

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

До друку і в світ дозволяю
Заступник ректора

_____ І.П. Гладкий

Шевченко В.О.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни "**Системний аналіз та управління рухомими
об'єктами**" за спеціальністю 7.05020103

Усі цитати, цифровий, фактичний
матеріал і бібліографічні відомості
перевірені, написання

одиниць відповідає стандартам

Затверджено
Радою Факультету МТЗ
протокол № ____ від

Укладач

В.О. Шевченко

Відповідальний за випуск

Харків 2015

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Шевченко В.О.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни **"Системний аналіз та управління рухомими
об'єктами"** за спеціальністю 7.05020103

Харків 2015

Содержание

Лекция 1. Интеллектуальные транспортные системы и методы системного анализа	3
Лекция 2. Системный подход в исследовании систем	8
Лекция 3. Оптимальное программное управление	15
Лекция 4. Процедуры системного анализа в решении слабоструктурированных проблем принятия решений	20
Лекция 5. Системный анализ условий неопределенности	27
Лекция 6. Принятие решений в условиях неопределенности	33
Лекция 7. Интеллектуальные системы на искусственных нейронных сетях.....	39
Лекция 8. Системный анализ городской интеллектуальной транспортной системы.....	46
Литература	51

Лекция 1. Интеллектуальные транспортные системы и методы системного анализа

1. Проблемы современного транспорта и задачи системного анализа при их решении на основе интеллектуальных систем транспорта

Современное развитие общества, глобализация внутренних и внешних отношений государств не мыслимы без систем транспорта, его развитой инфраструктуры. Инфраструктура транспортных систем и управление ими настолько сложны, что без помощи автоматизированных систем невозможно отследить состояние транспортных систем (ТС), планировать перевозки и оперативно управлять ими. Формирование, всесторонний анализ состояний и поведения транспортных систем, принятия решений на основе этих общесистемных исследований является основной задачей системного анализа применительно к ТС. Методология системного анализа определяет важную составную часть инструментария современных интеллектуальных систем транспорта.

В большинстве стран мира ведутся разработки автоматизированных интеллектуальных транспортных систем. **Интеллектуальные системы транспорта** (Intelligent Transport Systems, ИТС) выполняют сбор информации с помощью составляющих подсистем радионавигации и телематики, обрабатывают данные, проводят их анализ, вырабатывают альтернативные решения для принятия обоснованных решений.

Анализ современного состояния и проблем транспортных систем в России и Украине, показал, что многие причины этих проблем связаны не только с объективными факторами (недостатком мощностей транспортной инфраструктуры и др.), но в значительной степени с недостаточным уровнем организации движения и управления транспортными потоками. Так средняя скорость движения транспорта по автомобильным дорогам России, составляет 40–60 км/час против 80–100 км/час за рубежом – грузы перемещаются за сутки на расстояние 250–300 километров, против 700–1300 км за границей. Такое снижение скорости движения, в свою очередь, ведет к увеличению на 20–30% себестоимости перевозок, росту транспортной составляющей в конечной цене продукции и услуг, которая доходит до 15–20% (в США и Европе этот показатель не превышает 7–10%).

По данным Департамента транспортных исследований и управления инновационными технологиями США пассажиры и грузы простаивают в пробках 4,2 миллиарда часов в год. Это полная рабочая неделя каждого жителя с суммарными потерями 87,2 млрд. долларов. Напрасно ежегодно сжигается 8,1 миллионов тонн топлива, вызывая около 22% всех выбросов CO₂ в атмосферу.

Общегосударственная транспортная политика многих развитых стран в настоящее время базируется на разработке и продвижении интеллектуальных транспортных систем. ИТС рассматриваются в качестве мощного средства решения наиболее актуальных проблем транспортной отрасли. При этом в первую очередь отмечают следующие проблемы:

- неприемлемый уровень людских потерь в результате транспортных происшествий;

- задержки оборота пассажиров и грузов;
- недостаточно высокая производительность транспортной системы;
- рост потребления энергоресурсов, негативное влияние на окружающую среду и других.

Мировая практика показывает, что внедрение ИТС позволяет снизить количество дорожно-транспортных происшествий до 50%, увеличить пропускную способность дорог на 25–30%, снизить расход горючего на 20%, затраты времени в пути на 30%, повысить занятость населения на 5%.

Понятие ИТС в странах Европы родственно телематическим системам. Ни ми на основе применения методов и средств телематики, путем организации «машина – машинного» взаимодействия, решается большое число всевозможных задач мониторинга, прогнозирования, управления транспортными потоками, которые требуют получения, анализа, обобщения, и переработки колоссальных объемов информации о времени событий, месте положения и параметрах транспортных средств и грузов. В то же время для организации «машина – машинного» взаимодействия следует сформулировать цели и выполнить целый комплекс исследований и разработок, носящий системный характер. Причем общая структура процедур разработки таких интеллектуальных подсистем является унифицированной. Она начинается с выделения «локальной управляемой системы», формирования модели ее целей функционирования, представления внешней среды и ее неопределенностей, построения и программно-технической реализации оптимального или на практике рационального управления.

Телематика – это набор технологий, которые сочетают информационные технологии и телекоммуникацию с целью связывания мобильных и стационарных объектов.

Транспортная телематика (ТТ) – это использование телематики в транспортном секторе.

Для повышения уровня безопасности или же эффективности перевозок на транспорте могут быть использованы интеллектуальные телематические системы, разработанные методами СА. Понятие «системный» используется потому, что исследование такого рода проблем строится на использовании категории системы. Для больших систем, к числу которых могут быть отнесены ИТС, непосредственное применение математики неэффективно, что обусловлено множеством существующих здесь неопределенностей, которые характерны для исследования и разработки техники как единого целого. В одном из широко развивающихся в настоящее время подходов к СА, на первый план выдвигаются не математические методы, а логика системного анализа, упорядочение процедуры принятия решений. Самым существенным является то, что систематически на всех этапах жизненного цикла любой технической системы осуществляется сопоставление альтернатив, по возможности в количественной форме, на основе логической последовательности шагов, которые могут быть воспроизведены и проверены другими. СА позволяет глубже и лучше осмыслить сущность технической системы, их структуру, организацию, задачи, закономерности развития, оптимальные пути и методы управления.

Отличия СА от других формализованных подходов при обосновании управленческих решений сводятся к следующему:

- рассматриваются все теоретические возможные альтернативные методы и средства достижения целей по жизненному циклу ТС (исследовательские, конструктивные, технологические, эксплуатационные и пр.), правильная комбинация и сочетание этих различных методов и средств;

- альтернативы технической системы оцениваются с позиции длительной перспективы (особенно для систем, имеющих стратегическое назначение);

- отсутствуют стандартные решения;

- применяются к проблемам, для которых не полностью определены требования стоимости или времени;

- признается принципиальное значение организационных и субъективных факторов в процессе принятия решений, разрабатываются процедуры использования качественных суждений в анализе и согласовании различных точек зрения;

- особое внимание уделяется факторам риска и неопределенности, их учету и оценке при выборе наиболее рациональных решений среди возможных вариантов.

Тенденция применения системного подхода к решению крупных проблем появляется тогда, когда решения становятся сложными, трудоемкими и дорогостоящими. При обосновании таких решений, которые становятся предметом системного анализа, все большее значение приобретают факторы, рассчитанные вперед на 10-15-летний период. К факторам такого рода относятся рост капиталовложений на осуществление крупных программ, охватывающих длительный период, и большая зависимость этих программ от результатов научных исследований и технических разработок. В физической и соответствующей ей абстрактной системах должно быть установлено взаимно-однозначное соотношение между элементами и их связями. В этом случае оказывается возможным, не прибегая к экспериментам на реальных физических системах, оценить различного рода рабочие гипотезы относительно целесообразности тех или иных действий, пользуясь соответствующей абстрактной системой, и выработать наиболее предпочтительное решение.

Итак, возможность применения системного анализа для совершенствования интеллектуальных систем транспорта обусловлена следующим.

1. Системный анализ направлен на решение проблем принятия оптимального решения на основе выбора из многих возможных альтернатив.

2. Каждая альтернатива оценивается с позиции длительной перспективы, как правило, характеризуется набором противоречивых показателей.

3. СА рассматривается как методология, обеспечивающая углубленное понимание и структуризацию проблемы.

4. Методология применяется в первую очередь для решения стратегических проблем, требующих выработки комплексной цели и многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности.

В качестве основного и наиболее ценного результата системного анализа выступает не обязательно определенное количественное решение проблемы, а ее

структурирование, увеличение степени понимания и формирование возможных путей решения.

Полезность методов системного анализа, состоит в следующем:

- в большем понимании существа исследуемой проблемы: практические усилия для выявления взаимосвязи компонентов систем, выработка количественных ценностей, помогают обнаружить новые свойства решений;

- в большей корректности формулирования целей, задач, условий предпочтения для неизбежно неясных многоплановых целей;

- в большей точности принятых оценок сравнимости альтернатив, возможности выявления общих черт для них и конкурирующих элементов;

- в большей полезности, эффективности разработки в целом: новые модели и методы описания и анализа должны привести к распределению денежных и других видов ресурсов более упорядоченным образом, что помогает верно оценить первоначальные, а также интуитивные суждения.

Таким образом, системный анализ позволяет более обоснованно и эффективно ставить и решать многочисленные задачи в сфере формирования, создания и совершенствования интеллектуальных систем транспорта

2. Сущность системного подхода и системного анализа

На современном уровне развития знаний термин «система» ассоциируется с понятием «много». Когда много зависимых уравнений, то говорят система уравнений, много связанных правил движения транспортных средств – система правил движения транспорта. Словосочетание «транспортная система» ассоциируется с совокупностями транспортных средств передвижения, связанных расписанием, маршрутами движения, типами транспорта и прочее. Следовательно, на понятийном уровне систему образует «совокупность взаимно связанных объектов».

Отдельная система живет во взаимодействии с другими системами, и все их множество образует мировую систему (Мир). В мировую систему входят системы живой и неживой природы и искусственные системы, создаваемые человеком. Каждая система уникальна, но в каждой есть нечто общее присущее всем. Для исследований отдельных конкретных систем используется как методология общесистемного подхода, так и индивидуальный подход к анализу системы.

Выясним, что определяет системный анализ. Для этого установим смысл его составных частей «система» и «анализ».

Система (systema) в переводе с греческого языка есть целое, составленное из частей, соединение.

Анализ (analysis – греческ.) – разложение, расчленение, разбор. Имеет толкование, как метод научного исследования путем расчленения предмета на составные части.

Следовательно, под системным анализом следует понимать метод научного исследования целого путем расчленения целого на его составные части. Такое понятийное толкование системного анализа обусловлено тем, что система состоит из связанных частей, образующих целое. И исследовать части при анализе необходимо во взаимосвязи с другими частями целого.

Например, система обучения как целое, по возрастному показателю, условно может быть разделена на части: домашнее, дошкольное, школьное, специальное. В свою очередь части образования – дошкольное, школьное и специальное также разделяются на части по специализации обучения, по возрастному и количественному и прочим показателям до тех пор пока не получится элементарная неделимая часть – объект обучения (**элемент** системы).

Простой анализ процесса обучения в целом и в каждой части системы показывает, что качество знаний, полученные объектом обучения зависят от знаний, приобретенных на предыдущей стадии обучения (**иерархия** системы). Полный анализ системы обучения позволяет выявить другие особенности или недостатки процесса получения знаний.

Системный анализ – основной инструмент исследования сложных систем и их частей, предназначенный для принятия комплексных обоснованных решений.

В системном анализе (СА) проводятся всесторонние целостные исследования, как всей системы, так и ее составляющих элементов и связей под разными «углами зрения». Эти исследования позволяют выявить свойства, количественные характеристики, состояния системы, ее возможности функционирования и др. Управляя параметрами характеристик, показателями состояний, ее составляющими, связями системы и прочим можно получить систему с лучшими показателями, свойствами. На этом пути СА использует все научные достижения человечества из разных отраслей: биологии, экологии, медицины, экономики, кибернетики, математики и др. Инструментарий исследований охватывает методологию различных областей человеческих знаний. В частности, состоит из классических и неклассических приемов моделирования традиционной и конструктивной математики и их приложений, схематологию и алгоритмы, инженерии программирования и иное. Поэтому системный анализ имеет междисциплинарный предмет исследований, всесторонне охватывающий факторы, влияющие на объект исследований – систему и ее составные части.

В практической деятельности людей при оценке явлений, изменений качества объектов и пр. используется термин «системный подход». Системный подход к предметному объекту, явлению и др. предполагает системную оценку явления, объекта и иного на основе системного анализа. При этом системная оценка предполагает разноплановый взгляд на явление, объект как систему в целом, так и на ее составляющие.

Результаты системного анализа позволяют улучшить состояние и функционирование предметной системы, повысить ее структурированность (состав, взаимосвязь объектов системы), эффективность (соответствие предназначению системы), надежность (бесперебойность функционирования системы), рациональность выбора стратегий принятия решений, управляемость (организация действий для улучшения функционирования системы) и другие показатели.

Лекция 2. Системный подход в исследовании систем

1. Система и общесистемный подход

Чтобы провести аккуратный анализ системы, прежде всего, необходимо корректно формализовать систему.

Например, представим систему S конечной последовательностью некоторых характеристик X_i с отношением τ на них. Тогда формально конечную систему можно представить так:

$$S = (X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n, \tau), \quad (2.1)$$

где символ " \times " обозначает операцию декартового произведения над множествами X_i и X_{i+1} .

Прямое или **декартово произведение** двух множеств – это множество, элементами которого являются всевозможные упорядоченные пары элементов исходных множеств.

Отношение τ есть часть декартового произведения, и устанавливает связь между характеристиками X_i системы S , в представлении (2.1) это отношение абстрактно и обобщенно.

Поэтому такой подход является хорошим для научных исследований и неприемлемым для прикладных технологических систем.

Другая модель подхода к заданию системы S предполагает определенную предметную конкретизацию, погруженную в окружающий ее Мир (внешнюю среду). Здесь допускается, что система может представляться **черным и белым** ящиками.

