

**Леонид
Мечеславович
Рекс**

**СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
МЕЛИОРАТИВНЫХ
ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ**

**МОСКВА
Издательство «АСЛАН»
1995**

*Посвящаю светлой памяти отца
Рекса Мечислава Болеслаовича,
строителя-железнодорожника.*

УДК 631.6.003

Рекс Л.М.

Системные исследования мелиоративных процессов и систем. — М.: Издательство «Аслан», 1995. — с. 192. ISBN 5-85499-061-X

В книге рассматриваются подходы совершенствования и применения методов системных исследований к вопросам методологии моделирования вещественно-энергетических, экономических процессов и проектирования мелиоративных и гидромелиоративных систем; приводятся категорально-понятийные структуры и матрицы процесса производства сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях, задачи по определению значений параметров гидромелиоративных систем с учетом массо-энергопереноса в почвогрунтах, методология проектирования и структуры системы автоматизированного проектирования мелиоративных систем, базирующихся на технико-экономических расчетах и методических разработках по определению параметров гидромелиоративных и мелиоративных систем с учетом водно-солевого режима на основе технико-экономических расчетов и методический подход к обоснованию требований по подготовке специалистов в мелиорации в условиях постоянного развития науки и техники.

Книга предназначена для студентов, преподавателей ВУЗов, проектировщиков, научных сотрудников НИИ и других организаций, а также будет полезна для руководящих работников агропромышленного комплекса.

Таблиц 33. Иллюстраций 47. Библиографий 74.

ISBN 5-85499-061-X

© Л.М. Рекс, 1995.

*Автор выражает искреннюю благодарность
кандидату геолого-минералогических наук
Рекс И.Е. за помощь при подготовке книги.*

Сдано в набор 10.11.1994 г. Подписано к печати 10.04.1995 г. Формат 60×90/16. Печать офсетная. Гарнитуры «Таймс», «Прагматика». Физ. печ. л. 12,0. Тираж 500 экз.

Христианско-просветительское издательство «Аслан» (тел. 151-52-28), издательская лицензия ЛР № 071058 от 09.07.1994 г.

Отпечатано ОИПД ВЦ ГКС РФ

Заказ №3225

Введение. Общие положения о системно-структурном подходе

Характерная черта современного этапа развития мелиораций как одного из важнейших факторов интенсификации производства сельскохозяйственной продукции – масштабность мелиоративных воздействий, охватывающих не только отдельные хозяйства, но и целые регионы нашей страны. В сферу этой деятельности вовлекаются значительные объемы водных, земельных, трудовых и других материальных и энергетических ресурсов, что способствует не только коренному улучшению земель, но и существенному изменению свойств природной, социальной, экономической и других сред. При этом необходимо отметить как опосредованное, так и непосредственное влияние мелиоративной деятельности на эти среды. Этот новый, характерный для настоящего этапа момент нашел отражение в том, что проекты по мелиорации крупных регионов предусматривают прямое воздействие на социально-экономическую среду, например, на создание инфраструктуры и др. Следовательно, повышение народнохозяйственной эффективности мелиорации неразрывно связано с необходимостью полного и всестороннего учета всех аспектов мелиоративной деятельности. Кардинальное решение этой проблемы невозможно без более общего по сравнению с традиционным подхода к рассматриваемому процессу.

Как известно, наука, изучая сущность объектов и систем с помощью категорий и понятий, дает возможность обобщить накопленные знания и объяснить исследуемые процессы и явления, причем переход от описания этих процессов и явлений к их объяснению совпадает с познанием их структур. Поэтому введение обобщающих понятий, законов, теорий на основе использования системного, в частности системно-структурного, подхода наиболее целесообразный путь к синтезу знаний (Агарков, 1977; Сачков, 1977; Семенюк, 1975; Сидоров, 1974; Тимофеев, 1977; Челиков, 1975 и др.).

Системно-структурный подход предполагает развитие диалектики внутреннего и внешнего, включая два аспекта: взаимодействие инженерной системы со средой и иерархичностью систем, т.е. вовлеченность любой системы как подсистемы в некоторую более сложную систему. При этом решающую роль в системно-структурном подходе играет понятие *структура*. И.Б. Новик (1975) отмечает, что система и структура соотносительны и выступают как единство противоположностей, а сам системно-структурный подход в общем виде означает рассмотрение познавательных объектов в качестве систем элементов под углом зрения их структур.

Актуальность исследования структуры системы производства продукции на мелиорированных землях (или вообще любой системы или подсистемы) определяется тем, что в ней просматривается некоторая аналогия между важностью рассмотрения понятия «закон» и его роли в отображении некоего явления, поскольку закон выражает существенное в явлении, а структура – существенное в системе. Структура – это такая организация объектов, которая характеризует их сущность с внутренними зависимостями (Н. Артюх, 1977).

Вместе с тем процесс системно-структурной интеграции, синтеза научных знаний также имеет ряд противоречий. Одно из них – многообразие методологических аспектов синтеза наук. Синтез межнаучных и внутринаучных исследований возможен лишь в результате раскрытия внутреннего единства всех модификаций исследований (Артюх, 1967; Винер, 1958; Гаспарский, 1978; Гвицшани, 1980; ван Гиг, 1981; Глушков, 1975; Добров, 1969; Дружинин,

Конторов, 1976; Кедров, 1963; Котарбинский, 1975; Моисеев, 1979, 1981; Пойа, 1957; Уемов, 1978; Шаракшанэ, Железнов, Ивицкий, 1977 и др.).

Развитие исследований по созданию совершенных мелиоративных систем связано также с объединением усилий и результатов поисков ученых, работающих как в области мелиораций, так и в смежных областях знаний. Это возможно лишь в случае выявления общего звена или элемента в различных научных дисциплинах, способного быть основой междисциплинарного синтеза научных изысканий. В области технических, экономических и других наук таким звеном может быть кибернетическая структура процесса (Винер, 1958).

Кибернетические принципы уже нашли применение при исследовании мелиоративных процессов. При этом рассматривалось влияние только некоторых параметров «входа» на параметры «выхода» с учетом влияния «обратной связи». Развивая далее этот подход, будем понимать под компонентами «входа» и «обратной связи» категории и общенаучные понятия, отражающие наиболее общие, существенные свойства и отношения явлений в системе производства продукции (СПП) на мелиорированных землях (МЗ). Предлагаемое в настоящей работе рассмотрение СПП на МЗ обусловлено уже существующей практикой проектирования подобного рода систем. Более того, вначале техническая эксплуатация и управление системой (от получения продукции до сдачи ее государству) осуществляются специализированными организациями (примером может служить Голодная степь и другие).

Сочетание кибернетического принципа и категориально-понятийного подхода, как будет показано ниже, позволит описать и объяснить процесс мелиорации в категориально-понятийном виде и даст возможность сделать еще один шаг на пути интеграции знаний о мелиоративной деятельности.

Основной момент при разработке категориально-понятийной структуре концептуальной модели СПП на МЗ — выбор и обоснование категорий и общенаучных понятий, т. е. теоретического базиса. Для вывода и доказательств полагаем, что мелиоративная деятельность или процесс мелиораций есть разновидность производственного процесса или целесообразной деятельности. По К. Марксу, производственный процесс есть «...целесообразная деятельность, или самый труд, предмет труда и средства труда». «Потребление рабочей силы — это сам труд»*.

Таким образом, К. Маркс на основе исторического опыта с учетом социально-экономических и политических условий вводит три основных компонента производственного процесса: сам труд, предмет труда, средства труда. Эти компоненты взаимосвязанные и взаимообусловленные, содержатся и в системе производства продукции на мелиорируемых землях и определяются через категории и общенаучные понятия, такие как человек (или его грань — сам труд, отражающий специфику СПП на МЗ), материал (предмет труда), инженерная система, включающая искусственные сооружения, машины и устройства с их структурой и связями (средства труда).

У К. Маркса: «Средство труда есть вещь или комплекс вещей, которые человек помещает между собой и предметом труда и которые служат для него в качестве проводника его воздействий на предмет»**. Далее он пишет, что в процессе труда деятельность человека при помощи средств труда вызывает заранее намеченное изменение предмета труда. Процесс угасает в продукте. Продукт процесса труда есть потребительская стоимость, вещь-природа, приспособленная к человеческим потребностям посредством изменения формы***. Так, если рассматривать мелиоративную деятельность, то, как было показано выше, в ее результате создается вещественно-энергетический (в виде сельскохозяйственной продукции, мелиоративной

* Маркс К. *Капитал*. Т. I. С. 188, 189.

** Маркс К. *Капитал*. Т. I. С. 190.

*** Там же. С. 191, 192.

обстановки и т. д.) и социально-экономической (инфраструктура и т. д.) продукт, т. е. результат мелиоративной деятельности — многогранный.

При рассмотрении аспектов мелиоративной деятельности было отмечено, что ее результаты существенно зависят от тех природной, социально-экономической и других сред, на которые должна накладываться эта деятельность, т. е. среда — существенный компонент процесса. Здесь можно отметить и такой известный факт, что среда в системе производства продукции на мелиорированных землях рассматривается многогранно, например, природная среда для сельскохозяйственных культур — это среда обитания и окружающей среды; некоторые ее свойства и режимы управляемы, а некоторые неуправляемы и случайны. В дальнейших рассуждениях под средой в широком смысле будем понимать природную, социальную, экономическую, техническую и другие, в узком смысле будем рассматривать природную среду.

Таким образом, правомочность введения категорий *человек, материал, инженерная система, среда, продукт* и право существования из в мелиоративной деятельности были определены как самой практикой, так и классическими представлениями о производственной деятельности.

На современном этапе развития системы производства продукции на мелиорированных землях на одно из первых мест выступает повышение ее народнохозяйственной эффективности. Постоянный темп роста этой эффективности может быть обеспечен лишь при одновременном совершенствовании факторов, определяющих повышение производительности труда, таких как уровень знаний (уровень накопленной информации) и их модельное представление во времени, а так же уровень совершенства управления, т. е. при участии таких категорий и общенаучных понятий, как *управление, информация, модель, время*. Для обоснования этого положения обратимся к формулировке К. Маркса по поводу факторов, определяющих производительность труда: «Производительная сила труда определяется разнообразными обстоятельствами, между прочим средней степенью искусства рабочего, уровнем развития науки и степенью ее технологического применения, общественной комбинацией производственного процесса, размером и эффективностью средств производства, природными условиями»*.

Академик В. А. Трапезников в книге «Управление и научнотехнический прогресс» (М. 1983), проанализировав факторы, влияющие на увеличение производительности труда, пришел к выводу, что производительность труда является функцией фондовооруженности, уровня знаний и коэффициента, учитывающего условия, характерные для отрасли. При этом под уровнем знания он понимает накопленные знания, т. е. сведения о том, как построить оборудование и рационально сгруппировать его в систему, т. е. это накопленная информация и, следовательно, ее модельное представление во времени (по К. Марксу, уровень развития науки, степень ее технического применения, эффективность средств производства, общественная комбинация производственного процесса); уровень совершенства управления (по Марксу, средняя степень искусства рабочего). Таким образом, без включения в технический базис таких понятий, как *управление, информация, модель, время*, не может осуществляться дальнейшее повышение эффективности СПП на МЗ.

Итак, приведенные доводы и выполненные ранее исследования (Балаев, Рекс, 1976, 1977; Балаев, Рекс, Богомолов, Жабин, Хачатурян, 1979 и др.) показывают, что категории и общенаучные понятия, входящие в теоретический базис СПП на МЗ, — это *человек, инженерная система, материал, среда, управление, информация, модель, время, продукт*, можно сгруппировать в определенную категориально-понятийную структуру вокруг понятия «процесс» (рисунок и табл. 1).

* Маркс К. Капитал. Т. I. С. 48.

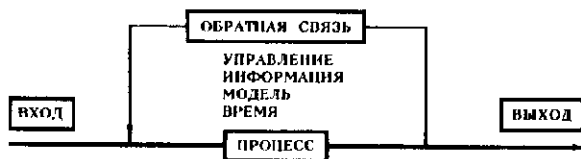


Рис. 1.

ЧЕЛОВЕК
ИНЖЕНЕРНАЯ СИСТЕМА
СРЕДА
МАТЕРИАЛ

ПРОДУКТ
(ВЕЩЕСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ,
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ)

Таблица 1. Категориально-понятийная структура процесса производства сельскохозяйственной продукции

Действие	Результат-продукт								
	вещественно-энергетический						экономический		
	вод- ный режим	соле- вой режим	тепло- вой режим	пище- вой режим	сель- скохо- зяйст- венные культу- ры	ре- зульт- ат ох- раны окру- жаю- щей среды	стои- мость	каче- ство	произ- води- тель- ность
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среда:									
политическая	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
социальная	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
техническая	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
экономическая	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
Природная:									
климатическая	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8
гидрогеологическая	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
почвенная	7	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8
геоморфологическая	8	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8
инженерно- геологическая	9	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8
биологическая	10	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8
Человек	11	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8
Материал	12	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8
Информация	13	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8
Модель	14	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8
Время	15	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8
Управление	16	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5	16.6	16.7	16.8
Инженерн. система:									
гидрометеорологическая	17	17.1	17.2	17.3	17.4	17.5	17.6	17.7	17.8
осушительная	18	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5	18.6	18.7	18.8
сельскохозяйственного производства	19	19.1	19.2	19.3	19.4	19.5	19.6	19.7	19.8

Рассматривая вопросы категориального синтеза теории, А.Г.Артюх (1977) отмечает, что более глубокий анализ разрабатываемых теорий требует исследования теоретических и методологических аспектов используемых категорий. Оценивая категории с теоретических позиций, он отмечает необходимость показать, что по способу выражения *объективного содержания* они представляют собой категориальные понятия.

В нашем случае категории «человек», «система», «материал» представляют собой основные элементы труда, соответственно: сам труд, предмет труда

и средства труда. Категория «среда» влияет на процесс труда. Категория «продукт» — результат труда. Категории «управление», «информация», «модель», «время» — совокупность категорий и общенаучных понятий, обеспечивающих целенаправленную деятельность человека в условиях современного производства в определенные периоды.

Категория «процесс» в кибернетическом понимании этого термина играет роль центрального ядра, объединяет воедино все перечисленные выше категории и общенаучные понятия. Следовательно, объективное содержание категорий, введенных для построения основ обобщающей теории мелиоративной деятельности, состоит во всестороннем охвате разнообразных процессов мелиораций.

Для оценки методологической роли категорий и общенаучных понятий необходимо рассмотреть их функциональную роль в дальнейшем процессе познания. Это сформулируем (совместно с В.И. Агарковым) следующим образом: значимость категорий будет изменяться за счет уменьшения значимости одних понятий, входящих в их состав, и увеличения значимости других, возможно, ранее неизвестных понятий, т.е. с учетом их диалектики. Интересно и то, что введение категорий и общенаучных понятий позволило построить «мостики» между другими производственными и непроизводственными действительностями и системами.

Учитывая сказанное, сформулируем некоторые определения. Основные компоненты, осуществляющие производственный процесс в СПП из МЗ, — человек, среда, материал, инженерная система, управление, информация, модель и время, т.е. эффективность этого процесса определяются раскрывающими их перечисленными выше категориями и понятиями.

При осуществлении СПП из МЗ, мелиораций* или их видов компонентный состав понятий структуры сохраняется по номинальным характеристикам, т.е. он инвариантен, меняются только количественные значения свойств (показатели) компонентов.

Постоянство компонентного состава комплекса, осуществляющего эти производственные процессы, — основное положение концептуальной модели мелиоративной деятельности. Значение компонента, находящегося в минимуме, лимитирует эффективность мелиоративного (производственного) процесса.

Важное условие категориального синтеза теории — последующее выражение категорий через частные понятия. Для этого наряду с кибернетической категориально-понятийной структурой процесса производства сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях представляется целесообразным отобразить эту структуру в виде категориально-понятийной матрицы (КПМ, табл. 2), что является одним из возможных подходов построения концептуальной модели мелиоративной деятельности, или мелиораций.

Рассмотрение процессов мелиораций через призму категорий и общенаучных понятий, принимающих участие в их осуществлении, а также их структуры, позволяет не только оценить совершенство понятийного аппарата концептуальной модели теории мелиораций, но и решить задачу всестороннего охвата исследований, уменьшить ошибку прогноза, устранить недопонима-

* Здесь и далее под мелиорацией будем понимать деятельность, направленную на изменение свойств и режимов природной среды для заданной цели (или целей). Сельскохозяйственные мелиорации — деятельность, направленная на изменение свойств и режимов природной среды в пределах, необходимых для продуктивного роста и развития сельскохозяйственных растений. Гидротехнические сельскохозяйственные мелиорации — деятельность по изменению водного режима природной среды с сопутствующим изменением пищевого, теплового и солевого режимов, требуемых для продуктивного роста и развития сельскохозяйственных растений.

ние, источником которого служат три фактора: недостаточная структуризация информации и недостаток априорных знаний; наличие помех, случайных или умышленных; различие в критериях оценки фактов у лиц, вступающих в информационный контакт, т.е. отсутствие единого понятийного аппарата – всеобщего языка (Дружинин, Конторов, 1976).

КПМ процессов применительно к мелиоративной деятельности – это не простая сумма исходных категорий и общенаучных понятий, а их органическое единство. В результате осуществленного синтеза получен новый результат, новое знание, которого не было в исходных категориях и общенаучных понятиях. К новому результату следует отнести объединение таких разных по своей природе категорий и общенаучных понятий, как человек, инженерная система, среда и т.д., в одну структуру, в единый понятийный базис обобщающей теории.

Таблица 2. Категориально-понятийная матрица процессов при производстве продукции на мелиорированных землях

Действие	Результат – продукт						
	вещественно-энергетический					экономический	
	мелиоративная обстановка – режим				сельскохозяйственные культуры (СХК)	результат охраны окружающей среды (РООКС)	стоимость, качество, производительность
	водный	солевой	тепловой	пищевой			
	1	2	3	4	5	6	7
Среда: политическая социальная техническая экономическая	1	Влияние политической, социальной, технической и экономической сред на процесс мелиорации					
природная: климатическая гидрологическая почвенная геоморфологическая гидровологическая инженерно-геологическая биологическая	2	Процесс переноса вещества и энергии в природной среде (на поле)			Процесс взаимодействия СХК и природной среды	Процесс взаимодействия поля с окружающей средой	Процесс оптимизации природно-экономических процессов
Человек	3	Роль человека в регулировании вещественно-энергетических и биологических процессов				Роль человека в РООКС	Роль человека в экономических процессах
Материал	4	Влияние ресурсов на вещественно-энергетический режим и на СХК				Влияние ресурсов на РООКС	Роль ресурсов в экономике
Информация	5	Информация о вещественно-энергетических и биологических процессах				Процесс информации о РООКС	Процесс информации об экономических процессах
Модель	6	Процесс составления моделей среды, человека, материала, информации, времени, управления, мелиоративной системы, продукта					Процесс экономико-математического моделирования
Время	7	Неустановившийся процесс переноса вещества и энергии			Процесс роста в развитии СХК	Процесс эволюции РООКС	Процесс эволюции экономических процессов

		1	2	3	4	5	6	7
Управление	8	Процесс управления материально-энергетическими процессами и системами				Процесс управления ростом и развитием СХК	Процесс управления РО-ОКС	Процесс управления экономикой
Инженерн. система: гидромелиоративная: оросительная: водозаборная	9	Процесс переноса вещества, энергии в системах, осуществляющих перенос				Процесс влияния оросительной системы на СХК	Процесс влияния оросительной системы на РООКС	Процесс оптимизации параметров инженерных систем
проводящая	10							
регулирующая	11							
осушительная: регулирующая	12	Процесс сбора вещества и энергии на поле				Процесс влияния осушительной системы на СХК	Процесс влияния осушительной системы на РООКС	
проводящая	13	Процесс движения вещества и энергии от поля к водоприемнику						
водосборная	14							
сельскохозяйственного производства	15	Процесс взаимодействия системы СХП с водным, солевым, тепловым и пищевым режимами				Процесс влияния СХП на СХК	Процесс влияния системы СХП на РО-ОКС	

Матрица (см. табл. 2) объединяет категории и общенаучные понятия существующей теории, охватывающие различные понятия существующей теории «сельскохозяйственных мелиораций». Это позволяет исследовать структуру знаний в рамках каждой теории, изучающей определенные аспекты мелиоративных процессов и систем. Поэтому предлагаемая в виде КПМ концептуальная модель (КМ) СПП на МЗ является общей по отношению к известным и позволяет решать в частных теориях такие вопросы, как установление их границ, введение новых понятий, непротиворечивость теории, ее полноту и др.

Используемый подход в виде категориально-понятийного мышления позволяет лучше представить движение мысли от единичного к общему и от общего к единичному. Многообразие вопросов, освещающих процессы мелиораций, как бы проектируясь на категориально-понятийную матрицу, дают возможность сводить многообразие отдельных процессов к единству. Кроме того, категориально-понятийная матрица позволяет анализировать не только реально воспринимаемое множество вещей и связей, но и прогнозируемое множество вещей на данном этапе познания, когда отдельное не существует иначе, как в связи с общим. Концептуальная модель мелиораций, представленная в виде категориально-понятийной матрицы, используя структуры процессов мелиораций, способствует совершенствованию абстрактной мыслительной деятельности человека, определяющей его теоретическую деятельность.

С помощью матрицы исследователь получает возможность последовательно накапливать и перерабатывать информацию о процессах мелиорации, а не выжидать возможности получения ее в полном объеме, достаточном для целостного и абсолютного достоверного знания. Категория как средство аналитикосинтезирующей деятельности исследователя позволяют вводить в матрицу (как в целостную структуру мышления) эмпирические знания, полученные на основе наблюдений.

Как установить объективное соответствие между практикой и предлагаемыми основами обобщающей теории мелиораций? Любое уравнение, характеризующие взаимосвязь между основными понятиями, может либо подтверждаться практикой, либо нет. В случае рассогласования расчетного значения с практически наблюдаемым можно сделать вывод о несоответствии теории

практике и необходимости дальнейшего развития теории. Оно будет состоять в *поиске* такого понятия, которое при его введении в прежние теории обусловит соответствие расчетных параметров процессов мелиораций с реальными. Например, понятие «тупиковых» пор в физико-химической гидродинамике пористых сред, явилось таким понятием, с помощью которого удалось сформулировать более адекватную модель солепереноса в почвогрунтах.

Научное значение предложенной категориально-понятийной матрицы процессов мелиораций состоит еще и в том, что она способствует дальнейшему развитию теории. Поиск новых решений переходит из области искусства или случая в область целенаправленной работы. Матрица позволяет наложить точки зрения различных исследователей и, например, при изучении географических зон, имеющих четко выраженные особенности, дать объективную оценку сделанным выводам. Это достижимо потому, что категориально-понятийная матрица обеспечивает *объективность и единство исходной позиции исследователей*, и если показатели процессов мелиораций отдельных зон подтверждают значимость какого-либо фактора, то он является объективно значимым. Теория процессов мелиораций при этом обогащается, становится возможным прогнозирование процессов в других зонах, для которых эти факторы также характерны.

Таким образом, концептуальная модель мелиораций обеспечивает синтезирование различных теоретических воззрений при том условии, что они несомненно подтверждаются практикой. При этом логическая категориально-понятийная структура определяет *новые формы представления теории в мелиорации*. Синтез теории нашел свое выражение в том, что категории начинают выступать в органическом единстве. В тех случаях, когда исследователь берет для изучения одну из категорий, другие присутствуют в неявном виде. Выделение в слепящем опыте познаний другой категории также не приводит к разрушению целостности мышления. Такие действия способствуют разрешению возникающих диалектических противоречий и одновременно делают возможным построение непротиворечивых теорий, посвященных частным вопросам мелиораций.

Важное достижение осуществленного теоретического синтеза заключается в том, что он носит системный характер. Логическое построение теории таково, что можно выделить, во-первых, основополагающие положения теории, смысловое ядро, основные принципы и, во-вторых, из этих основных принципов вывести все другие знания.

Итак, основные положения концептуальной модели мелиораций (разработаны совместно с В.И. Агарковым) сводятся к следующему.

1. Все процессы мелиораций характеризуются совокупностью частных понятий, входящих в состав следующих категорий: *человек, инженерная система, материал, среда, информация, модель, управление, время, продукт* (производительность, качество, стоимость).

2. Перечисленные категории при группировке вокруг центрального кибернетического понятия *процесс* образуют определенную структуру (вход, процесс, выход и обратная связь).

3. Степень влияния каждого фактора, представляющего собой частное понятие, входящее в категории *человек, инженерная система, материал, среда, информация, модель, управление, время*, обусловлена совокупным воздействием их качественных и количественных характеристик на процесс мелиораций (продукт).

4. Значимость любого понятия, входящего в состав одной из перечисленных категорий основ КМ обобщающей теории, может найти подтверждение (или быть опровергнута) практикой с обязательным учетом сопутствующих факторов. Изучение и прогнозирование процессов мелиораций базируется на использовании как экспериментальных, так и теоретических методов исследований.

Категориально-понятийные матрицы концептуальной модели мелиораций позволяют также решить вопрос и о подготовке специалистов (на уровне исследователей-руководителей, обладающих широким кругозором), способных эффективно управлять разноплановыми исследованиями. Это достигается благодаря кумулятивному характеру категориально-понятийной матрицы, ее способности отображать разноплановые исследования и выявлять степень их полноты. С помощью матрицы можно постоянно отмечать появление новых идей на всех уровнях исследовательской работы.

Предлагаемый подход позволяет из сложной системы выделить некоторую подсистему для отдельной группы исследователей и указать на информационном уровне пути ее возврата в сложную систему, что имеет исключительно важное значение для повышения эффективности исследований.

Как показал анализ ряда научных работ, отсутствие функционального, морфологического и информационного описания систем ПП на МЗ, в том числе мелиоративных, гидромелиоративных и других, снижает качество и эффект исследований. Это объясняется тем, что каждый исследователь вычленяет подсистему — мелиоративную, гидромелиоративную, оросительную или другую — и изучает ее, не заботясь о ее возвращении в сложную СПП на МЗ и не анализирует, что произошло с этой сложной системой.

