Оптимальное решение определяется в последовательности, описанной в этапе 2. Повторив этап 2, получим таблицу 6. В табл. 6 нули, обведенные квадратиками, образуют оптимальное решение:

$$t_{11} + t_{25} + t_{32} + t_{43} + t_{54} = 3+1+1+2+1=8,$$

3.2.7. Цифровое моделирование (метод перебора)

Методы линейного и динамического программирования дают возможность заменить простой перебор возможных вариантов решений упорядоченным и экономным поиском оптимального результата. Однако существует много технико-экономических задач, важных в практическом отношении, для решения которых нужны иные методы. К таким задачам относятся различные вероятностные задачи, где оптимальное решение (поведение, стратегию) надо выбирать в условиях неопределенности исходных данных, когда поведение системы случайно и может быть описано лишь в терминах математической статистики (среднее значение, математическое ожидание, дисперсия, спектр, функция корреляции, законы распределения и т.п.). В этих случаях обычно нельзя указать рациональные аналитические методы решения, и поэтому такие задачи решаются методом перебора.

Одним из простейших и, пожалуй, наиболее распространенных методов оптимизации является **метод перебора (сканирования)**. Сущность этого метода состоит в следующем.

Пусть в процессе моделирования производственной ситуации, по которой необходимо принять решение, получена символьная модель вида:

$$W = f(c_i, v_j)$$

где W - общий критерий функционирования;

c_i - множество управляемых переменных;

v_j - множество неуправляемых переменных;

f - соотношение, связывающее управляемые и неуправляемы переменные.

Чтобы получить желаемое решение, нужно определить значения управляемых переменных, максимизирующие или минимизирующие критерии функционирования системы W.

Обычно для получения решения задачи поступают таким образом Сначала устанавливают диапазон возможных изменений управляемых переменных C_i. Затем для дальнейших исследований используются те из управляемых переменных $\overline{C_i}$, которые удовлетворяют системе определенных ограничений. Для этих значений вычисляются значения целевой функции W. В качестве решения задачи принимаются значения $\overline{C_i^*}$, при которых целевая функция принимает экстремальные значения.

Достоинством метода является не только простота его реализации на ЭВМ, но и принципиальная применимость к решению многих практических задач, возможность получения глобального экстремума. Основной недостаток - большие затраты времени, особенно в связи с возрастанием размерности задачи.

3.2.8. Имитационные модели

Имитационное моделирование является частным случаем цифрового моделирования. Аналитические методы описания и анализа функционирования сложных систем обычно не позволяют учесть особенности организационно-экономических систем, связанные с непрерывностью и дискретностью их элементов, с нелинейностью связи между характеристиками системы, с воздействием многочисленных внешних и внутренних случайных факторов. Для количественного анализа и решения задач, не имеющих строгого аналитического описания, используется имитационное моделирование. Имитационная модель не ставит целью получение точного решения задачи, но она и не связывает себя слишком жесткими математическими предписаниями. Она не решается в аналитическом смысле, а осуществляется именно "проигрывание", "прогон" модели. Мощные электронно-вычислительные комплексы дают возможность проводить эксперименты, в которых экспериментатор со своей интуицией и "здравым смыслом" может постоянно контролировать процесс принятия решений, изменять исходные предпосылки и логику решения, уточнять требования к выходным данным и т.д.

Имитационное моделирование имеет ряд преимуществ по сравнению с аналитическим: это возможность применять модели, адекватные реальным системам, неограниченно экспериментировать с моделью, внося различные допущения, фактор неопределенности и т.д. (напомним, что аналитическая оптимизация динамических вероятностных процессов наталкивается на очень большие трудности).

В то же время разработка и программирование для ЭВМ имитационные моделей сопряжены обычно с весьма большими затратами труда и времени Ведь каждая имитационная модель по-своему уникальна, тогда как аналитические модели носят типовой характер, и для их решения на ЭВМ почти всегда можно воспользоваться готовыми прикладными программами. Поэтому, если реальная задача хорошо вписывается в аналитическую модель, то потребность в разработке имитационной модели отпадает.

Имитационные модели могут применяться в самых различных областях управленческой деятельности: для исследования, принятия и проверки решений, полученных другими методами; построения и оценки альтернатив, расчета широкого диапазона прогнозов и оценок будущего состояния производсвенной системы; оценки долгосрочных последствий от принято решения; формирования календарного расписания производственной деятельности с вероятностными сроками начала и окончания работ или этапов и.т.д. Имитационные модели часто используются в "деловых играх". В этом случае модель, состоящая из большого числа математических уравнений, связывающих причины и следствия, позволяют определить последствия решений, принимаемых участниками игры.

3.2.9. Вероятностно - статистические модели

Это модели, учитывающие влияние случайных факторов в процессе функционирования строительных систем, основаны на статистической, т.е. количественной оценке массовых явлений, позволяющей учитывать их нелинейность, динамику, случайные возмущения, описанные разными законами распределения.

Вообще в любой производственной задаче всегда присутствуют вероятностные элементы. Если принимаются решения по таким моделям, то мин должны содержать информацию о вероятности наступления определенных событий и о том, какое влияние эта вероятность может оказать на результаты данной системы. Например, при организации планового профилактического ремонта строительных кранов необходимо знать не только, какие узлы и детали их могут выйти из строя, но и вероятность наступления этого события, а также точно оценить последствия.

Вероятностно-статистические модели изучаются как с привлечением традиционного арсенала средств и методов теории вероятности и математической статистики (теория массового обслуживания, факторный анализ, стохастическое программирование и т.д.), так и путем статистического моделирования**,** представляющего собой числовую имитацию с помощью ЭВМ функционирования модели.

Возможности в изучении вероятностных моделей, открываемые методом статистического моделирования, настолько велики, что сегодня уже приходится обосновывать необходимость традиционного аналитического подхода к построению моделей и изучению их свойств. Статистическое моделирование является лучшим методом в том случае, если целью задачи является просто получение ответа в конкретном случае. Если же целью является получение общего решения и проникновение в глубь изучаемого феномена, то статистическое моделирование - менее удовлетворительный путь.

3.2.10. Модели теории игр

На практике не редко возникают ситуации, когда интересы различных подразделений в строительстве не совпадают. Такие ситуации называются конфликтными, а модели, с помощью которых эти ситуации анализируются - игровыми.

Теория игр - это математическая теория разрешения таких ситуаций, в которых сталкиваются интересы сторон, преследующих различные цели.

Игра представляет собой математическую модель конфликтной ситуации, с помощью которой участвующие в ней стороны, действуя по определенным правилам, пытаются найти стратегию поведения, гарантирующую, в результате разрешения конфликта, достижение желаемой цели.

Результат действий одной из сторон зависит не только от ее действий, но и от действий, выбранных противниками. Таким образом, задачей теории игр является установление таких способов действий, которые обеспечивают наибольшую выгоду каждого из участников игры.

Наибольшее развитие в теории игр получило изучение так называемых парных игр с нулевой суммой. Иначе говоря, использование таких моделей конфликтных ситуаций, в которых имеются две враждующие стороны и выигрыши, получаемые одной стороной в ходе развития конфликта и в результате выбора обеими сторонами определенных стратегий, в точности равны проигрышам другой. При этом стратегия - это совокупность правил и рекомендаций по ведению игры от начала до конца. Условия игры задаются так называемой матрицей игры или платежной матрицей. Она показывает плату играющих сторон в случае, когда одна сторона выбирает стратегию A_i, а другая - стратегию Bj. Если сторона A имеет n стратегий, то такая игра называется игрой размерности n х m.

Приведем пример платежной матрицы, заимствованной из /2/.

Она отражает ситуацию, в которой сторона A для достижения цели может выбрать одну из трех стратегий $A_ь$ A_2, A_3. В то же время сторона B может ответить любой из четырех стратегий B_1, B_2, B_3,B_4. Цифрами в платежной матрице показаны выигрыши и проигрыши.

Из табл. 7 следует, что сторона B проигрывает столько, сколько выигрывает сторона A

Цель игры для стороны A - найти стратегию, обеспечивающую максимальный гарантированный выигрыш, а цель стороны B - выбрать стратегию, обеспечивающую минимальный проигрыш.