Система как **белый ящик** имеет признак P , определяющий объект исследований, множество объектов s_i или элементов (простых, неделимых, атомарных), которые по признаку P выбираются из мировой системы, множество межобъектных или межэлементных связей ζ_{ij}^k (дзета) и множество моделей M , описывающих взаимодействие объектов/элементов на связях. В этом случае, система может быть формально представлена алгебраической моделью:

$$S = \langle P, \{s_i\}, \{\zeta_{ij}^k\}, M \rangle, \quad (2.2)$$

где в связи ζ_{ij}^k нижние индексы указывают на объекты-элементы s_i и s_j , между которыми действует эта связь, а верхний индекс k определяет кратность связи (количество связей); скобки $\{ \}$ есть эквивалент слова "множество".

Например, для транспортной системы: признак P – "транспортная система", объекты-элементы системы s_i – пункты назначения, автопарки, транспортные средства, места остановок и пр.; связи ζ_{ij}^k – отражают зависимости между автопар-

ками и транспортными средствами, расписания отправления и прибытия транспортных средств и иное, модели связей M – правила, инструкции, отношения и др.

Признак P , в зависимости от цели исследований принимается в системном анализе в качестве цели. Задание цели системы упрощает или усложняет ее количественно и содержательно, уточняя как элементы или объекты (подсистемы) s_i , так и связи s_{ij}^k .

Исследование системы с позиций **черного ящика** предусматривает оценку влияния внешней среды на состояния системы и самой системы на окружающую среду. Влияние внешней среды на систему определяется функцией системы $F(X,Z)$, заданной на наборах входных факторов X и состояний системы Z , а воздействие системы на окружающую среду определяется выходным набором факторов $Y = F(X,Z)$.

С позиций подхода черного ящика можно сузить общесистемные понятия наблюдаемости, прогнозируемости, управляемости системы.

Наблюдаемость является свойством системы, показывающим, можно ли по выходу полностью восстановить информацию о состояниях системы.

Прогнозируемость – это предсказывание поведения системы на некоторый промежуток времени.

Управляемость означает возможность перевести систему из одного состояния в другое.

Если функция системы известна, то многофакторная зависимость $F: X \rightarrow Y$ является характерной для наблюдаемой системы, т.е. позволяет оценить влияние входных факторов, таких как законодательство, инвестиции и пр., на процессы эксплуатации автотранспортных средств, доставки грузов и др.

При известной функции F может быть рассмотрен вопрос управления системой S для достижения необходимых выходных факторов $Y^* \subset Y$ так, что

$$\|F(X', Z) - Y^*\| \rightarrow \min_{x \in X'}$$

где $X' \subset X$.

При известных факторах X и Y , но неизвестной функции F прогнозируемость системы можно исследовать по параметрической модели, $\hat{Y} = F(X, A)$. Здесь A – множество параметров модели.

Параметрическое моделирование (параметризация) – моделирование с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами.

Для определения параметров функции F системы используется соотношение минимизации разности выходных факторов:

$$\|Y - \hat{Y}\| \rightarrow \min_{a \in A}$$

Отметим, что задание цели исследований может частично сужать предметную систему.

Предложенную модель системы (2.2) иногда называют структурированной моделью, она может быть использована для описания и анализа структурированной технологической транспортной системы. Опираясь на представление (2.2) и взгляды на систему с позиций черного и белого ящиков можно утверждать, что системный подход к объекту исследований есть комплексный подход, который определяется формулой:

системный подход к объекту исследований = система + черный ящик + белый ящик.

Так как любая система существует во времени, то возможен подход к системе и с позиций временного фактора. Если для системы S на определенном временном промежутке T ее состояние Z не изменяется или слабо меняется, то принято считать систему **статической** на T . Если же состояние $Z = Z(t)$, $t \in T$, тогда говорят, что система S – **динамическая**. В статических системах исследуется структура, иерархия, связи, постоянные характеристики и др. Вопросы функционирования, принятия решений, управления рассматриваются, как правило, при динамическом подходе к исследуемым системам.

Существует множество других подходов к технологическим системам, например, на основе случайных событий, размытых данных и пр.

Входные факторы или их значения, состояния или их значения и др. могут поступать в систему или наступать в системе случайным образом, тогда такую систему называют **недетерминированной** в противоположность от определенной (неслучайной) **детерминированной** системы.

Структурное определение системы (2.2) предполагает явное существование межэлементных связей. Системные связи определяются человеком, который воспринимает окружающий Мир нечетко (размыто). Это хорошо подтверждается определением цвета, качества и пр. Как правило, человек оценивает многие показатели размытой шкалой: "отлично", "хорошо", "так себе" или другим образом. Следовательно, связи между элементами системы и их человеческая оценка, вообще говоря, размытая. Системы с размытыми параметрами, связями или иными показателями принято называть **нечеткими**. Иногда нечеткость конкретизируют, указывая размытой параметр системы. Например, фраза "нечеткий график движения поездов", указывает на то, что показатели: прибытие или отправление поездов или и то и другое не совпадают с расписанием.

2. Методология исследований системного анализа

Системный анализ допускает рассмотрение широкого спектра разнообразных задач для всесторонних исследований и анализа систем. В том числе методология исследований системного анализа позволяет установить эффективность самой системы. Под категорией **эффективности** системы понимается степень ее соответствия предназначению по целевым признакам. Так, если станция – это система, предназначенная для организации железнодорожных перевозок (признак системы), то срывы графиков движения поездов, формирование подвижного состава неисправными вагонами свидетельствует о неэффективности системы

"станция". Сказав, что система неэффективна, делается обобщенное неопределенное заключение. Неопределенность эффективности устраняется заданием ее **показателя**, т.е. можно считать, что эффективность \mathcal{S} системы задается показателями $\eta_i : \mathcal{S} = \{\eta_i\}$. Тогда определено – система S эффективна, если она эффективна по указанным показателям. Таким образом, можно говорить об эффективности работы станции по показателю η_k – сервисного обслуживания пассажиров и пр. Показатели эффективности определяются четким или нечетким значениями $|\eta_k|$. Если значение показателя эффективности удовлетворяет критерию $\kappa(|\eta_k|)$ = истинно, то говорят об оптимальности системы по показателю η_k .

Вывод: решение большого разнообразия исследовательских задач требует освоения различных современных математических методов системного анализа, методов структуризации, моделирования, приобретение навыков применения логических и вычислительных методов для решения задач анализа и формирования сервисов ИТС.

Разнообразие задач системного анализа требует развитой методологии проведения исследований. Основой системных исследований являются методы натурального, математического, информационного, алгоритмического и других видов моделирования.

Под **моделированием** понимается система адекватного представления объекта-оригинала исследований, процесса-оригинала и пр. некоторой моделью.

Модель – это специально создаваемый объект, на котором воспроизводятся вполне определенные характеристики реального исследуемого объекта (процесса) с целью их использования для управления или изучения объекта.

Модель может быть представлена:

- **аналитически** в виде математических выражений, отношений, формул и пр.;
- **графически** в виде схем, разновидностей графов и др.;
- **алгоритмически** – на языках представления алгоритмов;
- **информационно** – наборами последовательностей символов и слов, таблиц, а также средствами некоторого иного представления.

Метод моделирования определяется как метод опосредованного познания, при котором изучаемый объект-оригинал находится в некотором соответствии с объектом-моделью. При этом исследователь проводит "эксперимент-анализ" не с объектом-оригиналом, а с моделью. Построение моделей подсистем являются системными задачами, при решении которых используется большое количество исходных данных. В этих случаях невозможно обойтись без системного подхода, который позволяет "приблизить" модели к реальным объектам, выделить среди множества факторов управляющие, оценить эффективности функционирования систем.

Процесс моделирования и исследования в системном анализе предполагает следующие этапы:

- 1) постановка задачи с учетом, по возможности всех факторов влияющих на состояние системы (системный подход);

- 2) выбор подхода моделирования и инструментария для решения задачи;
- 3) формализация и построение модели системной задачи;
- 4) проверка корректности (непротиворечивости) и адекватности (соответствие реальности) модели, в случае необходимости вносятся поправки в модель;
- 5) решение задачи на основе построенной модели;
- 6) анализ результатов решения задачи;
- 7) придание содержательной формы результатам анализа решения.

В зависимости от целей исследований в системном анализе на пятом этапе рассмотренного процесса могут применяться логическая и вычислительная формы реализаций.

Логическая форма реализации предполагает получение аналитического результата исследований в виде формулы решения, логического или другого отношения, по которому при необходимости можно получить количественную оценку.

Например, необходимо провести исследование структуры некоторой подсистемы. Для этого воспользуемся структурным подходом представления систем (2.2) и построим модель системы в виде структурного графа G_S . Примем элементы s_i представления (2.2) в качестве вершин графа G_S , а связям ζ_{ij}^k поставим в соответствие ребра или дуги этого графа. Анализ на графе можно выполнить по показателям: степень вершины $st(s_i)$, длина пути h_{ij} между вершинами s_i и s_j , расстояние ρ_{ij} между вершинами s_i и s_j , диаметр графа d_G и другим. Указанные показатели задаются формулами:

$$st(s_i) = \sum_j |\zeta_{ij}^k|,$$

здесь сумма количества связей вершины s_i со всеми смежными вершинами с учетом кратности связей, когда две вершины имеют между собой более одной дуги;

$$h_{ij} = |s_i = s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_k} = s_j| = k - 1,$$

здесь символами s_i обозначены промежуточные вершины на пути между вершинами s_i и s_j (не следует путать h_{ij} с физической длиной пути, которая измеряется мерой длины);

$\rho_{ij} = \min\{h_{ij}\}$ – метрическое расстояние (длина кратчайшего маршрута) между вершинами;

$d_G = \max\{\rho_{ij}\}$ – метрический диаметр графа (наибольшее из расстояний между двумя вершинами графа).

Например, рассмотрим участок железнодорожной транспортной системы (рис. 2.1.), состоящий из семи станций s_1, s_2, \dots, s_7 , которые имеют однопутные и двухпутные межстанционные направленные и ненаправленные связи ζ_{ij} . Ненаправленные связи $\zeta_{5,6}$ и $\zeta_{5,3}$ моделируют возможность движения поездов между станциями s_5, s_6 и s_5, s_3 в обоих направлениях.

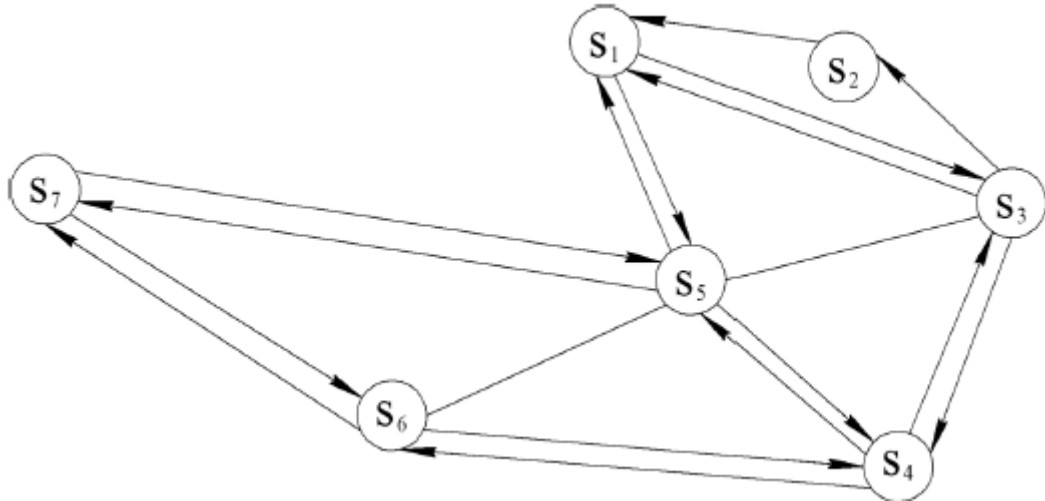


Рис.2.1. Графическая модель железнодорожной транспортной подсистемы

Система, изображенная графической структурой на рис. 2.1, при ее элементах-станциях не сложная, и характеризуется объемом участка – семь станций, количеством железнодорожных путей – восемнадцать, наибольшей сложностью на железнодорожном участке достижения станции есть – $d_G = 3$ (при этом, например, если прямых поездов со станции s_6 до станции s_2 нет, то пассажиру необходимо совершить, как минимум, две пересадки на этом маршруте). Дальнейший анализ участка дороги по ее структуре показывает, что рассматриваемая система состоит из шести узловых станций, для которых $st(s_i) > 2$. Лишь одна станция s_2 по этому показателю не является узловой.

Если в модели транспортной системы, изображенной на рис. 2.1., соответствующие станциям вершины графа рассматривать как подсистемы, которые обрабатывают поезда, определяют маршруты движения и пр., то система становится сложной как в представлении, так в моделировании и анализе.

Другой пример. Логические формы реализации применяются при анализе систем и их подсистем, таких как базы знаний. В базах знаний используются **логические высказывания (предположения)**, которые представляются **индуктивной формулой (схемой) силлогизма**.

Силлогизм (гр. *syllogismos*) – дедуктивное логическое умозаключение.

Пусть A некоторое сформулированное предположение, а B следствие из этого предположения и нам неизвестно, истинны ли A или B , тогда силлогизмы представляются схемными моделями:

$$\frac{A \Rightarrow B}{B \text{ ложно}}, \quad \frac{A \Rightarrow B}{B \text{ истинно}}, \quad \frac{A \approx B}{B \text{ истинно}} \quad (2.3)$$

$$\frac{}{A \text{ ложно}}, \quad \frac{}{A \text{ более правдоподобно}}, \quad \frac{}{A \text{ более правдоподобно}}$$

где представление $A \Rightarrow B$ читается "из A следует B ", под записью $A \approx B$ понимается " A аналогично B ", а горизонтальная линия соответствует слову "следовательно".

Например, если предположение A – грузовой или пассажирский поезд, а B пассажирский вагон, то по второй формуле (2.3) заключаем, что более правдоподобное высказывание "поезд пассажирский".