Такой подход нельзя считать прогрессивным, ибо сложная СПП на МЗ также должна являться предметом исследований. Основные соображения по функциональному, морфологическому и информационному описанию системы приведены в работе В. В. Дружинина и Д. С. Конторова (1976).

В заключение сформулируем основные положения концептуальной модели следующим образом: эффективность ($\mathcal{E}$) СПП на МЗ в целом определяется совокупным влиянием частных понятий, составляющих категории и общенаучные понятия: человек ($\mathcal{C}$), инженерная система ($\mathcal{C}\mathcal{I}$), материал ($\mathcal{M}$), среда ($\mathcal{C}\mathcal{p}$), информация ($\mathcal{I}$), модель ($\mathcal{M}\mathcal{o}$), время ($\mathcal{B}\mathcal{p}$) и управление ($\mathcal{Y}$). Качественные и количественные характеристики сопутствующих факторов обуславливают удельное воздействие каждого из них через значимость характеризующего их понятия. В формализованном виде положение может быть представлено выражением $\mathcal{E} = \Phi(\mathcal{C}, \mathcal{C}\mathcal{I}, \mathcal{C}\mathcal{p}, \mathcal{M}, \mathcal{I}, \mathcal{M}\mathcal{o}, \mathcal{B}\mathcal{p}, \mathcal{Y})$, где Φ — функция состояния системы ПП на МЗ, или процесса мелиорации.

Известно, что главная цель науки — постижение сущности, непрерывно связанной с принципом простоты как средством, способствующим достижению главной цели. Упрощение, получаемое в результате использования категориально-понятийной матрицы основ обобщающих теорий, — один из способов проникновения в глубины сущности. Категориально-понятийный синтез позволяет связать ранее разобщенные элементы в области знания, что в конечном итоге делает их систематизированными и упрощает их восприятие.

Анализ исследований, проведенный целью «сжатия» (выделения) информации в работах, посвященных вопросам мелиораций, позволил объединить их в определенную систему. При этом были выявлены следующие общие признаки исследований: зависимость каждого от предыдущих научных работ, относящихся как к области мелиораций, так и к другим областям знаний; недостаточность достигнутого уровня знаний; определенность методов исследований; вклад исследователя в развитие знаний; практическая значимость исследований; возможность использования полученных знаний в других отраслях знаний.

Каждое исследование следует рассматривать как часть системы знаний, и в этом случае конкретное описание исследования (по перечисленным признакам) можно дать в виде формулы исследования. «Формула исследования» — это составленная по установленным правилам краткая словесная характеристика, выражающая научную сущность исследования. При написании формулы исследования необходимо выполнить следующие правила:

а) дать четкое определение теории (материнской теории), которая является исходной по отношению к теории, развиваемой в исследовании; после

слов «дополняющее известные знания», завершающих описание исходной теории, указать, чем существующая теория не отвечает требованиям практики, т.е. охарактеризовать цель исследования (неизвестное);

б) указать, какие методы были использованы для познания неизвестного;

в) описать развиваемую теорию в конечном состоянии, т.е. в том виде, который она приобрела после проведения исследований;

г) определить практическую значимость результатов, полученных за счет применения усовершенствования теории;

д) установить область возможного применения получившей развитие теории и получаемого при этом положительного эффекта.

Является ли предлагаемая формула исследования средством упрощения знания? На этот вопрос можно ответить положительно на том основании, что неопределенность формулы значительно меньше по сравнению с заключением (общими выводами).

Применение предложенных методов сжатия информации и ее последующего поиска предполагает использование современных быстродействующих электронно-вычислительных машин. Однако разработанная методика позволяет использовать в информационном поиске и малую механизацию, т.е. краевые перфокарты для кодирования содержания исследований.

КПМ не отражает таких моментов, как аргументированная неудовлетворенность существующими теориями, обоснование целесообразности их развития. В ней не отражены связи с исходными теориями и задачи, вытекающие из проведенного исследования. КПМ и формула диалектически дополняют друг друга, обеспечивают единство формализованного и неформализованного знаний.

Действительно, самая совершенная формула исследования перед вводом в машину потребует формализации, что и достигается в КПМ. С другой стороны, КПМ всегда будет требовать словесной расшифровки, что можно получить в этой формуле.

Результаты проведенного исследования (совместно с В. И. Агарковым) позволяют сформулировать следующее: изложенная теоретическая концепция существенно упрощает процесс накопления переработки и поиска информации, а следовательно, делает более определенной и строгой саму познаваемую систему в ее научном представлении. Сжатие информации можно рассматривать и как некоторый промежуточный этап познавательного процесса. Разрозненные исследования далеко не всегда позволяют проникнуть в природу изучаемого процесса. Когда же разрозненные исследования удается сжать, нанести их на одну категориально-понятийную матрицу, то становится возможным рассматривать каждое исследование как часть общего познавательного процесса, определить пропущенные факторы и направить усилия на их изучение. Представленная в матричном виде информация легко укладывается в «память», которая служит своеобразным рычагом, усиливающим интеллект.

ГЛАВА 1. Мелиоративная система

Выше была сформулирована категориально-понятийная структура процесса ПП на МЗ и разработана КПМ, позволяющая упорядочить знания о процессах и создать единую основу понятий обобщающей теории СПП на МЗ. Основой для дальнейшего структурного анализа понятий мелиоративная, гидромелиоративная, оросительная и осушительная системы послужат определением систем, описания выполняемых ими функций и перечень включаемых в них объектов, приведенные в трудах основоположника сельскохозяйственных мелиораций А.Н. Костякова. Его учение и в настоящее время остается основополагающим, однако развитие науки постоянно вносит свои коррективы, и поэтому некоторые положения вступают в противоречие с современными требованиями.

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ А.Н.КОСТЯКОВА О МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЕ

Академик А. Н. Костяков отмечал (1960), что мелиоративные системы в техническом отношении выполняют две функции:

1) превращение воды из состояния тока в каналах в состояние нужной почвенной влажности на орошаемых полях или наоборот — удаление излишней почвенной влаги на осушаемых землях путем превращения ее в состояние токов;

2) транспортирование этих водных токов по каналам системы в нужном количестве и в нужные сроки при орошении — от источника орошения к орошаемым площадям, при осушении — от осушаемых площадей к водоприемнику. Однако, по его мнению, эти задачи являются только техническими средствами для достижения определенных сельскохозяйственных и агробиологических требований — создание необходимого водного и пищевого режимов и повышения плодородия почвы, получения высоких и устойчивых урожаев требуемых сельскохозяйственных культур, хозяйственного освоения новых площадей и т. д. Поэтому технические мероприятия при мелиорации должны быть неразрывно увязаны с совокупностью соответствующих организационно-хозяйственных и агротехнических мероприятий. Для выполнения *мелиоративной системы* указанных функций А. Н. Костяков включает в ее состав:

1) мелиорируемые сельскохозяйственные площади (занятые определенными культурами при определенных условиях агротехники, плодородия почвы, организации труда и др.);

2) внутрихозяйственную оросительную или осушительную регулируемую сеть (создающую и поддерживающую нужный водный и питательный режимы почвы на полях), ее делают временной (временные оросители, временные осушители), закрытой (дрены, трубопроводы) или передвижной (дождевальные и поливные машины);

3) постоянную проводящую сеть распределительных каналов в оросительной системе или водоотводящих каналов в осушительной (разделяющихся на межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы);

4) магистральный, или головной оросительный или осушительный, канал (связывающий систему с источником воды при орошении или с водоприемником при осушении).

К *оросительной системе* А. Н. Костяков относит:

1) источник орошения (река, озеро, водохранилище, каптированные грунтовые воды);

2) головное сооружение (забирающее воду из источника орошения в магистральный канал в потребном для орошения количестве и в нужные сроки в соответствии с планом водопользования);

3) главный (магистральный) оросительный канал (доставляющий воду на подлежащие орошению земельные массивы и состоящий из холостой части — от головного сооружения до начала распределительных каналов — и рабочей части, где от магистрального канала отходят распределительные каналы);

4) распределительные проводящие каналы; а) межхозяйственные, распределяющие воду, подаваемые магистральными каналами, между всеми хозяйствами системы; б) хозяйственные, подающие воду каждому хозяйству, а при больших размерах хозяйств — на отдельные крупные поливные участки;

5) временную оросительную регулируемую сеть внутри крупных поливных участков (состоящую из временных, ежегодно устранимых оросителей, выводных борозд и поливных борозд и полос), распределяющую воду на поля и переводящую ее при поливе в требуемую почвенную влажность; оросительная регулирующая сеть может также состоять из закрытых или передвижных дождевальных или поливальных агрегатов, а при подпочвенном орошении — из подземных трубопроводов;

б) водопроводящую сеть: а) сбросную, служащую для удаления с орошаемых площадей излишней поверхностной воды (образующейся при опорожнении каналов, при авариях, ливнях и др.) и располагаемую по пониженным отметкам орошаемых земель; б) дренажную сеть, устраиваемую на орошаемых землях с близким залеганием соленых грунтовых вод;

7) искусственные сооружения (представляющие собой арматуру на всех каналах для регулирования и управления движением воды в системе).

В осушительную систему А.Н.Костяков включает:

1) хозяйственные осушаемые площади, водно-воздушный и питательный режимы почв которых регулируются путем комплекса мелиоративных и агротехнических приемов;

2) регулирующие устройства (осушительные каналы, борозды, дрены и другие устройства, предназначенные для регулирования водновоздушного режима на определенной площади путем удаления избыточной поверхностной или почвенно-грунтовой воды, в соответствии с потребностями хозяйственного использования этой площади);

3) проводящие каналы (магистральный и другие, предназначенные для приема воды из регулирующих каналов или дрен и отвода ее кратчайшим путем в соответствующий водоприемник);

4) водоприемник (принимает все удаляемые с осушаемой площади воды из магистральных осушительных каналов и отводит их в более крупную гидрографическую сеть).

По А.Н.Костякову, всю совокупность гидротехнических сооружений и способов орошения, всякую осушительную и оросительную систему можно рассматривать как своего рода *гидротехнический передаточный механизм*, задача которого — передать воду при орошении от некоторого источника орошения (реки, пруда и т.д.) на орошаемое поле, равномерно ее распределить по нему, создать на нем нужную для растений влажность и, таким образом, передать эту воду растениям, причем сделать это в определенное время и в определенных количествах. При осушении задача этого передаточного механизма состоит в том, чтобы вытянуть излишнюю воду из осушаемой почвы, превратить ее путем устройства канала в поток и отвести к приемнику. Это необходимо сделать так, чтобы та влажность почвы, которая остается на осушенной площади, была бы наиболее рациональна для возделывания культур.

Общая задача *сельскохозяйственно-гидротехнических систем (совокупность каналов и сооружений на них)* — это превращение воды из состояния влажности почвы в состояние тока воды и обратно — из состояния тока в состояние почвенной влажности (определенной степени и направления).

Сообразно тем двум состояниям, в каких находится вода в *сельскохозяйственно-гидротехнической системе*, — влажности почвы и току в канале — всю систему каналов и принадлежащих им сооружений любой оросительной или осушительной системы схематически можно разделить на две основные части: 1) *регулирующая*, задача которой состоит в том, чтобы регулировать влажность почвы на улучшаемой площади в таких пределах, в каких это требуется для возделываемых на данной почве культур; 2) *проводящая*, задача которой — транспортировать воду в нужных количествах и в нужных направлениях.

Из вышесказанного А.Н.Костяков делает вывод, что как сельскохозяйственно-гидротехнические сооружения, так и сама сельскохозяйственная гидротехника составляют главное связующее звено в неразрывной цепи элементов: растение — требуемая влажность почвы — вода в состоянии токов — вода в естественном водоизмещении, т.е. звено между земледелием и физиологией растений, с одной стороны, и гидрологией и инженерной техникой — с другой.

В сельскохозяйственно-гидротехнических мелиорациях человек с помощью специальных сооружений и приемов так изменяет течение гидротехнических и почвенных процессов, чтобы обратить их в свою пользу, т.е. получить конечный

результат в виде урожая сельскохозяйственных культур. Крайние элементы названной выше цепи сами по себе в сельскохозяйственной гидротехнике не изучают, задача сельскохозяйственно-гидротехнических сооружений и способ связать их — передать воду из естественного вместилища для нуждающихся в ней растений или, наоборот, отвести ее от растений, страдающих от ее избытка, к водовместилищу. Поэтому в только что намеченной цепи основной объект воздействия и регулирования — вода может получить движение как слева направо — от растения к водовместилищу (осушение), так и справа налево — от естественного водовместилища к растению (орошение). Таким образом, в сельскохозяйственной гидротехнике тесно и неразрывно соприкасаются два основных элемента знаний: естественно-исторический и инженерный. Кроме них, существует еще один элемент или даже определенная их группа. Все мелиорации осуществляются в определенной *внешней среде*, во вполне определенных местных условиях — почвенных, климатических, гидрологических, экономических и общественно-юридических.

В соответствии с типами климатических и почвенных условий изменяются как потребности растений в воде, так и состав сельскохозяйственных культур на улучшаемой площади; в соответствии с типами гидрогеологических и экономических условий изменяются средства, возможность и целесообразность удовлетворения потребностей культур в воде и сам их подбор на мелиорируемой площади.

Мелиорация должна соответствовать не только естественным условиям местности, но и ее общеэкономическим условиям, и в этом залог ее успеха. Поэтому, кроме естественно-исторического и инженерного элементов, в области сельскохозяйственно-гидротехнических знаний есть еще и третий элемент — общественно-экономический.

Мелиорации в каждом районе страны должны рассматриваться не изолированно, не только технически, а как часть широкого комплекса агротехнических, лесоводческих, водохозяйственных и других мероприятий.

А. Н. Костяков указывает, что рассмотрение вопросов мелиораций должно вестись не только в статике (мелиоративные явления), но и в динамике мелиоративных процессов. Только такое решение позволяет видеть направление развития каждого фактора и влиять на него нужным образом, чтобы предупредить возможность отклонения мелиоративных явлений и процессов в неблагоприятную сторону, переход положительных (полезных) мелиоративных процессов в отрицательные. Разработку мелиоративных проблем следует вести на *генетической основе*, т. е. на основе установления причин возникновения тех или иных неблагоприятных для хозяйства природных явлений и процессов и нахождения методов для устранения этих причин. Только при такой постановке вопроса мелиорация будет направлена на борьбу с основными негативными причинами, что делает ее более рациональной и более эффективной.

1.2. МЕЛИОРАТИВНАЯ СИСТЕМА И ЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НА КАТЕГОРИАЛЬНО-ПОНЯТИЙНОМ КАРКАСЕ ПРОЦЕССА

Прежде чем перейти к установлению структуры мелиоративной системы, проанализируем выше приведенные определения А. Н. Костякова мелиоративной, оросительной и осушительной систем с позиций системного исследования. Для этого приведем в сокращенном виде понятийный словарь А. Н. Костякова, *спроектировав его на категориально-понятийную структуру*: среда, инженерная система и т. д. (см. табл. 1).

На основании приведенного анализа выявилась следующая иерархия систем (рис. 1.1.). На верхнем уровне находится система производства продукции на мелиорированных землях, которая включает: систему сельскохозяйственного производства (СХП) и мелиоративную систему (МС). Послед-

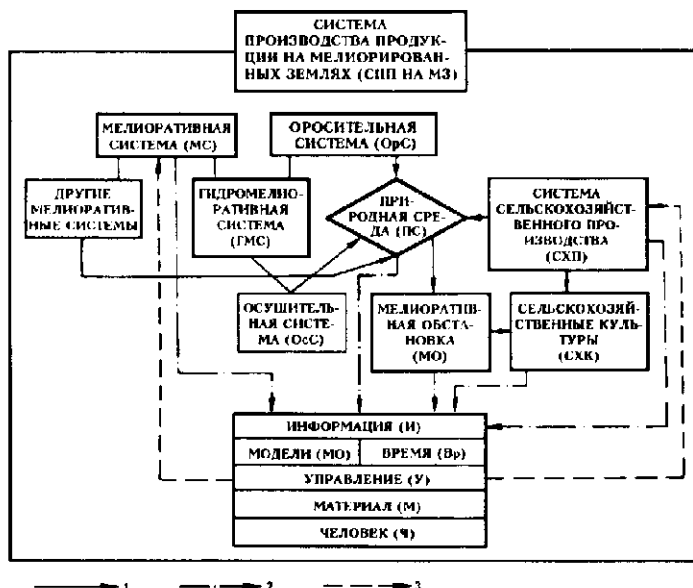


Рис. 1.1. Категориально-понятийная структура: 1 — воздействие; 2 — информация; 3 — управление

няя, в свою очередь, включает гидромелиоративную систему (ГМС); другие системы мелиораций (ДСМ). В состав гидромелиоративной системы входят оросительная система (ОРС) и осушительная (ОСС).

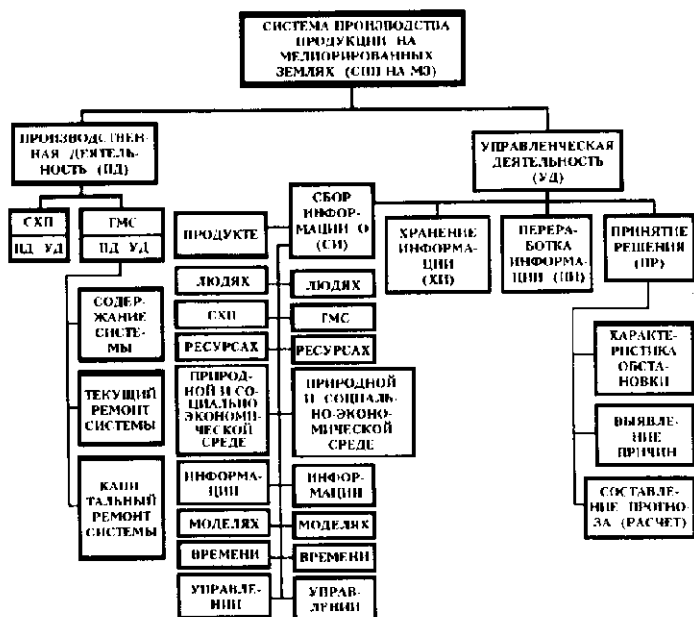
Резюмируя изложенное, дадим некоторые определения этих систем.

Гидромелиоративная система — инженерная система, одна из подсистем мелиоративной системы, включающая оросительную и осушительную системы.

Оросительная система — инженерная система, выполняющая забор, транспортировку, распределение по полю и сброс излишней воды за пределы системы и состоящая соответственно из водозаборной, проводящей, распределяющей и водосборно-сбросной подсистем.

Осушительная система — инженерная система, осуществляющая сбор воды, ее транспортировку и сброс за пределы системы и состоящая соответственно из ограждающей, собирающей поверхностные и (или) подземные воды, проводящей и водосборной подсистем.

Как показал анализ технических проектов систем, такая структура не противоречит практике, хотя не всегда осознается специалистами. Например, довольно часто в Поволжье, на Северном Кавказе, на Украине освоение целинных земель начинают с создания сельскохозяйственной системы улучшения произрастания культурных растений (СХП). И только через некоторое время для дальнейшего увеличения производства продукции растениеводства проводят сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации, т.е. создают гидромелиоративную систему, которая может состоять из подводящей и отводящей подсистем или из одной из них (оросительной или осушительной). Обе подсистемы — гидромелиоративная и СХП — образуют систему улучше-



ния условий получения продукции растениеводства, т.е. систему ПП на МЗ, а не гидромелиоративную или осушительную (оросительную), как это обычно указано в проектах (хотя сокращенные проработки по подсистеме СХП к таким проектам всегда имеются). Структурное описание систем позволяет четко определить тип проектируемой системы, что имеет большое значение при обосновании набора составляющих для определения ее параметров. То же относится и к созданию систем в Голодной, Каршинской степях и других районах нового орошения, где наряду с улучшением условий произрастания культурных растений учитывают и социально-экономические аспекты, включая в состав систем подсистемы инфраструктуры, и, таким образом, создают некие комплексные системы улучшения условий жизни людей.

Структурное описание систем позволяет вскрыть терминологические противоречия при рассмотрении эволюции СПП на МЗ в аридной и гумидной зонах. Так, в аридной зоне существовавшая еще при «кочевом» орошении оросительная система должна была по идее изменить свое название на гидромелиоративную или «гидротехнический передаточный механизм», по А.Н. Костякову, после того, как с целью борьбы с засолением и заболачиванием ее дополнили осушительной системой (при оросительном типе питания), находящейся в оросительной на одном иерархическом уровне. Однако до сих пор системы этой зоны проектируют как оросительные, что ставит подсистемы (оросительную, осушительную) в неравнозначное положение и вносит асинхронность в их разработку и функционирование. В гумидной же зоне количественное дополнение осушительной системы оросительной привело, кроме того, и к качественному изменению. Новую систему стали называть

«осушительно-оросительной», что указывает на равнозначное существование обеих подсистем – отдающей и подающей. Оросительноосушительная система стала адекватна гидромелиоративной системе («гидротехническому передаточному механизму») с ведущей ролью осушения и вторичной – орошения, но с равнозначным существованием обеих подсистем. Таким образом, в обеих зонах, по существу, проектируют гидромелиоративную систему, но не одинаково осознанно. Если следовать логике развития, то в аридной зоне следует ввести понятие «осушительно-оросительная система», в которой ведущую роль играет орошение, а вторичное – осушение, предотвращающее засоление, так как именно этот тип систем там проектируют. Отсюда следует, что «гидротехнический передаточный механизм», гидромелиоративная, осушительно-оросительная и оросительно-осушительная системы находятся на одном понятийном (иерархическом) уровне.

Поскольку системно-исторический аспект характеризует систему в динамике, становлении и развитии, т.е. во времени, время в этом случае выступает не только как необходимый, но и как важный ее параметр. При системно-структурном подходе время как бы отступает на второй план, и система рассматривается в статике. Но это не значит, что при системно-структурном подходе время не присутствует. Оно есть и здесь, поскольку статика – относительна и так же характеризуется определенными изменениями, которыми присущи временные интервалы. Эти изменения в конечном счете готовят качественные сдвиги в системе (переход в новое качество). С переходом системы в новое качество ее история как бы заканчивается и начинается история новой системы, с другой структурой и другими системными параметрами.

Одним из параметров такой эволюции может служить введение автоматизации. В результате происходит частичное изменение структуры системы: появляется подсистема автоматизированного управления. С переходом в новое качество начинается «новая история» данной системы. Но такое качественное изменение не приводит к сдвигу на понятийном уровне, который возникает при объединении равнозначных подсистем, например таких, как оросительная и осушительная или мелиоративная и сельскохозяйственного производства. Следовательно, примером качественно нового уровня в понятийном описании мелиорации явилось введение понятий «мелиоративная система», включающая подсистемы (см. рис. 1.1).

Системно-исторический подход позволяет органически соединить генетическое и прогностическое описания систем и процессов. Генетика – это история, но история, обращенная в прошлое для отыскания источников, предпосылок возникновения системы, прослеживания этапов, которые она проходила в своем становлении, т.е. какой она была и какой стала. История же в ее системном подходе шире: недостаточно объяснить прошлое системы, ее становление, а важно раскрыть, в каком направлении она движется, каковы тенденции, перспективы этого движения. Для системноисторического подхода существенны прогноз, предвидение, предсказание. И эта его особенность чрезвычайно важна для познания и управления системой, а управлять – это значит предвидеть, предсказывать.

Отсюда следует, что при объединенном рассмотрении равнозначных систем теоретически и практически весьма важно предвидеть во времени необходимость существенных изменений на понятийном уровне, так как это позволит своевременно изменять методику их проектирования, создания и управления ими.

Иерархическое построение и структурный состав систем имеют большое значение при формулировании задач по определению их параметров, поскольку важно знать, какие составляющие необходимо включать как для формирования задач оптимизации параметров систем, так и задач повышения их эффективности.

Наряду с этим для определения параметров систем, находящихся на разных иерархических уровнях, необходим анализ возможности применения экономико-математического моделирования и выбора критериев оптимизации параметров гидромелиоративных, мелиоративных систем, а также СПП на МЗ (см. главу 2).

1.3. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Развитие мелиоративных систем имеет самые различные проявления: изменение подсистем, связей, преобразование одних подсистем в другие, объединение и разделение подсистем и т.д.

В процессе развития внутренние связи системы и внешние взаимодействия претерпевают изменения. Новые подсистемы, связи этих подсистем, новые свойства имеющихся подсистем и их новые взаимодействия получают новые функции по отношению к системе. Развиваются новые формы и способы связи подсистем и самой системы с внешней средой. Расширяется и углубляется информационная структура системы.

Ставя задачи по совершенствованию и развитию системы, следует иметь в виду, что ее подсистемы, элементы ее структуры неравноценны с точки зрения перспектив. Одни подсистемы теряют свое значение в системе, другие, не выходя за рамки ее основного качества, не имеют будущего, третьи не заключают в себе большие возможности, являются носителями новой, более совершенной системы. В исследовании системы нельзя ограничиваться учетом ее показателей в настоящее время, а следует раскрывать ее динамику, перспективу, стараться ее «понять» с точки зрения возможности дальнейшего развития.

Цель исследования состоит в отыскании среди множества подсистем наиболее прогрессивной, совершенной, постоянно развивающейся. В сложных системах эти подсистемы иногда оказываются относительно слабыми и незаметными, но именно им принадлежит будущее, именно они должны быть поддержаны и развиты. Как нам кажется, таким путем могут быть подготовлены предпосылки для возникновения качественно новой, более совершенной мелиоративной системы.

Одна из самых существенных черт мелиоративных систем – их «открытость». Открытость мелиоративной системы проявляется в постоянном обмене веществом, энергией и информацией с окружающей природой и социальной средой. Открытость системы заключается в ее противоречивости, в непрерывном возникновении и в столь же непрерывном разрешении всех новых, более сложных задач, в исключении устаревшего, в сохранении и развитии того, что обещает совершенствоваться, в ассимиляции того, что позволяет ей прогрессировать.

