

Vodohospodářské
soustavy

Проектирование ВОДО- ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ



Москва
Стройиздат

Е15.1/1

Предисловие	5
Введение	7
1. Наука о системах и входящие в нее дисциплины	9
1.1. Понятие "наука о системах"	9
1.2. Дисциплины науки о системах	9
1.3. Эволюция развития системных дисциплин	19
2. Системы в водном хозяйстве	25
2.1. Водохозяйственные системы	25
2.2. Выбор математической модели для расчета водохозяйственной системы	28
2.3. Последовательность разработки математической модели для многоцелевых водохозяйственных систем	32
2.4. Оценка водохозяйственных систем	39
2.5. Использование эвристических методов для анализа водохозяйственных систем	48
2.6. Прогнозирование при проектировании и эксплуатации водохозяйственных систем	50
2.7. Функции творческих и рабочих коллективов при разработке и эксплуатации водохозяйственных систем	55
2.8. Автоматическое управление водохозяйственными системами	58
3. Математические методы, используемые в теории систем	63
3.1. Теория вероятностей	64
3.2. Теория случайных процессов	103
3.3. Математическое описание поведения системы	127
3.4. Преобразование Фурье	132
3.5. Преобразование Лапласа	141
3.6. Z -преобразование	148
3.7. Основные понятия вариационного исчисления	149
4. Использование средств вычислительной техники в водохозяйственных системах	157
4.1. Характеристика вычислительной техники	158
4.2. Применение вычислительных машин для моделирования	163
4.3. Основы проектирования и организации работы вычислительного центра	177
4.4. Перспективы применения вычислительной техники в водохозяйственных системах	178
5. Модели оптимального программирования	179
5.1. Линейное программирование	179
5.2. Динамическое программирование	191
6. Имитационные модели водохозяйственных систем	203
6.1. Понятие "имитационная модель"	203
6.2. Свойства имитационных моделей	205
6.3. Организация работы по составлению имитационной модели	207
6.4. Анализ результатов и разработка методов оптимизации	225
6.5. Выбор вариантов расчета	228
6.6. Оценка возможностей применения имитационных моделей	229

书 号 _____

登记号 _____

**Prof. Ing. Dr. Ladislav Votruba, DrSc.,
a kolektiv**

Vodohospodářské soustavy

Spoluautoři:

Ing. Karel Nacházel, DrSc.

Ing. Quido Partl, CSc.

Ing. Zdeněk Kos, CSc.

Ing. Václav Zeman

Ing. Adolf Patera, CSc.



Praha 1979

SNTL-

Nakladatelství technické literatury

Проектирован водо- хозяйственных систем

**Перевод с чешского
Г. В. Шевалева**

**Под редакцией
канд. техн. наук В. Х. Отмана**

Москва Стройиздат 1984

Проектирование водохозяйственных систем/Пер. с чеш. Г.В. Шевалева; Под. ред. В.Х. Отмана. — М: Стройиздат, 1984. — 368 с., ил. — Перевод. изд.: Vodohospodářské soustavy/ L. Votruba a kolektiv (1979).

В книге коллектива специалистов ЧССР, возглавляемого Л.Вотрубой, рассмотрены проблемы инженерных решений в проектировании систем водного хозяйства: математические методы; процессы, используемые при теоретических исследованиях; основные методы анализа структуры и образования систем; модели основных систем; использование вычислительной техники при проектировании систем водного хозяйства; перспективы применения инженерных методов в этих системах. Разработаны модели оптимального программирования, имитационные модели водного хозяйства, модели теории запасов и массового обслуживания. Приложены примеры проектов систем водного хозяйства.

Для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций.

Табл. 54, ил. 90, список лит.: 457 назв.

Рекомендовано к изданию Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР.

3301000000 — 330
П ————— 157—84
047 (01) — 84

© SNTL — Nakladatelství
technické literatury, 1979

© Предисловие к русскому изданию.
Перевод на русский язык.
Стройиздат, 1984

Предисловие

Процесс интеграции в самом широком смысле этого слова характеризует те преобразования в политике, экономике и отдельных отраслях народного хозяйства, которые произошли за последние 30 лет. Чем больше ощущается потребность в связях между функционально связанными подразделениями и чем скорее они реализуются, тем легче из этих подразделений образуются системы. Возникающие большие системы требуют качественно нового подхода и решений в экономике, энергетике, на транспорте, а начиная с 50-х годов и в водном хозяйстве.