В системном анализе при решении вопросов принятия решения на основе многофакторных представлений схемы силлогизмов могут быть намного сложнее. Например,

$$\begin{array}{c}
 A \Rightarrow Q_{i,j} \\
 Q_{i,j} : y_{i_1}, y_{i_2}, \dots, y_{i_n} \text{ истинны,} \\
 Q_{i,j} : y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_m} \text{ истинны.} \\
 \hline
 A \text{ более правдоподобно}
 \end{array}$$

здесь Q – множество простых силлогизмов y_k .

Переход от решения задачи в соответствии с построенной моделью к интерпретации результатов решения сопряжен с экспериментальными сложностями. Как правило, анализ возникающих вычислительных сложностей перекладывается на ЭВМ, что позволяет существенно увеличить количество анализируемых факторов системы, сокращает время получения результата и, следовательно, повысить эффективность работы экспериментатора.

Вычислительная форма реализации задач системного анализа во многих случаях предполагает разработки искусственных интеллектуальных систем, помогающих пользователю в поиске и принятии быстрого и эффективного количественного решения.

Лекция 3. Оптимальное программное управление

3.1 Понятия и суть управления в ИСТ

Управление в технологической системе – организующая функция, обеспечивающая сохранение структуры, поддержание режима функционирования, реализацию программ и целей системы.

Организующая функция – совокупность отражающих отношений системы.

В нашем случае **отражающие отношения** – управленческие связи.



Рис. 3.1 – Функционально-территориальная схема организующей функции управления Укрзализныци

Организующая функция всегда имеет организационное начало (кто или что организует управление). На приведенной схеме (рис. 3.1) в качестве организующего начала выступает "Аппарат управления Укрзализныци", а отражающие отношения представлены дугами-связями между блоками схемы. Таким образом, организующая функция управления Укрзализныци представлена схемой на рис. 3.1.

Представление организующей функции зависит от выбранного признака, цели управления, предметной подсистемы и пр.

Рассмотренные понятия указывают на то, что организационная функция может быть принята в качестве прикладного системного объекта, имеющего вою структуру, элементы и связи. Потому ее можно задавать моделями черного или белого ящика, агрегативными, аналитическими, алгоритмическими и другими мо-

делями. Во многих литературных источниках представление организующей функции называют моделью управления.

Модель управления в системном анализе также подвергается исследованиям на предмет состава структуры, сложности связей, количества управляющих факторов и параметров, их взаимосвязи.

Рассмотрим некоторые классы управления и их особенности в организации управления системами и подсистемами.

Система управления, в структуре которой соблюдается отношение подчинения на связях по заданному признаку, называется **иерархической**.

Примером иерархичных систем управления является функционально-территориальная система, представленные на рис. 3.1.

Особенностью процесса управление в иерархических системах является то, что сама иерархия может быть объектом управления.

Иерархическая система управления, в которой управление ведется только из одного центра (организующего начала), называется **централизованной** системой (рис. 3.2). При наличии нескольких, возможно, подчиненных центров – **децентрализованной** системой (рис. 3.3).

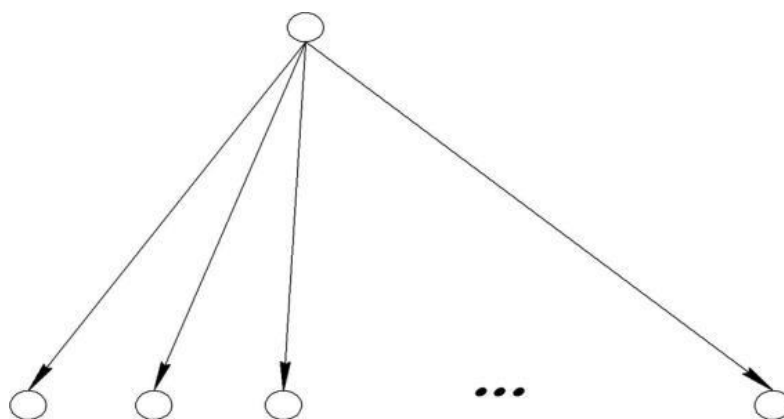


Рис. 3.2 – Структура централизованной системы управления

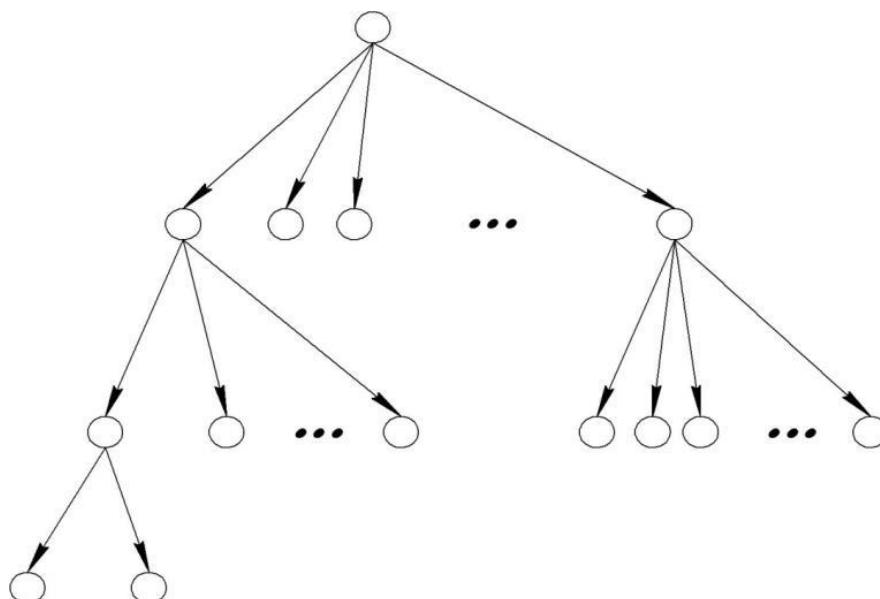


Рис. 3.3 – Структура децентрализованной системы управления

Структура централизованной системы управления проще, и потому организация управления проводится так, чтобы избавиться от промежуточных управленческих центров. Вместе с тем децентрализованная система управления имеет большую степень гибкости. Под **гибкостью** понимают способность системы к адаптации (приспособляемости) состояний, поведения и др. при изменении ее параметров. Например, устраняя связь или несколько связей в установившейся иерархии управления ИТС при ее централизации, снижается первоначальная гибкость управления, что может привести к нарушению оперативности сбора и обработки информации и пр.

Для управляемых систем характерно наличие обратных связей, через которые производится управление.

Данные, передаваемые по каналам обратными связями, являются признаками следующих классов управления:

- однофакторное управление, когда по каналу обратной связи передается значение одного управляющего фактора u на вход подсистемы, т.е. $u \in X$;
- многофакторное управление на множестве факторов $U \subset X$;
- однопараметрическое управление по внутреннему параметру θ (тета) системы S ;
- многопараметрическое управление на множестве внутренних параметров Ξ (кси) системы S .

Существует множество других классов управления, например, технологических – связанных с диспетчерским управлением и др.

Процесс управления технологической системой может быть последовательный, синхронный, параллельный или иной, при этом управленческие действия может выполнять человек или механизм по программе управления. Разработка программы управления поведением системы – одна из сущностей управления.

3.2 Технология моделирования управления в системном анализе

Известно, что решение исследовательских и технологических задач требует знания предмета, методики проведения технологических исследований и др. Ниже приведены этапы моделирования управленческих исследований.

1. Изучение и исследование предметной области системы.

- Определяются элементы системы и межэлементные связи системы с позиций белого ящика.
- Определяются внутренние параметры системы. Используется системный подход.
- На основе системного подхода определяются внешние входные и выходные факторы и параметры, влияющие на систему и на внешнюю среду.
- Исследуются свойства системы и ее составляющих.
- Исследуются состояния системы, ее функционирование, влияние параметров на качество функционирования и пр.

- Исследуются неопределенности системы.
- Исследуется существующее управление системы и необходимость организации нового управления.

2. Выбор цели управления.

- На данных предыдущего пункта предлагается несколько целей управления.
- Проводятся системные исследования предложенных целей.
- По результатам исследований принимается решение о "лучшей" цели управления.

3. Построение модели управления.

- Определяются переменные величины и параметры управления.
- Согласно выбранной цели, существующих в системе неопределенностей и пр. принимается решение о типе модели (алгоритмическая, аналитическая и пр.), о классе модели и иное.
- Строится целевая функция.
- По результатам п.1 определяются технологические, экономические и др. ограничения на переменные параметры управления.

4. Проведение численного эксперимента и интерпретация альтернативных управленческих решений.

- Разрабатывается алгоритм и алгоритмическая программа проведения численного эксперимента.
- Задаются допустимые области изменения параметров модели и области значений допустимого управления.
- Проводятся численные эксперименты на ЭВМ.
- Представление результатов расчетов в удобной для анализа свойств управления форме.

5. Анализ альтернативных решений, принятие управленческого решения.

Рассмотрим этап аналитического моделирования управления в технологической системе.

Пусть Z – это множество переменных состояний, множество параметров системы S , а X – множество входов системы. Функция системы F описывает поведение системы и порождает некоторое множество выходов Y , т.е. $F(Z, X, \Xi) = Y$.

Выделим из множества состояний Z подмножество управляемых состояний U , из множества Ξ (кси) – множество управляемых параметров θ . Теперь функция при некоторых значениях из множеств Z, U, X, Ξ, θ имеет значение

$$F(Z, U, X, \Xi, \theta) = Y^*$$

Допустим, что Y^* – результат допустимого управления. Теперь целевую функцию управления можно представить в виде

$$F^* = F(Z, U, X, \Xi, \theta) - Y^*$$

Рассмотрим применение функции цели F^* в системных задачах управления.

3.3 Некоторые задачи управления и их модели

Пусть функция F отражает некоторую эффективность транспортного процесса, функция g задает технологические ограничения, а функция f моделирует транспортный технологический процесс. Необходимо найти такое управление состояниями системы, чтобы значение целевой функции F^* было наименьшим. Аналитически, поставленная задача, представляется выражением:

$$\begin{cases} \|F^*\| = \|F(Z, U, X, \Xi, \theta) - Y^*\| \rightarrow \min_{z \in U}, \\ f(Z, U, X, \Xi, \theta) = 0, \\ g(Z, U, X, \Xi, \theta) \leq 0. \end{cases}$$

Если в предыдущей задаче требуется найти управление по параметрам системы, то модель задачи несколько изменится

$$\begin{cases} \|F^*\| = \|F(Z, U, X, \Xi, \theta) - Y^*\| \rightarrow \min_{\theta \in \Theta}, \\ f(Z, U, X, \Xi, \theta) = 0, \\ g(Z, U, X, \Xi, \theta) \leq 0. \end{cases}$$

В случае необходимости управление может быть организовано по состояниям и параметрам системы, тогда задача становится многоэкстремальной.

$$\begin{cases} \min_{\substack{z \in U \\ \theta \in \Theta}} \|F(Z, U, X, \Xi, \theta) - Y^*\|, \\ f(Z, U, X, \Xi, \theta) = 0, \\ g(Z, U, X, \Xi, \theta) \leq 0. \end{cases}$$

Рассмотренные задачи относятся к классу задач оптимального управления и допускают обобщение на случай неопределенных систем.

Поиск численного решения задачи оптимального управления требует, как правило, разработки нестандартного алгоритма или трансформации задачи к типовой, для которой существуют стандартные процедуры вычислений. Поэтому в интеллектуальные транспортные системы следует включить алгоритмы решения типичных задач оптимального управления.

Лекция 4. Процедуры системного анализа в решении слабоструктурированных проблем принятия решений

1. Характеристика проблем принятия решений

Остановимся на характеристике основных типов проблем принятия решений, которые исследуются средствами системного анализа. В зависимости от глубины их познания все проблемы можно разделить на три класса:

а) хорошо структурированные или количественно сформулированные проблемы, в которых существенные зависимости могут быть выражены в числовой и символической форме, что обеспечивает получение конечных численных оценок значений характеристик;

б) неструктурированные или качественно выраженные проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны;

в) слабо структурированные или смешанные проблемы, которые содержат как качественные, так и количественные элементы, причем качественные малоизвестные и неопределенные стороны проблемы преобладают, доминируют.

Для решения хорошо структурированных проблем используется методология исследования операций.

В неструктурированных проблемах традиционным является эвристический метод, когда специалист собирает максимум различных сведений о решаемой проблеме, интерпретирует ее содержание и ограничения, на основе интуиции и суждений вырабатывает предложения о целесообразных мероприятиях. При таком подходе нет упорядоченной логической процедуры отыскания решения, нет четко изложенного способа перехода от совокупности разрозненных исходных сведений к окончательным рекомендациям. При решении такой проблемы полагаются на имеющийся опыт, профессиональную подготовленность, на изучение аналогичных проблем, но не на четко сформулированную методику.

К слабо структурированным относится большинство наиболее важных проблем крупного масштаба, для решения которых предназначен СА (экономических, технических, политических и др.).

Типичными характеристиками слабоструктурированных проблем являются следующие:

а) предназначение для выполнения решения в будущем;

б) имеют широкий набор альтернатив;

в) зависят от неполноты имеющихся технологических достижений;

г) требуют больших вложений капитала, содержат элементы экономического риска;

д) сложны вследствие комбинирования ресурсов, необходимых для их решения;

е) содержат не полностью определенные требования стоимости или времени.

При осуществлении СА в процессе структуризации проблемы некоторые ее элементы-подзадачи получают количественное выражение, при этом отношения

между ее элементами становятся все более определенными. Исходя из этого, при использовании системного анализа совсем не обязательна первоначальная четкая и исчерпывающая постановка проблемы, эта четкость должна достигаться в процессе самого анализа и рассматривается как одна из его главных целей.

2. Понятие системы, классификация систем, свойства систем

Разработка ИТС, решение транспортных проблем на основе системного подхода, системные исследования технологических процессов, требуют прагматического взгляда на систему. При формировании технологической (технической) системы объединяют материальные (экономические, биологические, технические) и идеальные абстрактные объекты (научные, математические и др.), руководствуясь некоторыми системообразующими признаками. Например, по признаку организационной подчиненности построена система министерства, по общности территорий или функций – транспортная или торговая системы и пр.