Мелиоративная систем «живет» значительно дольше своих подсистем и объектов. Она значительно сложнее и многообразнее их. И это потому, что ей присущи особые, системные механизмы функционирования и развития, которые не дают ей «погибнуть», а позволяют «пережить» функционально обретающие ее элементы.

Важный критерий развития мелиоративных систем – *равномерность и согласованность развития различных ее подсистем*. Принципиально важно различать развитие системы и системное развитие системы. Развитие системы – в том, что она не остается самой собой, что в ней происходят изменения, преобразования. Но это развитие может протекать бессистемно, когда одни подсистемы, объекты и элементы развиваются в ущерб другим (например, ГМС и СХП), когда возникают диспропорции и система начинает отрицательно влиять на природную, экономическую и социальную среды. *Системное развитие* означает упорядоченность, целенаправленность, согласованность изменений, когда одна подсистема изменяется пропорционально другой, а все вместе они служат достижению основной цели.

Например, под совершенными оросительными системами (правильно-гидрометрическими, мелиоративными) в первую очередь понимают наличие закрытых оросительных и дренажных сетей, автоматизации и других технических улучшений. При этом предполагают, что параметры системы определены в оптимальных диапазонах водного, солевого, теплового и питательного режимов, обеспечивающих получение экономически оправданного количества сельскохозяйственной продукции за много лет. В данном случае причиной присоединения к понятию «оросительная система» нового — «совершенная» — послужили введение подсистемы, обеспечивающей более оперативное управление системой (автоматизации), и замена отдельных ее элементов более современными. Параллельно совершенствуется и подсистема СХП — появляется понятие «программирование урожаев» и разрабатываются соответствующие подсистемы, обеспечивающие это.

Таким образом, идет параллельное развитие обеих подсистем, но без взаимной увязки. В первой совершенствование осуществляется на стадии проектирования, во второй — на стадии эксплуатации. Это может привести к асинхронности в развитии подсистем, и максимально возможный эффект достигнут не будет. В результате реально создаются совершенные системы ПП на МЗ. Однако этот процесс может идти быстрее, если будет признана необходимость совершенствования системы ПП на МЗ в целом, а не двух разрозненных ее подсистем.

Попытаемся теперь спрогнозировать возможный путь развития мелиоративных систем. С теоретических позиций развитие системы можно рассматривать как постоянный процесс повышения ее сложности и эффективности, сопровождающийся увеличением элементного состава, сочетанием элементного роста и понижением энтропии (Дружинин, Конторов, 1976 и др.).

Число и состав объектов системы ПП на МЗ постоянно растут, появляются новые специальности исполнителей и инженернотехнических работников. Проводимые научные исследования способствуют понижению энтропии, уменьшению неопределенности «поведения» системы. Вместе с тем нельзя утверждать, что во всех случаях удельная энтропия системы уменьшается. Это противоречило бы фактам: так, предсказывают снижение удельных затрат на осуществление мелиоративных работ, а они возрастают, не во всех случаях подтверждается на практике прогноз темпов роста производительности труда и т. д.

Как показали проведенные (совместно с В. И. Агарковым) исследования, объединившие основные положения концептуальной модели СПП на МЗ, на ход дальнейшего совершенствования и развития теории мелиораций и мелиоративных систем могут оказать влияние следующие соображения.

1. Дальнейшее концентрирование внимания ученых на изучение среды, во взаимосвязи с которой функционирует мелиоративная система, позволит получить прогноз изменения этой среды, отличающийся высокой достоверностью. На его основе можно будет разрабатывать способы максимального противодействия неблагоприятным воздействиям. Причем необходимо сразу разрабатывать два канала приема информации об изменении среды: первый будет служить для ввода долговременной информации о медленно изменяющихся ее свойствах, второй — загружаться передачей информации о быстрых изменениях в ней.

2. Существенный эффект в снижении энтропии мелиоративной системы можно получить путем комплексного изучения морфологии и функциональной деятельности мелиоративной системы, поскольку в развивающихся системах усложнение морфологии сопровождается совершенствованием функциональной деятельности. Диалектическое обоснование этого процесса обусловлено качественным изменением функции при достижении ею некоторого уровня интенсивности.

3. Проблема достижения сущности и упрощения сложности мелиоративной системы сопряжена с необходимостью генерирования информации, разра-

ботки неизвестных ранее знаний. Эффективным путем генерирования информации может быть *метод ассоциаций*. Программа метода включает следующие этапы: отбор из отдаленных областей (других научных специальностей, и в первую очередь фундаментальных наук) информационных блоков, которые находятся в противоречии с одним из информационных блоков, связывающих мелиоративную систему, и дополняющих его; выделение из отобранного блока некоторой части, обещающей быть полезной; синтез выделенного блока со знаниями, отражающими процессы в мелиоративной системе; проверка эффективности осуществленного синтеза; запоминание эффективных блоков и дальнейшее их использование; повторение процедуры. При этом могут быть использованы изложенные выше методы сжатия информации и междисциплинарного синтеза.

4. Развитие мелиоративной системы предполагает наличие определенного плана, опирающегося на понятийный аппарат. План с течением времени претерпевает изменения, которые сочетаются с изменением тезауруса как подсистемы мелиоративной системы. Этот процесс может быть осуществлен как путем введения новых категорий (понятий высокой степени общности), так и путем концентрации и предметизации категорийного аппарата.

5. Понятия, охватывающие на конкретный момент времени определенную область науки, представляют собой ее тезаурус и являются частью информационного описания или подсистемой (на информационном уровне), а подсистема, объединенная с машинными носителями, — подсистемой материализованной системы. Требования к тезаурусу определяют, исходя из характеристик целенаправленной системы, способной моделировать и прогнозировать ситуацию. Для этого подсистема — тезаурус системы ПП на МЗ должна обладать следующими свойствами: а) воспринимать и распознавать внешнее воздействие, формируя при этом образ среды (в широком смысле); б) обладать априорной информацией о среде, хранимой в виде образов этой среды; в) обладать информацией о себе самой, о системе ПП на МЗ, о своих свойствах и возможностях, хранимых в виде образов, морфологического и функционального описаний, составляющих информационные образы (Дружинин, Конторов, 1976).

Отражая свойства целенаправленной СПП на МЗ, информационная подсистема представляет собой полезную внутреннюю информацию о СПП на МЗ, определяет способность через подсистему распознавать ситуацию и управлять системой. Самоотражение инженерной системы (как и отображение среды) может использовать различные соответствия: оно может быть локализованным в одной подсистеме, распределенным по нескольким подсистемам, дублироваться во множестве подсистем, может быть многоуровневым, т.е. повторяться с различной степенью детализации. Физический носитель отображения может быть заполненным в большей или меньшей степени; в процессе функционирования системы информация может как добавляться, так и стираться.

Таким образом, разработка информационной подсистемы системы ПП на МЗ позволила бы вести последнюю по траектории эффективности, т.е. осуществлять ею целенаправленные действия с учетом изменения среды. Элементы этого заложены в программировании урожая, но совсем другое дело, если это будет осознанно разрабатываться на стадии проектирования систем ПП на МЗ. Причем следует создавать типовые комплексы программ на ЭВМ и комплексы технических средств, обеспечивающих целенаправленное управление системами. А это потребует совершенствования подготовки специалистов, проектирующих эти системы, т.е. совершенствования *проектирующей системы*.

Итак, выше изложены и обоснованы концептуальные положения, с помощью которых могут быть ориентированы исследования различных аспектов мелиоративных процессов и систем с целью повышения их эффективности.

К таким положениям можно отнести:

необходимость установления и устранения несоответствия между генерируемой научной информацией и возможностями ее переработки;

необходимость введения обобщающих понятий и теорий, повышающих емкость информации;

устранение противоречия между дифференциацией и интеграцией научных исследований через процесс постоянного синтеза знаний;

внедрение системно-структурного и системно-исторического подходов к анализу мелиоративных процессов и систем;

введение кибернетического синтезирующего звена для углубления познания мелиоративных процессов;

разработка категориально-понятийной структуры процесса производства продукции на мелиорируемых массивах в виде матрицы для проектирования на нее частных процессов мелиораций с целью последующего объединения их в общий процесс;

представление процесса мелиораций в виде синтезирующей категориально-понятийной матрицы;

установление иерархии систем, осуществляющих мелиоративные процессы; совершенствование и развитие систем.

Дальнейшее развитие в работе получают те из перечисленных концепций, решение которых имеет в настоящее время первостепенное значение для мелиорации. К таким первоочередным проблемам следует отнести вопросы, связанные с развитием мелиоративных систем. В концепции их развития существенное место занимает создание информационной подсистемы системы ПП на МЗ. Однако разработку подсистемы целесообразно вести параллельно с развитием методологии системы автоматизированного проектирования (САПР) системы ПП на МЗ с тем, чтобы полученные по САПРу данные могли быть частично использованы при создании тезауруса этой системы. Это позволит перевести систему ПП на МЗ из технической в кибернетическую.

1.4. МЕСТО МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЖИЗНЕННЫХ УСЛОВИЙ ОБЩЕСТВА

Представим процесс изменения жизненных условий общества в виде схемы (рис. 1.2.). На ней вместо категории «человек» выступает категория «общество», характеризующаяся понятиями «население» и «социальнополитическая система». Система социалистического производства (на схеме понятие «система») описывается понятиями «добывающая система», «перерабатывающая система», «воспроизводящая система». Добывающая и перерабатывающая системы на более низких уровнях не рассматриваются, а воспроизводящая рассматривается еще на четырех уровнях. На следующем уровне она (как понятие) включает такие понятия, как сельскохозяйственная, водохозяйственная, лесохозяйственная, рыбохозяйственная и другие системы.

В свою очередь, сельскохозяйственную систему (как понятие) можно раскрыть через понятия «система земледелия» и другие системы, а водохозяйственную систему соответственно через понятие «мелиоративная система» и другие системы (обводнения и водоснабжения). Система земледелия (как понятие) разделяется на богарное земледелие и орошаемое (осушаемое) земледелие. Таким образом, мелиоративная система является системой более низкого уровня одновременно по отношению к сельскохозяйственной и к водохозяйственной системам, а гидромелиоративная система, как установлено выше, является следующим уровнем по отношению к мелиоративной системе и включает оросительную и осушительную системы. Понятие «среда» раскрывается понятиями «окружающая среда», «среда обитания».

«Продукт» есть результат воздействия «общества», «инженерной системы» (с использованием «материала») на «среду». Продукт (как понятие) раскры-

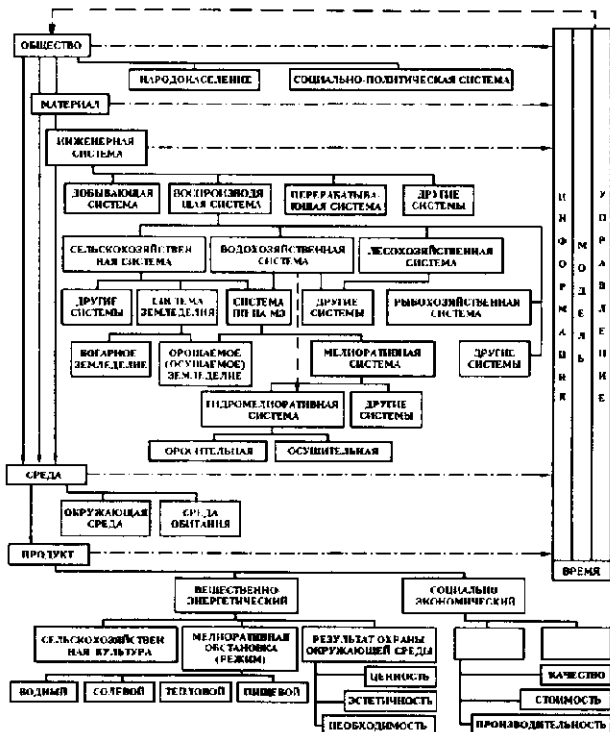


Рис. 1.2. Схема процесса изменения жизненных условий части общества

ваем через понятия «вещественно-энергетический и социально-экономический продукты», и далее вещественноэнергетический (соответственно) через сельскохозяйственную культуру, мелиоративную обстановку, результат охраны окружающей среды и т.д. Информация об «обществе», «материале», «системе», «среде» и «продукте» с помощью формализованных и неформализованных моделей (объективных, осознанных и неосознанных законов развития) с учетом временных факторов позволяет обществу управлять процессами таким образом, чтобы получаемый продукт (в виде вещественно-энергетического и социально-экономического) не ухудшал процесс изменения жизненных условий общества.

Таким образом, видно, какое место занимает мелиоративная система в схеме процесса изменений жизненных условий общества и как на понятийном уровне она взаимосвязана с другими системами. Эту схему процесса можно представить категориально-понятийной матрицей.

Дальнейшее развитие этой иерархической структуры имеет большое значение для установления информационной иерархии, которая помогает понять: для чего и кому нужны те или иные системы, на каком иерархическом уровне должны приниматься решения по тому или иному вопросу и в какой степени та или иная система должна выполнять свои задачи.

Проиллюстрируем это на следующем примере. В настоящее время функционируют две подсистемы: гидромелиоративная и сельскохозяйственного производства. У каждой из них свои цели и задачи, они управляются (и подчиняются) различными вышестоящими системами (соответственно водохозяйственной и сельскохозяйственной), но созданы для общей цели – получение продукции. Поэтому, устремления водохозяйственной и сельскохозяйственной систем должны быть общими, но диалектически между ними может возникать несогласованность по различным объективным и субъективным причинам. С целью формирования окончательного решения для соответствующего иерархического уровня, принимающего решение, необходима подготовка альтернативных вариантов с набором критериев и показателей. Для этого должен быть образован многоуровневый тезаурус, причем организован так, чтобы не было передачи излишней информации на верхний уровень и в то же время ее было бы достаточно для принятия решения как на уровне мелiorативной системы, так и на уровне АПК.

Следует отметить, что, например, на иерархическом уровне района (по ветви административного деления) местные органы управления являются, по существу, связующим звеном между гидромелиоративной системой (ГМС) и сельскохозяйственным производством (СХП). Если же мелiorативная система обслуживает не один, а несколько районов, хозяйств и отделений, то существенно усложняется информационное взаимодействие между ГМС и СХП и внутри этих подсистем. Соответственно усложняется и подготовка объективных альтернативных решений для лиц, принимающих решения.

ГЛАВА 2. Техничко-экономическое моделирование и критерии оптимизации при расчете параметров гидромелиоративных и мелiorативных систем

2.1. СХЕМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Производство продукции на мелiorируемых землях – сложный технологический процесс, осуществляемый с помощью системы сельскохозяйственного производства (СХП) и гидромелиоративной системы (ГМС).

Гидромелиоративная система включает комплекс инженерных сооружений, устройств и машин, создающий определенный водный режим, влияющий на солевой, тепловой и питательный режимы, обеспечивающие получение экономически оправданного количества сельскохозяйственной продукции. Таким образом, назначение системы – управление необходимыми для сельскохозяйственных растений режимами, а задача проектировщика – рассчитать эти режимы и, исходя из них, спроектировать эффективную систему.

Разнообразие почвенных, гидрогеологических, климатических, организационно-хозяйственных и других условий определяет необходимость изменения отдельных параметров и элементов гидромелиоративных систем в достаточно широких пределах. Однако это не влечет за собой существенных изменений в общих методологических подходах к обоснованию параметров проектируемых систем.

Параметры оросительной и дренажно-коллекторной систем тесно связаны между собой через водно-солевой, тепловой и питательный режимы мелiorируемых территорий (Рекс, 1974). Так, проектирование любой гидrome-

лиоративной системы обусловлено наличием земельных, водных и трудовых ресурсов; климатическими, почвенными и гидрогеологическими условиями; административно-хозяйственными особенностями территории. На основе из анализа устанавливают севооборот, который требует определенного режима орошения с учетом водного, солевого, питательного и теплового режимов почвогрунтов. Оросительная и дренажно-коллекторная сеть формируют уровень грунтовых вод на орошаемых и осушаемых территориях и соответственно оказывают влияние на урожай. Испарение с поверхности грунтовых вод оказывает влияние на водно-солевой, тепловой и питательный режимы почвогрунтов и в ряде случаев может ухудшать мелиоративную обстановку.

С учетом сказанного, параметры оросительной и осушительной систем следует выбирать на основе технико-экономических расчетов. Функционирование гидромелиоративной системы в составе речного бассейна можно представить следующим образом. Каждый бассейн характеризуется наличием земельных, водных, а также трудовых ресурсов. Водные ресурсы определяются речным стоком с учетом возможностей плотинных и бесплотинных водозаборов. Водоотбор на гидромелиорацию тесно связан с наличием земельных и трудовых ресурсов.

Создаваемые в бассейне гидромелиоративные системы состоят, как правило, из оросительных и осушительных систем. Оросительная система может быть выполнена открытой или закрытой, осушительная — в виде горизонтального, вертикального или комбинированного дренажей. От технических параметров систем зависит степень привлечения имеющихся земельных, водных и трудовых ресурсов с учетом водно-солевого режима почвогрунтов для получения с мелиорируемых земель планового урожая. Соотношение земель с орошением и без орошения в общих земельных ресурсах бассейна определяется наличием водных и трудовых ресурсов.

Общая задача оптимизации получения максимального валового объема сельскохозяйственной продукции на мелиорируемых землях бассейна распадается на ряд задач оптимизации. Так максимальная эффективность использования водных ресурсов бассейна требует минимизации затрат на строительство водозабора с учетом земельных и трудовых ресурсов; выбор типа и параметров оросительной и осушительной систем с учетом водно-солевого и тепло-пищевого режимов, а также использования земельных, водных и трудовых ресурсов основывается на минимизации затрат на создание и содержание отдельных сооружений или всей гидромелиоративной системы в целом с учетом цены ресурсов и т. д.

В настоящее время вопросам повышения эффективности гидромелиоративных систем уделяют недостаточное внимание. Как правило, речь идет лишь об усовершенствовании конструкций различных их элементов или, в лучшем случае, об эффективности какой-либо подсистемы, например дренажно-коллекторной или оросительной. При этом оптимизации параметров гидромелиоративной системы в целом может не достигаться (Асатрян, 1977, Мухамеджанов, 1976).

Вклад отдельных подсистем в общую эффективность системы может быть определен только путем специальной обработки фактического материала, имеющегося на эксплуатируемых мелиоративных системах, с использованием теории математической статистики.

В настоящее время эффективность мелиоративной системы степной зоны в конечном счете связывают с обеспечением высоких и устойчивых урожаев в сухие годы. Но, каким должен быть «высокий» урожай в острозасушливые годы, а отсюда — какую водоподачу должны обеспечить мелиоративные системы, технико-экономическими расчетами в достаточной степени не обосновывают. Как правило, системы проектируют на удельный максимальный расход 5% обеспеченности дефицита водного баланса на год, что нельзя признать правильным. Очевидно, что урожайность сельскохозяйственных культур

при орошении формируется под воздействием заданных, случайных и управляемых факторов (Назарова, 1974; Рекс, Черноглазов, 1977), которые, в свою очередь, характеризуются следующими условиями. *Заданные* – почвенными, гидрогеологическими, геоморфологическими и среднесуточными метеорологическими условиями территории. *Управляемые* – режимом орошения, дозой удобрения, сортностью и количеством семян, а также прочими производственными условиями. *Случайные* – процессом выпадения осадков, температурным режимом, условием появления вредителей и др.

Исходя из этого, урожайность орошаемых культур можно представить в виде

$$Y^0 = Y_b^0 \pm Y_c^0 \quad (2.1)$$

где Y_b^0 – базовая урожайность, которая создается за счет заданных и управляемых факторов; Y_c^0 – случайная урожайность, формируемая за счет случайных факторов.

Урожайность сельскохозяйственных культур на богарных землях можно разделить на две составляющие – детерминированную Y_d и случайную Y_c^6 :

$$Y^6 = Y_d^6 \pm Y_c^6 \quad (2.2)$$

При этом Y_c^6 равна урожайности, которая могла бы быть получена при известных значениях заданных и управляемых факторов (из числа управляемых факторов в этом случае исключают режим орошения) и при средних значениях случайных факторов; она определяется тем или иным отклонением случайных факторов от их средних значений. Таким образом, мелиоративная система в основном оказывает влияние на детерминированную составляющую урожайности на богарных землях и переводит ее в базовую, т.е. создаваемый прирост урожайности выражается зависимостью

$$Y^0 = Y_b^0 \pm Y_c^0 - (Y_d^6 \pm Y_c^6), \text{ или} \\ Y^0 = (Y_c^0 - Y_d^6) \pm DY_c^6$$

Здесь основная прибавка состоит в превышении базовой урожайности по сравнению с детерминированной.

Сложившаяся в настоящее время практика улучшения мелиоративных систем путем усовершенствования конструкций отдельных элементов как бы отодвигает на второй план вопросы обоснования параметров систем, что не всегда приводит к желаемому эффекту. Например, внедрение широкозахватной поливной техники без должного техникоэкономического обоснования ее выбора, без учета вариации метеорологических условий (в многолетнем разрезе) привело к замораживанию 20...30% капиталовложений, направленных на строительство совершенных систем. (Этот вывод сделан автором на основе экспертных оценок проектов систем.) Поэтому весьма важна и актуальна постановка проблемы оптимизации параметров мелиоративных и гидромелиоративных систем, создаваемых в различных зонах страны. Выбор оптимальных (эпиоптимальных) параметров тесно связан с экономико-математическим моделированием и выбором критериев оптимизации.

2.2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И КРИТЕРИЯХ ОПТИМИЗАЦИИ

Применение математических методов в мелиоративных и технико-экономических исследованиях подразумевает не только проведение различного рода расчетов, но и использование математики как инструмента изучения инженерных и экономических процессов получения теоретических выводов и практических результатов (Воропаев, 1971, 1976; Галямин, 1971, 1975).

Главные преимущества математики как средства научного познания раскрываются при построении математических моделей, в определенных отношениях

заменяющих исследуемые системы. Математические модели экономических процессов, отражающие с помощью математических зависимостей основные элементы этих процессов и явлений, представляют собой эффективный инструмент исследования сложных технико-экономических проблем. А.Г. Гранберг (1978) и другие отмечают, что в процессе моделирования участвуют три элемента: субъект (исследователь); объект исследования; модель, опосредствующая отношения познающего субъекта и познаваемого объекта. При этом логикоматематическая модель представляет собой определенную систему математических отношений и логических выражений (функций, уравнений, неравенств, алгоритмов и т.д.), отражающих существенные свойства исследуемых систем, а структурные модели отражают внутреннюю организацию объекта: его составные части, внутренние параметры, их связи с «входом» и «выходом» (Пряжинская, 1971; Шавва, 1974; Шумаков, 1971 и др.).

Сложность системы определяется числом входящих в нее подсистем, объектов и элементов, связями между ними, а также между системой и средой. К более сложным относятся, например, целенаправленные системы, развитие которых подчинено достижению определенных целей, и самоорганизующие системы, способные в процессе функционирования изменять свою структуру и организацию. Изучение таких систем, т.е. описание физических и экономических процессов, формируемых ими, возможно только в комплексе. На необходимость осуществления комплексного подхода при проведении анализа экономического процесса указывал В.И. Ленин. Он писал, что в области таких сложных, разнообразных, переплетенных и противоречивых тенденций, как экономика современного земледелия, «...требуется в первую голову и больше, чем где бы то ни было, изображение процесса *в целом*, учет всех тенденций и определение их равнодействующей или их суммы, их результата»⁴.

Под системой, как правило, понимают совокупность компонентов (подсистем, объектов и элементов), связанных в единое целое, она обладает свойствами, отсутствующими у компонентов, ее образующих.

При задании некоторых «входов» на систему следует ожидать определенных «выходов» — результатов. Если ожидаемые результаты не достигаются, тогда с помощью системного анализа устанавливают дефектные компоненты и отношения («противоречия»), не позволяющие достичь желаемых результатов. После выявления «противоречий» разрабатывают мероприятия, позволяющие устранить эти дефектные составные части системы и создать условия для достижения ожидаемых результатов (Кравченко, 1978 и др.).

Часто используемые понятия «наилучшее решение», «наилучший вариант», «наилучшее состояние системы» и т.п. страдают неопределенностью, требующей конкретизации. Необходимо их количественное выражение, позволяющее формализовать процесс выбора наилучших (оптимальных) решений (Кардаш, 1977; Кисаров, 1975; Левит-Гуревич, 1978; Назаров, 1969 и др.).

Под принципом оптимальности в самом общем виде понимают достижение заданной цели развития системы с наибольшей при заданных условиях эффективностью. Оптимума вообще, безотносительно к конкретному количественному показателю эффективности, не существует.

Проблему критериев оптимальности связывают с необходимостью рассмотрения двух аспектов (Кравченко, 1978).

1. Определение сущности экономической категории «критерий оптимальности», что непосредственно связано с понятием цели функционирования той или иной экономической системы, части ее или некоторого экономического процесса в конкретных условиях и в данный период развития;

2. Разработка экономико-математических методов оптимизации экономических процессов, связанных с необходимостью определения показателей качества — критериев, по экстремальным значениям которых оценивалась бы сравнительная эффективность тех или иных вариантов решений.

Отсюда следует, что понятие «критерий оптимальности» не отождествляют с понятием «цель системы». Цель функционирования — это некоторое желаемое состояние экономической системы, и поэтому в содержательном отношении понятие критерия оптимальности функционирования системы значительно шире. В то же время достижение цели всегда связано с определенными издержками. Соотношения же издержек и достигнутых результатов образуют систему показателей эффективности функционирования системы в процессе достижения заданной цели.

Аналитическую форму выражения критерия оптимальности называют *целевой функцией* (функционалом, функцией цели) экономикоматематической модели процесса или системы. В зависимости от конкретной цели расчета принятого показателя эффективности и конкретного аналитического вида записи критерия один и тот же критерий оптимальности может быть представлен различными по виду математическими выражениями (Кардаш, 1971; Кисаров, 1975; Коваленко, 1965; Пряжинская, 1971; Шумаков, 1971 и др.).