Таблица 7. Платежная матрица

B_j / A_i	B_i	B_2	B_3	B_4	Минимальный гарантированный выигрыш стороны А (min a_{ij})
A_1	50	50	18	25	18
A_2	27	5	9	95	5
A_3	64	90	12	20	12
Максимальный выигрыш стороны В (max a_{ij})	64	90	18	95	

Очевидно, сторона A выберет стратегию $A_ъ$ гарантирующую получение максимального среди минимальных выигрышей, равный 18 единицам. При этом сторона B ответит стратегией B_3, которая гарантирует ей минимальный из максимальных проигрышей, также равный 18 единицам. Любые другие ситуации могут либо только уменьшить выигрыш стороны A, либо увеличить проигрыш стороны B.

Такое понятие теории игр как компромиссное (равновесное или эффективное) решение помогает более глубокому выяснению принципов оптимальности в процессах принятия решений.

Следует отметить, что теория игр в том виде, как она сейчас сложилась, представляет собой скорее раздел "чистой", а не прикладной математики. Впервые основные положения этой науки были изложены в 1944 году в книге Моргенштейна "Теория игр и экономическое поведение". Теория игр представляет собой пример того, как можно математизировать задачи, которые обычно решались чисто экспериментальным путем, без использования количественных измерителей.

3.2.11. Модели итеративного агрегирования

Итерация (от лат. iteratio - повторение) - повторное применение каких-либо математических операций.

При использовании математических моделей на различных уровнях иерархии управления приходится иметь дело с агрегированием (укреплением) информации. Очевидно, что для моделей более высоких уровней управления характерна большая степень агрегирования показателей, чем для моделей низких уровней, система показателей которых может быть весьма детализированной. Поэтому при согласовании решений "по вертикали" приходится иметь дело с проблемой, связанной с неодинаковой степенью детализации показателей моделей разных уровней. Для решения этой проблемы разрабатываются модели и методы итеративного агрегирования.

3.2.12. Организационно-технологические модели

Организационные, организационно-технологические и технологические модели представляют графическое или формализованное описание процессов возведения зданий, сооружений, структуру управления этими процессами, строительной организацией и т.д. В любой организационно-технологической модели должны быть описаны перечень строительно-монтажных работ, порядок их выполнения, характер взаимосвязей между работами, отражающих специфику технологии строительства, строительные нормы и правила, необходимость рационального использования ресурсов и т.д.

Технологические модели строительного производства являются основным элементом современных автоматизированных систем управления строительством (АСУС). Центральное ядро оперативного управления и тесно связанных с ним задач подготовки строительного производства, технико-экономического управления, управления материально-техническим обеспечением и многих других задач базируется именно на таких моделях. Моделирование задач строительного производства требует значительной исходной информации, в первую очередь нормативной.

Организационная модель наглядно и просто отображает структуру управления строительно-монтажной организацией, в то время как экономико-математическая модель строительной организации чрезвычайно сложна ввиду ее многозвенности и динамичности. Различают дискриптивный и нормативный (прескриптивный) методы разработки организационных моделей. При дискриптивном методе анализируется существующая организационная система, разрабатываются и внедряются экономико-математические методы и ЭВМ для решения задач управления и совершенствования организационной структуры. При нормативном методе разрабатываются оптимальная организационная структура строительно-монтажной организации и соответствующая ей оптимальная система управления.

Организационные, организационно-технологические и технологические модели являются одним из инструментов организации, планирования и управления производственно-хозяйственной деятельностью строительно-монтажных организаций и строительным производством. Поэтому приобретение навыков в их формировании и применении является обязательным условием подготовки инженеров-строителей.

3.2.13. Графические модели

Для анализа структуры, связей, процессов и отношений в производных системах используются графические модели, обладающие определенной наглядностью и универсальностью, позволяющей рассматривать их в любых направлениях, по частям или в целом. Графические модели нашли широкое применение в строительстве для отображения взаимосвязи работ подразделений, распределения обязанностей, полномочий и т.д.

Графически можно интерпретировать (т.е. изобразить в виде планов, схем, диаграмм или графиков) многие модели линейного и динамического программирования, организационно-технологические и др.

На практике графические методы моделирования классифицируются по содержанию и форме на три основные группы:

оргограммы, т.е. графики, отражающие организационные отношеия в производственных системах. К ним относятся классификационные схемы, оргасхемы, операграммы, органиграммы и т.д. Оргограммы используются для моделирования организационных структур и процессов;

хронограммы (пооперационные, контрольные, сборочные и другие графики**);**

и **томограммы** (схемы обслуживания рабочих мест, маршрутные схемы, циклограммы и т.д.). Хронограммы и топограммы, графически отображающие расположение предметов, ресурсов и явлений во времени и пространстве, нашли наибольшее применение при построении моделей строительного производства (линейные графики Ганта, циклограммы, сетевые графики и др.);

диаграммы и **номограммы -** это графики количественных отношений (ссоотношений) различных величин. Номограммы дают также возможность определить некоторые величины без специальных вычислений.

3.2.14. Сетевые модели

Традиционные линейные графики горизонтальные и циклограммы, вообще говоря, не дают указаний о нахождении способов наилучшего использования ресурсов. Сетевые модели позволяют найти оптимальные или близкие к оптимальным последовательности работ и использования ресурсов Опираясь на современную вычислительную технику, сетевое моделирование, наряду с эффективным использованием времени и других ресурсов, обеспечивает также возможность четкого оперативного руководства при реализации весьма сложных строительных программ. Сетевая модель, помимо графической интерпретации, может быть представлена, например, и виде таблицы или массива исходных данных для ЭВМ.

Термин сетевая модель (сетевой график, логическая сеть) основывается на понятии ориентированного графа. Ориентированным графом называется совокупность множества точек и множества ориентированных дуг, соединяющих эти точки.

Область графа, ограниченная несколькими Точками (вершинами), некоторые из них не имеют входящих или выходящих дуг, носит название сети.

Сеть, моделирующая определенный **с**троительный процесс (программу), называется сетевой моделью данного процесса (программы)**.** При этом ориентация дуг графа осуществляется в соответствии с логикой (технологией) этого процесса.

Упорядоченная группа дуг; в которой каждая вершина (исключая первую и последнюю), является общей точкой для двух дуг в группе, называется путем. Один или несколько из множества путей**,** который на строительном графике имеет наибольшую ирродолжтельность, называется критическим. Переоценка времени реализации всего проекта связана с переоценкой времени выполнения работ, лежащих на этом пути. Критический путь находится с помощью ЭВМ и различных математических методов (например, можно использовать динамическое программирование).

Сетевые модели ознаменовали собой значительный шаг вперед в области моделирования и календарного планирования дискретных технологических процессов. В отличие от линейных, сетевые модели могут описать взаимосвязи между работами и определенный класс организационно-технологических схем строительных процессов.

Математические методы сетевого планирования достаточно хорошо разработаны. Имеются многочисленные программы анализа сетевых моделей и решения задач календарного планирования на их основе.

На базе сетевых моделей созданы так называемые систеьы сетевого планирования и управления, которые широко применяются в различных отраслях экономики России и особенно в строительстве. Системы сетевого планирования и управления, являясь предшественником автоматизированных систем управления строительством, прочно вошли в них в виде одной из основных частей.

Сетевые методы нельзя отнести к оптимизационным, хотя и существуют способы нахождения на их основе наилучших вариантов. В большой степени они связаны с анализом всего комплекса работ, осуществляемых для реализации определенной программы. При этом соблюдается основной принцип использования сетевых методов - выделение ведущего звена (критического пути), определяющего выполнение всей программы В соответствии с этим принципом во всей совокупности работ выделяют те которые в случае невыполнения их в срок, задержат, например, ввод в строй какого-либо объекта.