Произвольный реальный объект имеет бесчисленное количество свойств (характеристик), по каждой из них его можно отнести к той или иной системы как ее элемент. Чтобы выделить систему из внешней среды, нужно иметь:

- объект исследования, который состоит из множества элементов (люди, технические устройства, транспортные системы, знаки-символы т.д.), объединенных в некую совокупность;
- субъект исследования, так называемого «наблюдателя»;
- задачу, характеризующую отношение наблюдателя к объекту, что дает возможность разделения целой системы на ее составляющие (элементы и подсистемы) и выбора их существенных свойств.

В зависимости от цели исследования применяют различные подходы к понятию "технологическая система", которые различаются по степени абстракции. Для нашего изложения остановимся на таком определении: под системой S будем понимать множество взаимосвязанных, взаимозависимых элементов любой природы, которые объединены по некоторым системообразующим признакам, образуют единое целое и подчинены определенной общей цели. При формировании системы устанавливают ряд понятий.

1) Внешняя среда E – все то, что не вошло в систему.

2) Входы, выходы системы S . С помощью своих "входов" и "выходов" система взаимодействует с внешней средой. Вход системы – это каналы, с помощью которых внешняя среда E влияет на систему S , через них из внешней среды в систему поступает вещество, энергия, информация. Выход системы – это каналы влияния системы S на внешнюю среду, через них результаты процессов преобразования входа (вещество, энергия, информация) поступают во внешнюю среду. Если обозначить множество входов символом $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, выходов $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, а отношение между ними – R , тогда можно записать: $XY = R(X, Y)$.

Элемент системы, подсистемы – неделимая (при определенном способе разбиения) часть системы, которая имеет некоторую самостоятельность для всей системы. неделимость элементов относительна: понимается, как нецелесообразность в пределах рассматриваемой модели данной системы учитывать внутрен-

ную структуру отдельных составляющих последней. Любой объект, взятый первоначально, можно толковать как элемент (подсистему) некоторой системы высшего ранга. Подсистема – это часть системы, выделенная по тем или иным системообразующим (например, функциональным) признакам. Любая система может быть подсистемой другой системы, которая по отношению к ней является надсистемой. Элементы системы характеризуются только внешними проявлениями в виде взаимодействия с другими элементами, что обусловлено наличием связей между ними.

Связь элемента с внешней по отношению к нему средой моделируется с помощью его входов и выходов. Количественной мерой взаимодействия входа (выхода) элемента с соответствующей средой является интенсивность этого входа (выхода). Графическую схему элемента показано на рис. 4.1. Элемент в общем случае рассматривается как преобразователь "входов" в "выходы": $Y = F(X, Z)$, где F – это символьное обозначение совокупности преобразований (отображение) множества входов на множество выходов.

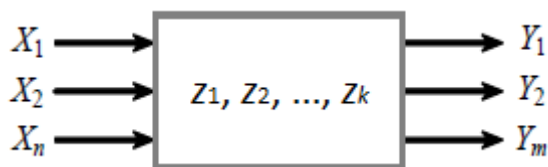


Рис. 4.1. Структурно-графическая схема элемента (системы)

Для того чтобы элементы системы могли воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, они должны быть изменчивыми, изменяя свои свойства, могут находиться в разных состояниях. Каждый элемент характеризуется своим набором показателей, характеристик, изменение значения хотя бы одного из них переводит элемент в другое состояние. Внутреннее состояние элемента $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ – это совокупность его существенных свойств. В целом сама система также может рассматриваться как элемент надсистемы, поскольку она характеризуется своими показателями и может переходить из одного состояния в другое.

Элемент может влиять на другие элементы системы, изменяя их состояния, причем влияние может быть энергетическим или информационным. Состояние элемента может меняться само по себе или в результате сигналов и воздействий, поступающих извне в технологическую систему.

Функционирование системы как единого целого обеспечивается связями между ее элементами, выражающими структуру системы. Структура системы – это совокупность ее элементов и связей между ними, по которым могут проходить сигналы и их воздействия. Формально структуру чаще всего подают графически в виде схемы или графа (рис. 4.2).

Рассмотрим вопросы классификации систем и их свойств. При формировании классов систем, применяют различные системообразующие, классификационные признаки, главными из которых считают природу и происхождение элементов, длительность существования, изменчивость свойств (поведения), степень сложности, отношения к среде и т.п. Приведем характеристики некоторых из них.

Абстрактные системы – состоят из элементов, не имеющих физических аналогов в реальном мире, например: системы уравнений, идеи, планы, теории и т.п.

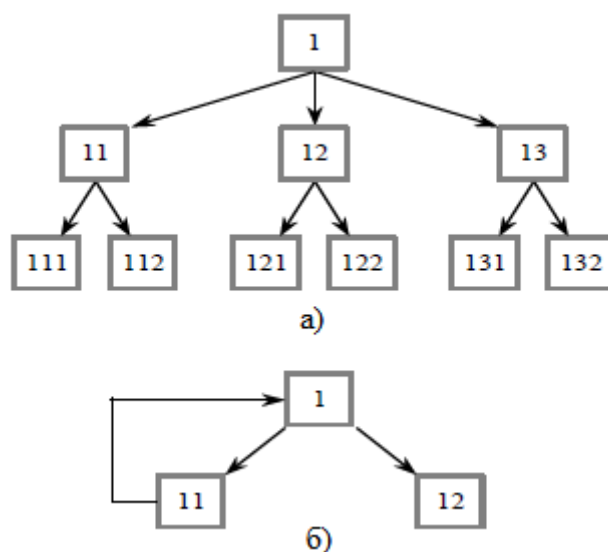


Рис. 3.2. Графическое изображение структуры системы:
а) – дерево, без обратной связи; б) – с обратной связью

Искусственные системы – системы, которые создал человек.

Простые системы – допускают описание с достаточной для целей исследования точностью.

Большие сложные системы – состоят из многочисленных взаимосвязанных, взаимодействующих между собой в условиях неопределенности, разнородных элементов и подсистем. Сложные системы имеют принципиально новые свойства, которых не имеет ни один из составляющих элементов (свойство эмерджентности). Примеры сложных систем: живой организм, предприятие, отрасль экономики, система управления транспортом и телекоммуникациями.

Большие системы характеризуются высоким уровнем неопределенности целей и своего поведения.

Изолированные (замкнутые) системы – не обмениваются с внешней средой энергией, веществом, свойствами или информацией.

Организационные системы – социальные системы, группы, коллективы людей, общество в целом.

Кибернетические системы – сложные динамические системы с управлениями.

Кибернетическая система – это множество взаимосвязанных объектов (ее элементов), способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться ею. Примеры кибернетических систем: человеческий мозг, живой организм, водитель автотранспорта, регулятор температуры, компьютер, транспортное предприятие, наконец – ИТС.

Кибернетическим системам, в число которых отнесены интеллектуальные системы транспорта, присущ ряд новых свойств, которых могут не иметь системы других типов:

- 1) многовариантность поведения;
- 2) управляемость (информационным воздействием на систему можно изменить ее поведение);
- 3) наличие управляющего устройства;
- 4) способность взаимодействовать с окружающей средой как непосредственно, так и через управляющие устройства;
- 5) существование между системой, внешней средой и управляющим устройством каналов информации;
- 6) способность информации, циркулирующей по этим каналам, образовывать обратные связи, с помощью которых осуществляется управление поведением системы со стороны органов управления;
- 7) целенаправленность управления системой: оно направляет систему к выбору определенного поведения или состояния, компенсируя внешние возмущения;
- 8) свойство самоорганизации – способность восстанавливать или изменять свою структуру и способ функционирования, компенсируя возмущающие воздействия и др.

3. Этапы системного исследования

Системный подход к технологическим системам позволяет глубже понять причины многих явлений, которые в разрозненном виде кажутся случайными, но объединенные в систему способствуют выявлению закономерностей их протекания. В результате этого подхода появляется новый взгляд на эффективность функционирования транспортных, социально-экономических систем: взаимодействие между отдельными частями системы гораздо больше влияет на ее эффективность, чем результативная работа указанных частей. Методики, реализующих принципы системного анализа в конкретных условиях, направлены на формализацию процессов исследования системы, а также постановки и решения определенных проблем. Общим для всех методик системного анализа является формирование вариантов представления системы (процесса решения задачи) и выбор лучшего из них. На разных стадиях исследования используются те или иные научные методы и приемы, которые состоят из нескольких этапов анализа, содержание которых зависит от сложности решаемой задачи. Общая схема этапов системного исследования приведена на рис. 4.3.

Рассмотрим основные идеи и концептуальные основы системного подхода на примере транспортной отрасли.

Для СА, как правило, используется комплекс специализированных информационно-технологических и экономико-математических моделей исследуемой системы. На отраслевом уровне метод математического моделирования имеет следующие особенности:

– модель развития данной отрасли представляет собой один из блоков общего комплекса моделей развития транспорта, например, отдельных видов транспорта;

– технология и экономика этой области описываются некоторой общей балансовой технолого-экономической моделью;

– весь комплекс моделей развития и текущего функционирования транспортной отрасли должен быть связан единым комплексом критериев оптимальности (а также соответствующих плановых и учетных показателей), которые следуют из анализа роли отрасли в перспективном развитии экономики, транспорта и др.

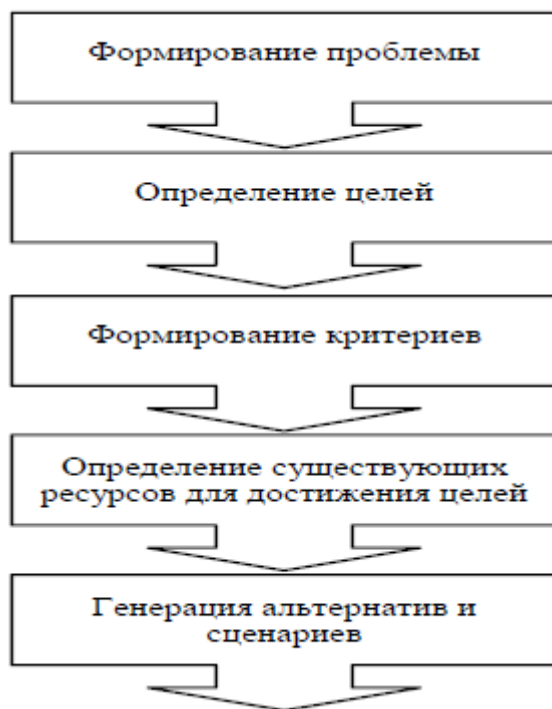


Рис. 4.3. Общая схема системных исследований

Процесс СА можно разделить на четыре этапа.

На **первом** – выполняется определение системы, ее общей цели (вытекает из рассмотрения роли подсистемы в надсистеме) и критериев, обеспечивающих дальнейший выбор оптимального пути достижения в общем междисциплинарно устанавливаемой цели. Выражение общепромышленного критерия в количественной форме обеспечивает возможность точного выражения частных целей подсистем, критериев оценки их функционирования, а также формирование критериев оптимальности для всего взаимосвязанного комплекса моделей планирования и регулирования отрасли, дает систему показателей для возможности осуществления регулирования. Для сложных систем критерии удастся сформулировать только на качественном уровне.

Второй этап СА заключается в построении и анализе дерева целей, которое должно доводиться до уровня задач, решение которых уже не вызывает принципиальных трудностей.

Третий этап СА начинается составлением по возможности исчерпывающего плана мероприятий (технологических, экономических, административно-правовых, по совершенствованию управления, в сфере научно-технического прогресса и др.), предназначенных для достижения целей отрасли. Эти меры размещаются на нижнем уровне дерева целей и подбираются с помощью системы мо-

делей, обычно используемых для развития исследуемого объекта. Следует заметить, что наиболее важным и результативным способом группирования планируемых мероприятий является их разделение по степени эффективности. Здесь эффективность рассматривается относительно возможности достижения целей, сформулированных в дереве целей, в частности, это получение определенной экономической эффективности.

Четвертым является этап диагностирования, состоящий в выявлении всего комплекса нерешенных проблем, диспропорций и их причин. Задача диагностирования – спецификация разрабатываемой системы, уточнения требований к ней, создание организационного плана последовательного построения системы, подбор средств и методов управления ею. Как правило, диагностический анализ проблем управления имеет следующие составляющие:

- выявление проблем управления на основе изучения признаков и установленных в ходе СА несоответствий некоторых функциональных комплексов и объекта анализа в целом;
- идентификация и описание проблем;
- построение дерева проблем;
- выявление первоочередных проблем и разработка рекомендаций по последовательности их решения;
- подбор методов и средств, для решения первоочередных задач и по оценке эффективности их реализации;
- уточнение структуры дерева целей, комплексов моделей и алгоритмов;
- разработка организационного проекта создания информационной системы.

Системный анализ и его раздел исследования операций включают множество различных способов-процедур проведения исследований. Эти исследования используют разнообразные модели для формализации и получения аналитического или численного результата. Так как в транспортных системах должен использоваться системный подход, то такие системы многопараметрические и для их исследований используются численные приемы, основанные на тех или иных системах алгоритмов. Функциональная сторона технологических систем связана с исследованиями и анализом действий-операций систем. Несмотря на более чем полувековой период существования системного анализа, не существует его единой методики. В технологических системах для получения количественных оценок результатов исследований используются различные методики. К ним относятся методики принятия решений на основе теории исследования операций, теории управления; методики исследования систем в условиях неопределенности и размытости данных, методики синтеза систем в процессе их функционирования и др.

Лекция 5. Системный анализ условий неопределенности

Анализ любой реальной системы сопряжен с необходимостью оценки состояния ее элементов, наблюдением основных параметров поведения, что может выполняться человеком или искусственным объектом. В первом случае информация о системе, как правило, воспринимается размыто или нечетко, в силу особенностей восприятия и интерпретации окружающей среды человеком. Во втором случае данные измерений могут быть неточными, отличаются от реальных значений, запаздывают во времени. Кроме того, как наблюдения за системой, так и характеристики поведения системы могут иметь случайные компоненты. Эти и другие причины порождают различные типы неопределенности в задачах системного анализа, которые необходимо учитывать при проведении исследований и принятии решений.