В настоящее время существуют два противоположных теоретических подхода к построению целевой функции: нормативный и дескриптивный. *Нормативный подход* предполагает возможным только по данным науки построить целевую функцию для наиболее рациональных условий человеческой жизни. *Дескриптивный подход* основан на обобщении фактически наблюдаемого поведения общества путем обработки статистических данных, материалов социологических обследований и т.п. (Канторович, 1960; Хачатуров, 1979 и др.).

Как отмечает А. Г. Гранберг (1978), обе эти концепции страдают одним недостатком: глобальный критерий в них неявно отождествляется с глобальной целью функционирования социалистической экономики. Последний как политико-экономическая категория эффективности должен выражать совокупную народнохозяйственную эффективность общественного производства, т.е. отражать, с какой эффективностью может быть достигнута глобальная цель развития экономики.

Глобальный критерий, минимизирующий совокупные затраты живого и овеществленного труда на производство общественно необходимого объекта продукции, служит именно тем мерилom совокупной общественной эффективности функционирования народного хозяйства, который соответствует требованиям основного экономического закона. Выбор и обоснование глобального критерия оптимальности функционирования экономической системы не является задачей, решаемой формально математическими методами. Это — социально-экономическая проблема. Так же, как цель развития экономической системы определяется вне математической модели, самим обществом, так и глобальный критерий задается извне, а в модели оптимального функционирования народного хозяйства общественно необходимый объем совокупного продукта и его структура должны рассматриваться как заданные величины, как заказ общества, поскольку экономика является подсистемой общества (Канторович, 1960; Кац, 1970; Хачатуров, 1979 и др.).

Отрасль сельского хозяйства как подсистема всего народного хозяйства, вплоть до предприятий и его подразделений, имеет иерархическую структуру, подсистемы которой в процессе взаимодействия обладают определенной самостоятельностью, имеют специфические локальные цели, вытекающие из общей цели народного хозяйства и конкретизирующие её. В соответствии с этими целями должны объективно существовать локальные критерии и отраслевой критерий оптимальности (Канторович, 1960; Кравченко, 1978; Хачатуров, 1979 и др.).

Как известно, на затраты, существенное влияние оказывает система цен. Полное согласование локальных критериев с отраслевым и отраслевым с глобальным достижимо лишь при наличии оптимальной системы цен (Горячко, 1978; Кац, 1970 и др.).

Как отмечает Р. Г. Кравченко (1978), требованиям глобального критерия в наибольшей степени соответствует отраслевой критерий, минимизирующий совокупные затраты живого и овеществленного труда на производство общественно необходимого объема сельскохозяйственной продукции. Этот критерий согласуется также с объективной тенденцией сокращения числа занятых в отрасли, в связи с чем единственным источником дальнейшего роста производства сельскохозяйственной продукции является систематическое повышение производительности труда. «Формальным препятствием к реализации этого критерия, является то, что в существующей отчетности по сельскому хозяйству исключаются показатели совокупных затрат живого и овеществленного труда. Поэтому в моделях функционирования отрасли пользуются системой стоимостных показателей эффективности (прибыль, приведенные затраты, чистый доход, рентабельность, себестоимость продукции и т. д.)» (Кравченко, 1978).

В качестве локальных критериев оптимальности на практике наиболее часто используют максимум прибыли и минимум приведенных затрат. Иногда для установления параметров систем используют векторную оптимизацию или оптимизационную модель с векторной целевой функцией (Кардаш, Фелингер, 1968; Кардаш, Пряжинская, 1966; Кисаров, 1975 и др.).

Векторная целевая функция $B_{ц.ф}(x) = B(x)$ включает в себя такие частные функции $\Phi(x)$, которые не сводятся в единую (скалярную) целевую функцию и выражают степени удовлетворения различных потребностей общества: повышение материального благосостояния, удовлетворение социальных запросов, укрепление и развитие систем общественных отношений, обеспечение безопасности развития и т. д. Эта модель может определить множество эффективных вариантов, но она не решает проблему окончательного выбора планового решения. Открытым остается вопрос о его выборе из множества эффективных планов. Для решения требуется умение сопоставлять различные варианты предлагаемых решений, т. е. находить компромиссные решения с учетом использования заданной целевой функции (Канторович, 1960; Кац, 1970; Хачатуров, 1979 и др.).

Наиболее разработаны две схемы компромисса между частными целевыми функциями: *условная оптимизация* (эпиоптимизация), т. е. оптимизация по данному критерию при ограничениях на другие критерии, и *сведение векторного критерия оптимизации к скалярному*. Окончательный выбор варианта осуществляется, как правило, неформальным путем — сопоставлением сильных и слабых сторон вариантов в разных ситуациях и учетом дополнительных факторов, не нашедших отражения в оптимизационной модели.

2.3. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Все критерии, используемые при оптимизационных расчетах мелиоративных систем, можно условно разделить по их отношению к экономическому процессу на три группы, хотя в итоге они все сводятся к единому народнохозяйственному критерию.

К первой группе относятся критерии, отражающие действие в экономическом процессе, т. е. затраты при фиксированном результате. Ко второй группе — критерии, отражающие в экономическом процессе как действие (затраты), так и его результат (эффект), например, эффективность. Третья группа — это критерии, в которых результат действия (эффект) сопоставляется с, неполными затратами (себестоимостью). Это, например, прибыль. Рассмотрим более подробно критерии, входящие в каждую группу.

Группа 1

К ней можно отнести следующие критерии.

а. Приведенные затраты Π_a :

$$\Pi_3 = E_n K + C, \quad (2.3)$$

где E_n — нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений; K — капитальные вложения, р.; C — текущие затраты (себестоимость), р.

6. Суммарные расчетные затраты C_p^a (Воропаев, 1971):

$$C_p^a = C^n + E_n K + Y_{p,3}^{a,n} (D_3^a Z_p + D_0^a B_p + D_0^a T_p), \quad (2.4)$$

где $Y_{p,3}^{a,n}$ — удельные расчетные затраты на единицу продукции (натуральной) или на единицу ее стоимости, р. на 1 р.; Z_p , B_p , T_p — требуемые отвлекаемые соответственно земельные, водные и трудовые ресурсы; D_3^a , D_0^a , D_0^a — соответственно двойственные оценки земельных, водных и трудовых ресурсов по стоимости продукции, устанавливаемые по оптимальному плану производства на плановый период для данного экономического района.

Остановимся на некоторых определениях, которые понадобятся для понимания последующего материала.

Как известно, К. Маркс выделяет постоянный капитал C и переменный капитал V . Величину $V + C$ он называет совокупным капиталом u или определяет как весь капитал K , а величину m — совокупной прибавочной стоимостью. Стоимость производственного товара, или товарная стоимость, W равна издержкам производства $C + V$ плюс прибыль P , где $P = m$, т.е. прибыль количественно равна прибавочной стоимости:

$$W = C + V + m. \quad (2.5)$$

Норма прибыли

$$m / K = m / (C + V) = H_n \quad (2.6)$$

Норма прибавочной стоимости

$$m / V = H_{n,c}. \quad (2.7)$$

Совокупный продукт минус прибыль равен прибавочной стоимости.

Закон возрастания капитала:

$$S = C(1 + z)^n$$

где S равно сумме капитала плюс проценты на проценты; C — авансированный капитал; z — ставка процента; n — ряд лет, на протяжении которых протекает процесс.

По Марксу, z зависит от условий производства и труда, т.е.

$$z = z(Y_n, Y_l).$$

Здесь Y_n — условия производства; Y_l — условия труда, тогда

$$S = C [1 + z(Y_n(n), Y_l(n))] \quad (2.8)$$

где $Y_n(n)$ и $Y_l(n)$ — функция времени.

Полные затраты труда $\Pi_{3,1}$ равны

$$\Pi_{3,1} = C + V + m. \quad (2.9)$$

Национальный доход H_d равен

$$H_d = V + m. \quad (2.10)$$

Группа II

Включает следующие критерии.

а. Отношение национального дохода к полным затратам труда, т.е. эффективность $\mathcal{E}_1$:

$$\mathcal{E}_1 = H_d / \Pi_{3,1}. \quad (2.11)$$

б. Отношение национального дохода к величине $K_{n1} + E A_\Phi$, что тоже составляет эффективность $\mathcal{E}_2$:

$$\mathcal{E}_2 = H_d / (K_{n1} + E A_\Phi). \quad (2.12)$$

Конечный продукт K_{n1} есть сумма $V + m$ плюс амортизация a , т.е.

$$K_{п1} = V + m + a. \quad (2.13)$$

Все используемые авансированные фонды A_{ϕ} равны:

$$A_{\phi} = O_{сн} + O_{б} + P_{р}, \quad (2.14)$$

где $O_{сн}$ — основные фонды; $O_{б}$ — оборотные фонды; $P_{р}$ — прочие фонды.

в. Показатель абсолютной эффективности капитальных вложений E_a — отношение прироста национального дохода ΔH_d к капиталовложениям K_b , способствующим его образованию:

$$E_a = \Delta H_d / K_b \quad (2.15)$$

Величина, обратная E_a , — срок окупаемости $C_{ок1}$:

$$C_{ок1} = K_b / \Delta H_d \quad (2.16)$$

г. Показатель рентабельности P_r :

$$P_r = \frac{C_{г.п} - C_{сбг.п}}{K_b}, \quad (2.17)$$

где $C_{г.п}$ — стоимость готовой продукции; $C_{сбг.п}$ — себестоимость готовой продукции.

$$C_{сбг.п} = A_m + C_p + \Delta n \quad (2.18)$$

Здесь A_m — амортизация; C_p — стоимость ресурсов; Δn — заработная плата.

Действительные издержки производства $\Delta n_{п}$:

$$\Delta n_{п} = C_{сбг.п} + \Pi_{т}, \quad (2.19)$$

где $\Pi_{т}$ — «прошлый» труд.

Конечная продукция $K_{п2}$:

$$K_{п2} = C_{п} - C_p, \quad (2.20)$$

где $C_{п}$ — цена продукции.

Чистая продукция Δn :

$$\Delta n = C_{п} - C_p - A_m. \quad (2.21)$$

Общая сумма капитальных вложений $O_c^{K.в}$:

$$O_c^{K.в} = \sum_{t=1}^{T_c} K_{вт} (1 + E_1)^{T_c - t} \quad (2.22)$$

Здесь $K_{вт}$ — капиталовложения t -го года строительства; t — число лет до начала строительства; T_c — полное время строительства; E_1 — коэффициент, учитывающий фактор времени.

Эффективность эксплуатации за период строительства объекта $\Delta_3^{п.с.о}$:

$$\Delta_3^{п.с.о} = \sum_{t=1}^{T_c} (C_{г.п} - C_{сбг.п}) (1 + E_2)^{T_c - t}, \quad (2.23)$$

где $C_{г.п}$ — цена готовой продукции; E_2 — коэффициент, учитывающий фактор времени.

д. Критерии удельной производительности труда $Y_{п.т}$ (Кац, 1970):

$$Y_{п.т} = (1 - D_{п.к.в}^{B.о.п}) \frac{K_{п2}}{Ж_{т}} + D_{п.к.в}^{B.о.п} \frac{K_{п2}}{\Pi_{\phi}}, \quad (2.24)$$

где $D_{п.к.в}^{B.о.п}$ — доля производственных капиталовложений в конечном общественном продукте; $Ж_{т}$ — «живой» труд; Π_{ϕ} — производственные фонды:

$$\Pi_{\phi} = O_{сн} + O_{б}. \quad (2.25)$$

е. Критерии, встречающиеся в зарубежной литературе, например:

1) зависимость Дж.Сигрэйва: $B - C = 0$, (2.26)

$$\text{где } B = \sum_{t=1}^H \frac{R_t}{(1+i)^t}; \quad C = \sum_{t=0}^H \frac{C_t}{(1+i)^t}.$$

Здесь i – норма дисконта; H – ожидаемый срок службы проектируемого объекта; B – доходы; C – затраты.

2) зависимость Ж.Тедве:

$$\sum \frac{A_i}{(1+r)^i} = \sum \frac{I_i}{(1+z)^i}, \quad (2.27)$$

где A – выгода; I – затраты; r – дисконтная ставка; z – внутренняя норма дохода.

Группа III

К ней относятся следующие критерии.

Максимум прибыли (Пряжинская, Кардаш, 1964, 1965; Соломония, Болгашвили, 1964):

$$P_{\max} = C_{\text{д.д.}} - C_{\text{д.т.з.}}, \quad (2.28)$$

где $P_{\max}$ – максимум прибыли; $C_{\text{д.д.}}$ – суммарный дополнительный доход; $C_{\text{д.т.з.}}$ – суммарные дополнительные текущие затраты.

Анализ формы записи трех функций цели первой группы критериев показывает, что все они имеют один и тот же экономический смысл, с той разницей, что в функции Ia себестоимость определена как сумма амортизации, стоимости ресурсов и зарплаты, а в функциях Ib из себестоимости исключена и выделена стоимость части ресурсов. В то же время этим моделям присущи одни и те же недостатки: при высоких значениях нормативных коэффициентов эффективности капитальных вложений варианты, предусматривающие оснащение производства совершенной техникой, оказываются неконкурентоспособными по сравнению с вариантами, предусматривающими сохранение менее совершенной техники. Это объясняется тем, что в первом случае требуются значительно большие капиталовложения при незначительном изменении себестоимости продукции.

Следует отметить, что все модели первой группы не раскрывают также влияния более совершенной техники на повышение производительности труда в результате ее применения (Кац, 1970, 1977). Если учесть замечания К. Маркса (критика Прайса) и принять, что $E_n = E_n [Y_n(t), Y_t(t)]$, т.е. считать E_n функцией условий производства и труда, в свою очередь зависящих от времени, экономическая модель полных приведенных затрат будет более адекватно описывать экономический процесс: $P_z = E_n K_n + \text{Себ.}$ По-видимому, для каждой отрасли, а внутри отрасли – для каждой подотрасли – можно на основе исторического опыта установить тенденции скачкообразного и постепенного развития отдельных технических решений и спрогнозировать эти тенденции, что позволит рассчитывать связи $E_n [Y_n(t), Y_t(t)]$. Эту точку зрения в какой-то степени разделяет Т.С. Хачатуров (1979) и другие. В их работах приводятся значения нормативных коэффициентов E_n по отраслям и обращается внимание на необходимость их уточнений при оценке новой техники.

Вторая группа функций описывает различные варианты задания результатов и действий. Так, эффективность в группе Ia задается отношением национального дохода к полным затратам, а в группе Ib – к сумме конечного продукта и приведенных авансированных фондов. Группы Iv, Iv включают часть национального дохода и капиталовложения, определившие его получение. В группе Ie также сопоставляются доходы (выгоды) и затраты. При этом учитываются нормы дисконта и дисконтные ставки. В этих функциях тоже представлены две составляющие экономического процесса, но присутствуют коэффициенты, которым присущи отмеченные выше недостатки нормативного коэффициента функций II группы.

В группе Id (Кац, 1970) учитываются следующие составляющие экономического процесса: «живой» труд, производственные фонды, затраты и конечный продукт, полученный за счет «живого» и «прошлого» труда. Здесь

также присутствует коэффициент $D_{п.к.в.п}^{в.к.п.}$, который в данном случае «взвешивает» соотношение эффектов, полученных за счет «живого» и «прошлого» труда. Этот коэффициент предлагается принимать как долю производственных вложений в конечный общественный продукт, что представляет некоторую условность. Для создания большего приоритета новейшей техники коэффициент должен уменьшаться от 0,3 до 0,2, т.е. здесь так же, как и в случае использования нормативного коэффициента сравнительной эффективности капитальных вложений, существует некоторая неопределенность. Однако модель IIд является более полной, потому что учитывает наибольшее количество составляющих экономического процесса.

Функции критериев третьей группы находят применение при решении задач, связанных с повышением эффективности систем в эксплуатационный период, т.е. с использованием систем при наличии значительных ограничений на возможные действия и ресурсы.

2.4. КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Проектирование систем будем рассматривать для двух регионов страны – Средней Азии и зоны неустойчивого увлажнения европейской части СССР. Эти регионы, являясь зонами развитого мелиоративного земледелия, имеют значительный процент мелиорированных земель. Поэтому здесь в значительных объемах проектируют новые и реконструируют старые системы с учетом передовых достижений науки и техники.

Как указывалось выше, гидромелиоративная система является подсистемой мелиоративной системы, мелиоративная – подсистемой водохозяйственной, водохозяйственная – воспроизводящей, а последняя – подсистемой социалистического производства. Для каждой системы при экономикоматематическом моделировании имеется набор составляющих и ограничений по используемым ресурсам.

Для Средней Азии характерны более стабильные погодные условия, так как осадки в вегетационный период отсутствуют, и урожайность сельскохозяйственных культур в большей степени формируется за счет одной составляющей – орошения. В этом случае создание гидромелиоративной системы необходимого водно-солевого и теплопитательного режимов почвогрунтов накладывается на однозначное (в погодном отношении) действие. Поэтому здесь могут быть использованы критерии I группы с более полным учетом в них использования земельных, водных, трудовых и других ресурсов.

В зоне неустойчивого увлажнения на формирование урожайности сельскохозяйственных культур в первую очередь оказывают влияние две составляющие: орошение и осадки. При этом вторая составляющая имеет вероятностный характер, а мощность мелиоративной системы зависит от количества осадков. В этом случае нельзя ограничиваться рассмотрением работы только гидромелиоративной системы, а следует проанализировать возможность сочетания орошения и естественного увлажнения и, может быть, запланировать на острозасушливые годы (изменив параметры СХП) некоторое снижение урожайности. Это даст возможность спроектировать экономичную в многолетнем разрезе мелиоративную систему и, таким образом, «соблюсти интересы» как сельскохозяйственной, так и водохозяйственной систем. Следовательно, в задачах оптимизации параметров мелиоративной системы целесообразней, с нашей точки зрения, использовать критерии II группы, учитывающие соотношение затрат и эффекта.

Интересен тот факт, что по сложившейся традиции системы проектируют без ограничений по большинству ресурсов и материальных затрат.

ГЛАВА 3. Методика определения параметров гидромелиоративных систем

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При разработке методики выбора оптимальных параметров гидромелиоративной системы с учетом водно-солевого режима и на основе технико-экономических расчетов использован метод планирования имитационного машинного эксперимента. В схеме решения выделяют следующие этапы:

гидрогеолого-мелиоративная схематизация массива, формирование основных ограничений;

технико-экономическое обоснование задачи оптимизации, формирование экономической модели системы, технических ограничений, обоснование критерия оптимальности и вида функции цели;

математическое обеспечение решения задачи оптимизации.

На первом этапе формулируют ограничения, вытекающие из основных принципов подхода к проектированию гидромелиоративной системы.

Требования сельскохозяйственных растений к мелиоративному режиму в первом приближении ограничиваются двумя показателями: пределами изменения влажности в почвогрунтах и допустимым содержанием легкорастворимых солей.

1. Поддержание в корнеобитаемом слое при функционировании гидромелиоративной системы в период вегетации заданной влажности почвы W (Аверьянов, 1965; Аверьянов, Голованов, Никольский, 1974), т.е.

$$D W_{\text{НВ}} \leq W \leq W_{\text{НВ}}, \quad (3.1)$$

где W — влажность корнеобитаемого слоя; $W_{\text{НВ}}$ — наименьшая влагоемкость (НВ); D — доля от НВ.

2. Создание благоприятного солевого режима почвы и предотвращение ее засоления C выше предела токсичности $C_{\text{доп}}$ (Аверьянов, 1965; Айдаров, Пестов, 1976; Айдаров, А. И. Корольков, Т. П. Королькова, 1977; Голованов, 1975, 1977; Егоров, 1977; Ковда, 1946–1947), т.е.

$$C \leq C_{\text{доп}}. \quad (3.2)$$

За критерий оптимальности в соответствии с выполненным выше анализом принимаем минимум суммы приведенных расчетных затрат на строительство оросительной и коллекторно-дренажной систем с учетом используемых природных и трудовых ресурсов.

Приведенные суммарные расчетные затраты во всех вариантах определяют по следующей зависимости (Воропаев, 1971 и др.):

$$C_{\text{пр}} = (C_1^A E_n K_1^A) + (C_1^B E_n K_1^B) + Y_{\text{рз}} (D_0^3 Z_1 + D_0^B B_1 + D_0^T T_1) = \Phi_1(x_1). \quad (3.3)$$

где K_1^A , K_1^B — капиталовложения в i -й вариант на строительство дренажной и оросительной сетей; C_1^A , C_1^B — эксплуатационные затраты по дренажной и оросительной сетям; E_n — нормативный коэффициент; Φ_1 — функция параметров x_1 ; $Y_{\text{рз}} = C_{\text{уд}} + E_n K_{\text{уд}}$ — удельные расчетные затраты на единицу продукции; D_0^3 , D_0^B , D_0^T — двойственные оценки земельных, водных и трудовых ресурсов; Z_1 , B_1 , T_1 — требуемые земельные, водные и трудовые ресурсы для каждого из вариантов.

Итак, требуется определить экстремум функции $\Phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ при условиях:

$$\begin{aligned} C_{\text{пр}}^3 &> 0; \quad i = 1, 2, \dots, m. \\ x_j^1 &\geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Приведенные затраты на коллекторно-дренажную систему складываются из капитальных вложений на межхозяйственные, внутрихозяйственные кол-

лекторы, дренажи. Сюда входят затраты на земляные работы ($K_{з.р.}$), на укладку дренажных труб и их стоимость ($K_{д.т.}$), затраты на фильтры ($K_{фил.}$) и сооружения на КДС ($K_{соор.}$):

$$K^A = K_{з.р.} + K_{д.т.} + K_{фил.} + K_{соор.} \quad (3.5)$$

В свою очередь, затраты на земляные работы зависят от глубины заложения дренажа $H_{др.}$, ее конфигурации, способа производства работ. Затраты на укладку дренажных труб зависят от их диаметра, материала и способа укладки, на укладку фильтра — от его толщины, материала и способа производства работ. Капиталовложения на дренаж определяются удельной протяженностью дренажа, которая составляет: $U_{п.д.} = 10\ 000\ В$ на 1 га орошаемой площади, где $В$ — междреннее расстояние. В свою очередь, $В$ — функция следующих параметров: $В = \Phi(H_{др.}, H_0, \varnothing, O_c^M)$, поэтому в первом приближении можно записать, что затраты на дренаж — функция тех же параметров, от которых зависит междреннее расстояние, т.е. $K^A = \Phi(H_{др.}, H_0, \varnothing, O_c^M)$. Здесь H_0 — напор на междренье, $\varnothing$ — приведенный диаметр дренажа, O_c^M — осушительный модуль.

В существующей практике проектирования эксплуатационные затраты определяют как процент отчисления от капиталовложений. Капиталовложения в оросительную систему (K^O) выражаются суммой затрат, связанных со строительством водозабора, насосных станций, проводящей и регулирующей сетей, сооружений на них, поливной техники и в общем виде являются функцией гидро модуля системы (O_p^M), т.е. $K^O = \Phi(O_p^M)$; гидро модуль системы, в свою очередь, является функцией $\Phi[B, K, P(W, C), \Gamma]$, т.е. биологических потребностей растений B , климатических K , почвенных $P(W, C)$ и гидрогеологических условий Γ мелиорируемого массива.

Следует отметить, что стоимость дренажа — тоже функция оросительного модуля на поле и КПД системы, которые определяют инфильтрационное питание (нагрузку на дренаж), т.е. осушительный модуль (модуль дренажного стока).

Параметры гидромелиоративной системы выбирают при заданном уровне урожайности. Вопросы, связанные с оптимизацией конструктивных элементов оросительной и дренажной сетей, т.е. с выбором оросительных и дренажных труб, фильтра, сооружений и других элементов, не рассматриваются. Предполагается, что эти вопросы для региона решены и при этом конструкции оросительной и коллекторно-дренажной системы выбраны с учетом природных и организационно-хозяйственных условий.

Задача оптимизации параметров гидромелиоративной системы сводится к минимизации суммарных расчетных затрат, т.е.

$$C_{pi}^3 \rightarrow \min_i \quad (3.6.)$$

при ограничениях на влажностный и солевой режим корнеобитаемого слоя.

Таким образом, при оптимизации параметров гидромелиоративной системы нами за независимые переменные приняты следующие: глубина заложения $H_{др.}$, напор в междренье H_0 , приведенный диаметр дренажа $\varnothing$, O_c^M — осушительный модуль.

Однако алгоритм определения минимума функции C_{pi}^3 , записанный в виде (3.3), достаточно трудоемок и нет реальной возможности его использовать. В связи с этим предполагается находить уравнение регрессии, связывающее приведенные суммарные затраты с выбранными параметрами. С этой целью использован метод планирования «машинного» эксперимента (Кирейчева, Маркина, Рекс, Юрченко, 1983).

3.2. БАЛАНСОВЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВОГРУНТОВ ПРИ ОРОШЕНИИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Одна из важнейших задач орошаемого земледелия аридной зоны — рассоление и предупреждение вторичного засоления земель. Правильным сочетанием режима орошения и осушения можно создать благоприятный для земледелия водно-солевой режим в почвогрунтах, а в ряде случаев и в грунтовых водах, провести и поддерживать устойчивое рассоление верхней толщи почвогрунтов. Определяющие при борьбе с засолением факторы: влажность почвы и допустимое содержание в ней солей (по горизонтам и стадиям развития культуры) (Егоров, 1977; Ефимов, 1974; Зонн, 1937; Ковда, 1946–1947 и др.).