Значительным достижением, в настоящее время, является разработка способов построения стохастических сетевых моделей, в которых анализируемые параметры имеют вероятностный характер. Это сразу же поставило сетевое моделирование в ряд наиболее эффективных способов нахождения тех или иных рациональных методов планирования и поиска управленческих решений. Некоторые успехи достигнуты и в области оптимизации параметров сетевых графиков. Это стало возможным благодаря использованию методов теории графов.

4. ОРГАНИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

4.1. Основные направления моделирования систем управления строительством

Организационные модели используются на всех стадиях проектирования систем управления строительством для поиска, обоснования и выбора оптимальной структуры управления, но особую роль они играют при определении количественных характеристик аппарата управления, разработке процедур управленческой деятельности, при анализе и совершенствовании информационных потоков.

Обычно применяемые в экономических моделях методы теории организации и управления непосредственно заимствованы из технических дисциплин. Эти методы объясняют, как надо управлять физической системой, воздействуя на соответствующие свободные параметры при ограничениях, характеризующих законы функционирования системы, но недостаточно учитывают социально-психологические факторы.

На содержательном уровне задача управления экономическими системами формулируется в тех же терминах, но они обладают более организованной внутренней структурой, вызывающей значительные затруднения при ее описании.

На практике можно выделить следующие основные направления моделирования систем:

- **математико-кибернетическое моделирование**, включающее в себя математические многоуровневые системы принятия решений, имитацию процессов организационного управления, формальное описание информационных и административно-управленческих связей и другие модели;
- моделирование организационного поведения на реальных строительных объектах с целью изучения степени управленческой спе-

циализации, различий в стилях управления, опробования вариантов организационных структур и др.;

- использование статистических методов и моделей для анализа организационных параметров на базе выборочных обследований работы реальных строительных организаций.

4.2. Аспекты организационно-управленческих систем (моделей)

Каждое из указанных выше направлении, несмотря на различие в используемом методическом аппарате, изучает аналогичные проблемы, которые должны:

- отражать характер управления производственными процессами. Элементами модели являются производственные процессы и связи между ними;
- показывать взаимосвязь источников и потребителей информации. Элементы модели - источники и потребители информации, а также связи между ними;
- анализировать процессы сбора, систематизации, обработки информации и выработки управленческий решении. Элементы модели - процессы обработки информации и связи между ними;
- отражать специализацию аппарата управлении, элементы модели;
- функции аппарата управления, его работы и операции;
- анализировать состав органов и объектов управления, их административной подчиненности. Элементами модели являются подразделения строительной организации, должности, характеристики подчиненности;
- отражать взаимоотношения индивидуумом и групп людей. Элементами модели являются конкретные индивиды и группы людей, их взаимосвязи.

Указанные проблемы моделирования систем управления в значительной степени связаны между собой, каждой из них соответствует своя структура.

4.3. Деление организационно-управленческие моделей на группы

Модели организационных систем и процессом управлении условно можно разделить на две группы:

4.3.1. Модели первой группы. К ней относятся модели принятия решений и информационных потоков - модели принятия решении (одно или многоуровневых), информационные модели коммуникационной сети, компактные информационные модели, интегрированные информационно-функциональные модели.

Для моделей первой группы характерно формальное- моделирование одного или нескольких аспектов организационной системы с использованием экономико-математических методов.

Результаты такого моделирования используются лишь как дополнительный аргумент при оптимизации организационной структуры системы управления.

4.3.2. Модели второй группы в основном отражают связи и отношения между элементами организационной структуры.

Ко второй группе организационно-управленческих моделей относятся: модель организационно-технологических связей, модель организационно-управленческих связей, модель факторного статистического анализа управленческих связей, детерминированная функциональная модель, организационная модель массового обслуживания, организационно-информационная модель.

Для второй группы организационно-управленческих моделей характерно использование, полно или частично, формализованной структуры управления. Результаты моделирования могут быть непосредственно использованы, помимо совершенствования информационной системы управления, при оптимизации организационной структуры строительной организации.

4.4. Виды моделей первой группы

4.4.1. Модели принятия решений (одно или многоуровневых) отражают информационный (коммуникационный) и информационно-технологический аспекты системы управления.

В качестве математического аппарата используются методы математического программирования, сетевые модели, теории игр и т.д., т.е. широкий арсенал методов исследования операций.

4.4.2. Информационные модели коммуникационной сети строительной организации отражают производственно-технологический и социально-психологический аспекты, формируются по принципу минимизации суммарной стоимости передачи информации при условии доведения ее до всех получателей. В этом случае информационная структура отождествляется с организационной структурой управления. Эти модели целесообразно использовать для решения бухгалтерских, учетных, оперативно-диспетчерских и т.п. процессов, когда качество управления строительной организацией в значительной мере определяется затратами на передачу информации.

4.4.3. Компактные информационные модели отражают производственно-технологический, информационно-технологический и организационно-административный аспект управления и формируются с использованием принципа минимизации коммуникационных связей. Предполагается, что наилучшие условия для этого создаются при максимальной близости элементов системы.

4.4.4. Интегрированные информационно-функциональные модели

Интегрированная информационно-функциональная модель отражает производственно-технологический, функциональный и социально-психологический аспекты, используется для разработки и внедрения интегрированной системы обработки данных с одновременной от имитацией организационной структуры строительной организации.

4.5. Виды моделей второй группы

4.5.1. Модели организационно-технологических связей отражают производственно-технологический, информационный, информационно-технологический аспекты управления и основываются на предположении, что на низовых уровнях управления решающим фактором**,** определяющим организационную структуру, является характер технологии строительного производства.

Связи между производственно-технологическими процессами и занятыми в них работниками различаются по типам (общие, последовательные, многосторонние) и интенсивности (сильные, средние, слабые). Наиболее тесно связанные элементы системы строительной организации объединяются в группу с последующим выделением руководителей мастеров, прорабов, начальников участков.

4.5.2. Модель организационно-управленческих связей отражает производственно-технический, функциональный, информационно-технологический и организационно-административный аспекты, дает возможность оценить интенсивность информационных (организационных) связей в диапазоне от "очень сильная связь" до "связь между функциями нежелательна". Анализируются варианты закрепления функций за подразделениями, выделяются функции, имеющие наиболее тесную связь, контроль за исполнением которых будет выполнять один руководитель

Модель организационно-управленческих связей применяется для анализа сложных управленческих связей и оптимизации структуры на среднем уровне.

4.5.3. Модель факторного статистического анализа управленческих связей

Модель факторного статистического анализа управленческих связей отражает производственно-технологический, информационно-технологический, функциональный и организационно-административный аспекты, базируется на анализе целей строительных организаций, рассматриваемых на определенный, продолжительный период времени. На основе этого устанавливается перечень функций и задач в системе управления. Осуществляется анализ значимости отдельных задач, их связей и взаимозависимостей, оценивается целесообразность укрупнения задач и обязанностей руководителей, ответственных за их реализацию. Полученные данные обрабатываются методами факторного анализа.

Модель применима в случае, когда известен круг задач и состав исполнителей, а также в случае необходимости перераспределения функций и задач подразделений внутри действующей строительной организации.

4.5.4. Детерминированные функциональные модели

Детерминированная функциональная модель отражает производственно-технологический, функциональный и организационно-административный аспекты; создается путем деления функций управления на элементарные функции (работы, операции), каждая из которых могла бы выполняться одним исполнителем и при этом его загрузка была бы нормальной. Проводится балансировка загрузки работников за счет регулирования числа подчиненных у одного руководителя, передачи, при необходимости, части загрузки другому руководителю и т.п.

Разрабатываются права и обязанности каждого руководителя, положения о функциях подразделений в системе управления строительной организации.

Модель применяется для анализа на среднем уровне системы управления при условии его стабильного функционирования в течение длительного времени.

4.5.5. Организационные модели массового обслуживания

Организационная модель массового обслуживания отражает производственно-технологический, социально-психологический и организационно-административный аспекты управления. В основу ее положено математическое описание процесса функционирования системы управления с учетом регулярного выполнения регламентированных задач управления и случайного, незапланированного взаимодействия в процессе функционирования системы управления из-за отклонений при реализации ранее принятых решений.