1. Понятие нечеткости и его моделирование

Рассмотрим пример нечеткого сообщения о времени задержки прибытия рейсового автобуса. Пусть время прибытия рейсового автобуса, четкое число t_r , определено расписанием движения, но фактически оно является "ориентиром" для реального времени t прибытия автобуса. Тогда разность $|t_r - t| = \Delta t$ определяет отклонение движения автобуса от расписания. Если $\Delta t = 0$, то автобус прибыл по расписанию, что характеризуют показателем "1", если $\Delta t > 0$, автобус прибыл на станцию с нарушением графика, что имеет характеристику "0". Таким образом, при любых обстоятельствах реализованного события прибытия автобуса на станцию оно характеризуется двузначной функцией (опоздал, не опоздал):

$$\mu_x(t) = \begin{cases} 1, & \Delta t = 0; \\ 0, & \Delta t = 1. \end{cases} \quad (5.1)$$

В случае рассмотрения ожидаемого будущего события, такое представление (5.1) задержки становится недостаточным, не полностью отражает содержание события "прибытие автобуса по расписанию во время t_r ". Оценка точности времени прибытия приобретает нечеткий, размытый характер. Скорее следует говорить о степени уверенности субъекта относительно степени возможности реализации утверждения (5.1), которая здесь означает степень принадлежности события прибытия ко множеству "опоздал – не опоздал", то есть размытие четкого множества элементов $\{0, 1\}$.

Частично проблема такой неопределенности решается заданием временного интервала для событий прибытия автобуса в момент T .

2. Элементы интервального анализа

Рассмотрим интервалы на множестве действительных чисел. Отметим, что интервал A является подмножеством множества действительных чисел. Интервал можно задавать различным способом, например, $A = \{x; a \leq x \leq b\}$, что читается как "множество элементов удовлетворяющих условию $a \leq x \leq b$ ". Числа a и b называ-

ют соответственно нижней и верхней границами интервала A , поэтому между ними имеет место зависимость $\underline{a} \leq \underline{b}$. Практикуется также представление интервала $A = [a, b]$ или $A = [\underline{a}, \bar{a}]$.

Рассмотрим некоторые свойства интервалов.

1. Если для интервала $A = [\underline{a}, \bar{a}]$ границы совпадают $\underline{a} = \bar{a} = a$, то интервал переходит в число a , т.е. множество действительных чисел является частным случаем множества интервалов.

2. Интервал A включается в интервал B , $A \subseteq B$, если между их границами имеют место зависимости $\underline{a} \geq \underline{b}$ и $\bar{a} \leq \bar{b}$.

3. Отношения ($<$) и ($>$) на интервалах неопределенны.

4. Длина интервала A определяется правилом $|A| = |\underline{a} - \bar{a}|$.

5. Средина интервала $\omega(A) = \frac{\underline{a} + \bar{a}}{2}$.

Рассмотрим алгебру арифметических операций $(+, -, \times, :)$ на интервалах.

При выполнении операций над интервалами будем придерживаться правила: результат операции должен быть непротиворечивым и интервалом.

Операция сложения интервалов A и B выполняется по правилу $A + B = [\underline{a} + \underline{b}, \bar{a} + \bar{b}]$.

Операция сложения коммутативна $A + B = B + A$ и ассоциативна из-за коммутативности и ассоциативности действительных чисел (границ интервалов).

Операция вычитания, как обратная к операции сложения, задается непротиворечивым правилом вида:

$$A - B = \begin{cases} [\underline{a} - \bar{b}, \bar{a} - \underline{b}], & A \neq B; \\ [0, 0] = 0, & A = B. \end{cases}$$

Операция умножения интервалов задается как:

$$AB = [\min(\underline{a}\underline{b}, \underline{a}\bar{b}, \bar{a}\underline{b}, \bar{a}\bar{b}), \max(\underline{a}\underline{b}, \underline{a}\bar{b}, \bar{a}\underline{b}, \bar{a}\bar{b})].$$

Если $\underline{a} \geq 0$ и $\underline{b} \geq 0$, то эта формула упрощается $AB = [\underline{a}\underline{b}, \bar{a}\bar{b}]$.

Операция умножения обладает свойством коммутативности и ассоциативности.

Операция деления интервала A на интервал B допустима, если $0 \notin B$, по правилу:

$$A/B = \begin{cases} [\min(\underline{a}/\underline{b}, \underline{a}/\bar{b}, \bar{a}/\underline{b}, \bar{a}/\bar{b}), \max(\underline{a}/\underline{b}, \underline{a}/\bar{b}, \bar{a}/\underline{b}, \bar{a}/\bar{b})], & A \neq B; \\ [1, 1] = 1, & A = B. \end{cases}$$

Деление интервалов упрощается при условиях $\underline{a} \geq 0$, $\underline{b} > 0$ и $A \neq B$,

$$A / B = [\underline{a} / \underline{b}, \bar{a} / \bar{b}].$$

3. Нечеткости первого рода

Нечеткости первого рода или просто нечеткости введены Л.А.Заде. Вводя аппарат нечетких величин, Л.А. Заде исходил из того, что человек воспринимает величины нечетко. Например, автобус x , который характеризуется функцией прибытия (5.1), четко опаздывает или не опаздывает. Вместе с тем его характеристика прибытия "почти вовремя" или "задерживается" – не учитывается в модели (5.1). Учесть такую информацию можно заменой пары значений (0,1) функции $\mu_x(t)$ множеством значений из интервала $[0,1]$. Здесь, чем меньше время опоздания автобуса Δt , тем ближе значение функции принадлежности $\mu_x(t)$ к 1, и наоборот, чем больше Δt , тем ближе значение характеристической функции к 0. Таким образом, автобус x с точки зрения оценки его прибытия на станцию можно характеризовать парой $\langle x, \mu_x(t) \rangle$.

Любая нечеткая величина \tilde{a} задается упорядоченной парой $\tilde{a} = \langle a, \mu_a(x) \rangle$, в которой a – имя нечеткой величины, $\mu_a(x)$ – функция принадлежности, характеризующая степень нечеткости величины \tilde{a} , а $x \in X$ – элемент действительного подмножества. Совокупность нечетких величин \tilde{a} образует нечеткое множество \tilde{A} . Множество \tilde{A} содержит и величины, функция принадлежности которых имеет вид (5.1), т.е. нечеткое множество включает в себя четкое множество.

Функции принадлежности элементов нечеткого множества могут быть непрерывными или дискретными. Рассмотрим несколько случаев задания непрерывных функций принадлежности.

Пусть время прибытия автобуса на станцию по расписанию $t = d$, а время отклонения от расписания \underline{d} и \bar{d} , тогда функцию $\mu(t)$ удобно задать тройкой $(d, \underline{d}, \bar{d})$, для которой график функции представлен на рис. 5.1, а ее аналитическое выражение имеет вид (5.2).

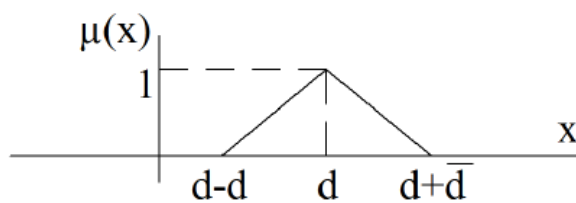


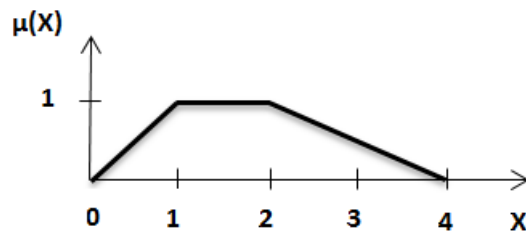
Рисунок 5.1 – График функции принадлежности треугольного вида

$$\mu(t) = \begin{cases} \frac{1}{\underline{d}}t + 1 - \frac{d}{\underline{d}}, & d - \underline{d} \leq t \leq d; \\ 1 - \frac{1}{\bar{d}}t + \frac{d}{\bar{d}}, & d + \bar{d} \geq t > d; \\ 0, & \text{в иных случаях.} \end{cases} \quad (5.2)$$

Формула (5.2) универсальна и применима для всех функций принадлежности заданных тройкой $(d, \underline{d}, \bar{d})$. Если величины отклонений \underline{d} и \bar{d} небольшие, то график функции на рис. 5.1 соответствует высказыванию "автобус прибыл на станцию почти вовремя".

Функция принадлежности может иметь и другие виды, например, трапецевидную, заданную на промежутке $(0,4)$ выражением

$$\mu(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1; \\ 1, & 1 < x \leq 2; \\ \frac{4-x}{2}, & 2 < x \leq 4; \\ 0, & \text{в иных случаях;} \end{cases}$$



или S-образную

$$\mu(x, a, b) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}}$$

где числовые параметры a и b такие, что $a > b$.

Нечеткое сообщение "автобус опаздывает" моделирует функция принадлежности, изображенная на рис. 5.2.

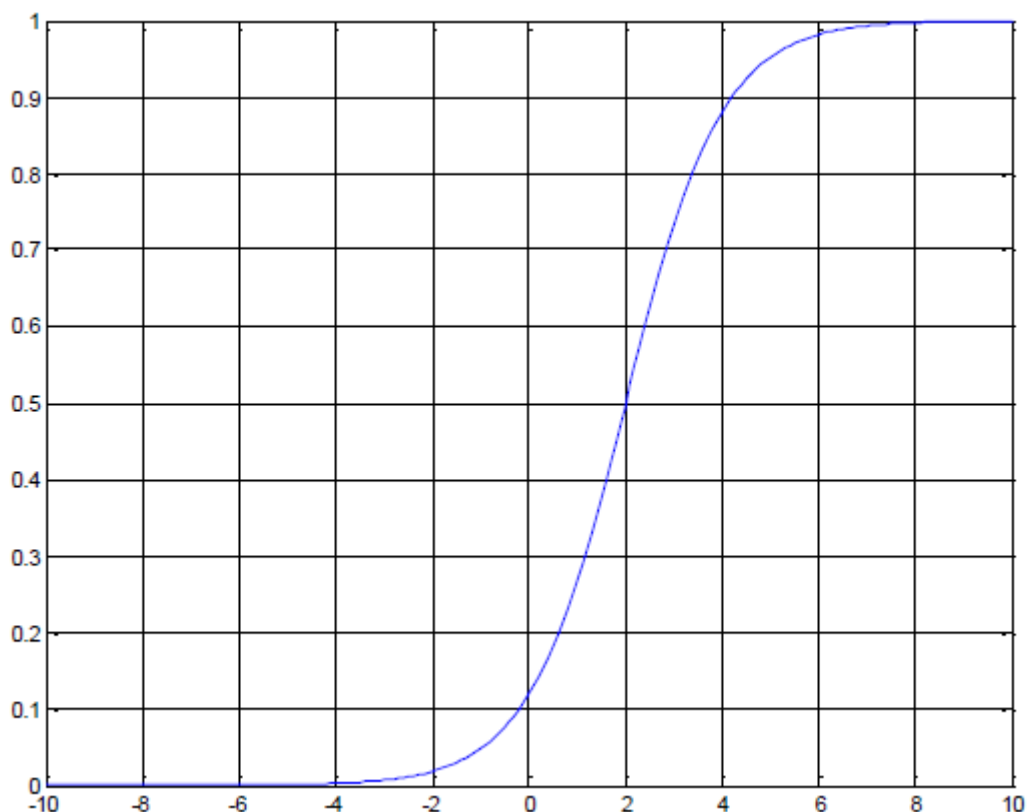


Рисунок 5.2 – График S-образной функции принадлежности при значениях $a = 1$ и $b = 2$

В дискретном случае функция μ определяется методом экспертных оценок одного или нескольких экспертов. Рассмотрим две простые методики проведения экспертного эксперимента.

Задача экспертизы 1. Пусть имеется множество нечетких категорий (высказываний) \tilde{B} , множество элементов X и m выбранных экспертов. Необходимо для заданных имен $x_i \in X$ определить значения функции принадлежности $\mu(x_i)$.

Методика решения задачи проводится по схеме:

- выбирается элемент испытаний x_i ;
- экспертами оценивается (по принципу "да" или "нет") нечеткая категория $\kappa \in \tilde{B}$ по отношению к испытываемому элементу x_i ;
- подсчитывается количество экспертов $m_i \leq m$, ответивших утвердительно при оценивании категории κ ;
- определяется значение $\mu(x_i) = \frac{m_i}{m}$.

Недостатком этой методики является то, что в эксперименте участвуют несколько экспертов, следовательно, результат экспертизы может иметь завышенную субъективность.

Задача экспертизы 2. Пусть в эксперименте принимает участие один эксперт и пусть задана таблица экспертных сравнений категорий κ_i и κ_j для элементов $x_i, x_j \in X$, $(i, j = \overline{1, n})$. Требуется определить значения функции принадлежности $\mu(x_i)$.

В решении задачи 2 используется таблица экспертных оценок, которая предлагается эксперту или строится экспертом. Методики построения таких таблиц разнообразны. Ниже приведен пример таблицы количественных оценок:

κ_i сравнение κ_j	Количество баллов m_{ij}
приблизительно равны	1
незначительно больше	3
больше	5
значительно больше	7
намного больше	9
промежуточные значения	2, 4, 6, 8

Процесс нахождения значений функции $\mu(x_i)$ следующий:

- выбираются конкретные элементы $x_i, x_j \in X$;
- эксперт по данным таблицы проводит сравнение категорий этих элементов и устанавливает количество баллов m_{ij} ;

- на значениях m_{ij} формируется асимметричная матрица $(m_{ij})_{i,j=1}^n$, в которой элементы подчинены условиям $m_{ii} = 1, m_{ji} = 1/m_{ij}$;

- выбирается произвольный столбец матрицы $(m_{ij})_{i,j=1}^n$, и определяются значения функции принадлежности, как
$$\mu(x_i) = m_{ij} / \sum_{i=1}^n m_{ij}.$$

Отметим, что при качественном процессе проведения экспертизы величина $\mu(x_i)$ практически не зависит от выбранного столбца матрицы.