Для пояснения некоторых моментов, связанных с водно-солевым режимом орошаемых земель, рассмотрим уравнения водного и солевого балансов, представленные в следующем виде (Костяков, 1960; Аверьянов, 1965):

баланс почвенных вод:

$$D W_a = \bar{P} - \bar{O} + A + Or_b - (И_k + Tr) - B_{в.о} - \Phi_k; \quad (3.7)$$

баланс грунтовых вод:

$$D W_{гp} = \underline{P} - \underline{O} + \Phi_k + B_{в.о} \pm P - Dr. \quad (3.8)$$

Здесь DW — суммарное изменение запасов влаги в границах рассматриваемой территории; $\bar{P}$ — приток поверхностных вод; $\bar{O}$ — отток поверхностных вод; $\underline{P}$ — приток грунтовых вод; $\underline{O}$ — отток грунтовых вод; A — атмосферные осадки; Or — оросительная норма, идущая на покрытие водопотребления сельскохозяйственных культур; DOp — дополнительный объем воды, идущий на поддержание необходимого солевого режима; Φ_k — фильтрационные потери из системы [$\Phi_k = (1 - \eta) / \eta \cdot Or_n$, где η — КПД системы]; $И + Tr$ — суммарное испарение; $И_k$ — испарение с водной поверхности каналов системы; P — вертикальный водообмен балансового слоя; $B_{в.о}$ — вертикальный водообмен между почвенными и грунтовыми водами; ($B_{в.о} = A_1 + DOp - Gr$, где A_1 — доля осадков, идущих на питание грунтовых вод); Gr — подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами); Dr — сброс воды по коллекторно-дренажной сети за пределы территории; Or_b — оросительная норма брутто ($Or_b = Or_n + \Phi_k + И_k$); Or_n — оросительная норма с учетом промывного режима ($Or_n = Or + DOp$).

Солевые балансы, соответствующие водным, имеют следующий вид:

баланс солей в зоне аэрации:

$$D C_a = C\bar{П} - C\bar{O} - C_{ор.в} + C_a - C_{в.в.о} + C_d - C_{ф.к}; \quad (3.9)$$

баланс солей грунтовых вод:

$$D C_{гp} = C\underline{П} - C\underline{O} + C_{ф.к} + C_{в.в.о} \pm C_p - C_{др} \pm C_d. \quad (3.10)$$

Здесь DC_a — суммарное изменение запасов солей в границах рассматриваемой территории; $C\bar{O}$ — вынос солей поверхностными водами; C_a — поступление солей с осадками; $C\bar{П}$ — поступление солей с притекающими грунтовыми водами; $C\underline{П}$ — поступление солей с поверхностными водами; $C\underline{O}$ — вынос солей с оттоком грунтовых вод за пределы территории; $C_{ор.в}$ — поступление солей с оросительными водами; $C_{ф.к}$ — вынос солей из зоны аэрации с водой, фильтрующейся из каналов (поступление солей в грунтовые воды); $C_{в.в.о}$ — поступление и вынос солей при вертикальном водообмене между почвенными и грунтовыми водами ($C_{в.в.о} = C_{a1} + C_{дор} - C_{гp}$, где C_{a1} — поступление солей с частью осадков, идущих на питание грунтовых вод, обогащенных солями зоны аэрации); $C_{гp}$ — поступление солей в зону аэрации за счет подпитывания из грунтовых вод; $C_{дор}$ — поступление солей в грунтовые воды с оросительной водой, идущей на поддержание необходимого солевого режима, т.е. обогащенной солями зоны аэрации); C_p — поступление и вынос солей при вертикальном водообмене с подземными водами (подпитывание напорными водами или переток грунтовых вод вниз через местный водоупор); C_d — перенос солей в результате диффузии; $C_{др}$ — вынос солей с водами дренажно-коллекторной сети.

Представленные в таком виде балансовые уравнения позволяют проследить влияние соответствующих водных балансов на солевые балансы.

Рассмотрим случай, когда в уравнениях водного и солевого балансов зоны аэрации приток и отток поверхностных вод (Π , O) равны нулю. Тогда уравнение (3.7) будет иметь следующий вид:

$$\Delta W_a = A + Or_6 - (I + Tr) - B_{в.о} - \Phi_k, \quad (3.11)$$

а уравнение баланса солей (3.9) соответственно:

$$\Delta C_a = C_a + C_{ор.в} + C_{в.о} + C_d - C_{ф.к}. \quad (3.12)$$

Уравнения (3.8) и (3.10), характеризующие баланс грунтовых вод и солей в насыщенной зоне, при Π и O , равных нулю, преобразуются соответственно:

$$\Delta W_{гр} = \Phi_k + B_{в.о} \pm P - D_p; \quad (3.13)$$

$$\Delta C_{гр} = C_{ф.к} + C_{в.о} \pm C_p - C_{др} \pm C_d. \quad (3.14)$$

Проанализируем влияние составляющих уравнения водного баланса на перенос солей в почвогрунтовой слое и связанную с этим возможность назначения мелиоративных мероприятий по поддержанию необходимого солевого режима.

Составляющая ($A + Or_6$) способствует перераспределению солей в почвогрунтовой слое в благоприятную сторону (при $A + DOr > 0$). Сумма факторов ($I + Tr$) обуславливает накопление солей в корнеобитаемом слое. Фактор вертикального водообмена между почвенными и грунтовыми водами $B_{в.о} = A_1 + DOr - Tr$ в зависимости от соотношения между ($A + DOr$) и Gr может при $A + DOr > Gr$ или $Gr = 0$) вызывать значительное перераспределение солей в зоне аэрации в благоприятную сторону и вынос их из нее, а при $A_1 + DOr < Gr$ — перераспределять соли в неблагоприятную сторону, т.е. способствовать их поступлению в зону аэрации из грунтовых вод. Фильтрационные потери Φ_k вызывают перераспределение солей и их вынос только на отдельных участках массива и не играют существенной роли в поддержании на нем положительного солевого режима.

Как видим, составляющая суммарного испарения ($I + Tr$), формируемая с помощью тепловой и биологической энергий, вызывает перераспределение солей в корнеобитаемом слое зоны аэрации в неблагоприятную сторону, в связи с чем требуется механическая энергия по обратному их перераспределению. Поэтому даже в условиях глубокого залегания грунтовых вод, но при отсутствии (за ряд лет) оттока из корнеобитаемого слоя, т.е. при $A_1 + DOr = 0$, может происходить процесс засоления (Рекс, 1976 и др.).

Следует также отметить, что составляющая ($I + Tr$) в уравнении водного баланса характеризует расходную статью, в уравнении же солевого баланса она отсутствует. Однако вызываемое ею перераспределение солей играет весьма значительную роль. Это означает, что одними уравнениями солевого баланса описать солевой режим в зоне аэрации нельзя (Аверьянов, Рекс, 1971; Рекс, 1971, 1976, 1977).

Как показал анализ материалов наблюдений за орошаемыми массивами, благоприятная обстановка создается именно благодаря вертикальной отточности из корнеобитаемого слоя вне зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод. Стремление достичь опреснения только грунтовых вод при рассолении почвогрунтов не всегда оправдано, так как при этом не устраняется необходимость в поддержании промывного режима. Также не всегда эффективно создание промывного режима только путем подачи оросительной воды. Например, в европейской части СССР при наличии такого фактора, как отточность (естественная или созданная искусственно), благоприятный солевой режим может складываться лишь в результате выпадения атмосферных осадков (Аверьянов, 1965; Айдаров, 1977; Рекс, 1971, 1976).

Детальное рассмотрение водного и солевого балансов особо важно в связи с созданием совершенных гидромелиоративных систем, в составе которых

предусматривается закрытая оросительная и дренажная сеть, что, безусловно, удорожает строительство. Анализ водного и солевого балансов позволит более обоснованно учесть специфические условия, в которых проектируют гидромелиоративные системы, и сделать их более экономичными (Рекс, 1975; Рекс, Кирейчева, 1977).

В этой связи при проектировании гидромелиоративных систем необходимо составить прогноз изменения водно-солевого режима под воздействием мелиоративных мероприятий. Для этих целей автором разработана методика расчета водно-солевого режима.

Методика расчета водно-солевого режима в аридной зоне предполагает условия, при которых грунтовые воды находятся на такой глубине, что оросительная вода при поливах непосредственно взаимодействует с капиллярной каймой и в результате нарушения равновесия происходит «капиллярный сброс», ведущий к своеобразной промывке почв и подъему грунтовых вод. Создается промывной режим орошения, ведущий к повышению оросительной нормы и пополнению грунтовых вод.

В период между поливами запасы влаги в слое от поверхности земли до глубины заложения дренажа расходуются на транспирацию, физическое испарение и дренажный сток. Поэтому роль дренажа для совершенных гидромелиоративных систем сводится лишь к отводу вод, обеспечивающих поддержание нормальной солевой обстановки. Наличие сосредоточенных потерь из оросительной сети приводит к дополнительному питанию грунтовых вод и, следовательно, к неоправданно высокой нагрузке на дренаж. При подпитывании грунтовых вод минерализованными напорными водами возникает необходимость в их отводе. В ряде случаев значительное опреснение грунтовых вод оказывается невозможным и возникает необходимость в увеличении DO (Аверьянов, 1965; Рекс, 1971 и др.).

Изменение запасов влаги, m , в течение времени Δt в результате суммарного испарения устанавливают по формуле С. Ф. Аверьянова, которую для условий Средней Азии можно представить в следующем виде:

$$\Delta Q_{\text{и}} = \Delta t (I + T_p) = \Delta t E_0 K_p \left[1 - (H_{\text{др}} - H(t)) / H_{\text{кр}} \right]^2, \quad (3.15)$$

где Δt — интервал времени ($\Delta t = 1$ сут); E_0 — испаряемость, м/сут; K_p — коэффициент характеристики растения; $H(t)$ — положение уровня грунтовых вод в междуренье в момент времени t от начала их сработки после полива, м; $H_{\text{кр}}$ — критическая глубина, начиная с которой испарение отсутствует, м.

Испаряемость E устанавливают по формуле Н. Н. Иванова:

$$E_0 = 0,0018 (25 + t_0)^2 (100 - d), \quad (3.16)$$

где t_0 — среднемесячная температура воздуха, °C; d — среднемесячная относительная влажность воздуха, % (показатель, косвенно учитывающий и влияние ветра).

Изменение запасов влаги DO_2 в результате снижения уровня грунтовых вод, m , будет

$$DO_2 = [H_0 - H(t)]\delta \quad (3.17)$$

где H_0 — максимальный напор в междуренье после полива, м; δ — коэффициент водоотдачи грунтов; t — время от начала снижения уровня грунтовых вод, сут.

Общее изменение запасов влаги в слое выше плоскости заложения дренажа составит:

$$DO = [H_0 - H(t)]\delta + \sum_{i=1}^n \Delta t_i E_{0i} K_p \left(1 - \frac{H_{\text{др}} - H(t)}{H_{\text{кр}}} \right)^2. \quad (3.18)$$

Снижение уровня грунтовых вод в однородном слое за счет действия дренажа в случае безнапорной фильтрации определяется по зависимости С. Ф. Аверьянова, записанной для междуренья:

$$H(t) = \eta - \frac{8}{\pi^3} \left(\eta - H_0 \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{-(2n+1)^2 \tau}}{(2n+1)^3}, \quad (3.19)$$

где $t = t/\tau$; $\eta = \frac{qB(B+8\Phi_d)}{8K_\phi T_{cp}}$; $\tau = \frac{\delta B(B+8\Phi_d)}{4K_\phi T_{cp}}$; $\Phi_d = 0,73 T_{cp} \lg 2 T_{cp}/\pi d$;

K_ϕ — коэффициент фильтрации, м/сут; T_{cp} — глубина от дрены до водоупора, м ($T_{cp} = T + 0,5H_0$); B — междреннее расстояние, м; τ — продолжительность стабилизации, м/сут; Φ_d — фильтрационное сопротивление линии дренажа.

При наличии напорного питания или в случае слоистой толщи $H(t)$ определяют по формулам, отражающим эти условия. Принцип расчета при этом остается тот же (Аверьянов, 1956, 1959; Олейник, Носиковский, 1970; Олейник, 1978).

Режим влажности корнеобитаемого слоя обуславливается водоподачей и положением уровня грунтовых вод. Поливы необходимо назначать тогда, когда влажность в корнеобитаемом слое снизится до $DW_{нв}$. Количество воды (нетто), необходимое для полива, определяется как разница между наименьшей влагоемкостью $W_{нв}$:

$$O_2 = H_2 W_1 + \frac{2W_1 H_k}{3\beta} \left[1 - \left(1 - \frac{\beta H_2}{H_k} \right)^{3/2} \right] + W_{нв}(H_{др} - Y_2 - H_2), \quad (3.20)$$

и запасами влаги перед поливом ($0,75 W_{нв}$)

$$O_1 = H_1 W_1 + \frac{2W_1 H_k}{3\beta} \left[1 - \left(1 - \frac{\beta H_1}{H_k} \right)^{3/2} \right] + 0,75 W_{нв}(H_{др} - Y_1 - H_1), \quad (3.21)$$

а по зависимости С. Ф. Аверьянова (1956)

$$Y_2 = H_k \left[1 - \left(\frac{W_{нв}}{W_1} \right)^2 \right] / \beta;$$

$$Y_1 = H_k \left[1 - \left(\frac{0,75 W_{нв}}{W_1} \right)^2 \right] / \beta,$$

где $\beta = 1 - (W_0/W_1)^2$; H_k — максимальная высота капиллярного поднятия, м; W_0 — влагоемкость (по Лебедеву); W_1 — полная влагоемкость (с учетом заземленного воздуха); $W_{нв}$ — наименьшая влагоемкость; Y_2 — высота уровня, соответствующего $W_{нв}$, от уровня грунтовых вод, м; Y_1 — высота до уровня $0,75 W_{нв}$, например, при $D = 0,75$ от положения уровня грунтовых вод, м; H_1 , H_2 — напор в междренье при соответствующих влажностях, м.

Поливы умеренными нормами, рассчитанные на увлажнение почвы до глубины 0,6...1 м, обеспечивают более равномерную влажность верхних горизонтов активного слоя ($Ак$), что благоприятно сказывается на росте растений и их урожайности, так как способствует развитию корневой системы в пахотных, более плодородных слоях почвы (Шабанов, Аверьянов, 1973; Айдаров, 1977; Алпатьев, Остапчик, 1971; Будаговский, 1964; Галямин, 1971, 1973; Галямин, Милютин, Сиптиц, 1978; Голченко, 1976; Горбачева, 1976; Константинов, 1968; Новикова, 1973, 1975).

Предварительная глубина дренажа назначается с учетом того, чтобы капиллярная кайма с ординатой влажности $0,75 W_{нв}$ не входила в активный слой почвы. Тогда

$$H_{др} = Ак + Y_1 + H_1 \quad (3.22)$$

Напор в междренье $H_1 = H_0$ определяется на основе технико-экономического расчета к условиям обеспечения отвода среднегодовой нагрузки ($C_{г.н}$) при установившейся фильтрации.

Уменьшение A_k приводит к более интенсивному испарению влаги из капиллярной каймы, что влечет за собой накопление в ней солей. В этом случае необходим анализ солевого режима при принятых условиях.

Расчет водного режима и параметров дренажа предлагаем выполнять в следующем порядке: анализ природно-хозяйственных, климатических, геолого-гидрологических условий, севооборотов (с набором культур и режимов орошения) и составление таблицы статей водного баланса по отдельным периодам; определение общего инфильтрационного питания дренажа ($O_{и.п}$) по уравнению

$$O_{и.п} = O_{рп} \cdot (I + Tr) + \Phi_k + A_1 \pm P,$$

после чего рассчитывают среднегодовую нагрузку на дренаж и за вегетационный период.

Предварительную глубину заложения дренажа назначают по формуле (3.22), учитывая, что при поливах необходимо увлажнение активного слоя почвы. При фиксированном значении $H_{др}$ и H_0 устанавливают (в первом приближении) междренные расстояния. Затем по данным о запасах влаги на начало сева $O_{и}$ и атмосферных осадках A находят предельное количество воды O_1 , выше которого ее расходование недопустимо ввиду пересыхания верхних почвенных горизонтов: $DO_1 = O_{и} - O_1 + A$. Расходование влаги в этот период идет на суммарное испарение и на дренажный сток в том случае, если есть напор в междренье.

По формуле (3.18) находят время, через которое необходимо назначить первый полив. Норму полива определяют по формуле $DO_1 = O_2 - O_1$. При промывном режиме он больше указанной площади и поливную норму определяют из уравнения: $DO_{п} = O_2 - O_1 + DO_{рп}$. По этой же формуле, если ввести в нее необходимые данные по испаряемости и осадкам за расчетный период, определяют время очередного полива (Рекс, 1975; Рекс, Кирейчева, 1977).

Следующий этап расчета включает определение режима влажности в межполивный период с учетом подекадных значений испаряемости и осадков. В этом случае, когда осадков недостаточно для создания необходимой влажности почвы во время сева, назначают влагозарядковый полив. Его норму определяют по зависимости $DO_{п} = O_2 - O_{и}$. Срок влагозарядкового полива устанавливают с таким расчетом, чтобы влажность на время сева составляла $0,8W_{нв}$.

При расчете нагрузки на дренаж (в первом приближении) берут среднеемноголетние значения суммарного испарения и осадков. При расчете режима влажности целесообразно принимать фактический 30...50-летний ряд, включающий год 5%-ной обеспеченности по дефициту водного баланса.

Количество воды ($DO_{рп}$), необходимое для поддержания солевого режима, определяют из анализа элюр засоления при расчете солевого режима для слоя, находящегося выше плоскости заложения дренажа. Для описания солевого режима используют следующую формулу:

$$C = C_n + 0,5[(C_0 - C) F(az_0) + \sum_{j=0}^{k-1} (C_{j+1} - C_j) F(az_{j+1})]. \quad (3.23)$$

Здесь $F(az_j) = \text{erfc}(az_j^-) + [\text{erfc}(az_j^+) - 4a/\text{erfc}(az_j^+)] \exp(4a^2z)$;

$a = V/2\sqrt{t/D^*}$; $z_1^+ = 1 + h_1^{\pm} z$; $h_1^0 = h_1/Vt$; $h_0 = 0$; $z = x/Vt$; $V = V_0/m_{\text{вкт}}$, где K — количество горизонтов отбора проб почвогрунтов; j — номер горизонта отбора проб; C_j — содержание солей в j -м горизонте, г/л (%); h_1 — расстояние от дневной поверхности до j -го горизонта, м; C_n — минерализация подаваемой на промывку (или на полив) воды, г/л (%); C — содержание солей в слое почвогрунта на момент времени t , г/л (%); D^* — параметр,

характеризующий перенос солей (коэффициент конвективной диффузии), $\text{м}^2/\text{сут}$; t – продолжительность движения воды по поровому пространству, сут ; $m_{\text{акт}}$ – активная пористость; V_0 – скорость фильтрации, $\text{м}/\text{сут}$.

Если существует несколько вариантов режима орошения, то при расчете солевого режима вначале составляют таблицу расходных статей водного баланса для различных периодов года. В ней приводят данные об объеме подаваемой воды, осадках, суммарном испарении, скорости движения влаги в зоне аэрации, минерализации оросительной воды и коэффициентах конвективной диффузии по каждому из периодов – осеннему, зимнему, весеннему и вегетационному.

Скорость движения воды по поровому пространству устанавливают по формуле $V = C_m / 10\,000 \text{ тм}$, где $C_m = OP_n + A - I_c$; (I_c – суммарное испарение). Минерализацию оросительных вод с учетом осадков и испарения (особенно при дождевании) определяют по зависимости:

$C_n = (\% OP_n + \% A) / (OP_n + A - I_1)$, где I_1 – испарение во время полива.

За начальное (исходное) распределение солей по глубине принимают засоление, установившееся к окончанию промывки или существовавшее ранее на слабозасоленных грунтах. Затем, зная исходное засоление, скорость движения воды по поровому пространству $\pm V$, время t , минерализацию поливных вод C_n (для восходящего потока ее принимают равной нулю) и коэффициент конвективной диффузии D^* , можно построить эпюру перераспределения солей в почвогрунтовой толще на конец того или иного периода года или на начало следующего.

Варируя число вегетационных и влагозарядковых поливов, а также поливные нормы и сроки подачи воды, можно оценить целесообразность выбранного режима орошения или необходимость его изменения с учетом характера солевого режима. Это повлечет за собой и изменение параметров дренажа, которые были выбраны после установления общей нагрузки на дренаж при фиксированных значениях $H_{\text{др}}$ и H_0 в первом приближении.

Для оценки новых параметров дренажа необходимо выполнить повторные расчеты водно-солевого режима. При расчете оптимальных параметров гидромелиоративной системы прогноз водно-солевого режима выполняют для различных глубин поддержания грунтовых вод на массиве.

ГЛАВА 4. Определение параметров ГМС с учетом водно-солевого режима на основе технико-экономических расчетов*

Исходным материалом явились изыскания и проектные решения для ТЭО, выполненные институтом «Каракумгипроводхоз» на Хаузаханском массиве ТССР. Площадь массива 171,2 тыс. га, из них орошаемая (нетто) на перспективу составляет 114,1 тыс. га. Верхняя 10-метровая толща почвогрунтов представлена пачкой переслаивающихся супесей, суглинков и глин. Расчетные фильтрационные схемы для различных генетических комплексов, выделенных на карте (по данным «Каракумгипроводхоза»), приведены на рисунке 4.1. Коэффициент фильтрации этой толщи изменяется в пределах 0,1...0,5 $\text{м}/\text{сут}$, ниже, в интервале глубин 10...100 м, он равен 1...2 $\text{м}/\text{сут}$. Грунтовые воды до начала орошения залегали на глубине 10...15 м, а после 1976 г. в связи с орошением их уровень поднялся до глубины 1...3 м. Минерализация грунтовых вод на орошаемых землях составляет 10...25 г/л, под крупными каналами – 1...10 г/л; по химическому составу грунтовые воды хлоридно-сульфатно-натриевые, в северной части – хлоридно-натриевые.

* Выполнены совместно с Л.В.Кирейчевой.

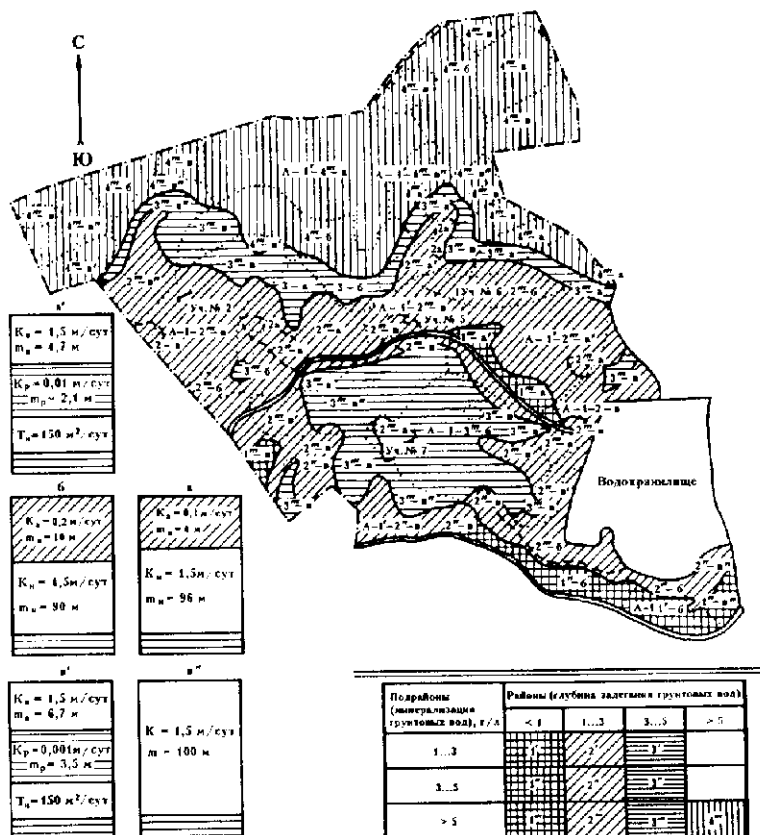


Рис. 4.1. Схема гидрогеологического райнирования Хаузханского массива

Основной земельный фонд массива составляют такыровидные почвы (35%) и пустынно-луговые (47%); остальную площадь (18%) занимают бугристые и грядовые пески. По механическому составу почвы тяжелые и средние. По степени засоления они делятся на незасоленные и слабозасоленные (25,2%), средnezасоленные (19%), сильнозасоленные (19,2%); по типу засоления — на сульфатный (4,7%), хлоридно-сульфатный (26,4%), сульфатно-хлоридный (21,3%).

Коэффициент конвективной диффузии D^* для преобладающих почв массива определен методом подбора по однопараметрической модели на ЭВМ «Минск-32» на основе использования данных промывок монолитов почвогрунта и деланочных промывок в поле. Для такыровидных, тяжелых по механическому составу почв $D^* = 0,03 \text{ м}^2/\text{сут}$ (при нисходящем токе воды), для песчано-пустынных легких — $0,1...0,3 \text{ м}^2/\text{сут}$, для лугово-такыровидных суглинистых — $0,1 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Использование засоленных почв может быть рекомендовано после проведения мелиоративных мероприятий: реконструкции оросительной сети, строительства коллекторно-дренажной сети, планировки, капитальных промывок.

Обоснование типа и конструкции дренажа выполнено в проекте на основе геофильтрационной схематизации. В ТЭО выделены площади, на которых запроектирован вертикальный (14% площади массива): вакуумированный (7,7%) и горизонтальный дренаж (78,5%). Таким образом, наибольшее распространение получил горизонтальный дренаж, его глубина принята 3,5 м, исходя из условий поддержания уровня грунтовых вод на глубине 2,5 м. Междреннее расстояние для отдельных выделенных комплексов по проекту составляет 100...200 м.

Технико-экономическими расчетами параметры горизонтального дренажа в проекте не обоснованы. Выполним расчет оптимальных параметров дренажа по предложенной выше (см. главу 2) методике. С этой целью определим нагрузку на дренаж по уравнению водного баланса для культуры хлопчатника и люцерны (табл. 4.1, 4.2). Максимальная среднегодовая нагрузка на дренаж $I_{\text{ф}}$ составила 0,0013 м/сут, а в вегетационный период – 0,0012 м/сут.