Современный инженер, а тем более инженер будущего, должен уметь найти научный подход в решении инженерных задач в соответствии со своими способностями. Научный исследователь изучает и объясняет природные явления и взаимосвязи между ними, а инженер создает что-то новое, неизвестное, но полезное. Если раньше инженерное дело было ближе к искусству, с которым оно имеет общие элементы, то в настоящее время оно приближается к науке.

Под воздействием современных требований сформировался новый тип научно-технического работника, не только теоретически обосновывающего возможность появления определенного продукта техники, но и способствующего его освоению в производстве. Возникает проблема применения творческой деятельности в прикладной науке. Появляются связи наука — исследование — производство, в результате чего наука становится непосредственной производительной силой.

При создании водохозяйственных систем на современном научном уровне необходимо опираться на соответствующие фундаментальные отрасли, например на анализ систем, теорию вероятностей, исследование операций и др.

Цель данной книги, ориентированной на решение проблем водного хозяйства, заключается в создании теории расчета сложных водохозяйственных систем на основе методов системного анализа. Так как терминология и понятия в этой области еще не установились, то их следует определять с учетом возможности использования и для других системных дисциплин, прежде всего для экономики.

Для облегчения изучения рассматриваемой проблемы в книге изложены элементы новых смежных наук, на которых основан расчет сложных водохозяйственных систем.

Для более глубокого изучения отдельных вопросов в книге даны ссылки на соответствующую литературу. С целью облегчения усвоения материала даются примеры. Книга рассчитана на читателей, знакомых с основами теории вероятностей и математической статистики, вычислительной техники, гидрологии и с регулированием стока вод посредством водохранилищ, и предназначена прежде всего для тех, кто занимается практическими вопросами разработки водохозяйственных систем. В ней не затрагиваются проблемы чистоты воды, водоснабжения, канализации, судоходства, гидроэнергетики, а рассматриваются лишь вопросы экономного использования водных ресурсов. Проблемы защиты от наводнений и воздействия на окружающую среду, как и вопросы обратных технико-экономических связей при расчетах водохозяйственного баланса, требуют самостоятельного и более глубокого исследования.

В разделах науки, занимающихся проблемами систем, много нерешенных вопросов, в том числе и в тех отраслях, в которых системы только начинают внедрять, т.е. в автоматическом управлении и экономике. Особенно рельефно это проявилось при попытках применения системных методов для решения проблем водного хозяйства (см. материалы Международного симпозиума по водохозяйственным системам в г. Карлови Вари, 1972 г.).

В книге рассмотрены принципы и основные методы расчета водохозяйственных систем, основанные на достигнутом уровне теоретических знаний, и важнейшие направления дальнейшего развития перспективных методов решения проблем водного хозяйства, базирующиеся на системном подходе.

Идея написания книги подобного рода была поддержана как Чешским техническим обществом, так и Государственным издательством технической литературы, которым авторский коллектив выражает благодарность за ее издание.

При написании книги мы имели возможность ознакомиться с материалами исследовательских работ и проектов Института водного хозяйства и строительства (Прага), кафедры гидротехники строительного факультета Чешского высшего технического училища, института Гидропроект (Прага) и других организаций, занимающихся проблемами водного хозяйства. В книгу включены результаты дискуссий с сотрудниками группы по проектированию водохранилищ и плотин при Комиссии водного хозяйства Чехословацкой академии наук и коллегами-инженерами как чехословацкими, так и зарубежными. Особенно ценными были для нас замечания рецензента. Выражаем благодарность всем оказавшим нам помощь при написании книги.

Прага, 30 апреля 1976 г.