Лекция 6. Принятие решений в условиях неопределенности

1. Применение нечеткостей в задачах принятия решений

Принятие решений в системном анализе на основе четких данных не всегда оправдано, так часто данные, на которых принимается решение не всегда четкие. К тому же результаты принятого решения на четких данных "сиюминутные" и для перспективных исследований, например, прогноза не корректны. Рассмотрим некоторые модели принятия решений при нечетких данных.

Предположим, что тарифы на перевозку изменяются в интервале $[\underline{b}_{ij}, \bar{b}_{ij}] = B_{ij}$, а количество перевозимых грузов четкое, тогда формальное представление (модель) задачи будет иметь вид:

$$\begin{cases} F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} z_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n z_{ij} \leq a_i, \\ \sum_{i=1}^m z_{ij} \geq d_j, z_{ij} \geq 0. \end{cases} \quad (6.1)$$

где двойная сумма $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} z_{ij}$ определяет финансовые затраты перевозок, а сум-

мы $\sum_{j=1}^n z_{ij}$ и $\sum_{i=1}^m z_{ij}$ задают количество груза отгруженного i -м производителем и количество груза полученного j -м потребителем соответственно.

Решение задачи (6.1) позволяет оценить интервальную целевую функцию F в зависимости от изменения тарифной политики из интервала $[\underline{b}_{ij}, \bar{b}_{ij}]$. В частности можно найти пессимистическое решение \underline{F} (минимальное значение нижней границы) и оптимистическое решение \bar{F} (минимальное значение верхней границы) из задач

$$\begin{cases} \underline{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \underline{b}_{ij} z_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n z_{ij} \leq a_i, \\ \sum_{i=1}^m z_{ij} \geq d_j, z_{ij} \geq 0. \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{b}_{ij} z_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n z_{ij} \leq a_i, \\ \sum_{i=1}^m z_{ij} \geq d_j, z_{ij} \geq 0. \end{cases}$$

Если к тому же состояние производств, выпускающих перевозимую продукцию, нестабильное, то модель задачи (6.1) усложняется.

Пусть тарифы грузоперевозок, количество перевозимых грузов и количества выпускаемой и потребляемой продукции заданы интервально, т.е. соответствующими интервалами B_{ij} , Z_{ij} , A_i и D_j . Если ввести правило сравнения интервалов, например, $A \leq B$ ($A \geq B$) так, что $\underline{a} \leq \underline{b}$ и $\bar{a} \leq \bar{b}$ ($\underline{a} \geq \underline{b}$ и $\bar{a} \geq \bar{b}$), то модель транспортной задачи следующая.

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} Z_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n Z_{ij} \leq A_i, \\ \sum_{i=1}^m Z_{ij} \leq D_j, \\ \sum_{i=1}^m A_i \leq \sum_{j=1}^n D_j, \quad \underline{z}_{ij} \geq 0. \end{array} \right.$$

На основании рассмотренных постановок задач можно построить другие комбинированные модели задач исследования и принятия решений транспортных систем. Так для учета удовлетворенности потребностей клиентуры следует ввести коэффициент неудовлетворенности $\lambda \in [\underline{\lambda}, \bar{\lambda}] = \Lambda$, где $0 \leq \underline{\lambda}$ и $\bar{\lambda} \leq 1$, и построить модель для этой задачи вида

$$\left\{ \begin{array}{l} |\Lambda| \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} Z_{ij} \leq \Lambda F^*, \\ \sum_{j=1}^n Z_{ij} \leq \Lambda A_i, \\ \sum_{i=1}^m Z_{ij} \leq \Lambda D_j, \quad \underline{z}_{ij} \geq 0. \end{array} \right.$$

Здесь F^* заданное значение функции цели (транспортных затрат или др.).

Если тарифы транспортных затрат определены нечеткостями первого рода \bar{b}_{ij} , то в модели транспортной задачи (6.1) необходимо четкую целевую функцию заменить новой нечеткой функцией и новым экстремальным выражением

$$\tilde{F} = \bigoplus_{ij} \tilde{b}_{ij} \otimes z_{ij} \rightarrow \min, \quad (6.2)$$

оставив неизменными ограничения. В (6.2) $\bigoplus_{ij} \tilde{b}_{ij}$ – дизъюнктивная сумма нечетких множеств тарифов транспортных затрат (все элементы множеств складываются между собой); \otimes – тензорное произведение множеств (все элементы множеств перемножаются между собой). С учетом сказанного получим новую нечеткую модель транспортной задачи:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{F} = \bigoplus_{ij} \tilde{b}_{ij} \otimes z_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n z_{ij} \leq a_i, \\ \sum_{i=1}^m z_{ij} \geq d_j, \quad z_{ij} \geq 0. \end{array} \right. \quad (6.3)$$

Решение построенной нечеткой задачи (6.3) можно найти, воспользовавшись приемом "спасения от нечеткости".

Пусть найдено α -сечение нечетких величин \tilde{b}_{ij} , которые задаются интервалами $[\underline{b}_{ij}, \overline{b}_{ij}]$. Заменяя в выражении (6.2) величины \tilde{b}_{ij} их α -сечениями $[\underline{b}_{ij}, \overline{b}_{ij}]$, получим интервальную модель задачи (6.1), которую удастся решить для заданного α -сечения. Если значение параметра α неизвестно, то интервальная задача (6.1) решается эвристическим методом.

Если в технологическом процессе перевозок наблюдаются сбои и их можно описать с помощью нечетких величин, например \tilde{a}_i и \tilde{d}_j , задачи (6.3), тогда обобщение этой задачи можно представить моделью (6.4):

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{F} = \bigoplus_{ij} \tilde{b}_{ij} \otimes z_{ij} \rightarrow \min; \\ \min \{ \mu_{\tilde{a}_i} (\sum_{j=1}^n z_{ij}) \}, \quad i = \overline{1, m}; \\ \max \{ \mu_{\tilde{d}_j} (\sum_{i=1}^m z_{ij}) \}, \quad j = \overline{1, n}; \quad z_{ij} \geq 0; \\ v = \sup \{ \mu_{\tilde{a}_i}(u) \wedge \mu_{\tilde{d}_j}(u) \} \in (0, 1]. \end{array} \right. \quad (6.4)$$

где $\tilde{a}_i = \bigoplus_{i=1}^m \tilde{a}_i$ и $\tilde{d}_j = \bigoplus_{j=1}^n \tilde{d}_j$, $v \in (0, 1]$ – коэффициент согласования задачи.

Значение коэффициента согласования существенно для выяснения согласованности, слабой согласованности или несогласованности задачи (6.4). Поясним это на примере.

Пусть ν – коэффициент согласования, который отражает смысл производимых грузов по отношению к потребляемым грузам. Если в системе перевозок большие запросы потребителей на поставки грузов, а у производителей проблемы с производством или доставкой грузов, то пересечение соответствующих функций принадлежностей равно нулю или близко к нулю. При $\nu = 0$ задача (6.4) – не согласована, и ее не следует решать. При значениях коэффициента ν близких к нулю задача (6.4) слабо согласована.

2. Случайность в ИТС и мера неопределенности

Традиционно в системном анализе неопределенность связывают со случайностью происходящих событий в самой системе, случайностью появления входных данных, наложением шумов на потоки информации и пр. Неопределенность в системах существенно влияет как на их состояния, так и на технологию ведения анализа систем.

Например, процесс транспортных перевозок сопряжен с рядом случайностей технического состояния подвижного состава, транспортных дорог, со случайным нарушением графика движения и др., что приводит к нарушению ритмичности работы транспорта.

Исследование систем с учетом случайностей связано с математическим аппаратом теории вероятностей. Однако, на практике вероятности определяются для регулярных (повторяемых) событий комбинаторным способом, для чего необходим долговременный статистический экспериментальный материал. Вместе с тем во многих случаях системных исследований такого материала нет. Это еще одна проблема неопределенности в системном анализе при использовании вероятностного подхода в исследованиях систем.

Во многих случаях системного анализа возникает вопрос количественной оценки неопределенности и степени ее влияния на управляемость, принятие решений, состояния и другие свойства систем. В роли такой меры неопределенности систем выбрана физическая энтропия оценки броуновского движения системы молекул в замкнутом пространстве. Энтропия связана с количеством информации силлогизмом "чем больше информации в событии (сообщении), тем большая в нем неопределенность". Определим энтропию через количественную меру информации.

Человек оценивает полученную информацию относительным показателем. Пусть a и b два события технологического процесса. Количество информации $I(a/b)$, заключенное в событии b относительно a , определяется числом

$$I(a/b) = \log \frac{p(a/b)}{p(a)}. \quad (6.5)$$

Если события одинаковы, т.е. $a = b$, тогда $I(a/b) = I(a)$ и условная вероятность $p(a/a) = 1$, поэтому количество информации в одном сообщении a : $I(a) = -\log p(a)$.

Пусть для некоторого технологического процесса проведено n экспериментов с некоторыми исходами $x_i \in X$, определяемыми ансамблем событий:

$$\begin{array}{cccc} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ p_1 & p_2 & \cdots & p_n \end{array} .$$

Количество информации любого события $I(x_i) = -\log p(x_i)$ есть случайная величина проведенного эксперимента.

Математическое ожидание количества информации определяет энтропию эксперимента

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i . \quad (6.6)$$

Рассмотренная технология проведения эксперимента служит инструментарием для практического нахождения энтропии.

Рассмотрим дополнительные свойства энтропии.

Пусть система S состоит из двух подсистем S_1 и S_2 таких, что $S_1 \cup S_2 = S$ и $S_1 \cap S_2 = \emptyset$. Состояния Z_1 и Z_2 соответствующих подсистем изменяются. Предположим, что сложные состояния $z_{ij} = (z_{1i}, z_{2j})$ системы S изменяются с вероятностями p_{ij} , тогда по аналогии с формулой (6.6) энтропия сложных событий представится выражением

$$H(Z_1, Z_2) = -\sum_i \sum_j p_{ij} \log p_{ij} . \quad (6.7)$$

Если состояния z_{1i}, z_{2j} системы S независимы, то $p_{ij} = p_i p_j$ и формула (6.7) изменится

$$H(Z_1, Z_2) = H(Z_1) + H(Z_2) .$$

При зависимых состояниях подсистем S_1 и S_2 можно говорить об условной энтропии, например, $H(Z_2/Z_1)$, которая определяет степень неопределенности остатка состояний подсистемы S_2 после того, как состояния системы S_1 определились.

$$H(Z_2 / Z_1) = -\sum_i \sum_j p_{ij} \log p(z_{2j} / z_{1i}).$$

Теперь сложная энтропия представляется через условные энтропии

$$H(Z_1, Z_2) = H(Z_1) + H(Z_2 / Z_1) = H(Z_2) + H(Z_1 / Z_2).$$

Рассмотрим способ задания данных четкими интервалами. Пусть интервал состоит из одного числа $k = [k, k]$, тогда его неопределенность нулевая, если количество элементов интервала увеличивается, неопределенность интервала не уменьшается. Так как количество элементов интервала A может быть непериодическим, то для оценки неопределенности таких интервалов следует использовать его длину. Тогда интервал нулевой длины имеет нулевую неопределенность, а большей длины – большую неопределенность. Заметим, что заданная таким способом неопределенность не объективна по причине того, что на интервалах одинаковой длины может находиться различное число элементов. Поэтому интервальная неопределенность не может быть определена единообразно

$$H(A) = \begin{cases} \log n, & n - \text{количество элементов на интервале,} \\ |A| \cdot \log |A|, & \text{непрерывный интервал.} \end{cases}$$

Для нечеткостей второго рода предлагается такая оценка неоднородности

$$H(\tilde{a}) = \int_x \mu_{\tilde{a}}(x) dx \log \left(\int_x \mu_{\tilde{a}}(x) dx \right),$$

которая для четкой величины обращается в ноль. В дискретном случае в формуле неопределенности интегралы заменяют суммами.

Лекция 7. Интеллектуальные системы на искусственных нейронных сетях

1. Нейронные сети в задачах формирования интеллектуальных систем транспорта

Для интеллектуальных систем транспорта, как и для других интеллектуальных систем, характерным является реализация при функционировании технической или технологической системы некоторых общих задач интеллектуального содержания (интерпретация сложных данных, обобщение, прогнозирование, сопоставление шаблонов на основе ассоциаций и др.), а также использование специализированного инструментария – моделей и методов нечеткого моделирования, нейронных сетей, генетических алгоритмов и т.п. Рассмотрим простейшие возможности применения нейронных сетей для создания элементов интеллектуальных систем транспорта. В основу рассматриваемых моделей задач интеллектуального управления положена абстрактная модель ассоциативной памяти, которая позволяет одинаковым, подобным образом представить широкий круг задач диспетчерского управления. На основе системного анализа общей оперативной задачи диспетчерского управления можно установить ряд ее характерных признаков. А именно, выявить следующую структуру "нормативной" работы системы диспетчерского управления. На основе сигналов от "датчиков", контролирующих параметры системы управления, в том числе и от таймера, указывающего этапы развития процессов, требуется выполнить процедуру комплексной оценки данных, осуществить "интерпретацию" данных об имеющем место состоянии, далее на основе анализа – выбрать рациональное, предписанное нормативами в том числе, управление. По сути, имеет место нечеткая продукция: (распознать, оценить) – (выполнить действие). Такая процедура управления повторяется многократно, причем управляющие воздействия принимаются через некоторый интервал времени, или же в зависимости от поступающих "сигналов", данных о состоянии контролируемой диспетчером системы.

Заметим, что в рамках описанной процедуры можно реализовать распространенную систему регулирования процессов "по отклонению". В случае выхода некоторой совокупности параметров из установленных диапазонов – вырабатывается определенное корректирующее воздействие. Таким образом, можно представлять и основу "машино-машинного" взаимодействия в интеллектуальных телематических системах.

Рассмотрим и оценим возможности реализации указанных выше систем диспетчерского управления на основе моделей нейронных сетей Хопфилда и Хэмминга.