4.1. Расчет водного баланса на переходный (II) период освоения Хаузаханского массива

[IV гидромодульный район – 61%, V гидромодульный район – 49%), при КПД = 0,78 и КЗИ = 0,8 соотношение культур на 1 га (брутто), %: хлопок – 60,8, люцерна – 31,2, прочие – 8 м³/га]

Показатели	Месяцы												Всего
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Общая водоподача	–	704	494	223	718	1375	1875	1750	726	205	512	469	9051
То же, при КПД = 0,87 и КЗИ = 0,8	–	618	430	228	638	1367	1970	1732	626	197	476	392	8674
Осадки	150	170	270	220	130	40	20	10	10	70	100	120	1310
Фильтрация из каналов	60	54	60	57	60	57	60	60	57	60	57	60	702
Общее испарение и транспирация	220	320	556	571	772	1115	1454	1435	875	451	245	183	8197
То же, при КПД = 0,87 и КЗИ = 0,8	239	337	568	619	831	1151	1469	1494	911	451	236	184	8490
Пополнение грунтовых вод	608	–	268	–	136	357	501	385	–	–	424	466	3142
То же, при КПД = 0,87 и КЗИ = 0,8	–	505	192	–	–	313	581	308	–	–	397	388	2684

4.2. Водный баланс культуры хлопчатника по периодам (область δ , КПД = 0,87)

Период	Гидро-модуль-ный район	Статья водного баланса					Нагрузка на дренаж ИФ	
		Осадки $O_{\text{с}}$, $\text{м}^3/\text{га}$	Ороси-тельная норма $O_{\text{р}}$, $\text{м}^3/\text{га}$	Фильтра-ция из межхозяй-ственных каналов $F_{\text{м}}$, $\text{м}^3/\text{га}$	Фильтра-ция из внутрихо-зяйственных каналов $F_{\text{в}}$, $\text{м}^3/\text{га}$	Суммар-ное испа-рение $(И + Tr)$, $\text{м}^3/\text{га}$		
Хлопчатник								
Год	IV	1500	10100	702	1509	9860	4051	0,0011
	V	1500	9800	702	1470	9860	3612	0,001
Вегетационный (153 сут)	IV	160	7500	294	1125	7174	1905	0,0012
	V	160	7000	294	1050	7174	1330	0,0009
Люцерна								
Год	IV	1500	12850	702	1928	12130	4850	0,0013
	V	1500	12000	702	1800	12130	3872	0,0010
Вегетационный (210 сут)	IV	520	9950	294	1495	9925	2334	0,0011
	V	520	9300	294	1395	9925	1584	0,0008

В первом приближении для расчета параметров дренажа нами принято инфильтрационное питание в размере 0,0013 м/сут, а в вегетационный период — 0,0012 м/сут.

В первом приближении для расчета параметров дренажа нами принято инфильтрационное питание в размере 0,0013 м/сут (0,11 л/с.га). По формулам установившегося режима для представленных фильтрационных схем в первом приближении выполним расчет междренних расстояний. При этом глубину заложения дренажа примем равной 3,5 м, напор в междренье — 1,0 м. Параметры дренажа, рассчитанные по формулам В.М.Шестакова, С.Ф.Аверьянова и других по программе «МЕДРА» (Рекс, Борисова, 1977) в первом приближении, приведены в таблице 4.3.

4.3. Параметры дренажа, рассчитанные по программе МЕДРА

Индекс на карте районирования	Междреннее расстояние, м		
	принятое по ТЭО ($I_{\phi} = 0,0013$)	рассчитанное для области б ($I_{\phi} = 0,0013$)	рассчитанное для области в ($I_{\phi} = 0,0016$)
а'	100	230	135
б	150	120	100
в', в''	200	—	335 ... 440

1. При заданных параметрах дренажа выполнен прогноз уровня грунтовых вод и водного режима зоны аэрации для проектного режима орошения. Сущность расчета заключается в следующем. При поливах оросительная вода непосредственно взаимодействует с капиллярной каймой и вызывает мгновенный подъем уровня грунтовых вод. В период между поливами запасы влаги в слое от поверхности земли до глубины заложения дрен расходуются на транспирацию, испарение и дренажный сток. Снижение уровня грунтовых вод в результате действия дренажа в случае безнапорной фильтрации для однородной фильтрационной схемы можно определить по формуле (3.19). Расчеты неустановившегося режима были выполнены по программе VRIGA (Рекс, Кирейчева, 1975). Как показали расчеты, при проектном режиме орошения, принятом в ТЭО, уровень грунтовых вод в период вегетации не поднимется выше 2,5 м от поверхности земли и параметры дренажа обеспечат необходимую скорость сработки грунтовых вод.

2. Далее для обоснования параметров гидромелиоративной системы с целью обеспечения необходимого солевого режима почвогрунтов зоны аэрации был выполнен прогноз солевого режима и определена дополнительная нагрузка на дренаж в результате промывного режима орошения. Для расчетов при исходной глубокосолончаковой эпюре засоления солепереноса по программе SALT 1 (Рекс, Баранова, 1974) были использованы результаты расчета водного режима в виде статей водного баланса по периодам для хлопчатника и люцерны (табл. 4.4.). Прогноз выполнен на период ротации (6 лет орошали хлопчатник, 3 года — люцерну). Расчеты показали, что для обеспечения оптимального солевого режима необходимо изменить режим орошения, т.е. ежегодную влагозарядковую промывную норму увеличить с 2,1 до 3,5 тыс. м³/га. При этом нормы следующие: для хлопчатника — 12 000...11900 м³/га, для люцерны — 14 700...14 500 м³/га, максимальная ордината гидро модуля на переходный период составит 0,95 л/с, нагрузка на дренаж увеличится до 0,0021 м/сут (табл. 4.5).

Для установившегося режима требуется скорректировать по формулам параметры дренажа с учетом увеличившейся нагрузки и повторить весь расчет с учетом нового режима орошения. При новых параметрах дренажа и новом режиме орошения солевой режим сложится следующим образом: при поливах будет на-

блюдаться снижение содержания легкорастворимых солей, в период между поливами произойдет их накопление, которое, однако, не превысит порога токсичности. Незначительное засоление произойдет осенью, однако при влагозарядковом поливе, который запроектирован в марте, почвы опреснятся. В целом в почвогрунтах будет создаваться необходимый солевой режим при скорректированном режиме орошения и увеличенном оттоке в дренаже.

4.4. Таблица статей водного баланса по периодам при УГВ = 2,5 м

Период	Интервал времени	Число суток T	Полная норма N , м ³ /га	Осадки O_c , м ³ /га	Суммарное испарение ($I + T_p$), м ³ /га	Результующая Σ , м ³ /га	Скорость $\pm V$, м/сут	Коэффициент конвективной диффузии D^*
Влагозарядковый полив	24.02...5.03	10	2700	55	—	+2755	+0,0275	0,1
Перерыв	5.03...10.05	66	—	640	1010	-370	-0,00056	0,03
1-й полив	11...13.05	3	1200	—	77	+1123	+0,0374	0,1
Перерыв	14.05...9.06	25	—	95	794	-700	-0,0028	0,03
2-й полив	9...11.06	3	1250	—	128	+1122	+0,0374	0,1
Перерыв	12...29...06	18	—	0	770	-770	-0,0042	0,03
3-й полив	30.06...2.07	3	1250	—	157	+1093	+0,0364	0,1
Перерыв	3...14.07	12	—	0	586	-586	-0,0057	0,03
4-й полив	15...17.07	3	1250	—	171	+1079	+0,0359	0,1
Перерыв	18...26.07	9	—	0	514	-514	-0,0057	0,03
5-й полив	27...29.07	3	1250	—	171	+1079	+0,036	0,1
Перерыв	30.07...9.08	12	—	0	729	-729	-0,0066	0,08
6-й полив	10...12.08	3	1200	—	200	+1000	+0,034	0,1
Перерыв	13...22.08	10	—	0	583	-583	-0,0068	0,03
7-й полив	23...25.08	3	1200	—	200	+1000	+0,034	0,01
Осенне-зимний полив	26.08...31.11	129	—	320	2464	-2144	-0,0016	0,08
Зимне-весенний полив	1.01...24.02	56	—	390	660	-270	-0,00048	0,03

4.5. Водный баланс по периодам для культур хлопчатника и люцерны (область в, КПД = 0,78)

Период	Гидро-модуль-ный район	Статьи водного баланса, м ³ /га					Нагрузка на дренаж <i>I_{др}</i>	
		<i>O_c</i>	<i>O_p</i>	<i>F_{м1}</i>	<i>F_м</i>	<i>I + T_p</i>	м ³ /сут	с/сут
Хлопок								
Год	IV	1500	12090	702	1793	9860	6135	0,0017
	V	1500	11900	702	1778	9860	6020	0,0016
Вегетационный (153 сут)	IV	160	8600	294	1285	7174	3165	0,0021
	V	160	8260	294	1225	7174	2705	0,0017
Люцерна								
Год	IV	1500	14700	702	1	2130	6968	0,0019
	V	1500	14500	702		12130	6739	0,0018
Вегетационный (210 сут)	IV	520	11400	294		9925	3992	0,0019
	V	520	10900	294		9925	3417	0,0016

3. Переходят к выполнению технико-экономических расчетов с целью оптимизации параметров гидромелиоративной системы (см. гл. 3). Составляют матрицу планирования имитационных расчетов. За основной уровень принимают проектное решение ($H_{др} = 3,5$ м, $H_0 = 1,0$ м; $\varnothing_t = 0,15$ м, $T_{об} = 0,15$ м).

Выбирают такой интервал варьирования, чтобы нижний и верхний уровни находились в пределах заданных ограничений.

Примем интервал варьирования до глубины заложения дренажа 1,0 м, напора в междренье – 0,5 м, диаметр трубы – 0,05 м, засыпка – 0,05 м. Матрица планирования приведена в таблице 4.6.

4.6. Матрица планирования эксперимента при четырех переменных, м

Уровень варьирования	Глубина заложения дренажа, $H_{др}$	Напор в междренье H_0	Диаметр трубы $\varnothing_t$	Толщина засыпки $T_{об}$	УГВ
Основной	3,5	1,0	0,15	0,15	2,5
Интервал варьирования	1,0	0,5	0,05	0,05	—
Верхний	4,5	1,5	0,2	0,2	3,0
Нижний	2,5	0,5	0,1	0,1	2,0
$a0$	2,5	0,5	0,1	0,1	2,0
a	4,5	0,5	0,1	0,1	4,0
b	2,5	1,5	0,1	0,1	1,0
ab	4,5	1,5	0,1	0,1	3,0
c	2,5	0,5	0,2	0,1	2,0
ac	4,5	0,5	0,2	0,1	4,0
bc	2,5	1,5	0,2	0,1	1,0
abc	4,5	1,5	0,2	0,1	3,0
d	2,5	0,5	0,1	0,2	2,0
ad	4,5	0,5	0,1	0,2	4,0
bd	2,5	1,5	0,1	0,2	1,0
abd	4,5	1,5	0,1	0,2	3,0
cd	2,5	0,5	0,2	0,2	2,0
$ac d$	4,5	0,5	0,2	0,2	4,0
bcd	2,5	1,5	0,2	0,2	1,0
$abcd$	4,5	1,5	0,2	0,2	3,0

Примечание. $x_1 = a$; $x_2 = b$; $x_3 = c$; $x_4 = d$ – переменные в формуле (3.3).

Рассмотрим составление технико-экономического расчета на примере одного из участков, выделенных на карте районирования, например для a' . Для него характерна двухпластовая фильтрационная схема строения с разделяющим слоем мощностью 2,1 м и $K_f = 0,01$ м/сут (см. рис. 4.1). По ТЭО для этого района междреннее расстояние принято равным 100 м. Расчеты, выполненные без учета водно-солевого режима, по формулам установившегося периода, показали, что для данной фильтрационной схемы при нагрузке на дренаж, равной 0,0013 м/сут, междреннее расстояние равно 135 м. Был выполнен прогноз водно-солевого режима при проектном режиме орошения.

Для создания благоприятного водно-солевого режима при условии поддержания уровня грунтовых вод на глубине 2,5 м к оросительной норме требуется дополнительное количество воды в размере 800 м³/га. При этом нагрузка на дренаж увеличивается до 0,0016 м/сут и междреннее расстояние составляет 135 м (см. табл. 4.3). Аналогичные расчеты выполняют для каждого варианта.

При анализе вариантов видно, что сочетание глубины заложения дренажа и напора над дренаем такое, при котором УГВ = 1...4 м (см. табл. 4.6). Солевой режим определяется положением УГВ, поэтому его расчеты выполняются при разных уровнях: 1; 2 и 3 м. При этом выявлена необходимая добавка воды к оросительной норме для создания в зависимости от УГВ благоприятного солевого режима.

Для расчетов солевого режима составлены таблицы статей водного баланса по периодам при разном УГВ. Расчет был выполнен на ЭВМ по программе SALT 1 (Рекс, Баранова, 1974). Анализ расчетов показал следующее. При поддержании УГВ на глубине 1 м при проектном режиме орошения уже

в первый год эксплуатации земель в почве произойдет накопление токсичных солей выше допустимого предела и в дальнейшем будет происходить значительное засоление (рис. 4.2). Для создания благоприятного солевого режима в зоне аэрации необходимо увеличить оросительную норму на $5400 \text{ м}^3/\text{га}$. Водные ресурсы для этого варианта составят $17,4 \text{ м}^3/\text{га}$.

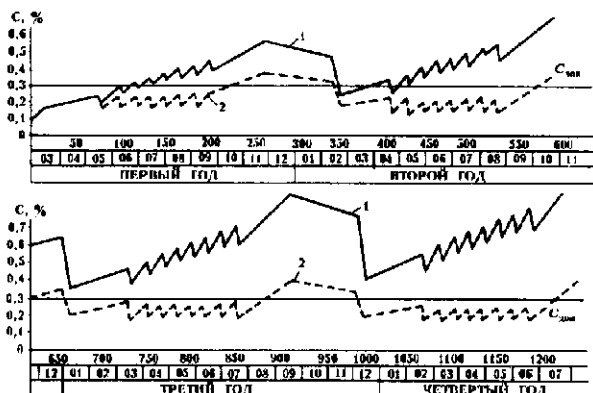


Рис. 4.2. Прогноз солевого режима зоны аэрации на фоне горизонтального дренажа при УГВ = 1 м, Хаузханский орошаемый массив (Ю-И-А, область В); динамика солей для точки 0,6 м от поверхности земли: 1 — для проектного режима орошения; 2 — для скорректированного режима орошения

Для создания оптимального водно-солевого режима при условии поддержания УГВ на глубине 2 м целесообразно увеличить оросительную норму на $1350 \text{ м}^3/\text{га}$. Водные ресурсы составят при этом $13,35 \text{ тыс. м}^3/\text{га}$.

При стабилизации УГВ на глубине 3 м водно-солевой режим складывается благоприятно и накопления солей в зоне аэрации не происходит. Водные ресурсы составят $12 \text{ тыс. м}^3/\text{га}$. При УГВ = 4 м и ниже водно-солевой режим при заданном режиме орошения складывается благоприятно.

Зависимость необходимых оросительных норм и водных ресурсов от УГВ приведена в таблице 4.7 и на рисунке 4.3. С изменением оросительных норм,

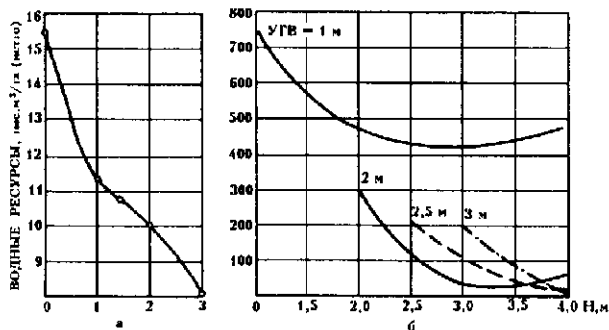


Рис. 4.3. Зависимость изменения водных ресурсов (нетто), необходимых для орошения, при условии создания благоприятного водно-солевого режима почв в зависимости от положения УГВ (а) и суммарных приведенных затрат от глубины заложения дренажа (б)

необходимых для поддержания оптимального водно-солевого режима, меняется и нагрузка на дренаж при разном УГВ и, как следствие, его параметры (рис. 4.4).

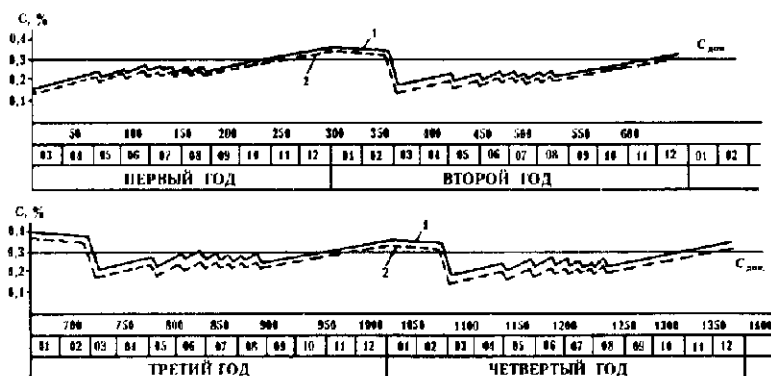


Рис. 4.4. Прогноз солевого режима на фоне горизонтального дренажа при УГВ = 2,5 м, Хаузханский орошаемый массив (Ю-П-А, область В): 1 — для проектного режима орошения; 2 — для скорректированного режима орошения (влагозарядковый полив увеличен до 3,5 тыс. м³/га; динамика солей для точки 0,6 м от поверхности земли)

4.7. Зависимость оросительных норм и водных ресурсов от УГВ для хлопчатника

Номер варианта	УГВ, м	Гидромодульный район	Оросительная норма, м ³ /га	Влагозарядковый полив, м ³ /га	Предпосевный полив, м ³ /га	Добавка к оросительной норме, м ³ /га	Водные ресурсы, м ³ /га (нетто)
1	1,0	IV	8600	2700	700	+5400	17400
		V	8200	3000	700	+5400	17300
2	2,0	IV	8600	2700	700	+1350	13350
		V	8200	3000	700	+1850	13250
3	3,0	IV	8600	2700	700	—	12000
		V	8200	3000	700	—	11900
4	4,0	IV	8600	2700	700	-1900	10100
		V	8200	3000	700	-2100	9800
	Основной	IV	8600	2700	700	+800	12800
		V	8200	3000	700	+800	12700

Рассчитаем нагрузку на дренаж по уравнению водного баланса при условии стабилизации грунтовых вод на различных глубинах (табл. 4.8). Из таблицы видно, что наибольшая среднегодовая нагрузка на дренаж составляет 0,003 м/сут при УГВ = 1 м. Следует отметить, что такая глубина грунтовых вод не позволит вовремя проводить сельскохозяйственные работы, и поэтому мы приняли ее во внимание лишь для того, чтобы выполнить более подробный технико-экономический анализ.

4.8. Расчет нагрузки на дренаж при разном положении стабилизации УГВ за год ($T = 365$ сут) и за вегетационный период ($T = 153$ сут, $K_{ПД} = 0,87$)

УГВ, м	Оросительная норма, м ³ /га	Добавка к оросительной норме, м ³ /га	Осадки, м ³ /га	Фильтрационные потери		Суммарное испарение, м ³ /га	Нагрузка на дренаж	
				Φ _К	Φ _В		м ³ /га	м/сут
За год, область «а»								
1	12000	5400	1500	702	2435	10880	10950	0,0030
2	12000	1350	1500	702	1869	9860	7561	0,0020
2,5	12000	800	1500	702	1680	9860	6822	0,0016
3,0	1200	—	1500	702	1680	9860	6022	0,0013
За год, область «б»								
3,0	10100	—	1500	702	—	9860	3951	0,0011
За вегетационный период, область «а»								
1	8600	5400	160	294	1960	9634	6780	0,0044
2	8600	1350	160	294	1393	7174	4626	0,0030
2,5	8600	—	160	294	1204	7174	3084	0,0020
3,0	8600	—	160	294	1204	7100	3010	0,0018
За вегетационный период, область «б»								
3,0	7500	—	160	294	1125	7100	1979	0,0012

При УГВ = 2 м также необходим промывной режим орошения, нагрузка на дренаж при этом составит 0,002 м/сут. Для поддержания УГВ = 2,5 нагрузка должна быть 0,0016 м/сут. Если стабилизировать грунтовые воды на глубинах 3 и 4 м, то нагрузку следует принять равной 0,00134 м/сут.

Расчеты междренних расстояний выполнены на ЭВМ для всех вариантов матрицы при различной нагрузке на дренаж и для всех выделенных на карте районирования областей (табл. 4.9).

Прежде чем перейти к расчету затрат на дренажно-коллекторную сеть, необходимо для каждого варианта матрицы рассчитать стоимость 1 м дрены и коллекторов.

Стоимость 1 м дрены складывается из стоимости трубы, фильтра и земляных работ. Стоимость трубы зависит от ее диаметра. Для данного региона (II район) стоимость 1 м керамических труб согласно нормативам следующая: труб диаметром 100 мм — 0,74 р., 150 мм — 1,57, 200 мм — 2,25 р. Стоимость 1 м³ фильтра, состоящего из песчано-гравийной смеси, для Хаузаханского массива (согласно объектным сметам) равна 10,5 р. Стоимость 1 м³ земляных работ на глубину до 4,5 м, также по данным объектных смет ТЭО, составляет 0,23 р., на глубину до 5,5 м — 0,25 р.

Детальный расчет стоимости 1 м дрены для всех вариантов матрицы приведен в таблице 4.10. Накладные расходы и плановые накопления согласно объектным сметам составят 26% капиталовложений. Кроме того, в стоимость дрены включают стоимость сооружений. На 1 дренаж длиной 500 м требуется 2 смотровых колодца и одно устьевое сооружение, стоимость которого 161 р. Стоимость дренажных колодцев зависит от их глубины и составляет при глубине 4,0 м 381 р., 4,5 м — 439, 5 м — 482 р.

На 1 га орошаемой площади капиталовложения на дренаж K^A определяют как произведение удельной протяженности дренажа на стоимость 1 м дрены ($K^A = U_{п.д} \cdot C_m^A$). Эксплуатационные затраты равны $C^A = 0,035 K^A$, приведенные $C^{п.з} = C^A \cdot EK^A$.

Капиталовложения на внутрихозяйственные и межхозяйственные коллекторы с сооружениями согласно нормативам принимают в зависимости от глубины их заложения (рис. 4.5). Зная сумму капиталовложений, можно рас-

4.9. Матрица планирования для технико-экономического обоснования параметров горизонтального дренажа (на площади 1 га). Вариант I (область а – двухпластовая схема фильтрационного строения)

Уровень, номер варианта	Глубина заложения дренажа, м	Напор в меж-дрене, м	Диаметр трубы, м	Толщина на обсып-ки, м	Междреннее расстояние, м		Протя-женность дренажа, м/га	Затраты на строительство коллекторно-дренажной сети, р.				Привле-денные затраты на ороси-тельную сеть	Дополни-тельные издержки по сравнению с основным уровнем с учетом использо-ванных ресурсов	Суммар-ные рас-четные затраты, учиты-вающие различия в исполь-зовании ресурсов
					без учета водно-солево-го режима	с учетом водно-солево-го режима		капи-тало-вложения	эксплу-тацион-ные на дренаж-ную сеть	привле-денные на дренаж-ную сеть	привле-денные на коллек-торную сеть			
Основной	3,5	1,0	0,15	0,15	135	130	75,2	1030	36,1	160	69,3	229,3	113	342,3
Нижний	4,5	1,5	0,2	0,2	153	188	53,2	1112	39	173	83	256	113	389
Верхний	2,5	0,5	0,1	0,1	79	64	156,3	1280	44,8	198	59	257	113	370
1	2,5	0,5	0,1	0,1	79	64	156,3	1280	44,8	198	59	257	113	370
2	4,5	0,5	0,1	0,1	36	44	227	3450	121	536	83	619	112	624,9
3	2,5	1,5	0,1	0,1	249	134	74,6	612	21,4	95	59	154	118	676
4	4,5	1,5	0,1	0,1	151	184	54,4	826	28,9	128	83	211	113	324
5	2,5	0,5	0,2	0,1	80	65	154	1356	47,5	210	59	269	113	382
6	4,5	0,5	0,2	0,1	36	44	227	3610	126,5	560	83	643	112	648,9
7	2,5	1,5	0,2	0,1	251	136	73,6	647	22,7	100	59	159	118	681
8	4,5	1,5	0,2	0,1	152	186	53,8	856	30	133	83	216	113	329
9	2,5	0,5	0,1	0,2	81	66	154	1940	68	301	59	360	113	473
10	4,5	0,5	0,1	0,2	36	44	227	4470	156,5	693	83	776	112	781,9
11	2,5	1,5	0,1	0,2	253	137	73	920	32,2	143	59	202	118	734
12	4,5	1,5	0,1	0,2	153	187	53,5	1052	36,8	163	83	241	113	359
13	2,5	0,5	0,2	0,2	81	65	154	2140	75	232	59	291	113	404
14	4,5	0,5	0,2	0,2	36	44	227	4760	166,3	736	83	819	112	824,9
15	2,5	1,5	0,2	0,2	255	139	72	1000	35	155	59	214	118	736
16	4,5	1,5	0,2	0,2	153	188	53,2	1112	39	174	83	257	113	370

4.10. Расчет стоимости 1 м горизонтального дренажа

Уровень, интервал, вышележащий, номер варианта	Глубина заложения дрена, м	Напор в меж-дренной, м	Диаметр трубы, м	Толщина обсыпки, м	Диаметр дрена, м	Стоимость, р.		Объем, м ³	Стоимость, р.								
						1 м трубы	1 м ³ песка		выемки 1 м ³ грунта	песка на 1 м дрена	на 1 м траншеи	1 м ³ песка	1 м выемки засыпки	1 м дрена	с накладными раскладками и с плановыми выемками накопления	1 м сооружения с сооружениями	
Основной	3,5	1,0	0,15	0,15	0,15	0,45	1,57	10,5	0,23	0,25	23,5	2,41	5,41	3,39	11,83	1,85	13,7
Интервал																	
Выводы	1,0	0,5	0,05	0,05	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Верхний	4,5	1,5	0,2	0,2	0,2	0,6	2,25	10,5	0,25	0,38	34,5	3,99	8,62	14,86	18,72	2,25	20,9
Нижний	2,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,74	10,5	0,23	0,09	14,5	0,94	3,33	5,01	6,31	1,85	8,2
1	2,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,74	10,5	0,23	0,09	14,5	0,94	3,33	5,01	6,31	1,85	8,2
2	4,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,74	10,5	0,25	0,09	34,5	0,94	8,62	10,3	12,98	2,25	15,2
3	2,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,74	10,5	0,23	0,09	14,5	0,94	3,33	5,01	6,31	1,85	8,2
4	4,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,74	10,5	0,25	0,09	34,5	0,94	8,62	10,3	12,98	2,25	15,2
5	2,5	0,5	0,2	0,1	0,4	0,74	10,5	0,23	0,14	14,5	1,47	3,33	5,54	6,98	1,85	8,8	
6	4,5	0,5	0,2	0,1	0,4	0,74	10,5	0,25	0,14	34,5	1,47	8,62	10,83	13,64	2,25	15,9	
7	2,5	1,5	0,2	0,1	0,4	0,74	10,5	0,23	0,14	14,5	1,47	3,33	5,54	6,98	1,85	8,8	
8	4,5	1,5	0,2	0,1	0,4	0,74	10,5	0,25	0,14	34,5	1,47	8,62	10,83	13,62	2,25	15,9	
9	2,5	0,5	0,1	0,2	0,5	2,25	10,5	0,23	0,28	14,5	2,94	3,33	8,52	10,73	1,85	12,6	
10	4,5	0,5	0,1	0,2	0,5	2,25	10,5	0,25	0,28	34,5	2,94	8,62	13,81	17,4	2,25	19,7	
11	2,5	1,5	0,1	0,2	0,5	2,25	10,5	0,23	0,28	14,5	2,94	3,33	8,52	10,73	1,85	12,0	
12	4,5	1,5	0,1	0,2	0,5	2,25	10,5	0,25	0,28	34,5	2,94	8,62	13,84	17,4	2,25	19,0	
13	2,5	0,5	0,2	0,2	0,6	2,25	10,5	0,23	0,38	14,5	3,99	3,33	9,57	12,06	1,85	13,0	
14	4,5	0,5	0,2	0,2	0,6	2,25	10,5	0,25	0,38	34,5	3,99	8,62	14,86	18,7	2,25	20,0	
15	2,5	1,5	0,2	0,2	0,6	2,25	10,5	0,23	0,38	14,5	3,99	3,33	9,57	12,06	1,85	13,0	
16	4,5	1,5	0,2	0,2	0,6	2,25	10,5	0,25	0,38	34,5	3,99	8,62	14,86	18,7	2,25	20,0	

4.11. Расчет затрат на строительство коллекторно-дренажной сети
Ханузахского орошаемого массива, р. на 1 га

Уровень, номер варианта	Затраты на дренажную сеть			Затраты на коллекторную сеть			Коллекторная сеть				Суммарные затраты на внутреннюю и межхозяйственную коллекторную сеть	
	капитальные	эксплуатационные	приведенные	К _{КД}	К _{КД} · 0,09	С _{ПЗ}	К _{КД}	К _{КД} · 0,09	С _{ПЗ}	С _{ПЗ}	К _{КД}	С _{КД}
Основной	1370	48	212,4	269	24,21	56,49	61	5,49	12,81	69,3	330	29,7
Верхний	489,6	16,4	72,6	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
Нижний	3280	114,8	508,4	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,15
1	3250	114,8	508,4	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
2	651	22,8	101	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
3	1370	48	212	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
4	372	13	57,6	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
5	3520	123,2	545,6	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
6	684	23	102,7	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
7	1257	44	201	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
8	372	13	57,6	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
9	3800	126	558	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
10	804	28	124,5	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
11	1575	55	244	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
12	462	16	71,4	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
13	3475	121	538	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
14	809	28	125,1	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5
15	1626	57	252	237	21,33	49,77	42,5	3,825	8,925	58,695	279,5	25,1
15	469	16,4	72,7	310	27,9	65,1	85	7,65	17,85	82,95	395	35,5

Применения:

1. $С_{ПЗ} = С_{КД} + ЕК_{КД}$;
2. $С_{ПЗ} = С_{кап} + ЕК_{кап}$.