*По поручению авторского
коллектива — Л. Вотруба*

Введение

Характер водного хозяйства требует комплексного решения связанных с ним проблем. Всякое вмешательство имеет, как правило, далеко идущие последствия как для самих гидроресурсов, так и для потребителей. Явления в природе взаимосвязаны и с общественными отношениями. Связи существуют в пространстве и времени. Возможности водоснабжения и потребность в воде носят стохастический характер и могут проявлять тенденцию к нестационарности.

При выборе варианта распределения водных ресурсов наряду с причинами экономического характера принимают во внимание и внеэкономические факторы. Речь идет о проявляющейся и в других областях тенденции исследования факторов, которые не могут быть измерены в экономических показателях (в некоторых случаях "неизмеряемые" факторы получают даже приоритетное значение, что накладывает свой отпечаток и на процесс выбора оптимального варианта функционирования систем). Методы оптимизации при этом сильно усложняются, а результаты могут носить случайный характер или вообще оказаться неверными.

Различные системы, в том числе и водохозяйственные, требуют новых методов расчета, которые можно также использовать и в других областях науки. Наиболее выразительной чертой, характеризующей современные научные исследования и процесс познания объективной реальности и ее изменений, следует признать распространение методов теории вероятностей и системного подхода к решению проблем. Можно предположить, что эти тенденции сохраняют свое значение в развитии методов научного познания мира.

Вероятностные методы используются в естественных, технических и общественных науках, таких, как физика, астрономия, кибернетика, биология, экономика, психология и др. Процесс признания вероятностных методов длился со времен Паскаля до Ферми, т.е. 300 лет. Несмотря на это теория вероятностей до недавнего времени ассоциировалась скорее с представлениями о неопределенности и неизвестности, чем с представлениями о надежном инструменте объективного познания явлений и процессов.

Внедрение вероятностных и статистических методов исследования в различные области знания сопровождалось их постоянным совершенствованием. Методы теории вероятностей применяются и в новых математических дисциплинах, например в теории информации, теории игр, исследовании операций, теории надежности и др. В физике появилась в противовес ньютоновской механике статистическая механика. М. Борн провозгласил вероятность краеугольным камнем физики.

В социологических исследованиях статистические методы используют для исследования количественных закономерностей в обществе. Наряду с другими, законы статистики считаются законами природы.

В кибернетике, изучающей закономерности поведения сложных динамических систем, понятие вероятности является предпосылкой для объяснения ее основ и связанных с ней понятий (информация, организация, управление и т.п.). Детерминированный подход в данном случае недостаточен и неточен, так что единственными инструментами для изучения этих понятий являются методы теории вероятностей.

Системный подход предполагает как общие исследования объектов, так и рассмотрение их на отдельные элементы, что позволяет изучить конструкцию, организацию и соответствие объекта его функциональному назначению. Исследуемый объект представляет собой систему, рассматриваемую как единое целое, отдельные элементы которого неразрывно связаны. Таким образом, при системном подходе к изучению объекта его рассматривают как единое целое, даже в случае изменения одного или нескольких его элементов.

Как и в других областях научного познания, в системном подходе исследования мира греческая натур-философия служила инструментом диалектического познания явлений. Исходя из своего принципа гармонической взаимосвязи явлений

(одного из самых великих открытий человеческого разума), пифагорейцы пришли к открытию всемирных законов (Волков, 1975). Как говорит Ван дер Верден, характерной и совершенно новой чертой греческой математики был системный подход, применяемый на практике путем последовательного исследования одного явления за другим. Дialeктика, заключенная в системном подходе, является, очевидно, самым ценным из того, что оставили греческие философы человечеству. Мир представляется им в виде "бесконечного сплетения взаимосвязей и взаимодействий явлений, в которых ничто не остается тем, чем было, где было и как было, но все находится в постоянном движении, изменяется, возникает и исчезает" (Маркс, Энгельс, 1966).

Системный подход можно охарактеризовать как метод комплексного исследования явлений в их внутренней и внешней взаимосвязи. Тем самым соблюдается основное требование диалектических методов, в достоверности которых не приходится сомневаться и которые предполагают рассмотрение всех связей как необходимого условия реального познания мира. Исходя из этого водохозяйственные системы также не могут быть изучены без рассмотрения всех внутренних связей между их элементами и взаимодействия с внешней средой, даже если наши знания о каждом элементе в отдельности и окружающей среде совершенны.