Среди различных конфигураций искусственных нейронных сетей (НС) встречаются такие, в которых "обучение", вычисление весовых коэффициентов элементов модели, синапсов, выполняется только однажды перед началом функционирования сети. Эта процедура реализуется на основе информации об обрабатываемых данных, и все обучение сети сводится именно к этому расчету. Предъявление априорной информации можно расценивать как помощь "учителя". Фак-

тически сеть просто запоминает образцы до того, как на ее вход поступают реальные данные, и не может изменять свое поведение.

Из сетей с подобной логикой работы наиболее известны сеть Хопфилда и сеть Хэмминга, которые обычно используются для организации ассоциативной памяти.

2. Сеть Хопфилда

Структурная схема сети Хопфилда приведена на рис.8.1. Она состоит из единственного слоя нейронов, число которых является одновременно числом входов и выходов сети. Каждый нейрон связан синапсами со всеми остальными нейронами, а также имеет один входной синапс, через который осуществляется ввод сигнала. Выходные сигналы, как обычно, образуются на элементах аксонах.

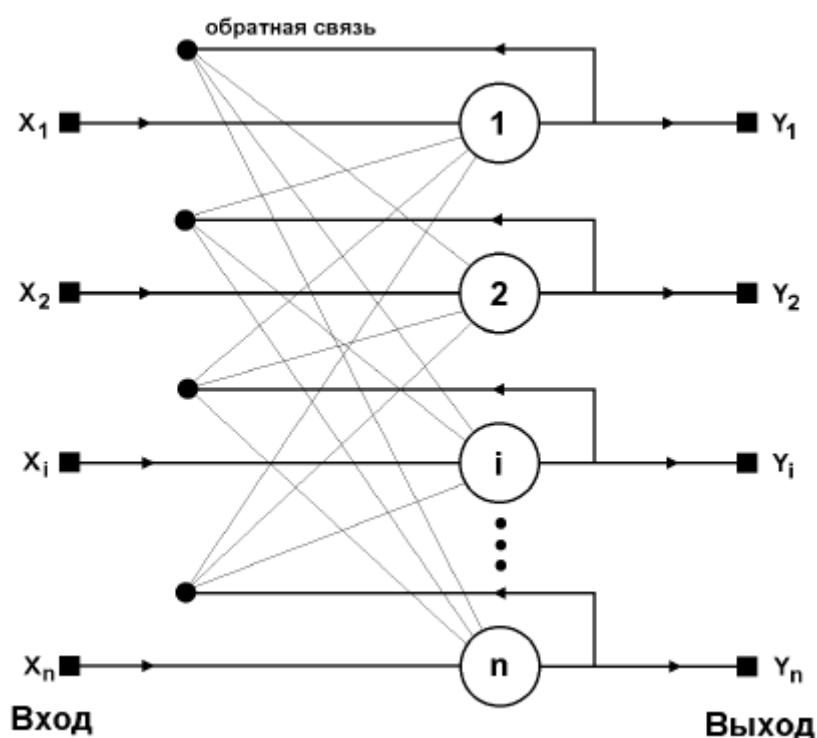


Рисунок 8.1 – Структурная схема сети Хопфилда

Задача, решаемая данной сетью в качестве ассоциативной памяти, как правило, формулируется следующим образом. Известен некоторый набор двоичных сигналов (изображений, звуковых оцифровок, прочих данных, описывающих некие объекты или характеристики процессов), которые считаются образцовыми. Сеть должна уметь из произвольного неидеального сигнала, поданного на ее вход, выделить ("вспомнить" по частичной информации) соответствующий образец (если такой есть) или "дать заключение" о том, что входные данные не соответствуют ни одному из образцов. В общем случае, любой сигнал может быть описан вектором $X = \{x_i: i=0...n-1\}$, где n – число нейронов в сети и размерность входных и выходных векторов. Каждый элемент x_i равен либо $+1$, либо -1 . Обозначим вектор, описывающий k -ый образец, через X_k , а его компоненты, соответственно, –

x_i^k , $k=0\dots m-1$, где m – число образцов. Когда сеть распознает (или "вспомнит") какой-либо образец на основе предъявленных ей данных, ее выходы будут содержать именно его, то есть $Y = Xk$, где Y – вектор выходных значений сети: $Y = \{y: i = 0, \dots, n-1\}$. В противном случае, выходной вектор не совпадет ни с одним образцовым.

Например, если сигналы можно интерпретировать как некие изображения, то, отобразив в графическом виде данные с выхода сети, можно будет увидеть картинку, полностью совпадающую с одной из образцовых (в случае успеха) или же не известную оператору (в случае неудачи).

На стадии инициализации сети весовые коэффициенты синапсов устанавливаются следующим образом:

$$w_{ij} = \begin{cases} \sum_{k=0}^{m-1} x_i^k x_j^k, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (8.1)$$

Здесь i и j – индексы, соответственно, предсинаптического и постсинаптического нейронов; x_i^k, x_j^k – i -ый и j -ый элементы вектора k -ого образца.

Процесс функционирования нейронной сети происходит поэтапно (итерационно). Пусть p – номер итерации, тогда алгоритм функционирования сети следующий:

1. На входы сети подается неизвестный сигнал. Фактически его ввод осуществляется непосредственной установкой значений аксонов:

$$y_i(0) = x_i, \quad i = 0\dots n-1, \quad (8.2)$$

поэтому обозначение на схеме сети входных синапсов в явном виде носит чисто условный характер. Ноль в скобке справа от y_i означает нулевую итерацию в цикле работы сети.

2. Рассчитывается новое состояние нейронов

$$s_j(p+1) = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} y_i(p), \quad j=0\dots n-1 \quad (8.3)$$

и новые значения аксонов

$$y_j(p+1) = f[s_j(p+1)] \quad (8.4)$$

где f – активационная функция в виде скачка, приведенная на рис. 8.2 (а).

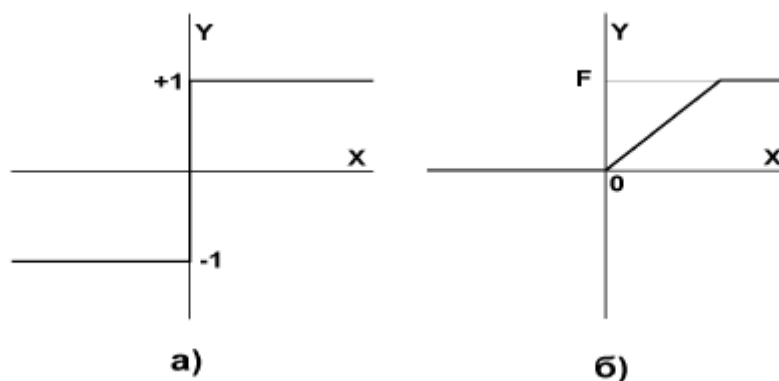


Рисунок 8.2 – Активационные функции сети Хопфилда

3. Проверка, изменились ли выходные значения аксонов за последнюю итерацию. Если да – переход к пункту 2, иначе (если выходы стабилизировались) – конец. При этом выходной вектор представляет собой образец, наилучшим образом сочетающийся с входными данными. Здесь можно считать, что система выполнила "логическую интерпретацию" набора входных сигналов, что позволяет выбрать наиболее рациональное управление.

В некоторых случаях сеть не может провести распознавание и выдает на выходе несуществующий образ. Это связано с проблемой ограниченности возможностей сети. Для сети Хопфилда число запоминаемых образов m не должно превышать величины, примерно равной $0.15 \cdot n$, где n – число входов сети. Кроме того, если два образа А и Б сильно похожи, они, возможно, будут вызывать у сети перекрестные ассоциации, то есть предъявление на входы сети вектора А приведет к появлению на ее выходах вектора Б и наоборот.

3. Сеть Хэмминга

Часто нет необходимости, чтобы сеть в явном виде выдавала образец, характеризующий сущность текущей ситуации. Если для управления достаточно получать номер образца, тогда ассоциативную память успешно реализует сеть Хэмминга. Данная сеть характеризуется меньшими затратами на память и объемом вычислений, что становится очевидным из ее структуры (рис. 8.3).

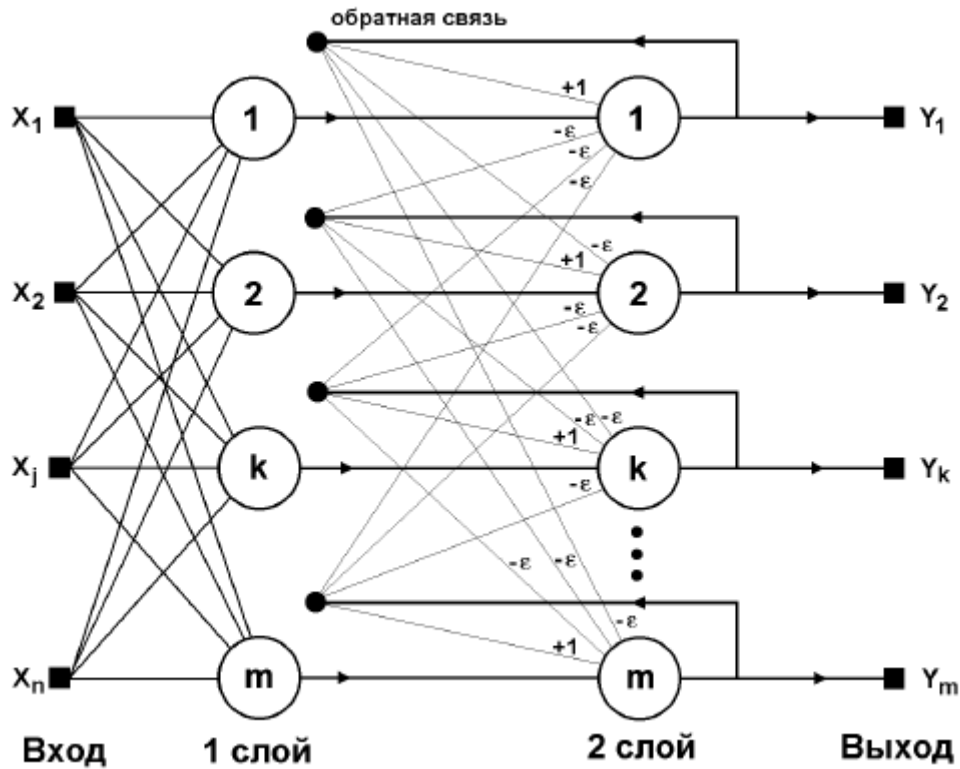


Рисунок 8.3 – Структурная схема сети Хэмминга

Сеть состоит из двух слоев. Первый и второй слои имеют по m нейронов, где m – число образцов, которые следует учитывать при выборе управлений. Нейроны первого слоя имеют по n синапсов, соединенных с входами сети. Нейроны второго слоя связаны между собой ингибиторными (отрицательными обратными) синаптическими связями. Единственный синапс с положительной обратной связью для каждого нейрона соединен с его же аксоном, выходом.

Идея работы сети состоит в нахождении расстояния Хэмминга от тестируемого образа до всех образцов. Расстоянием Хэмминга называется число отличающихся битов в двух бинарных векторах. Сеть должна выбрать образец с минимальным расстоянием Хэмминга до неизвестного входного сигнала, в результате чего будет активизирован только один выход сети, соответствующий этому образцу.

На стадии инициализации весовым коэффициентам первого слоя и порогу активационной функции присваиваются следующие значения:

$$w_{ik} = \frac{x_i^k}{2}, i=0...n-1, k=0...m-1 \tag{8.5}$$

$$T_k = n / 2, k = 0...m-1 \tag{8.6}$$

Здесь x_i^k – i -ый элемент k -ого образца.

Весовые коэффициенты тормозящих синапсов во втором слое берут равными некоторой величине $0 < \varepsilon < 1/m$. Синапс нейрона, связанный с его же аксоном имеет вес +1.

Алгоритм функционирования сети Хэмминга следующий:

1. На входы сети подается неизвестный вектор $X = \{x_i; i = 0, \dots, n-1\}$, исходя из которого рассчитываются состояния нейронов первого слоя (верхний индекс в скобках указывает номер слоя):

$$y_j^{(1)} = s_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} x_i + T_j, j=0 \dots m-1 \quad (8.7)$$

После этого полученными значениями инициализируются значения аксонов второго слоя:

$$y_j^{(2)} = y_j^{(1)}, j = 0 \dots m-1$$

2. Вычислить новые состояния нейронов второго слоя:

$$s_j^{(2)}(p+1) = y_j^{(2)}(p) - \varepsilon \sum_{k=0}^{m-1} y_k^{(2)}(p), k \neq j, j = 0 \dots m-1$$

и значения их аксонов:

$$y_j^{(2)}(p+1) = f[s_j^{(2)}(p+1)], j = 0 \dots m-1 \quad (8.8)$$

Активационная функция f имеет вид порога (рис. 8.2 б), причем величина F должна быть достаточно большой, чтобы любые возможные значения аргумента не приводили к насыщению.

3. Проверить, изменились ли выходы нейронов второго слоя за последнюю итерацию. Если да – перейди к шагу 2. Иначе – конец.

Из оценки алгоритма видно, что роль первого слоя весьма условна: воспользовавшись один раз на шаге 1 значениями его весовых коэффициентов, сеть больше не обращается к нему, поэтому первый слой может быть вообще исключен из сети (заменен на матрицу весовых коэффициентов), что и было сделано в ее конкретной реализации, описанной ниже.

Характеризуя приведенные примеры НС можно сделать следующее обобщение, имеющее системное значение. Сети Хопфилда и Хэмминга позволяют просто и эффективно разрешить задачу воссоздания образов по неполной и искаженной информации. Невысокая емкость сетей (число запоминаемых образов) объясняется тем, что, сети не просто запоминают образы, а позволяют проводить

их обобщение, например, с помощью сети Хэмминга возможна классификация по критерию максимального правдоподобия. Вместе с тем, легкость построения программных и аппаратных моделей делают эти сети привлекательными для многих применений. Таким образом, приведенные выше нейросетевые модели действительно позволяют единообразно решать целый класс задач формирования диспетчерских и других приложений, построенных на основе методик интеллектуального управления.