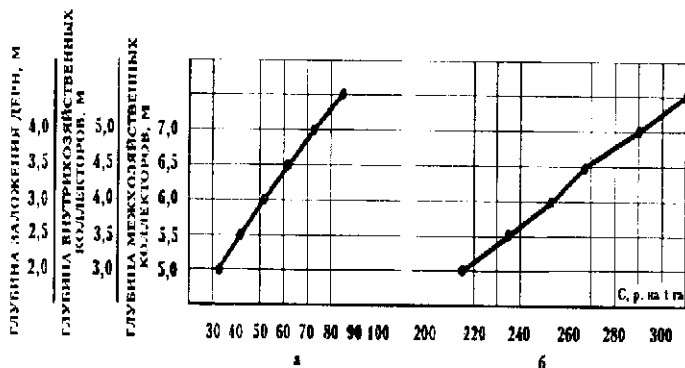


Рис. 4.5. Зависимость стоимости на 1 га от глубины коллекторов с сооружениями: а — внутрихозяйственных; б — межхозяйственных

считать эксплуатационные и приведенные затраты на коллекторную сеть (табл 4.11); результаты расчета заносят в матрицу планирования.

Далее выполняют расчет по оросительной сети. Стоимость оросительной сети — это функция гидро модуля системы. Из расчета водно-солевого режима выше были *определены необходимые водные ресурсы и промывные режимы орошения. Расчеты по укрупнению графиков гидро модуля при различной глубине грунтовых вод позволили определить его максимальную ординату на переходный и эксплуатационный периоды. При УГВ = 1 м ордината гидро модуля составила 1,56 л/(с·га), при 2 м — 0,95, при 4 м — 0,81 л/(с·га).

Стоимость внутрихозяйственной и межхозяйственной оросительных сетей взята из соответствующих нормативов (рис. 4.6). Эксплуатационные затраты составляют 7,85% капиталовложений. В таблице 4.12 приведен подробный расчет стоимости оросительной системы для всех вариантов.

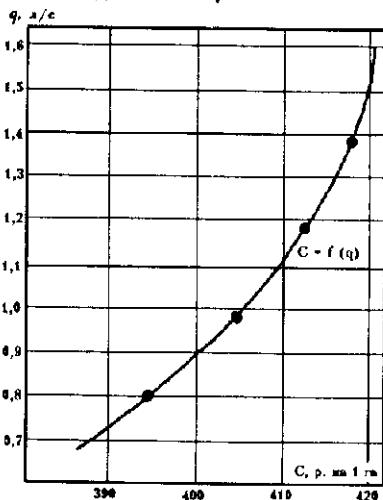


Рис. 4.6. Зависимость стоимости внутрихозяйственных каналов, облицованных монолитным бетоном, от ординаты гидро модуля

4.12. Расчет затрат на оросительную сеть

Уровень, номер варианта	Параметры дренажа, м				УТВ. м	Максимальная ордината	Ороситель- ная норма (нетто) Орост. Тис. м ³ /га	Затраты, р на 1 га										сум- мар- ные ка- питаль- ные Σ К ⁰	сум- мар- ные экс- плуа- таци- онные Σ С ⁰		
	Н _{др}	Н ₀	Q _г	Т _{об}				на внутрихозяйственную						на межхозяйственную							
								Переходный период		Эксплуатаци- онный период		на капитало- вое жизни		на эксплуа- таци- онные		на капитало- вое жизни				на эксплуа- таци- онные	
								С ⁰ _к	С ⁰ _с	С ⁰ _к	С ⁰ _с	С ⁰ _к	С ⁰ _с	С ⁰ _к	С ⁰ _с	С ⁰ _к	С ⁰ _с			С ⁰ _к	С ⁰ _с
Основной	3,5	1,0	0,15	0,15	2,5	0,95	0,84	396	31,08	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	46,84					
Верхний	4,5	1,5	0,2	0,2	3	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
Нижний	2,5	0,5	0,1	0,1	2	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
	2,5	0,5	0,1	0,1	2	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
1	4,5	0,5	0,1	0,1	4	0,81	0,76	391	30,69	77,61	175	13,74	34,74	112,35	566	44,43					
2	2,5	1,5	0,1	0,1	1	1,56	—	418	32,81	82,97	175	13,74	34,74	117,71	593	46,55					
3	4,5	1,5	0,1	0,1	3	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
4	2,5	0,5	0,2	0,1	2	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
5	4,5	0,5	0,2	0,1	4	0,81	0,76	391	30,69	77,61	175	13,74	34,74	112,35	566	44,43					
6	2,5	1,5	0,2	0,1	1	1,56	—	418	32,81	82,97	175	13,74	34,74	117,71	593	46,55					
7	4,5	1,5	0,2	0,1	3	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
8	2,5	0,5	0,1	0,2	2	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
9	4,5	0,5	0,1	0,2	4	0,81	0,76	391	30,69	77,61	175	13,74	34,74	112,35	566	44,43					
10	2,5	1,5	0,1	0,2	1	1,56	—	418	32,81	82,97	175	13,74	34,74	117,71	593	46,55					
11	4,5	1,5	0,1	0,2	3	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
12	2,5	0,5	0,2	0,2	2	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
13	4,5	0,5	0,2	0,2	4	0,81	0,76	391	30,69	77,61	175	13,74	34,74	112,35	566	44,43					
14	2,5	1,5	0,2	0,2	1	1,56	—	418	32,81	82,97	175	13,74	34,74	117,71	593	46,55					
15	4,5	1,5	0,2	0,2	3	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					
16	2,5	0,5	0,2	0,2	2	0,95	0,84	396	31,086	78,61	175	13,74	34,74	113,35	571	44,83					

Для использования формулы (3.3) необходимо дополнительно установить отлегаемые ресурсы и дать их оценку. Принимаем, что земельные ресурсы для всех вариантов матрицы планирования одинаковы, так как на данном массиве запроектирован закрытый горизонтальный дренаж, что исключает отчуждение земель на орошаемом поле. Водные ресурсы установлены при анализе водно-солевого режима.

Трудовые ресурсы будем оценивать только при проведении поливов сельскохозяйственных культур в зависимости от оросительной нормы. Увеличение оросительной нормы на 2 тыс. м³/га требует привлечения за сезон одного поливальщика.

Выполненные расчеты суммарных приведенных расчетных затрат с учетом вариаций в использовании ресурсов приводят в матрице планирования (рис. 4.7).

На основе матрицы планирования, составленной для геофильтрационной области А-I-a', выполнен анализ технико-экономического обоснования. Как видно из приведенных данных (см. табл. 4.9), суммарные затраты на коллекторно-дренажную сеть для основного уровня составляют 230 р. на 1 га, но это не самый дешевый вариант. Варианты со стабилизацией грунтовых вод на глубине 1 м дешевле — 154...214 р. на 1 га (см. рис. 4.7, кривая 1).

Однако разработанная методика требует учета затрат, связанных с устройством оросительной сети, а также дополнительных издержек, связанных с различным использованием природных ресурсов. В этом случае суммарные приведенные затраты для основного уровня составят 342 р. на 1 га, а кривая зависимости суммарных затрат от УГВ должна носить совсем иной характер (рис. 4.8).

При УГВ = 1 м суммарные затраты увеличиваются до 730 р. на 1 га за счет увеличения стоимости оросительной сети и водных ресурсов, которые

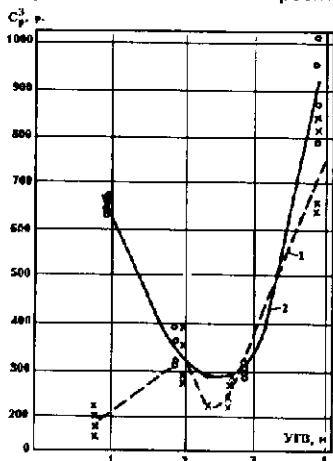


Рис. 4.7. Зависимость суммарных затрат от УГВ. Вариант 1 — область а — двухпластовая схема фильтрационного строения: 1 — суммарные приведенные затраты на КДС; 2 — то же, на оросительную и КДС с учетом использования природных ресурсов

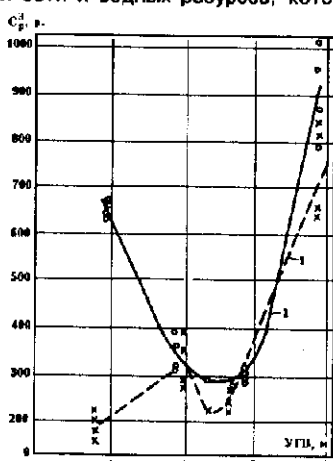


Рис. 4.8. Зависимость суммарных затрат от УГВ (I...VI — варианты)

возрастают на 4 тыс. м³/га. Затем при УГВ_{д.р.} = 2...3 м затраты снижаются до 320...370 р. на 1 га и снова повышаются до 830 р. на 1 га (т.е. более чем в 3 раза) при УГВ_{з.р.} = 4 м. Увеличение затрат при заглублении дренажа до 4,5 м (при напоре в междурье 0,5 м) связано с тем, что при данной фильтрационной схеме, когда на глубине 4,7 м залегают малопроницаемая прослойка, дрена практически лежит на этой прослойке. При этом значительно уменьшается междурье расстояние (до 44 м), а стоимость 1 м дрены возрастает. Таким образом, минимум суммарных затрат практически приходится на основной уровень, т.е. на тот вариант параметров дренажа, который принят в проекте. Таким образом, принятое проектное решение для данной геофильтрационной области близко к оптимальному.

Аналогичные матрицы планирования составлены для всех геолого-генетических комплексов (А-1б, А-1-в, А-1-а', А-1-в'), в которых запроектирован горизонтальный дренаж (табл. 4.13).

4.13. Сопоставление проектных параметров дренажа с расчетными, выполненными с учетом технико-экономического обоснования для различных фильтрационных схем (30,5% площади массива)

Номер варианта	Индекс на карте районирования (область)	Фильтрационная схема	Параметры дренажа, м		Суммарные приведенные затраты на оросительную и коллекторно-дренажную сеть, р. на 1 га
			принятые в ТЭО	обоснованные технико-экономическим расчетом	
1	а'	Двухпластовая с разделяющим слоем	Н _{др} = 3,5 Н ₀ = 1,0 а = 100	Н _{др} = 3,5 Н ₀ = 1,0 а = 130	293
2	б	Двухслойная	Н _{др} = 3,5 Н ₀ = 1,0 а = 150	Н _{др} = 4,0 Н ₀ = 1,0 а = 115	373,8
3	а	***а	Н _{др} = 3,5 Н ₀ = 1,0 а = 200	Н _{др} = 4,5 Н ₀ = 1,5 а = 420...450	253,5
4	а'	Двухпластовая с разделяющим слоем	Н _{др} = 3,5 Н ₀ = 1,0 а = 200	Н _{др} = 3,5 Н ₀ = 1,0 а = 150	245
5	а''	Однородная	Н _{др} = 3,5 Н ₀ = 1,0 а = 200	Н _{др} = 3,0 Н ₀ = 1,0 а = 370	225

Построенные по данным матриц графики зависимости затрат от УГВ (см. рис. 4.8), показывают, что их минимум соответствует УГВ = 2,3 м. Для поддержания такой глубины грунтовых вод необходимо углубить дренаж до 3,5...4,0 м, а напор в междурье поддерживать в пределах 1,0...1,5 м. Выполненный анализ свидетельствует, что в рассматриваемых условиях принятые в проекте варианты не всегда оптимальны. Как видно из таблицы 4.13, для некоторых областей междурье расстояние в процессе проектирования было завышено, а в отдельных случаях — занижено.

Технико-экономический анализ позволяет в каждом конкретном случае выбирать оптимальный вариант параметров горизонтального дренажа и оптимальный мелиоративный режим. В зависимости от схемы фильтрационного строения массива суммарные приведенные затраты на коллекторно-дренажную и оросительную сеть с учетом наиболее рационального использования ресурсов составляют для Хаузханского массива 225...374 р. на 1 га.

Расчеты затрат на дренаж для проектного и расчетного вариантов показали, что в целом по массиву на площади 83,4 тыс. га в результате замены проектных параметров параметрами, обоснованными технико-экономическим расчетом, достигается значительное сокращение капиталовложений (более 5 млн. р.), а также эксплуатационных затрат (239,1 тыс. р.). Таким образом, предложенная методика обоснования параметров дренажа рассматривает всю гидромелиоративную систему в целом, так как все ее составные части тесно связаны между собой водным и солевым режимами почвогрунтов.

Технико-экономический анализ гидромелиоративных систем позволяет в каждом конкретном случае выбрать наилучший вариант коллекторно-дренажной и оросительной системы.

Разработанная методика позволяет также устанавливать оптимальный мелиоративный режим при заданном типе и параметрах системы. (Для Хаузханского массива оптимальный режим в мелиоративный период складывается при поддержании УГВ = 2,5...2,7 м.)

Методика включает ряд программ на ЭВМ, внедрение которых в практику проектирования позволит вырабатывать значительное число вариантов проектных решений, что улучшает качество проектов.

ГЛАВА 5. Методика определения расчетного гидромодуля систем ПП на МЗ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Теоретические исследования и практика показали, что расчет водоподдачи в оросительную систему с учетом максимального обеспечения сельскохозяйственных культур водой и исходя из условий острозасушливого года, снижает эффективность орошения и водохозяйственного комплекса в целом. Это объясняется тем, что во влажные годы излишки оросительной воды не могут быть продуктивно использованы, в результате чего в ряде случаев условия жизни сельскохозяйственных культур на орошаемых землях ухудшаются.

В свою очередь, водообеспеченность мелиоративной системы определяет ее основные технические параметры и экономические показатели: расход воды, размеры сооружений, каналов, объем капиталовложений и др. Поэтому выбор параметров системы ПП на МЗ (с учетом производства планируемого объема сельскохозяйственной продукции) должен основываться на технико-экономических расчетах.

Определение оптимальных параметров системы ПП на МЗ — ответственный момент, так как корректировка этих параметров в процессе эксплуатации обычно сопряжена с увеличением капиталовложений (иногда значительным) при переустройстве или развитии отдельных подсистем (оросительной или осушительной). Например, увеличение дренируемости массивов на эксплуатируемых оросительных системах при близком уровне грунтовых вод обходится в 1,5...2,0 раза дороже, чем строительство дренажа одновременно с оросительной системой.

Следует отметить, что создание совершенных мелиоративных систем без налаженной должным образом их эксплуатации и анализа имеющейся ситуации не может дать положительного эффекта, а наносит только вред. Например, создание в зоне Северо-Крымского канала «спутников»^{*} привело к тому, что подтоплено значительное число населенных пунктов и произошло заболачивание и засоление самих «спутников» и прилегающих к ним земель.

^{*} Участки, орошаемые в годы избыточного увлажнения, оросительные системы которых не проектируются в установленном порядке.

Самого внимательного подхода требует зона неустойчивого увлажнения, где во влажные годы для отдельных культур полив может быть вообще не нужен (при хорошей агротехнике). Большая изменчивость потребности сельскохозяйственных культур во влаге делает целесообразным применение мобильных, подвижных установок, позволяющих поливать наиболее нуждающиеся в увлажнении в данном году и сезоне культуры и поля в пределах всего орошаемого участка. При этом в отдельные годы поливаемая площадь может быть меньше всей возможной орошаемой площади участка. Устройство передвижной оросительной сети, передвижных насосных станций и дождевальных агрегатов облегчает решение этой задачи. Конкретное ее решение зависит от местных хозяйственных, экономических и технических условий. Периодичность засушливых лет в рассматриваемых районах придает орошению характер преимущественно гарантийного мероприятия, т.е. обеспечивающего определенный уровень продукции в засушливые годы, поэтому оно может быть не сплошным, а выборочным, распространяясь только на ту часть посевной площади, которая наиболее нуждается в поливе (Костяков, 1961).

Для повышения эффективности использования водных ресурсов в районах неустойчивого увлажнения Д.Т.Зузином (1951) предложено «подвижное орошение». Принцип его заключается в том, что водозаборные сооружения и орошаемую площадь рассчитывают на среднюю (и ниже средней) обеспеченность стока. В результате в годы, более маловодные, чем средние, возникает дефицит воды, и тогда поливают не всю орошаемую площадь, а только отдельные (различные в каждом году) участки, наиболее нуждающиеся в воде, причем уменьшенными нормами (чтобы максимально использовать естественные осадки). При такой системе орошения более полно используются водные ресурсы, но возрастают затраты на эксплуатацию оросительной сети, требуются большие трудовые ресурсы в сухие годы, уменьшается сбор урожая с единицы площади, однако суммарный сбор со всей площади увеличивается. Формы осуществления подвижной системы орошения, ее целесообразность и эффективность в значительной степени зависят от техники орошения, местных природных и особенно хозяйственных условий.

Согласование режима орошения с режимом реки в маловодные периоды может быть достигнуто одним из следующих путей: уменьшение поливных норм; удлинение поливного периода; снижение процента культур, требующих полива в критические периоды; исключение полива некоторых неведущих культур в периоды недостатка воды (Костяков, 1961).

Возможны три варианта использования воды, забираемой мелиоративной системой в острозасушливые годы (Рекс, 1974):

- 1) воду подают на часть территории в объеме, достаточном для того, чтобы удерживать урожайность на уровне расчетного года, а на остальной площади допускается его снижение (до уровня богары); в этом случае на неорошаемой части происходит замораживание основных фондов;

- 2) воду распределяют равномерно по всей орошаемой площади, причем снижение урожайности на площади, занятой каждой культурой, также носит равномерный характер. Однако урожайность каждой культуры значительно выше, чем на богарных землях;

- 3) воду распределяют по площади неравномерно, в связи с чем снижение урожайности носит неравномерный (по площади, занятой каждой культурой) характер.

Вопросы создания совершенных мелиоративных систем для производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях требуют комплексного решения.

Системный подход к постановке и оценке научных исследований в мелиорации позволяет вести целенаправленную разработку методик проектирования систем ПП на МЗ. Только всесторонняя оценка таких методик на дей-

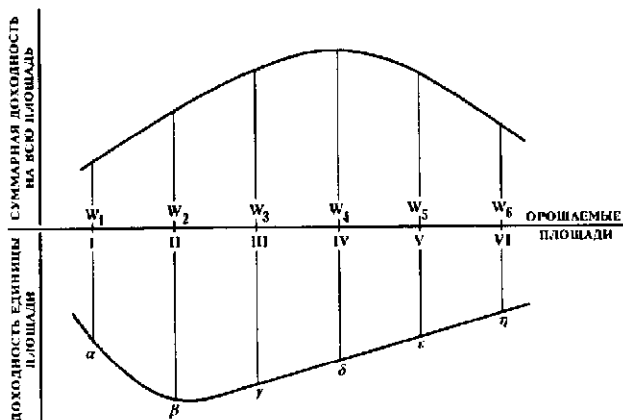


Рис. 5.1. Схема использования источника орошения (по А.Н.Костякову); I...VI — варианты

ствующих системах позволит правильно ориентировать дальнейшие исследования в этом направлении (Балаев, Рекс, 1976; Балаев и др., 1977).

Вопросу оптимизации параметров систем, создаваемых для мелиорации, посвящено значительное число работ советских и зарубежных авторов, которые рассматривали данную проблему с разных позиций.

Первым из отечественных ученых, обратившим внимание на важность выбора мощности мелиоративной системы и согласования ее работы с водисточником, был А.Н.Костяков (1933). В своей работе он приводит график (рис. 5.1), на котором дает различные схемы использования источника орошения. Цифрам I...VI соответствуют различные площади орошения, которые увеличиваются по оси абсцисс от режима I к VI. Каждому режиму использования источника орошения соответствует и различная «доходность» единицы площади. Режиму II соответствует наибольшая «доходность» единицы площади (наивыгоднейший тип водопользования). При этом режиме может быть орошена площадь W_{02} . Режиму VI соответствует минимальная доходность, но зато может быть орошена максимальная площадь W_{06} . В связи с этим А.Н.Костяков отмечает, что «с точки зрения частнохозяйственной» самым выгодным будет 2-й режим, при котором хотя источник орошения и не используется достаточно полно, зато достигается наивысший доход с каждой орошаемой единицы площади. «С точки зрения народнохозяйственной» наиболее выгоден 4-й тип водопользования, при котором хотя доходность единицы площади меньше, однако источник орошения используется значительно полнее и общая сумма дохода достигает наибольшего значения. Верхняя кривая и представляет ту общую доходность, которую может дать этот источник при разных режимах его использования, она равна произведению орошаемой при этом режиме площади на доходность с ее единицы.

В других работах (Большаков, 1951; Трофимов, 1952; Папелашвили, 1957; Кан Пу-Цин, 1960 и др.) рекомендуется определять обеспеченность орошения, правда, на основе анализа лишь гидрологических и технических показателей оросительных систем, тогда как А.Н.Костяков (1933), А.Н.Костяков, В.А.Кутергин (1950), А.Д.Саваренский (1957, 1961, 1968), К.И.Шавва (1972), Б.Г.Коваленко (1965), К.П.Аренд (1971), Л.В.Свиклис (1971) и другие предлагают учитывать и экономические показатели (вначале только для ороси-

тельной системы, а впоследствии и для системы сельскохозяйственного производства).

Задачу выбора расчетной водообеспеченности мелиоративных систем нельзя считать решенной, так как ряд вопросов, таких как влияние зарегулированности стока на водообеспеченность, сохранение части урожая на неполиваемых или поливаемых неполной нормой орошаемых площадях в острозасушливые годы, потери части труда и урожая, определение затрат на хранение резервируемой продукции и многие другие, требуют уточнения.

При дальнейшем совершенствовании методики выбора расчетной обеспеченности орошения, в частности при обработке и анализе гидрологического материала могут быть использованы положения, содержащиеся в работах В. В. Трофимова (1962); Кан Пу-Цина (1960); К. А. Папелашвили (1957, 1968); К. П. Арента (1971); О. Г. Соломония (1969) и других, а при дальнейшем совершенствовании этих методик — с учетом экономических показателей — отдельные положения А. Н. Костякова (1933); Р. С. Мартиросяна (1962, 1971); К. И. Шаввы (1972); Л. Б. Свиклиса (1971) и др.