Системный подход, с его диалектическим характером может быть использован в любой отрасли знаний, при этом он не является основой для самостоятельного отрасли исследований, имеющей свои объекты и методы.

В новых областях науки системный подход тесно связан с вероятностными представлениями об организации и поведении сложных динамических систем. Если сущность структуры и поведения сложных систем имеет вероятностный характер, то становится очевидным, что при их исследовании необходимо одновременно учитывать обе тенденции, т.е. вероятностный и системный подходы, поскольку вероятностные концепции развивались независимо от системного подхода. Это вызывает необходимость анализа понятий и закономерностей теории вероятностей на основе закономерностей системного подхода.

Вероятностные методы решения и теперь не потеряли своего важного значения для объяснения всеобщих объективных закономерностей и причинной обусловленности явлений природы и общества. При расчете водохозяйственных систем наряду с подавляющим числом явлений вероятностного характера мы встречаемся и с детерминированными явлениями, и наоборот, наряду с теми, которые могут быть точно измерены, встречаются явления, которые можно охарактеризовать лишь качественно, а также и такие, которые совсем неизвестны или изучены недостаточно. Исходя из значимости явлений для исследования, оптимизации структуры и поведения водохозяйственных систем используют как методы теории вероятностей, детерминированные методы, так и эвристические методы, или же комбинацию этих методов.

Но ни при каких условиях нельзя исключить системный подход при расчете водохозяйственных систем как основной и всеобъемлющий метод. Преимущества системных методов решения задач не могут быть восполнены никакими другими методами. Однако это не исключает возможности введения определенных упрощений в качестве методических приемов при решении задач.

Новые методы планирования, разработки и расчета сложных разветвленных систем используют приблизительно с 1960 г. Благодаря распространению вычислительной техники существует реальная возможность практического применения этих методов. Синтез нового методологического подхода и ЭВМ привел к существенным качественным изменениям в методологии решения различных задач.

Однако для полного освоения нового метода предстоит сделать еще очень многое. Как и в каждой новой, быстро развивающейся области знаний, здесь имеется еще много неясностей относительно возможностей и методов использования системного подхода.

1. НАУКА О СИСТЕМАХ И ВХОДЯЩИЕ В НЕЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. ПОНЯТИЕ "НАУКА О СИСТЕМАХ"

Наука о системах — это наука, предметом изучения которой являются системы, а методология решения задач характеризуется системным подходом. Системы, представляющие собой множество взаимодействующих элементов, могут определять как природные, так и общественные объекты, а также могут быть материальными и нематериальными, конкретными и абстрактными, реально существующими и проектируемыми, статическими и динамическими, детерминистическими и вероятностными.

Методы науки о системах дают возможность определять их, выделять из окружающей среды, воспроизводить, наглядно представлять, анализировать и оптимизировать их структуру и поведение. Для этой цели используют методы новых научных дисциплин и современные технические средства. Поэтому наука о системах взаимосвязана с другими науками, а ее эффективность обусловлена системным подходом как в теоретическом плане, так и в практическом использовании.

Отдельные дисциплины науки о системах (кибернетика, исследование операций и др.) имеют настолько индивидуальные свойства (предмет изучения и методы исследования), что их можно выделить в самостоятельные научные области.

Происходит непрерывный процесс конкретизации предмета исследования отдельных областей системных наук, а также и уточнение применяемой терминологии. Для водохозяйственных систем, имеющих в основном технико-экономический характер, установим классификацию системных наук в следующем порядке: общая теория систем, кибернетика, инженерные системы, исследование операций и системный анализ.

Если первые две области науки имеют чисто теоретический характер, то три последние можно отнести к ее прикладным областям. Однако установить четкое разграничение между данными научными дисциплинами довольно трудно. Эти области науки подразделяются на ряд других, каждая из которых пользуется присущей ей методологией, постепенно выделяясь в самостоятельные области знаний.