Подсистема оперативного управления описывается в виде линейно-стохастической сети массового обслуживания с неоднородными потоками требований по перераспределению ресурсов и оптимизируется по критерию минимума суммы потерь, возникающих вследствие естественного запаздывания управляющих решений (регулярная составляющая), а также непредвиденных задержек в принятии и согласовании решений (случайная составляющая).

Модель дает возможность оказать помощь в создании организационной структуры строительной организации и информационных связей функциональных служб, принимающих согласованные решения.

4.5.6. Организационно-информационные модели

Организационно-информационная модель отражает производственно-технологический, функциональный, социально-психологический и организационно-административный аспекты управления и имеет вид органиграммы распределения ролей в процессе принятия решений.

Во Франции, например, существует нормативное описание органиграммы (см. AFNOR – Association de normalization - французская ассоциация технических норм и стандартов), где дается следующее определение ее цели: "Цель органиграммы структуры управления заключается в схематическом представлении всего предприятии, его или отдельного органа".

Обычно выделяют два типа связен в органиграмме: связи по линии иерархии управления, изображаемые сплошными линиями, и связи совещательного (консультативного) характера, изображаемые пунктирными линиями, хотя при желании показать другие связи можно использовать и другие условные обозначения.

Те же французские специалисты выделяют следующие соображения, определяющие практическое значение разработки и использования организационно- информационной модели в виде оргограммы:

- все приобретает определенный порядок, представляющий собой важнейший фактор эффективности работ предприятия, структуру его организации;
- руководитель предприятия и каждый работник получают четкое представление о всем предприятии в целом и об области своей деятельности;
- устраняется возможность ослабления ответственности, представляющая собой серьезную опасность для предприятия;
- создается возможность систематического выявления перегрузок, дублирования и необходимости создания новых должностей;
- устраняются конфликты между званиями (должностями) и полномочиями (ответственностью);
- при отсутствии руководителя распределение работ на предприятии может быть произведено автоматически;
- создается возможность для быстрого формировании новых элементов.

На рис. 9 показан пример органиграммы одной из фирм, занимающейся экспортом своей продукции, и указаны линии прямого подчинения, связей информационного и совещательного (консультативной) характера, линии передачи специализированных полномочий.

Мы видим, что главный администратор по сбыту имеет штабные функции (совещательную власть) по отношению к другим директорам по сбыту и имеет функциональные, или специализированные, полномочия (полученные от генерального администратора в части, относящейся к сбыту) по отношению к региональному директору. Диаграмма наглядно показывает, с одной стороны, что эти связи представляют собой нечто большее, чем информационные и совещательные (консультативные) связи, а с другой - что региональный директор имеет право апеллировать непосредственно к генеральному администратору по поводу распоряжений, отдаваемых, например, генеральным администратором по сбыту. В данном случае речь идет о линейной и совещательной структуре (так называемой функциональной структуре) с добавлением связей, возникающих в результате передачи некоторых специализированных полномочий.

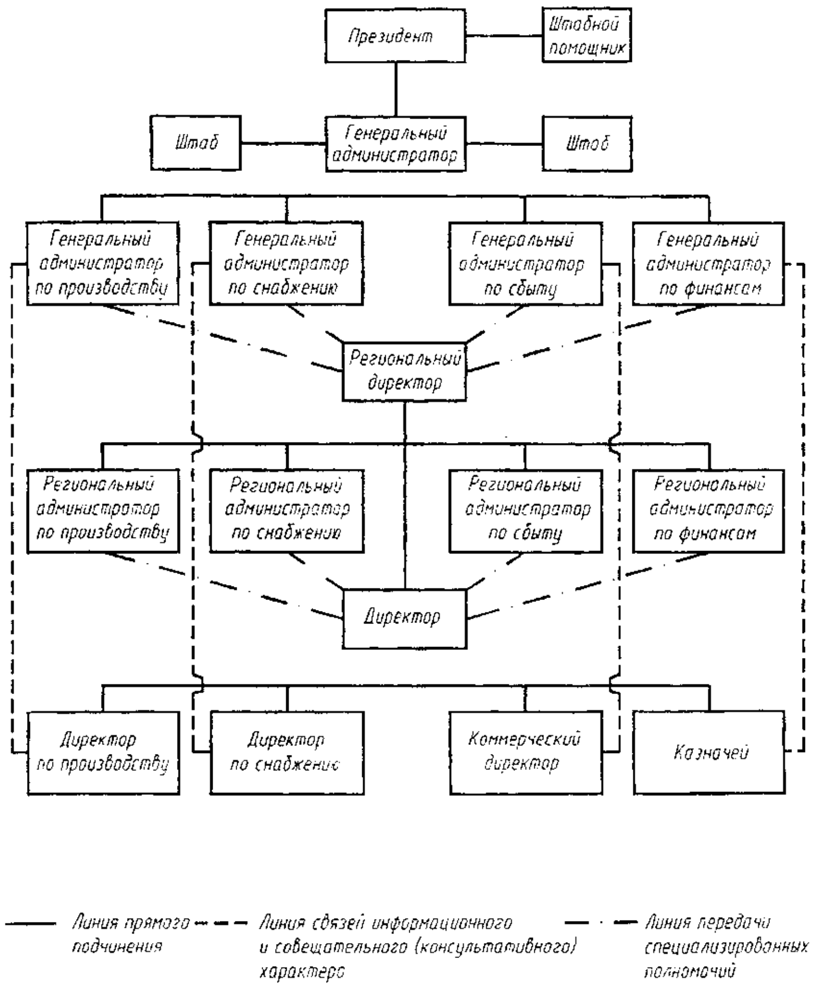

Рис. **9.** Пример функционально-сбытовой органиграммы фирмы

Наконец, в этой же самой структуре мы видим связь, обозначенную пунктиром. Эта связь информационного и совещательного (консультативного) характера имеет нисходящее направление, но она предполагает наличие постоянных взаимоотношений. Это функциональная служба, отнесенная к определенному уровню системы управления, в которой специалист, находящийся на нижней ступени, подчиняется линейному начальнику.

Органиграмма, понимаемая в широком смысле, содержит, как правило, структуры управления и перечень функций, осуществляемых каждым руководителем.

4.5.7. Основные этапы и принципы моделирования

На первом этапе создания модели должны быть определены: конечные цели моделирования, набор факторов и показателей, взаимосвязи между которыми нас интересуют; какие из этих факторов, в рамках исследуемой системы, можно считать "входными" (т.е. полностью или частично регулируемыми или хотя бы легко поддающимися регистрации и прогнозу; подобные факторы несут смысловую нагрузку "объясняющих"), а какие "выходными" (главный объект исследования). Эти факторы обычно трудно поддаются непосредственной регистрации или прогнозу и несут смысловую нагрузку "объясняемых".

Если исходная статистическая информация еще не собрана, то сбор необходимых статистических данных тоже является содержанием первого этапа.

На втором этапе занимаются математической формализацией и, если возможно, экспериментальной проверкой исходных положений, относящихся к природе и качественному характеру исследуемого явления (этап формирования априорной информации). Нахождение количественного выражения качественному содержанию того или иного процесса является наиболее трудным делом.

Если принимаемые допущения (положения) не могут быть подтверждены экспериментальной проверкой, то их следует подкрепить теоретическими обоснованиями или ссылками на мнения авторитетных экспертов и специалистов.

Третий этап является этапом создания модели, так как он включает в себя непосредственный вывод общего вида модельных соотношений, связывающих между собой интересующие нас входные и выходные показатели, создание электронной модели (ввод числовых данных в ЭВМ) на основании этих количественных показателей и ее алгоритма.

Общий вид модели на данном этапе определяет лишь структуру модели, ее символическую запись, в которой наряду с известными числовыми значениями присутствуют величины, физический смысл которых определен, а числовые значения пока неизвестны - они подлежат определению в четвертом этапе.

Четвертый этап - этап статистического анализа параметров исследуемого процесса (объекта), подсчета и сопоставления полученных оценок, анализа их свойств и соответствия желаемому результату.

Решение задач четвертого этапа решается полностью методами статистической обработки данных.