Лекция 8. Системный анализ городской интеллектуальной транспортной системы

Проведем СА области "Организация дорожного движения и перевозок" города, который выполняется для построения модели улично-дорожной сети города, транспортного потока, средств организации дорожного движения. В результате исследовательских разработок необходимо создать программный комплекс, содержащий базы данных, экспертные системы, системы моделирования, которые работают в едином пространстве данных. Потребность в увеличении затрат на развитие транспортной инфраструктуры продиктована необходимостью постоянного роста объема транспортных услуг, повышении надежности, безопасности и качества. С увеличением количества автомобилей (в местах концентрации транспортных потоков на участках сети, функционирующих в режимах, близких к пропускной способности) растут число дорожно-транспортных происшествий (ДТП), токсичные выбросы, шум; снижаются скорости движения, растут заторы в часы «пик», потери времени для участников движения, перепробеги, повышается расход топлива, увеличиваются эксплуатационные затраты. Учитывая стохастическую природу и динамичность дорожного движения, большую сложность оценки и прогнозирования изменений дорожно-транспортных ситуаций на сети автомобильных дорог, возникают потребности в использовании технологий ИТС систем. Интеллектуальная транспортная система характеризует комплекс интегрированных средств управления дорожным движением и перевозками, применяемых для решения всех видов транспортных задач на основе инфокоммуникационных технологий, методов моделирования транспортных процессов, программного обеспечения, организации информационных потоков в реальном масштабе времени. Современные тенденции развития ИТС показывают, что одной из основных целей их функционирования является предоставление мультимодальной информации не только для управленческих структур, но и персонально участникам движения.

Остановимся на вопросах использования СА при проектировании дорожных ИТС. Анализ и синтез сложной системы, подобной транспортной системе региона, предполагает использование системного подхода. ИТС как сложная система характеризуется следующими особенностями:

- наличием большого числа взаимосвязанных между собой элементов;
- многомерность и иерархичность системы, обусловленная большим числом связей между элементами;
- целостностью (эмерджентностью) системы;
- многокритериальностью, обусловливаемой имманентностью (несовпадением) целей отдельных элементов системы;
- многофункциональностью элементов системы;
- управляемостью;
- сложностью информационных процессов.

С позиций структурно-функционального подхода ИТС можно определить как единство структуры, функций и целостности. Структура характеризует элементы ИТС и их взаимодействие. Функции определяют природу связей между

элементами и поведением ИТС. Целостность выражает взаимозависимость структуры и функций ИТС и проявляется в наличии у реальной системы таких свойств, которые не присущи отдельным ее элементам и не выводимы из свойств этих элементов и способов их соединения.

На рис. 8.1 показана функциональная схема ИТС областного центра, которая представляет собой сложноорганизованную систему, характеризующуюся интегральным взаимодействием следующих факторов:

- ИТС является сложной динамической иерархической и стохастической системой, состоящей из многочисленных взаимодействующих и взаимосвязанных распределенных компонентов;
- ИТС представляет собой синергию транспортных, материальных, информационных, финансовых и др. потоков и процессов, образующих адаптивную систему, включающую объект и субъект управления;
- при формировании транспортной инфраструктуры должна использоваться интегральная логистическая парадигма, реализующая общую стратегическую или оперативную цель функционирования компонентов системы при оптимальном использовании в системе транспортных, материальных, финансовых, информационных и трудовых ресурсов, а также согласования локальных критериев функционирования компонентов ИТС с глобальной целью оптимизации.
- Целевая функция общесистемной проблемы оптимизации транспортной инфраструктуры и функционального состава ИТС является многокритериальной. В целом управление ИТС области не может быть полностью формализовано (алгоритмизировано), что вызывает необходимость построения комплекса формализованных моделей и неформальных (эвристических) процедур и представлений. Информационно-аналитическая и компьютерная поддержка функционирования ИТС должна охватывать как можно большее количество объектов и процессов управления.
- Для решения указанной проблемы на основе методологии системного анализа реализован логистический поход при формировании и управлении инфраструктурой, что потребовало развития соответствующих методик организации транспортных процессов и математического аппарата. При этом были актуальными постановки и решения задач в области структурного синтеза сложных систем со слабо формализуемыми внутренними связями. Синергетический эффект при проектировании ИТС проявляется в форме организационно обусловленного перехода от имманентности к синергии за счет расширенной системной и функциональной интеграции:
 - – постановка проблем организации движения и перевозок;
 - – функциональные требования пользователей и государства;
 - – разработка концепции функционирования ИТС;
 - – определение функциональных возможностей ИТС;
 - – транспортная, экономическая, информационная логистика;
 - – разработка управленческих решений по интеграции ИТС;

- – функциональная, институциональная, временная интеграция, интеграция баз данных;
- – развитие подсистем в каждой функциональной группе;
- – интеграция информационных потоков между подсистемами;
- – реализация конкретных функций ИТС.

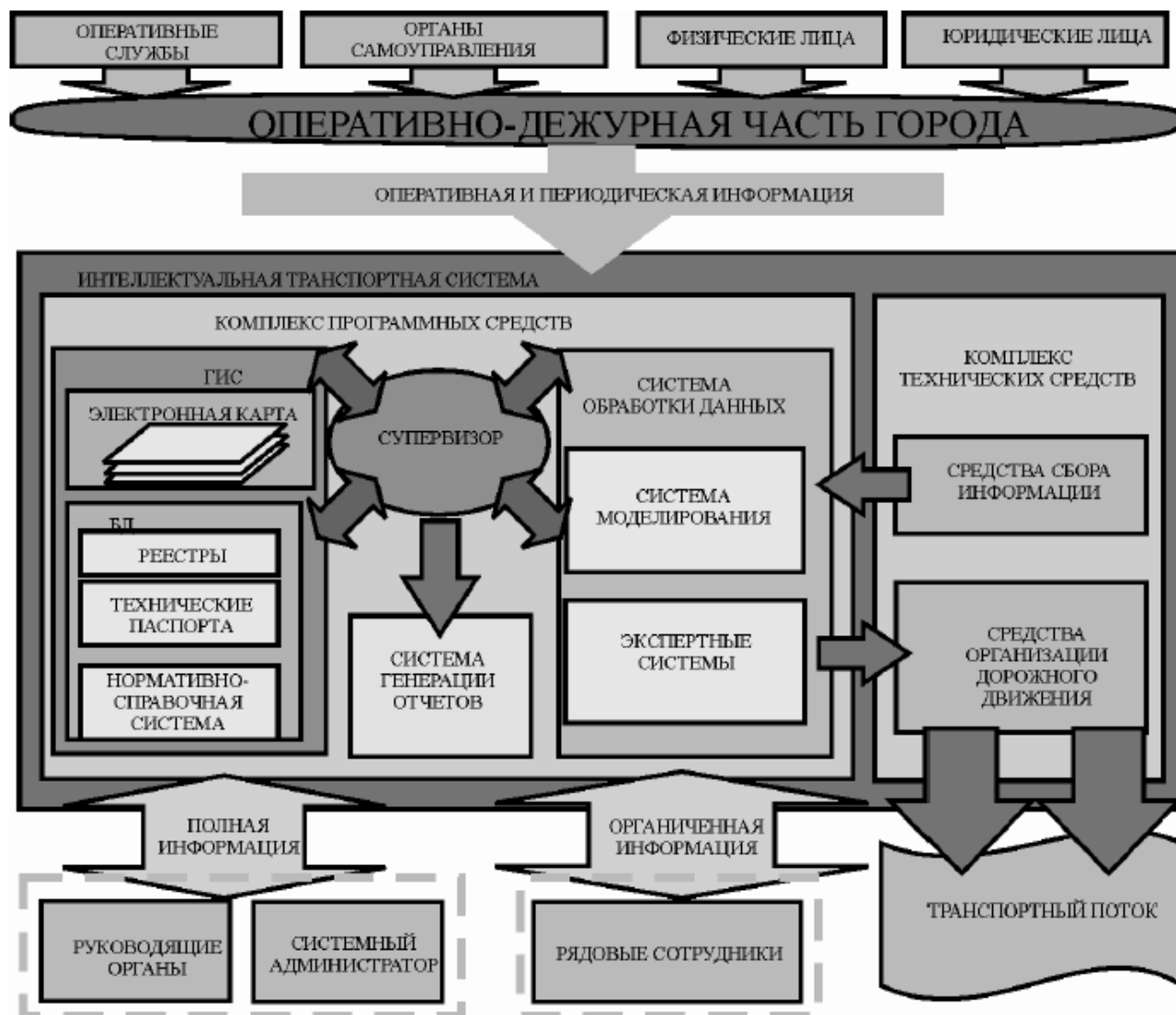


Рисунок 8.1. – Функциональная схема ИТС

Таким образом, ИТС является в некотором смысле синтезом субъектов и объектов логистического управления, которые являются экономически и функционально обособленными, имеют свои организационно-функциональные структуры и локальные критерии оптимизации функционирования, причем эти целевые характеристики подсистем в общем случае могут не совпадать с глобальной целью функционирования ИТС.

Программно-аппаратный комплекс ИТС области имеет функциональную схему, представленную на рис. 9.1. В первую очередь отметим "системность" этой структуры, которая представляет и связывает различных участников ИТС, элементов сложной дорожно-транспортной системы и системы регионального управ-

ления. Можно утверждать, что схема рис. 9.1 является результатом логического СА рассматриваемой проблемы. Она показывает, какой должна общая быть организация административного, технологического, информационного и программно-аппаратного комплексов, чтобы обеспечить формирование и функционирование ИТС.

Функционирование системы осуществляется по некоторому обобщенному сценарию. Например, в оперативно-дежурную часть города поступает информация от различных юридических и физических лиц, органов исполнительной власти, дорожно-патрульной службы, оперативных служб города: "101", "102", "103" и др. Данные записываются в соответствующие базы данных и обрабатываются по мере поступления запросов к ним. На основе этих и других подобных данных осуществляется оперативное планирование и управление подсистемами ИТС. Информационное обеспечение системы поддерживает комплекс программных средств, который включает в себя следующие компоненты:

- супервизор – сервер приложений;
- оцифрованная карта города на базе геоинформационной системы MapInfo;
- единое хранилище семантических данных;
- система обработки данных;
- система генерации отчетов др.

Сервер приложений является многокомпонентной системой, реализованной как набор СОМ-объектов. Основные СОМ-объекты бизнес-уровня системы:

- административный модуль, отвечающий за настройку конфигурации системы (управление системой авторизации и изменения уровня доступа, обеспечивает разграничение прав доступа, изменение служебно-технической информации);
- компонент, предоставляющий доступ к СУБД через MS ADO;
- компонент, предоставляющий доступ к ГИС, используя DCOM\COM интерфейс.

Географическая информационная система, как одна из подсистем ИТС, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. Это картографические данные о гео-объектах, их семантические атрибуты, справочники и некоторые дополнительные данные, необходимые для функционирования системы.

В состав ИТС входят подсистема сбора, хранения, редактирования и обработки информации, касающейся улично-дорожной сети (УДС) и объектов на ней, подсистема генерации сводных отчетов (XML-шаблоны отчетов), экспертные системы по вопросам дислокации технических средств организации дорожного движения на УДС города, дислокации постов дорожно-патрульной службы, проектирования структуры светофорного цикла, прогнозирования интенсивности движения транспортных потоков. Важнейшими в комплексе ИТС (рис. 9.1) являются системы моделирования координированного управления транспортным потоком; оптимального распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети города и др.

На основе анализа информации выдаются указания, предписания и рекомендации соответствующим службам: водоканалу, муниципальным энергетиче-

ским предприятиям, транспортным управлениям, аварийным службам и др. По запросам формируются отчеты для руководящих организаций и средств массовой информации.

Объектом системного исследования, выполненного в этом разделе, является комплекс информационно-аналитических технологий используемых в структуре ИТС для оптимального планирования и управления многокритериальными и многопродуктовыми потоками (транспортными, информационными и др.), которые образуются при учете специализации носителей потоков и условий неоднородной неопределенности состояний, а также текущих, оперативных данных. Анализ свойств и формирование технологий управления такими транспортными (грузопотоками и пассажиропотоками) и другими специализированными потоками составляет отдельную научно-прикладную проблему.

Актуальность проблемы СА потоков с неоднородными носителями вызвана рядом причин. Приоритетным направлением современного мирового развития является проблема мобильности, одной из составляющих которой выступает задача управления индивидуальными объектами, входящими в состав различных систем. Подавляющее большинство существующих технологических, экономико-математических и других математических моделей и соответствующих информационных технологий не в полном объеме учитывают специфические свойства элементов образующих потоки. Мощное развитие средств телематики открывает возможности усовершенствования комплекса информационно-аналитических технологий, предназначенных для повышения качества услуг и конкурентоспособности работы операторов по планированию и управлению многокритериальными и многопродуктовыми потоками в транспортных сетях. Именно множественность индивидуальных, но взаимодействующих элементов, имеющих собственные цели и ресурсы, определяет необходимость применения здесь методологии системного анализа.

Литература

1. Скалозуб В.В. Прикладной системный анализ интеллектуальных систем транспорта [Текст]: пособие / В.В. Скалозуб, В.М. Ильман – Днепропетровск, Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2013. – 221 с.
2. Ладанюк А.П. Основы системного анализа [Текст]: навч. посібник / А.П. Ладанюк – Вінниця, Нова книга, 2004. – 176 с.
3. Попов В.П. Теория и анализ систем [Текст] / В.П. Попов, И.В. Крайнюченко – Пятигорск, ПГГТУ, 2012. – 236 с.
4. Шарапов О.Д. Системный анализ [Текст]: навч.-метод. посібник / О.Д. Шарапов, В.Д. Дербенцев, Д.С. Семьонов – К.: КНЕУ, 2003. – 154 с.
5. Ніконов О.Я. Основы системного анализа [Текст]: навч. посібник / О.Я. Ніконов, А.І.Кудін, М.В. Костікова та ін. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 160 с.