1.2. ДИСЦИПЛИНЫ НАУКИ О СИСТЕМАХ

1.2.1. **Общая теория систем.** Общая теория систем рассматривает наиболее общие научные принципы существования, описания и поведения систем. Вслед за Л. Берталанффи (1935, 1959 и др.) общей теорией систем занимались К. Боулдинг (1956), Л.Л. Аскофф (1963), Чёрчмэн (1963, 1964), М.Д. Месарович (1963, 1964), А. Рапопорт (1963, 1966), В.Г. Беннис (1962) и др. Общая теория систем изучает: общую системную терминологию и метаязыки для описания систем; условия существования систем и описание с их помощью исследуемых объектов; принципы изоморфности систем; цели и поведение систем; сравнение

методов исследования, применяемых в естественных и социальных науках и общие направления развития системных дисциплин в физике, биологии, языкознании, социологии.

Отношение различных исследователей к теории систем настолько различно, что можно говорить о существовании самостоятельных школ. Наиболее известной является школа Берталанди, особенность которой заключается в том, что ее последователи не ограничиваются необходимостью формализации систем и связывают их общую теорию с задачами практического использования. М.Д. Месарович придерживается принципа формального подхода к теории систем и использует абстрактные системы для моделирования множества реальных систем; в данном случае используются прежде всего технические возможности формализации.

Чёрчэн также придерживается формального подхода к теории систем, основываясь в своих "аксиомах" на обобщенных системах, для оптимизации которых он применяет общую теорию систем.

Л.Л. Аскофф исследует общие свойства законов, открытых в различных областях знаний, как метод познания явлений, и отбрасывает возможность изучения проблемы с точки зрения многих дисциплин для последующего обобщения. Наоборот, он рекомендует решать проблему в целом и выделять из сложной системы абстрактные упрощенные составляющие.

Применительно к водохозяйственным системам интересны взгляды В.Г. Бенниса об организации и решении экономических систем (Габр, Вепршек, 1972), который рекомендует в качестве показателя системы использовать критерий множества целей, поскольку в действительности системы решают несколько задач (например многоцелевые водохозяйственные системы). Системы, удовлетворяющие поставленным требованиям, считаются эффективными, а остальные — неэффективными. Этот метод комплексной оценки сложных систем можно считать надежным при условии, что удастся установить критерий оценки степени удовлетворения отдельных поставленных задач.

Беннис считает, что основным критерием эффективного функционирования системы является способность адаптации ее к внутренним и внешним изменениям. При отсутствии таких качеств система не может нормально функционировать в изменяющихся (динамических) условиях. Таким образом, жизнеспособной будет такая система (в том числе и водохозяйственная), в которой заложена возможность анализировать происходящие как в ней самой, так и в окружающей среде изменения, а работа подсистем подчинена функциональному назначению системы в целом, и которая может адаптироваться к внутренним и внешним изменениям.

Философские аспекты неотделимы от современной теории систем. Философия, основным источником развития которой является обобщение результатов отдельных конкретных областей науки, также рассматривает такие довольно близкие к диалектическому восприятию мира понятия, как "система" и "структура". Отдельные науки (биология, математика, логика и др.) по-разному определяют эти понятия, в то время как философия стремится постигнуть общие закономерности, присущие этим наукам, не отдавая приоритета ни одной из них.

Согласно философским понятиям (Кравец, 1970), с гносеологической точки зрения существует два вида существенно отличающихся систем:

материальные и идеальные (концептуальные, т.е. описывающие общий замысел).

Материальные системы — это объективно существующие независимо от воли человека системы. К ним можно отнести, например, атом, живой организм, город, водохозяйственную систему, т.е. не только естественные, но и искусственно созданные и существующие независимо от сознания человека системы.

Идеальные системы, наоборот, существуют лишь в сознании человека. К ним относятся, например, математические модели, аксиоматические теории, в области водохозяйственных систем — спроектированные водонапорные системы и т.п.

Необходимо отметить, что между двумя видами систем существует тесная взаимосвязь, обусловленная тем, что идеальные системы, как правило, являются опосредствованным, обобщенным отражением материальных систем в моделях, теориях, понятиях и представлениях человека.