На пятом этапе осуществляется оценка адекватности модели с использованием различных процедур сопоставления модельных заключений, оценок, следствий и выводов с реально наблюдаемой действительностью.

Шестой этап - планируются, при необходимости, и проводятся исследования, направленные на уточнение модели, дальнейшее развитие и углубление положений второго этапа.

Взаимосвязь этапов

Уже на этапе построения модели может выясниться, что постановка задачи противоречива или приводит к слишком сложной математической модели и, следовательно, необходимо возвратиться к первому этапу и произвести корректировку исходной постановки.

Наиболее часто необходимость возврата к предшествующим этапам моделирования возникает на четвертом этапе - при подготовке исходной информации, в случае, если затраты на ее подготовку слишком велики или она вообще отсутствует.

В случае, если известные алгоритмы и программы для ЭВМ не позволяют решить задачу в первоначально поставленном виде, а времени на разработку новых алгоритмов и программ не хватает, то в этом случае упрощают исходную постановку задачи и модель - снимают и объединяют условия, уменьшают число факторов, нелинейные соотношения заменяют линейными, усиливают детерминизм модели и т.д. Недостатки, которые не удается исправить на промежуточных этапах моделирования, устраняются в последующих циклах.

В заключение можно заметить, что трудности создания эффективных моделей объясняются сложностью сбора и обработки информации о системе, отсутствием нормативной базы и соответствующей системы процедур для выработки целей и критериев.

5. МЕТОДЫ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИВНОГО АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ, ВКЛЮЧАЕМЫМИ В ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

5.1. Виды корреляционно-регрессивного анализа

При моделировании обычно исследуют функциональную зависимость (при которой каждому значению переменной величины - аргумента соответствует определенное значение другой переменной функции) и корреляционную зависимость, характеризуемую тем, что каждому аргументу соответствует несколько значений переменной величины.

Корреляционный анализ устанавливает наличие и количественную меру тесноты связей между факторами, характеризующими изучаемый процесс.

Регрессивный анализ используется для установления характера зависимости (связи) между факторами. Корреляционный и регрессивный анализы обычно дополняют друг друга и используются одновременно. Метод исследования в этом случае называется корреляционно-регрессивным.

В соответствии с целью исследования используют парный или множественный корреляционно-регрессивный анализ. При помощи первого изучают связи пары факторов - независимого (аргумента) и зависимого (функции). Многофакторный анализ применяют при изучении силы и характера совокупного воздействия нескольких факторов-аргументов на показатель процесса.

5.2. Требования к факторам, включаемым в модель

Факторы - это организационные, технические, технологические, природные, климатические, социально-демографические и другие процессы и явления, оказывающие влияние на какой-либо экономико-производственный показатель: прибыль, себестоимость, продолжительность строительства, производительность труда и т.д.

Факторы, включаемые в модель, должны соответствовать следующим условиям:

- должны иметь логическую связь и количественное выражение своего действия на рассматриваемый показатель;
- не должны быть тесно взаимосвязаны (в противном случае нет нужды включать в модель оба фактора). Очень важно поэтому определить допустимую тесноту связи между факторами, включаемыми в экономико-математическую модель;
- не обязательно должны иметь нормальное распределение, тем более, что экономические показатели, как правило, не подчиняются нормальному закону распределения. Вместе с тем, корреляционно-регрессивные модели, использующие такие показатели, имеют неплохие возможности для оценки качества и достаточно высокую предсказательную силу;
- факторы, используемые в моделях, теоретически должны быть независимы. В строительном производстве, представляемом в виде многофакторной модели, нет независимых факторов, поэтому на практике рекомендуется использовать факторы, коэффициент корреляции которых не является значимым при вероятности 0,9;
- внутренние факторы, включаемые в модель (хотя бы один из них), должны поддаваться регулированию и управлению.

5.3. Парный корреляционно-регрессивный анализ

В парной корреляции одному значению независимого аргумента может быть несколько конкретных значений независимого переменного функции, поэтому корреляционные зависимости могут быть установлены только при большом количестве наблюдений.

При данном анализе рассматриваются следующие задачи:

- устанавливается наличие корреляции (связи) между величинами;
- устанавливается форма линии связи (линии регрессии);

- выясняются параметры линии регрессии;

- определяется достоверность установленной зависимости и достоверность отдельных параметров.

Наличие корреляции может быть приближенно определено визуальным анализом поля корреляции, на котором нанесены точки, соответствующие одновременным значениям двух величин. Между этими точками проводится линия и на основании ее положения делается вывод о наличии корреляционной зависимости. Также визуально может определяться теснота связи между двумя величинами по соотношению короткой и продольной осей эллипса рассеяния наблюдений, нанесенных на поле корреляции. Чем больше отношение продольной стороны к короткой, тем теснее связь. В общем случае коэффициент корреляции "*r*" лежит в пределах от нуля до единицы. Если $r = 0$, то линейной связи нет, если $r = 1$, то между двумя величинами существует функциональная связь. При положительном *r* наблюдается прямая связь - с увеличением независимого переменного увеличивается зависимое, при отрицательном наоборот - с увеличением независимого переменного уменьшается зависимое переменное.

Коэффициент корреляции определяется по формуле:

$$r = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{\mathrm{N}\sum \mathrm{x}^2 - (\sum \mathrm{x})^2}\ \sqrt{N\sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

где x и y - текущие значения наблюдаемых величин;

N - число наблюдений.

Между указанными переменными возможны следующие зависимости - степенная, логарифмическая, параболическая, корреляционная периодического типа и др.

Для численного определения параметров линии регрессии, выражающих связь между двумя величинами, наиболее часто используется метод наименьших квадратов.

Метод наименьших квадратов

Сущность его состоит в том, что выбирается линия, при которой сумма квадратов разностей между фактическими наблюдениями зависимой переменной и расчетными значениями, полученными по регрессивной формуле, минимальна

$$S = \sum (y - y)^2$$

где y - расчетное значение зависимого переменного по регрессивной формуле.

Степенная зависимость $y = ax^b$

Для определения параметров степенной зависимости, проведя предварительно спрямление кривой, пользуются методом наименьших квадратов. Для этого левую и правую части формулы степенной зависимости необходимо прологарифмировать, в результате получим формулу:

$$lg\, y = lg\, a + b\, lg\, x$$

Оценка точности определения параметров криволинейной зависимостью осуществляется при помощи корреляционного отношения:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sqrt{\sum (y-y)^2}}{\sqrt{\sum (y-\bar{y})^2}}},$$

Корреляционное отношение всегда $0 \leq \eta \leq 1$ и всегда положительно. При $\eta = r$ кривая точнее определяет зависимость, чем прямая при $r = \eta$.

Дополнительной оценкой точности определения параметров, применяемой при оценке нелинейной корреляции, является средняя относительная ошибка аппроксимации $\bar{\varepsilon}$, определяемая по формуле:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum \frac{y - y}{y} 100$$

Логарифмическая зависимость выражается формулой:

$$x=a+d\ lgx$$

Для получения параметров логарифмической кривой нужно прологарифмировать наблюдения по X и, рассматривая их как независимые переменные, определить параметры a и b по методу наименьших квадратов.

Параболическая зависимость или многочлен n-ой степени

В виде параболы второго порядка выражается формулой:

$$y = a + bx + cx^2$$

Определение параметров параболической кривой осуществляется методом наименьших квадратов. В целевую функцию метода наименьших квадратов $\sum y - y^2 \to min$ вместо расчетных значений у подставляется правая часть параболической кривой:

$$S=\sum(y - a - bx - cx^2)^2 \to min$$

Оценка точности определения параметров параболы производится по корреляционному отношению η и ошибке аппроксимации $\bar{\varepsilon}$.