Материальные и идеальные системы отличаются, но общие закономерности их функционирования должны быть одинаковыми. Такая зависимость (аналогия) называется изоморфностью, а соответствующие идеальные системы представляют собой изоморфное отображение материальных (реальных) систем. Если же в поведении систем обоих видов не достигнуто полного соответствия, различие между ними не должно превышать определенного предела, так, чтобы при переносе результатов, полученных для идеальной системы, на реальную систему не превысить допустимого предела несоответствия (погрешности).

1.2.2. Кибернетика. Основоположник кибернетики Норберт Винер в своих книгах (1948, 1961) дал ей определение как науке об управлении и изучении живых организмов и машин¹. Воспользуемся термином А.Н. Колмогорова, согласно которому кибернетика — это наука о любых системах, способных воспринимать, хранить, перерабатывать информацию и использовать ее для управления и регулирования процессов. Можно понимать кибернетику и как науку о поведении и управлении сложными системами. Кибернетика как самостоятельная область науки имеет свой предмет изучения, теорию и методы.

Предметом изучения кибернетики являются динамические системы, которые она изучает с точки зрения обмена информацией между ними и окружающей средой, а также исследует структуру этих систем с точки зрения обмена информацией между отдельными их элементами (Клир, Валах, 1965). Поскольку элементом системы или окружающей среды может быть и человек, и машина, а обмен информацией может происходить во всех направлениях (между людьми, между человеком и машиной и между машинами), предметом кибернетики становится также процесс передачи и обработки информации в системах автоматического управления (САУ).

Особое значение имеет постулат Винера, согласно которому процессы обмена информацией и управления в живых организмах и в САУ аналогичны (но ни в коем случае не тождественны), поэтому на повы-

¹ Термин "кибернетика" впервые ввел Платон для науки о вождении судов. А.М.Ампер вновь ввел этот термин, но заслуга современного распространения этого термина принадлежит Н. Винеру.

шение информативности или на уменьшение энтропии могут воздействовать как живые организмы (люди), так и машины. Кибернетика не рассматривает процессы перехода вещества из одного состояния в другое и обмена энергии, а исследует процесс обмена информацией как между системой и окружающей средой, так и между отдельными элементами этой системы. Таким образом, можно сказать, что кибернетика рассматривает системы лишь в информативном аспекте.

Саморегулирующиеся системы не могут существовать без обратных связей, имеющих в кибернетике большее значение, чем в других областях. Принцип их действия сформулировал Винер; на основе получаемой информации организм воздействует на внешнюю среду, а внешняя среда воздействует на организм. И в этом смысле существует аналогия между живым организмом и автоматически управляемой системой.

Для совершенствования технических систем и машин необходима более широкая аналогия с другими живыми организмами и машинами применительно к процессу переноса и использования информации.

Одним из свойств систем можно считать адаптивность и способность к обучению. Живой организм обладает способностью самосовершенствования на основе приобретенных опыта и знаний. По аналогии с живыми организмами перед кибернетикой поставлена подобная задача, что существенно повышает затраты на автоматизацию. Уже проводится исследование с целью изучения возможности обучения машин к воспроизводству себе подобных, а в перспективе — и более сложных, чем они сами, машин.

Методы кибернетики обусловлены ее предметом. К ним относятся: теория передачи информации, информационные системы, теория регулирующих и обучающихся систем, общая теория систем, аналогии и моделирование.

Кибернетика изучает не отдельные элементы в системах или связи между ними, а системы в целом; что система делает, а не из чего она состоит. Таким образом, кибернетика исследует реакции на воздействия, т.е. поведение систем, и тем самым имеет много общего с общей теорией систем.

У.Р. Эшби (1961) рассматривает кибернетику как науку, изучающую любые формы поведения, если они являются регулярными, определяемыми и воспроизводимыми. Он считает, что преимущества кибернетики проявляются при изучении поведения сложных систем.

Особое внимание Эшби уделяет системам, которые недоступны для прямого наблюдения, и вводит в научные методы исследования (в частности, в кибернетические) заимствованное из электроники понятие "черный ящик". При исследовании "черного ящика" основными являются входные и выходные данные. В данном случае нас не интересуют процессы преобразования входных данных в выходные.

Гибл и Шкабрада (1968) довольно настороженно относятся к перспективе внедрения кибернетики для решения экономических задач. Они считают, что каждый отдельный индивидуум в экономических, а тем более в общественных системах, представляет собой кибернетическую систему с целенаправленным поведением. Для обеспечения нормальной работы такой системы необходимо обеспечить соответствие индивидуальных целей целям всей системы (см., например, рассуждения Бенниса по этому вопросу). Это рассуждение справедливо

не только в отношении экономики, но и для наук о поведении людей (психологии, социологии).

Хотя кибернетика в основном применялась для технических систем, накопленный ею опыт используется и для других сложных систем вместе с присущими ей понятиями и методологическими принципами.

1.2.3. Инженерные системы. Инженерные системы представляют собой одну из системных дисциплин с широким диапазоном применения, но содержание каждой из них существенно различается в зависимости от области использования в технике. Однако как сам предмет изучения инженерных систем не имеет точного определения, так не существует и единой методологии их расчета.

Можно утверждать, что применительно к водохозяйственным системам инженерные системы представляют собой прикладную системную дисциплину, задача которой заключается в обеспечении проектирования, строительства и эксплуатации разветвленных и сложных технико-экономических систем на основе системного подхода с использованием соответствующих дисциплин и методов науки о системах, с целью достижения оптимального функционирования системы в целом. Различные авторы по-разному подходят к этому вопросу.

А.Д. Холл (1962) сформулировал задачи инженерной системы в масштабах предприятия следующим образом: собрать информацию для разработки перспективных планов, наметить долгосрочные цели, сбалансировать перспективные планы с источниками снабжения и имеющейся рабочей силой, подчинить отдельные проекты выполнению главной задачи, предусмотреть тенденции развития и подготовиться к возможным изменениям, исследовать новые явления и использовать их для практического решения задач, проработать все этапы исходя из условия, что степень подробности и точности разработки зависит от фазы развития процесса.

Гуд и Мэчел (1957) утверждают, что инженерные системы следует рассматривать как комплекс проблем, связанных с разработкой разветвленных, сложных, высокоавтоматизированных технических систем.

Дж. Хабр отмечает, что инженерная система является примером применения системного подхода в технических дисциплинах. Главное внимание в инженерных системах уделяется разработке системы и ее реализации. Он вводит термин "системное проектирование", что представляет собой эквивалент термина "разработка инженерных систем", при этом часто имеют в виду разработку оптимальных проектов или оптимальных концепций. Предполагается, что система должна выполнять свои функции автоматически или при минимальном участии человека.

З. Даб в своей последней книге (1973) пишет, что системы средств и методов, позволяющих реализовать выбранные критерии при исследовании, проектировании, монтаже, подготовке, контроле и при эксплуатации образуют так называемые инженерные системы.

Бенеш считает, что инженерное проектирование как техника крупномасштабных систем — это разработка, проектирование, создание и эксплуатация больших систем, в которые, как правило, не включаются люди. В рамках инженерного проектирования систем решают задачи выбора подсистем и их отдельных элементов таким образом, чтобы они наиболее эффективно удовлетворяли требованиям большой системы в целом, а также осуществляют творческую разработку проектов больших

систем и технических средств, необходимых для реализации этих проектов. При инженерном проектировании крупномасштабных систем принимают во внимание как технические и организационные, так и экономические аспекты.

Поскольку одной из важнейших черт прогресса является комплексная автоматизация, при рассмотрении и оценке систем большее внимание следует уделять комплексности охвата ее проблем, чем полной автоматизации. Комплексное решение проблем требует больших затрат при проектировании и реализации систем. Инженерное проектирование систем предназначено для технического решения крупномасштабных проектов.

Инженер по проектированию систем должен знать проблемы, связанные с разработкой сложных систем, методы их решения и направлять рабочий коллектив на достижение поставленных целей с минимальными затратами. Поэтому он должен уметь точно, сообразуясь с законами логики, обдумывать, находить и передавать информацию, выбирать эффективные пути решения задачи, оптимально использовать возможности коллектива и заслужить его доверие. Если он не в состоянии овладеть знаниями во всех областях производственной деятельности, то должен быть специалистом по крайней мере в одной из них (экономике, водном хозяйстве, химии, вычислительной технике и т.п.). Основной профессиональной чертой инженера по проектированию систем является способность воспринимать в целом систему, которой подчинена разрабатываемая подсистема, таким образом, чтобы наиболее эффективным путем достигнуть глобальной цели, поставленной перед системой (способность к системному мышлению).