Корреляционные зависимости периодического типа находят широкое применение при определении, например, характера материально-технического обеспечения строительного производства на весь период строительства, влияния сезонных факторов и т.д. Если в течение года проводить ежемесячные наблюдения какого-либо показателя (экономического, технологического, энергетического и т.д.), то время, как аргумент, может быть записано в виде:

$$\frac{1}{12}2\pi;\ \frac{2}{12}2\pi;\ \frac{3}{12}2\pi;\ldots.\frac{12}{12}2\pi;$$

Мы получим 12 показателей аргумента $y_1, y_2, y_3, \ldots, y_{12}$- Тогда зависимость величины от времени получим:

$$y = a_0+\sum_{k=1}^{m}(a_k \cos kx + b_k \sin kx)$$

где K = 1, 2, 3,..., m - заданное число этого многочлена;

a_0, $a_к$, $b_к$ - коэффициенты линии регрессии, число которых равно 2m+1.

Если $N > 2m+1$, то коэффициенты $a_к$ и $b_к$ находятся по методу наименьших квадратов. Целевая функция имеет вид:

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left[y_i - a_0 - \sum_{k=1}^{m}(a_k \cos kx_i + b_k \sin kx_i)\right]^2 \to min$$

Для определения неизвестных параметров a_0, a_k, b_k необходимо продифференцировать это выражение по a_0, a_k, b_k, приравнять полученные производные нулю, составить систему линейных уравнений и решить её относительно a_0, a_k, b_k

. В результате получим:

$$a_0 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} y_i;$$

$$a_k = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{n} y_i \cos kx_i;$$

$$b_k = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{n} y_i \sin kx_i$$

Методы оценки

Оценку полученных результатов осуществляют с использованием методов генеральной и выборочной совокупности, значимости коэффициента корреляции, коэффициентов регрессии, значимости уравнения регрессии и доверительных интервалов к уравнению регрессии, критериев согласия.

5.4. Множественный корреляционный анализ

В процессе осуществления строительства на результирующий показатель часто влияет не один, а несколько взаимозависимых факторов. Для учета их совокупного влияния необходимо использовать методы множественной корреляции.

Количественно тесноту связи при множественной корреляции можно оценить с помощью множественного коэффициента корреляции R. Для этого необходимо определить парные коэффициенты корреляции r_{0i} между всеми факторами r_{0i} , входящими в модель, результирующим показателем у и все парные коэффициенты корреляции между факторами. Все коэффициенты корреляции записываются в квадратную симметричную матрицу:

$$
\begin{array}{cccccc}
1 & r_{yx_1} & r_{yx_2} & \ldots & r_{yx_n} & \\
r_{yx_1} & 1 & r_{x_1x_2} & \ldots & r_{x_1x_n} & \\
r_{yx_2} & r_{x_1x_2} & 1 & \ldots & r_{x_2x_n} & \\
r_{yx_3} & r_{x_1x_3} & r_{x_2x_3} & \ldots & 1 & \\
\ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
r_{yx_n} & r_{x_1x_n} & r_{x_2x_n} & r_{x_3x_n} & \ldots & 1
\end{array}
$$

Множественный коэффициент корреляции определяется по формуле:

$$R = \sqrt{1 - \frac{D}{D_{1i}}}$$

где D - определитель матрицы парных коэффициентов корреляции;

D_{1i} - определитель той же матрицы с вычеркнутыми первой строкой и первым столбцом, т.е. определитель матрицы парных коэффициентов корреляции между факторами.

Для случая зависимости от двух факторов:

$$R_{y/x_1x_2} = \sqrt{\frac{r_{yx_1}^2 + r_{yx_2}^2 + 2r_{yx_1} \cdot r_{yx_2} \cdot \rho_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}}}$$

где p - истинный коэффициент корреляции.

Для определения влияния только одного i-ого фактора на результирующий показатель с исключением влияния других факторов используется частный коэффициент корреляции

$$r_{y/x_ix_1x_2...x_n} = \frac{D_{1i}}{\sqrt{D_{1i} \cdot D_{ii}}}$$

где D_{1i}, D_{ii}соответственно определители матрицы с вычеркнутой первой строкой и i-м столбцом и с вычеркнутой i-й строкой и i-м столбцом.

При множественной корреляции от двух факторов коэффициент частной корреляции первого фактора равен:

$$r_{y/x_1x_2} = \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2} \cdot r_{x_1x_2}}{\sqrt{(1 - r_{yx_1}^2)(1 - r_{x_1x_2}^2)}}$$

а коэффициент частной корреляции для второго фактора:

$$r_{y/x_2x_1} = \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1} \cdot r_{x_1x_2}}{\sqrt{(1 - r_{yx_1})(1 - r_{x_1x_2})}}$$

Частный коэффициент корреляции отражает "чистое" влияние фактора на результирующий показатель и отличается от коэффициента парной корреляции r_{yx}.

При линейной форме связи множественный коэффициент корреляции является оценкой точности аппроксимации (определения) и равен корреляционному отношению; при нелинейных формах связи для оценки точности аппроксимации (оценки адекватности модели) применяются корреляционное отношение и ошибка аппроксимации, определяемые так же, как и при парной корреляции.

Существуют следующие формы зависимости при множественной корреляции - линейная, является частным случаем параболической зависимости; степенная и показательная, частным случаем последней является экспоненциальная зависимость. Методы определения многофакторных зависимостей излагаются в прикладной математике.

Вопросы для самопроверки

1. Пояснить смысл терминов:
- модель линейного программирования,
- целевая функция,
- оптимальное решение,
- система линейных уравнений.

2. Пояснить смысл терминов:
- максимизация и минимизация,
- множество допустимых решений,
- выпуклое множество,
- матрица,
- весовой коэффициент.

3. Объясните, как вы понимаете термины:
- транспортная задача,
- задача о назначениях.

4. Объясните, как вы понимаете следующие термины:
- сетевой график,
- критический путь,
- узел, вершина,
- дуга, ребро,
- путь.

5. Объясните, как вы понимаете следующие термины:
- динамическое программирование,
- принцип оптимальности,
- рекурсивное соотношение,
- оптимальная стратегия.

6. Объясните, как вы понимаете следующие термины с точки зрения теории управления запасами:
- рациональный объем поставок,
- рациональный объем складских помещений,
- длительность планового периода,
- выпуклая функция,
- вогнутая функция.

Задание на практическую работу

Составьте (опишите) пять задач, относящихся к области организации, планирования и управления строительством, требующих оптимизации получаемого решения.

Для каждой из пяти задач необходимо определить:

1. Критерий оптимизации.
2. К какой математической форме относится задача.
3. Каким методом задача может быть решена.
4. Какая проблема решается.
5. Почему для описания рассматриваемой в задаче ситуации необходимо пользоваться математической моделью.
6. Как можно было бы применить результаты проведенного анализа на практике.

Контрольные вопросы для самопроверки

Глава I

1. Как обосновывал свои мысли, мнения родоначальник классической политической экономики В.Петти?

а) прибегая к умозрительным аргументам;

б) с помощью художественных образов;

в) на языке чисел, весов и мер;

г) используя язык невербального общения;

д) все вышеупомянутые способы.

2. Кем была создана первая в мире модель народного хозяйства?

а) французским ученым-экономистом В.Петти;

б) французским ученым-экономистом Ф.Кенэ;

в) создателем политэкономии капитализма К.Марксом;

г) совместными усилиями указанных выше ученых;

д) никто из указанных выше ученых в создании такой модели не принимал участия.

3. Какие основные этапы можно выделить в развитии буржуазной экономической науки Х1Х-ХХ вв.?

а) математическая школа в политэкономии, статистическое направление, экононометрика;

б) школа человеческих отношений, ситуационный подход, теория систем, школа экономико-математических методов;

в) математическая школа в политэкономии, эконометрике;

г) школа человеческих отношений, теория систем, школа экономико-математических методов;

д) статистика, эконометрика и системный подход.

4. Представители статистического направления в развитии буржуазной экономической науки пренебрегали теоретическим анализом, не вскрывали глубинных факторов экономики. Правильно ли это утверждение?

а) да;

б) нет;

в) правильно лишь отчасти, теоретическим анализом они не пренебрегали;

г) представители статистического направления разрабатывали долгосрочные экономические прогнозы;

д) затрудняюсь с ответом.

5. Кто из перечисленных русских ученых-экономистов является родоначальником праксеологии (науки о принципах рациональной деятельности людей)?

а) Дмитриев В.К.;

б) Слуцкий Е.Е.;

в) Леонтьев В.;

г) Чупров А.А.;

д) Канторович Л.В.

6. Кто из указанных ученых внес серьезный вклад в развитие теории линейного программирования?

а) Фельдман Г.А.;

б) Новожилов В.В.;

в) Немчинов В.С.;

г) Канторович Л.В.;

д) затрудняюсь с ответом.

Прочитайте предлагаемые вопросы, обдумайте и ответьте в форме ДА или НЕТ.

Глава II Задачи распределения

Вопрос 1

Распределительные задачи разделяются на три основные типа. В постановке первого типа распределяемые ресурсы не ограничиваются, а в постановках задач второго и третьего типов распределяемые ресурсы ограничены. Так ли это?

Вопрос 2

Допускается ли регулирование ресурсами в распределительных задачах второго типа?

Вопрос 3

Можно ли отнести к классу распределительных задачу об определении состава парка строительных машин и районов их действия?

Задачи замены

Вопрос 1

Относятся ли задачи, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом, к задачам класса замены?

Вопрос 2

Согласны ли вы с тем, что имеется три типа задач замены?

Вопрос 3

Согласны ли вы, что задачи замены первого типа характеризуются тем, что в них рассматривается техника и оборудование, внезапно выходящее из строя?

Вопрос 4

Можно ли считать целью решения задач минимизацию затрат на ремонт и эксплуатацию строительных машин и оборудования?

Задачи поиска

Вопрос 1

Считаете ли вы целью решения задач поиска минимизацию затрат, связанных как с поиском необходимой информации, так и затрат, вызванных ошибками в принятии решений из-за отсутствия точной и своевременной информации?

Вопрос 2

Относятся ли к задачам поиска задачи, связанные с оценкой качества строительной продукции?

Задачи массового обслуживания

Вопрос 1

Обе ли подсистемы (источник заявок на обслуживание и обслуживающая заявки) входят в систему массового обслуживания?

Вопрос 2

Поскольку заявки на обслуживание в момент поступления образуют очередь, теорию массового обслуживания иногда называют теорией очередей. Так ли это?

Вопрос 3

Теория массового обслуживания отвечает на вопрос, какая должна быть обслуживающая подсистема, чтобы экономические потери от простоя заявок в очереди были минимальны. Согласны ли вы с этим?

Вопрос 4

Можно ли считать, что строительная организация, возводящая жилой дом монолитной конструкции, и организация, осуществляющая подвоз бетонной смеси с помощью машин-бетоновозов, - это система массового обслуживания?

Задачи управления запасами

Вопрос 1

Рассматриваются ли в теории управления запасами издержки, убывающие при увеличении запасов?

Вопрос 2

Можно ли налоги и страховые взносы отнести к издержкам, возрастающим при увеличении запасов?

Вопрос 3

Владелец оптового склада строительных материалов решил продавать кирпич по ценам, зависящим от размера покупаемой клиентом марки кирпича. При этом он решил увеличить складские запасы кирпича. Правильно ли это с позиций теории управления запасами?

Вопрос 4

Можно ли утверждать, что задачи из области управления запасами решаются, как правило, методами классического математического анализа?

Задачи теории расписаний

Вопрос 1

Можно ли задачу составления оптимального календарного графика строительства жилого микрорайона отнести к типу задач, решаемых в теории расписаний?

Вопрос 2

Классической задачей теории расписаний является задача определения длительностей выполнения работ заданной совокупности с целью минимизации суммарной стоимости работ при заданном общем времени выполнения всех работ совокупности. Согласны ли вы с этим?

Вопрос 3

Считаете ли вы, что сетевое планирование в теории расписаний относится к типу задач на упорядочение. Так ли это?

Вопрос 4

Согласны ли вы, что в теории расписаний применяются различные методы исследования операций за исключением эвристических методов?

Глава III

Вопрос 1

Является ли мерилом эффективности достижения цели показатель, называемый критерием?

Вопрос 2

Модель - это точное представление некоторого объема (системы), используемое для исследования эффективности его функционирования. Вы согласны?

Вопрос 3

Можно ли разработать универсальную модель, описывающую организационно-управленческие процессы в строительстве и метод ее реализации?

Вопрос 4

Можно ли использовать математическую модель, представляющую собой совокупность уравнений, неравенств, логических условий, ограничений для описания организационно-управленческих процессов в строительстве?

Вопрос 5

Практически используемая математическая модель должна удовлетворять следующим требованиям:

- адекватно отображать все многообразие особенностей и черт анализируемого явления, процесса, системы;
- не содержать явных противоречий;
- при необходимости иметь вычислительные алгоритмы. Так ли это?

Вопрос 6

Можно ли запись вида $c = c_x x_2 + c_2 x$ и $c = \sum_{j=1}^{2} c_i x_i \to max$ считать моделью линейного программирования?

Вопрос 7

Целевая функция в графическом решении задач линейного программирования в простейших случаях представляется семейством параллельных прямых. Вы согласны?

Вопрос 8

Можно ли считать линейную постановку задачи частным случаем нелинейной?

Вопрос 9

Динамическое программирование - это метод оптимизации, ориентированный на задачи, в которых процесс решения может быть разбит на отдельные этапы (шаги)?

Вопрос 10

Является ли особенностью динамического программирования независимость сложности решения от размерности решаемой задачи?

Вопрос 11

Сущность метода динамического программирования описывается так называемым динамическим рекуррентным соотношением. Вы согласны?

Вопрос 12

Метод динамического программирования применяется для решения задач замены оборудования. Так ли это?

Вопрос 13

В оптимизационных задачах целевая функция, как правило, выражается в виде линейной функции. Вы согласны?

Вопрос 14

Решаются ли методами управления запасами в строительстве решаются задачи, связанные с управлением складскими запасами?

Вопрос 15

Можно ли решать задачи, требующие целочисленного решения, обычными методами линейного программирования?

Вопрос 16

Для решения задач, требующих целочисленного решения, может быть применен алгоритм модели о назначениях. Так ли это?

Вопрос 17

Метод перебора применяется, главным образом, для решения простейших задач оптимизации. Вы согласны?

Вопрос 18

Можно ли утверждать, что имитационные модели применяются для решения организационно-управленческих задач строительства, имеющих строгое аналитическое описание?

Вопрос 19

Важным преимуществом имитационных моделей является возможность неограниченного экспериментирования с моделью, не требующего существенных экономических затрат. Вы согласны?

Вопрос 20

Не являются ли в игровых моделях игроки (играющие стороны) конфликтующими сторонами?

КЛЮЧИ К КОНТРОЛЬНЫМ ВОПРОСАМ

Глава 1. Обзор применения моделей в экономике

1 -в
2 -б
3 -а
4 -а
5 -б
6 -г

Глава II. Основные виды задач, решаемых при организации и планировании строительства

Задачи распределения с.58

Вопрос 1 - ответ: да
Вопрос 2 - нет
Вопрос 3 - да

Задачи замены с. 58

Вопрос 1 - ответ: да
2 - нет
3 - нет
4 - нет

Задачи поиска с. 58

Вопрос 1 - ответ: **да**
2 - да

Задачи массового обслуживания с. 58-59

Вопрос 1 - ответ: **да**
2 **- да**
3 - нет
4 **- да**

Задачи управления запасами с. 59

Вопрос 1 - ответ: **да**
2 **да**
3 **- да**
4 - нет

Задачи теории расписаний с. 59

Вопрос 1 - ответ: **да**
2- да
3 - нет
4 нет

Глава III. **Моделирование в строительстве**

Вопрос 1	ответ: да
2 -	нет
3 -	нет
4 -	да
5 -	нет
6 -	нет
7 -	да
8 -	да
9 -	да
10 -	нет
11 -	да
12 -	да
13 -	нет
14 -	нет
15 -	нет
16 -	да
17 -	нет
18 -	нет
19 -	да
20 -	нет

Приложение 1

Задания:

Распределить рабочих на 4 участках с целью максимального выполнения объема СМР, используя метод динамического программирования