В книге Р.Е. Мэчела и др. (1965) рассмотрены методы, применяемые при проектировании инженерных систем:

теория систем: теория информации, теория игр, теория принятия решений, симплекс-метод, линейное и динамическое программирование, теория массового обслуживания, марковские процессы, теория обратных связей, адаптивные системы и т.п.;

системотехника: обработка информации, моделирование (имитация), испытания систем, экономика, руководство проектными работами и т.д.;

отдельные разделы математики: теория вероятностей, численный анализ, преобразование Лапласа и др.

Иногда все теории и методы проектирования инженерных систем объединяют понятием системного анализа (анализа систем) как одного из разделов теории систем, который изучает методы анализа структуры и поведения системы. При этом необходимо иметь в виду, что при проектировании инженерных систем применяют теории, методы, технику, которыми коллектив располагает для достижения поставленной цели. Таким образом, основной методологический принцип заключается в эффективном использовании всех современных специальных методов расчета систем.

Несмотря на то, что проектирование инженерных систем в технике нашло широкое применение, в экономике это направление делает только первые шаги.

1.2.4. Исследование операций. Исследование операций является прикладной системной дисциплиной, применяемой для комплексного ре-

шения реальных сложных технических, управленческих и экономических проблем, которые могут быть представлены в виде сложных систем. Впервые этот метод был применен в Великобритании в 1937 г. в качестве методической основы для разработки операций в военной авиации (отсюда и название "операционный"). Во время второй мировой войны с помощью этого метода решали задачи снабжения, транспорта и т.п., а в мирное время этот метод нашел широкое применение в 50-х годах вследствие развития вычислительной техники.

Поскольку содержание термина "исследование операций", изменявшееся в направлении от комплексного и системного понятия к изложению отдельных методов, до настоящего времени не имеет четкого определения, нам кажется удачным определение Вальтера (1973): исследование операций — это комплекс различных методов, прежде всего математических, с помощью которых можно получить научно обоснованные результаты решения сложных технико-экономических проблем, имеющих многовариантное решение.

Морзе и Кимбэл (1951) характеризуют исследование операций как научный метод поиска количественной базы для принятия исполнительными органами решения по отдельным операциям, которыми они управляют.

И. Вепришек (1970) определил сущность исследования операций как способ научной групповой работы, с помощью которого коллектив специалистов в различных областях знаний решает сложные проблемы применительно к данному объекту, рассматриваемому как система и исследуемому с помощью знаний из различных областей науки.

Связь между исследованием операций и системным анализом можно выразить более точно следующим образом: одним из методов анализа систем может быть исследование операций. Хитч (1955) пишет, что системный анализ является последующим этапом исследования операций.

В исследовании операций используют главным образом методы моделирования и прежде всего математического моделирования. Для создания модели сложных явлений необходимо использовать труд коллектива специалистов по различным вопросам. Для решения задач методами исследования операций часто недостаточно даже средств современной вычислительной техники, поскольку просмотр множества вариантов и нахождение оптимального из них представляет собой весьма трудоемкий процесс.

В исследовании операций используют такие методы и дисциплины, как линейное программирование, методы сетевого анализа, методы имитационного моделирования, теория игр, теория массового обслуживания, теория управления запасами, теория восстановления и др. Поскольку исследование операций имеет связующий характер между отдельными дисциплинами, в нем используются методы технических наук, экономики, биологии, математических наук и т.п.

Исследование операций, включающее в себя ряд самостоятельных методов и областей науки, не предназначено для формализации и постановки проблем. Разработка системного описания для объекта и определение условий для его успешного исследования возможны лишь при системном подходе к ней (например с помощью системного анализа), но для решения частной ограниченной задачи можно использовать один из методов исследования операций.