№ Варианта	Количество рабочих	Номера участков			
		1	2	3	4
		Объем СМР, тыс. руб.			
1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0
	10	7	9	6	13
	20	14	15	18	16
	30	30	19	24	27
	40	33	27	36	35
2	0	0	0	0	0
	15	8	9	8	6
	30	15	19	15	18
	45	27	28	24	25
	60	30	35	32	33
3	0	0	0	0	0
	10	6	7	8	8
	20	12	14	13	16
	30	21	19	26	26
	40	30	32	29	31
4	0	0	0	0	0
	15	7	8	4	6
	30	15	20	9	16
	45	21	24	19	20
	60	33	34	30	32
5	0	0	0	0	0
	10	8	9	8	6
	20	14	18	14	12
	30	27	28	21	25
	40	30	35	32	34
6	0	0	0	0	0
	20	6	7	8	8

	40	12	14	16	17
	60	21	14	26	25
	80	29	30	32	32
7	0	0	0	0	0
	15	8	9	7	6
	30	14	16	16	10
	45	24	25	22	18
	60	32	33	30	24
8	0	0	0	0	0
	10	3	6	9	10
	20	9	12	16	15
	30	16	19	22	20
	40	21	30	32	32
9	0	0	0	0	0
	20	7	6	9	8
	40	14	15	18	16
	60	27	28	24	25
	80	30	35	32	33
10	0	0	0	0	0
	15	5	7	6	5
	30	12	13	15	13
	45	21	22	20	20
	60	25	26	27	26
11	0	0	0	0	0
	10	5	7	6	9
	20	12	14	16	18
	30	21	24	23	25
	40	29	30	29	32
12	0	0	0	0	0
	10	8	7	6	9
	20	16	15	12	18
	30	24	21	19	29
	40	32	29	28	34
13	0	0	0	0	0
	10	12	7	6	14
	20	23	18	15	20

	30	28	25	29	30
	40	35	32	33	42
14	0	0	0	0	0
	20	17	19	15	16
	30	26	25	24	27
	40	36	34	32	36
	60	44	47	45	49
15	0	0	0	0	0
	15	9	8	10	12
	30	24	23	26	22
	45	27	29	28	29
	60	32	36	33	34
16	0	0	0	0	0
	20	7	8	9	6
	30	14	18	21	17
	50	22	24	27	20
	60	32	34	38	33
17	0	0	0	0	0
	10	6	7	8	9
	20	9	11	12	17
	40	21	19	21	20
	50	30	32	32	32
18	0	0	0	0	0
	10	8	5	7	8
	20	12	14	18	12
	30	27	28	21	25
	40	30	35	34	32
19	0	0	0	0	0
	15	7	9	6	8
	30	15	19	15	18
	45	21	24	19	20
	60	34	36	30	32
20	0	0	0	0	0
	20	12	16	11	10
	30	14	18	16	11
	50	21	24	26	20

	60	32	34	38	33
21	0	0	0	0	0
	20	5	7	6	9
	30	12	14	16	18
	40	21	28	24	25
	60	32	36	30	33
22	0	0	0	0	0
	10	8	7	6	8
	20	12	14	16	18
	30	27	28	21	25
	40	30	34	33	35
23	0	0	0	0	0
	20	6	7	5	8
	40	12	15	9	11
	60	21	24	23	20
	80	29	30	32	33
24	0	0	0	0	0
	15	5	7	6	9
	30	16	11	12	14
	45	20	22	21	23
	60	23	24	23	29
25	0	0	0	0	0
	10	8	10	11	9
	20	14	16	19	18
	30	21	24	25	23
	40	25	28	26	28
26	0	0	0	0	0
	20	6	7	5	8
	30	16	15	12	14
	40	21	28	24	25
	60	32	34	32	33
27	0	0	0	0	0
	15	9	8	10	12
	30	24	23	26	22
	45	28	29	29	27
	60	32	34	38	37

28	0	0	0	0	0
	20	5	7	6	9
	30	12	14	18	18
	50	27	28	21	25
	60	32	33	30	33
29	0	0	0	0	0
	10	6	7	4	8
	20	12	14	9	13
	30	27	28	21	25
	40	29	32	29	34
30	0	0	0	0	0
	10	7	8	4	6
	20	14	18	16	11
	30	21	24	19	20
	50	28	29	26	27
31	0	0	0	0	0
	15	7	8	4	6
	30	12	13	9	11
	45	27	19	26	25
	60	31	33	32	30
32	0	0	0	0	0
	20	13	9	11	12
	30	20	19	18	21
	50	27	28	29	26
	60	30	32	33	34
33	0	0	0	0	0
	10	6	7	4	6
	20	12	13	9	12
	40	16	18	20	21
	50	20	22	21	22
34	0	0	0	0	0
	20	6	7	8	4
	30	14	18	21	17
	40	21	28	29	25
	60	32	34	35	33
35	0	0	0	0	0

	10	6	7	8	5
	20	12	14	16	11
	30	21	24	23	24
	40	29	30	30	32
36	0	0	0	0	0
	20	7	9	6	8
	40	14	16	9	13
	60	21	23	19	24
	80	29	30	30	30
37	0	0	0	0	0
	10	8	9	8	6
	20	15	19	15	18
	30	21	24	23	25
	40	30	31	32	33
38	0	0	0	0	0
	20	7	9	6	8
	30	14	15	18	16
	40	20	19	24	25
	60	29	27	30	32
39	0	0	0	0	0
	15	8	9	8	6
	30	14	18	14	12
	45	21	24	26	20
	60	32	32	30	33
40	0	0	0	0	0
	20	5	7	6	9
	30	16	14	12	18
	50	24	21	20	25
	60	31	29	30	30
41	0	0	0	0	0
	10	5	7	8	6
	20	12	15	13	11
	30	21	24	25	20
	40	28	29	27	28
42	0	0	0	0	0
	20	6	7	8	5

	30	15	19	15	18
	40	27	28	24	25
	60	30	33	32	33
43	0	0	0	0	0
	20	9	8	6	7
	30	15	12	10	15
	40	22	20	18	18
	60	29	27	23	24
44	0	0	0	0	0
	20	7	6	9	7
	30	9	12	15	12
	40	14	15	18	16
	60	20	21	26	25
45	0	0	0	0	0
	20	6	7	5	8
	30	14	15	18	16
	40	26	19	24	27
	60	33	27	30	32
46	0	0	0	0	0
	20	4	9	6	7
	30	11	18	13	14
	40	19	21	22	20
	60	27	29	28	27
47	0	0	0	0	0
	20	8	7	6	9
	30	12	13	16	18
	40	21	19	24	24
	60	29	28	29	30
48	0	0	0	0	0
	20	7	6	8	9
	30	12	14	16	19
	40	21	24	25	27
	60	29	30	32	35

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. П.Райвет, Р.Л.Акофф. Исследование операций. - М.: МИР, 1966 [1] Исследование операций. Учебник под редакцией д.т.н. профессора Юркова Б.Н. - М.: ВИА, 1990
2. Математические методы исследования операций в экономике. П.Конюховский: СПб: Питер, 2000. Учебное пособие.
3. Методические указания к практическим занятиям по решению задач методом динамического программирования (для студентов специальности 1202 и 1205)./ Сост. Тарануха Н.Л., Соловьёв Н.В. – Устинов, Ред.-изд. Отдел УМИ.Ротапринт ФМУ ЭПМ, 1986.
4. Экономико-математическое моделирование в решении организационно-управленческих задач в строительстве. Учебное пособие/ Г.С.Гранов, Г.Ш.Сафаров, К.Р.Тагирбеков – М.: АСВ, 2001. – 64с.

Учебное издание

Составители:
Иванова Светлана Сергеевна

Математическое моделирование в строительстве

Учебно-методическое пособие

В редакции составителя

Корректор *Н. К. Швиндт*

Подписано в печать 08.02.2011. Формат 60×84/16
Усл. печ. л. 2,09. Тираж 100 экз. Заказ № 9

Издательство Ижевского государственного технического университета.
Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ. 426069, Ижевск, ул. Студенческая, 7