Для разработки экономико-математических моделей обоснования параметров мелиоративных, оросительных и осушительных систем интересны предложения, содержащиеся в работах А. Е. Агреста (1971); В. Н. Кардаша, Н. С. Фелингера (1968); В. А. Кардаша, В. Г. Пряжинской (1966); В. А. Кардаша (1977); О. П. Кисарова (1975); К. А. Папелашвили (1957); В. Г. Пряжинской (1971); О. Г. Соломония (1965) и др.

Предлагаемая ниже методика позволяет для различных климатических, почвенных, гидрогеологических условий и с учетом сельскохозяйственного использования земель установить расчетный год, для которого будет характерна максимальная пропускная способность оросительной системы, позволяющая при соответствующей оросительной и дренажной системах на длительный срок обеспечить заданный водный и солевой режимы. Выбранные параметры этих систем обеспечивают получение фиксированного объема сельскохозяйственной продукции за период функционирования системы ПП на МЗ при определенных затратах на ее строительство и эксплуатацию.

Число параметров, характеризующих гидромелиоративную систему, в общем случае достаточно велико. Однако можно выделить такие параметры, изменение которых приводит к изменению поведения системы в целом. Для оросительной системы таким параметром служит максимальный удельный расход (средневзвешенный по севооборотным участкам), обеспечивающий в пиковый период требуемый для сельскохозяйственных культур водный режим. Этот параметр определяет также сумму капиталовложений в строительство оросительной сети, сооружений на ней и эксплуатационные затраты. Для коллекторно-дренажной системы в качестве эффективного параметра принят модуль дренажного стока.

Задачу выбора оптимальных параметров предлагается решать для двух случаев: 1) глубокое залегание уровня грунтовых вод (проектируют лишь оросительную систему); 2) близкое к поверхности залегание уровня грунтовых вод (проектируют оросительную и коллекторно-дренажную системы). В каждом случае рассмотрим два варианта: 1) площадь орошения фиксирована, ресурсы водисточника не ограничены; 2) расход водозабора фиксирован, площадь орошения переменная. Ниже излагается описание процесса проектирования оптимальных параметров мелиоративных систем для каждого из этих случаев.

При выборе параметров системы не будут рассматриваться вопросы, связанные с оптимизацией конструктивных элементов оросительной и коллекторно-дренажной систем (выбор материала оросительных и дренажных труб, конструкций фильтра, сооружений и т. д.). Предполагается, что конструкции систем выбраны с учетом природных и хозяйственных условий.

5.2. ПЛОЩАДЬ ОРОШЕНИЯ ПО ВАРИАНТАМ ФИКСИРОВАНИЯ

Постановка задачи сводится к следующему. Оросительную систему проектируют на площади S . На орошаемых землях в течение N лет предполагается возделывать сельскохозяйственные культуры $K_1, K_2, \dots, K_n$, которые, чередуясь по годам, образуют некоторый севооборот (или ряд севооборотов) $C_n(S^0, K_1, K_2, \dots, K_n)$. Проимитируем функционирование оросительной системы за N лет.

Каждому году $j = 1, 2, \dots, N$ из многолетнего ряда N соответствует своя агрометеорологическая обстановка на орошаемой территории, и, как следствие, для каждого года требуются свои режимы орошения, графики водоподдачи и максимальный удельный расход оросительной системы, т.е. имеется ряд максимальных удельных расходов (в дальнейшем гидромодулей) — q_1, q_2, q_n . Один из этих гидромодулей должен быть выбран в качестве расчетного при определении технических параметров оросительной системы.

Предполагается, что расходы водоисточника достаточны для обеспечения водой оросительной системы при проектировании ее на любой максимальной расход, требующийся в рассматриваемом ряде лет N , т.е.

$$Q_i \geq q_i S^0 \eta_i \quad (5.1)$$

Здесь Q_i — расход водоисточника в пиковый период потребления в i -й год, л/с; q_i — максимальный удельный расход, требующийся в этот год для оросительной системы, л/(с.га); η_i — коэффициент полезного действия i -го варианта системы; S^0 — площадь орошения.

Способы и техника полива также заданы.

Максимальный удельный расход определяет технико-экономические показатели оросительной системы: пропускную способность головных водозаборов, магистральных каналов, станций перекачки и подкачки, проводящей и регулирующей оросительной сети, число дождевальных машин и поливных устройств, а также стоимость строительства и эксплуатации системы.

Система, рассчитанная на максимальный удельный расход $q^{\max}$ самого сухого (по дефициту водного баланса) года, требует максимальных капиталовложений на строительство, но обеспечивает проектную урожайность сельскохозяйственных культур в каждый год ее функционирования. Следовательно, среднелетний (за N лет) прирост валового объема продукции от гидромелиорации для этого варианта будет также максимален.

Правда, при работе такой системы в годы более влажные, когда потребность в орошении уменьшается, происходит замораживание капиталовложений, а излишки воды не могут быть использованы для орошения других площадей, так как все равно частично поступают в оросительную сеть (в силу практически неустраняемых в настоящее время конструктивных несовершенств). Ежегодное интенсивное орошение в ряде случаев может привести к ухудшению мелиоративных условий на орошаемых землях.

Оросительная система, рассчитанная на максимальный удельный расход в самый влажный (по дефициту водного баланса) год, лишена этих недостатков. Однако при ее работе в годы более сухие, чем год, принятый за расчетный при определении максимального удельного расхода, продуктивность орошаемых земель из-за недостатка влаги снижается. Среднелетний прирост валового объема сельскохозяйственной продукции в результате мелиорации для этого варианта будет минимальным. Все остальные варианты систем в разной мере содержат достоинства и недостатки, отмеченные в этих двух.

Расчетный гидромодуль предлагается выбирать по минимальному сроку окупаемости совокупных капиталовложений в строительство системы и освоение мелиорируемых земель по приросту среднегодового (за период функционирования системы) чистого дохода:

$$T = \min_i T_i,$$

где T_i – срок окупаемости совокупных капиталовложений в строительство и освоение i -го варианта оросительной системы по приросту среднего (за период ее функционирования) чистого дохода.

Следует отметить, что в «Методике определения экономической эффективности капитальных вложений», утвержденной Госпланом СССР и Госстроем СССР («Экономическая газета» № 2, 3 за 1981 г.), изменены критерии определения экономической эффективности капиталовложений по сравнению с ранее действовавшими нормативами. В ней обосновывается объем сельскохозяйственной продукции, планируемой к производству на орошаемых землях; если он не был задан заранее. Автор в настоящей работе руководствовался «Инструкцией (методикой) определения экономической эффективности капиталовложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ» Минводхоза СССР, 1972 г.

В настоящее время нормативных материалов, определяющих критерии экономической эффективности капиталовложений в мелиоративное строительство, нет. Однако представленные здесь алгоритмы выбора оптимальных параметров мелиоративных и гидромелиоративных систем не претерпят существенных изменений при переходе к определению эффективности капиталовложений по изменившимся критериям и позволяют выполнять технико-экономические обоснования с их учетом.

Для режима орошения в засушливой зоне (при наличии солей в почвообразующих и подстилающих породах), которым соответствует выбранный вариант удельного максимального расхода, составляют прогноз водно-солевого режима. Анализ этого режима дает возможность установить его приемлемость.

Последовательность процесса выбора варианта удельного максимального расхода следующая.

1. Определяют возможные варианты удельных максимальных расходов оросительной системы.

Максимальные ординаты гидро модуля нетто (удельные максимальные расходы) оросительных систем устанавливают по укомплектованным графикам полива севооборотных участков. Графики разработаны на основании интегральных кривых дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур, входящих в севооборот, с учетом продолжительности поливного периода, глубины увлажняемого слоя и предполивной влажности почвы по фазам вегетации; расчетных поливных норм, параметров поливной техники, позиции ее работы и потерь воды на сброс (при поверхностном поливе) и на испарение (при дождевании).

Укомплектованные графики полива составляют по каждому севооборотному участку для каждого года из ряда лет N (не менее 25...30) с учетом имеющихся рекомендаций и программ, составленных на ЭВМ.

На ближайшей к объекту метеостанции выбирают исходные метеоданные для расчетов режимов орошения.

С графиков снимают значения удельных максимальных расходов (ординат гидро модуля), соответствующих пиковому периоду водопотребления.

При поливе дождеванием максимальные удельные расходы определяют количеством одновременно работающих дождевальных машин (если поливная техника однотипна) или отношением суммы расходов одновременно работающих дождевальных машин к площади севооборотного участка (если используется поливная техника разных типов и модификаций);

$$q_n = \sum Q / S_n^c, \quad (5.2)$$

где q_n – максимальный удельный расход нетто в пиковый период водопотребления, л/(с · га); $n = 1, 2, \dots, L$, где L – число севооборотных участ-

ков; $\sum Q$ — суммарный расход одновременно работающих дождевальных машин, л/с . га); S_n^c — площадь n -го севооборотного участка, га.

Максимальные удельные расходы нетто в целом по системе определяют также за каждый год как средневзвешенные с учетом процентного отношения площадей севооборотных участков к общей площади орошения и их гидромодулей:

$$q_1 = P_1 q_1 + P_2 q_2 + \dots + P_L q_L,$$

где q_1 — максимальный удельный расход, необходимый для подачи воды на i -ю систему в период пикового водопотребления, л/(с . га); $q_1, q_2, \dots, q_L$ — максимальные удельные расходы севооборотных участков, л/(с . га); $P_1, P_2, \dots, P_L$ — соотношение орошаемой площади севооборотного участка к площади всего орошаемого массива, доли единицы.

Полученный ряд гидромодулей ранжируют в порядке возрастания и определяют обеспеченность каждого члена ряда.

Расчеты экономической эффективности системы могут быть выполнены для каждого значения обеспеченности водоподачи (удельных максимальных расходов систем) из рассматриваемого ряда. С целью сокращения расчетных вариантов рекомендуется строить дифференциальную кривую распределения частостей значений гидромодулей, которая позволяет установить их повторяемость в многолетнем ряду. Полученный в этом случае более короткий ряд значений гидромодулей также ранжируют в порядке возрастания. Обеспеченность каждого члена ряда определяют по накопленной частости.

Число расчетных вариантов N определяют по числу членов ранжированного ряда максимальных гидромодулей, если расчет ведут по всем реальным годам, или по числу значений гидромодулей, определенных по дифференциальной кривой частости их распределения. В последнем случае число расчетных вариантов значительно сокращается.

Частоты гидромодулей служат весовыми значениями при определении средневзвешенных значений экономических показателей.

2. Для каждого варианта удельного максимального расхода рассчитывают совокупные капиталовложения государства и сельскохозяйственных предприятий на основании общепринятых в проектной практике норм и расценок.

Размеры капиталовложений и технические параметры оросительной системы определяются максимальными расчетными расходами брутто, полученными с учетом КПД всех звеньев оросительной сети.

По всем отобранным вариантам гидромодулей рассчитывают капиталовложения на строительство оросительной системы. Их размеры принимают по сводной смете, в которой учитывают все виды затрат, включая накладные расходы, прочие затраты, затраты на временные здания и сооружения, выполнение работ в зимнее время, а также плановые накопления.

К обязательно учитываемым показателям капиталовложений относятся следующие: на оросительную сеть всех категорий с сооружениями, на коллекторно-дренажную сеть с сооружениями, на водозаборные сооружения, на головные перекачные и подкачные насосные станции и здания для работников службы эксплуатации, на планировку орошаемых земель, на дождевальную технику и машины. Учитывают также капиталовложения на сельскохозяйственное освоение земель и сельскохозяйственное строительство, а также на жилищное строительство для рабочих, занятых на производстве (в случае, если предусматривается приток дополнительной рабочей силы).

3. Текущие издержки (эксплуатационные затраты), не входящие в себестоимость продукции растениеводства, также определяют для каждого варианта.

К эксплуатационным затратам относят амортизационные отчисления на реконструкцию и капитальный ремонт оросительной системы; расходы на текущий ремонт и техническое обслуживание оросительной сети и водозаборных сооружений; ежегодные затраты на подготовку поливного оборудования к оро-

сительному сезону и зимнему хранению; заработную плату обслуживающего персонала; затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание дождевальных машин и насосных станций; стоимость топлива-смазочных материалов, электроэнергии и др.

Расходы на амортизацию сооружений, зданий, оборудования и машин рассчитывают по действующим «Нормам амортизационных отчислений» Госплана СССР, а на текущий ремонт – по нормам, утвержденным НТС «Союзводпроекта». При отсутствии норм на отдельные виды сооружений расходы на текущий ремонт принимают в размере 50% затрат на капитальный ремонт.

Для каждого варианта оросительной системы, рассчитанного на один из гидромодулей ранжированного ряда, отдельно определяют:

затраты на электроэнергию за каждый год функционирования системы из многолетнего ряда N ;

амортизационные отчисления;

прочие эксплуатационные затраты, не входящие в себестоимость продукции растениеводства, за каждый год функционирования системы.

4. Использование мелиорированных земель и специализацию хозяйств на богарных землях до орошения (подсистема СХП) принимают по фактически сложившимся в хозяйствах условиям. На мелиорируемых землях – в соответствии с проектными проработками по согласованию с АПК.

5. Данные об урожайности сельскохозяйственных культур необходимы для определения выхода продукции с богарных и мелиорированных земель и прироста валового и чистого дохода.

Урожайность в условиях богары (или до мелиорации) за каждый год j из ряда N лет принимают по фактической урожайности в хозяйствах за реальные годы i ($i = 1, 2, \dots, N$), имеющие увлажненность года j из упорядоченного ряда N лет.

При расчетах вариантов с использованием дифференциальной кривой распределения частот гидромодулей урожайность на богаре для каждой группы n_j , содержащей n_j лет из упорядоченного ряда N , определяют как среднюю урожайность за ряд реальных лет ($1, 2, \dots, L_j = n_j$), имеющих увлажненность, равную или меньше увлажненности i -го года из N лет, где i соответствует максимальному порядковому номеру члена ряда N , содержащегося в группе j .

Урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях определяют для каждого выбранного варианта обеспеченности водоподачи системы за каждый год ее функционирования.

Урожайность принимают на уровне проектной в годы, требующие водообеспеченности орошения, равной или ниже расчетной обеспеченности водоподачи варианта.

В годы, когда значение гидромодуля должно быть выше расчетного, урожайность определяют с учетом ее снижения от недополива на основе ее зависимостей от режимов орошения, полученных по экспериментальным данным в зоне проектирования, либо с помощью моделей развития сельскохозяйственных культур.

При этом в зависимости от техники полива возможны варианты определения недобора продукции от снижения урожайности при недополивах:

1) вода распределяется неравномерно по всей площади орошаемого участка. Недобор от недополива определяют по каждой культуре, используя указанные выше зависимости. Снижение урожайности на площади, занятой одной культурой, носит равномерный характер. такой вариант расчета возможен при поверхностном поливе;

2) вода на основную часть территории подается в соответствии с расчетным вариантом гидромодуля. На этой территории урожайность принимают на уровне проектной. Часть территории в пиковый период водопотребления не поливают. Снижение урожайности на недополитой площади также опре-

деляют по зависимости урожайности от режимов орошения. В ряде случаев она может быть равной урожайности в реальные годы на богарных землях.

В случае орошения дождеванием на закрытых оросительных системах дополнительная площадь должна быть кратна площадям полей, обслуживаемых дождевальными машинами принятых типов.

6. Производство продукции в богарных условиях до орошения устанавливают согласно сложившейся специализации хозяйств.

Структуру посевных площадей, распределение и затраты кормов на производство продукции животноводства, а также стоимость и себестоимость продукции растениеводства и животноводства принимают по годовым отчетам хозяйств.

На орошаемых землях производство продукции определяют в соответствии с проектируемым использованием земель. Урожайность на богаре и на орошаемых землях устанавливают в порядке, изложенном в п. 5.

Валовой выход продукции растениеводства с системы рассчитывают по каждому варианту обеспеченности водоподачи за каждый год функционирования с учетом возможных недоборов в отдельные годы. По этим данным вычисляют средний или средневзвешенный за год выход валовой продукции в кормовых единицах и в стоимостном выражении.

Стоимость единицы продукции исчисляют по зональным закупочным ценам, стоимость валовой продукции — с учетом стоимости продукции животноводства, получаемой за счет выхода кормов с орошаемых земель.

Объем кормов вычисляют по нормам их затрат на единицу продукции, а состав устанавливают с учетом специализации животноводства в хозяйствах. По всем вариантам рассчитывают удельные показатели выхода продукции на 1 га в кормовых единицах, а также в рублях.

7. Проектную себестоимость продукции растениеводства и животноводства устанавливают по технологическим картам или расчетным путем по калькуляции согласно нормативам. Для каждого варианта рассчитывают среднюю или средневзвешенную себестоимость.

8. Валовой доход на богарных землях и в условиях орошения определяют по всем вариантам для каждого года как средний или средневзвешенный за год (из ряда лет). Чистый доход в условиях орошения исчисляют за вычетом затрат на эксплуатацию мелиоративных систем.

9. Прирост чистого дохода от мелиорации вычисляют по разности между чистым доходом с мелиорируемых земель и доходом, который получали с этих земель до внедрения мелиорации. При этом учитывают прирост чистого дохода на 1 га, а также относимую к сельскому хозяйству часть налога с оборота на продукцию с мелиорированных земель.

10. Определяют срок окупаемости совокупных капиталовложений государства и сельскохозяйственных предприятий в строительство системы ПП на МЗ:

$$T_{\text{ок. к}}^{\text{пл}} = C_{\text{м.с.к}}^{\text{пл}} / \text{ПЧД}_{\text{срв к}}^{\text{о.пл}} \quad (5.3)$$

где $T_{\text{ок. к}}^{\text{пл}}$ — срок окупаемости системы ПП на МЗ с фиксированной площадью $P_n^{\text{ф}}$ для гидромодуля с индексом k ; $C_{\text{м.с.к}}^{\text{пл}}$ — капитальные вложения в систему ПП на МЗ на площади $P_n^{\text{ф}}$ при наличии оросительной сети для расчетного гидромодуля с индексом k , р.; $\text{ПЧД}_{\text{срв к}}^{\text{о.пл}}$ — средневзвешенный прирост чистого дохода при постоянной площади орошения, р. за 1 год.

В этом случае средневзвешенный дополнительный чистый доход определяют по зависимости

$$\text{ПЧД}_{\text{срв к}}^{\text{о.пл}} = \left\{ \sum_{\text{л}=1}^{\text{л}} \left[\sum_{\text{м}=1}^{\text{м}} (З_{\text{цм}} - З_{\text{вмкл}}^{\text{о}}) У_{\text{м кл}}^{\text{о}} \text{Пл}_{\text{м}}^{\text{о}} - (З_{\text{цм}} - З_{\text{вмкл}}^{\text{б}}) У_{\text{м кл}}^{\text{б}} \text{Пл}_{\text{м}}^{\text{б}} - (А_{\text{мк}} + Э_{\text{ккл}} + Э_{\text{лкл}}) \right] \text{Ордл} \right\} \frac{1}{\text{Орд}}, \quad (5.4)$$

где $Y_{мкл}^0$ – урожайность m -й культуры на орошаемых землях при реализации k -й системы в l -й год, т/га; M – число возделываемых культур; Ord_l – частота ординаты дифференциальной кривой распределения гидромодулей многолетнего ряда по выделенным интервалам; $Ord = \sum_{l=1}^A Ord_l$; L – число

интервалов дифференциальной кривой распределения частот гидромодулей многолетнего ряда; Pl_m^0 – площадь орошаемых земель, занятых m -й культурой, га; $Y_{мкл}^6$ – урожайность m -й культуры на богарных землях в l -й год, т/га; Am_k – амортизационные отчисления для k -й системы ПП на МЗ, р; $Э_{кл}$ – прочие эксплуатационные затраты для k -й системы ПП на МЗ в l -й год, не вошедшие в сельскохозяйственные издержки, р.; $Э_{эл}$ – стоимость электроэнергии для k -й системы ПП на МЗ в l -й год, р.; $З_{цм}$ – закупочная цена m -й культуры, р/т; $Зв_{мл}^0$ – затраты на возделывание m -й культуры на орошаемых землях при наличии k -й системы ПП на МЗ в l -й год, р. за 1 т; $Зв_{мл}^6$ – затраты на возделывание m -й культуры на богарных землях в l -й год, р. за 1 т.

Расчетный вариант системы выбирает эксперт-проектировщик из вариантов, имеющих различные гидромодули, по минимуму срока окупаемости совокупных капиталовложений и по приросту среднегодового или средневзвешенного чистого дохода, учитывая и другие технико-экономические показатели, перечисленные выше.

11. При необходимости для выбранного варианта удельного максимального расхода составляют прогноз водно-солевого режима на период ротации сельскохозяйственных культур и определяют, приемлем ли выбранный режим орошения.

Водно-солевой режим рассчитывают по укрупненным графикам полива (графикам водоподачи) реального года, максимальный гидромодуль которого соответствует выбранному варианту.

Если в ряду значения q_i гидромодуля повторяются, то для расчетов принимают график полива с максимальным объемом водоподачи (средневзвешенной оросительной нормой севооборота).

12. Если солевой режим почвогрунтов неудовлетворителен, устанавливают добавку к оросительной норме для создания промывного режима и вновь комплектуют график водоподачи с учетом этой добавки.

Во избежание увеличения максимального гидромодуля применение промывного режима орошения в период пикового водопотребления ограничивают. При необходимости предусматривают промывки. Вновь составляют водно-солевой прогноз, так как изменение поливного режима может привести к подъему грунтовых вод в случае недостаточной естественной отточности, а предусмотренные меры могут не обеспечить нормального солевого режима.

В первом случае, кроме оросительной, следует проектировать и коллекторно-дренажную систему. Во втором – вновь корректируют график водоподачи. Этот процесс продолжают до тех пор, пока принятые режимы орошения и водоподачи не обеспечат требуемый для культур водно-солевой режим почвогрунтов (без строительства дренажной системы).

13. Выбранный максимальный удельный расход оросительной системы с учетом добавки на промывной режим, определенной по пункту 11, и соответствующий ему график водоподачи являются расчетными, а показатели оросительной системы используют в планах развития отрасли.

5.3. ПЕРЕМЕННАЯ ПЛОЩАДЬ ОРОШЕНИЯ

Имеется богарная площадь, на которой намечается строительство оросительной системы. Площадь системы не определена. Водозабор на орошение в головке системы Q_{ϕ} зафиксирован. В общем случае эту площадь определяют в зависимости от требуемого в этот год гидро модуля:

$$S_i = Q_{\phi} \eta_i / q_i, \quad (5.5)$$

где S_i – площадь возможного орошения в i -й год, га; Q_{ϕ} – фиксированный расход в головке системы, л/с; q_i – максимальный удельный расход нетто оросительной системы в i -й год, л/(с · га); η_i – КПД i -1 системы.

Необходимо выбрать расчетный гидро модуль из ряда гидро модулей, имеющего N членов, и обосновать площадь оросительной системы при следующих предположениях.

Минимальному гидро модулю (например, q_1) соответствует вариант системы с максимальной площадью орошения S_1 , что соответственно увеличивает общий объем капиталовложений на строительство мелиоративной системы. Однако удельные капиталовложения (на 1 га) в этом случае минимальны.

Вместе с тем при функционировании такой оросительной системы в годы j , более сухие, требующие гидро модуля q_j орошать можно лишь часть площади S_j' . На другой ее части $\Delta S_j' = S_1 - S_j$ урожайность будет на уровне урожайности на богаре, а вложенные капиталовложения будут заморожены.

Максимальному гидро модулю q_N соответствует вариант системы с минимальной площадью орошения S_N . Правда, удельные капиталовложения будут максимальны, но в каждый год функционирования системы $j = 1, 2, \dots, N$ будут орошать всю площадь, что гарантирует получение проектной урожайности. Не происходит также и замораживания капиталовложений. Каждый из оставшихся $N - 2$ вариантов по своим достоинствам и недостаткам занимает некоторое промежуточное положение между двумя рассмотренными.

В качестве расчетного выбирают гидро модуль q_i , при котором срок окупаемости совокупных капиталовложений в строительство и освоение мелиорируемых земель по приросту чистого дохода T будут минимальными, соответствующая этому варианту площадь орошения S_i^0 .

Так как гидро модуль определен, то, исходя из потребности в воде только на транспирацию культур и испарение с поверхности почвы в засушливой зоне, где в почвообразующих и подстилающих породах содержатся соли, для выбранного варианта удельного максимального расхода прогнозируют водно-солевой режим. Если выбранный режим орошения не обеспечивает требуемый для культур солевой режим, разрабатывают промывной режим, устанавливая добавку к оросительной норме.

Рассмотрим процесс выбора варианта удельного максимального расхода и обоснования площади, на которой целесообразно строительство оросительной системы.

1. Определяют варианты удельных максимальных расходов оросительной системы и соответствующих им площадей орошения.

По каждому севооборотному участку C_m ($m = 1, 2, \dots, L$), имеющему площадь S_m^C и различный состав, составляют укрупненные графики полива для каждого года из ряда лет N . Площадь орошения S_i , соответствующую каждому варианту гидро модуля q_i оросительной системы, определяют по зависимости

$$S_i = \sum_m n_m^i S_m^C, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (5.6)$$

где S_m^C – площадь m -го севооборотного участка, га; n_m^i – число m -х сево-

оборотных участков на орошаемой территории i -го варианта, натуральные числа; $m = 1, 2, \dots, L$ — номера участков, рассматриваемых в проекте.

Чтобы найти n_m^i , необходимо решить следующую задачу:

$$\sum n_m^i S_m^i \rightarrow \max; \quad (5.7)$$

при ограничениях

$$\sum n_m^i S_m^i q_m^i \leq Q_{\Phi} \eta_i; S_{ei} Y_e \geq B Y_e; e = 1, 2, \dots, K, \quad (5.8)$$

где Q_{Φ} — фиксированный расход в головной части системы, л/с; S_{ei} — площадь, занятая e -й культурой в i -м варианте, га; η_i — КПД i -го варианта системы; Y_e — проектная урожайность e -й культуры, т/га; q_m^i — максимальный гидромодуль m -го севооборотного участка, л/(с · га); $B Y_e$ — проектный объем производства e -й сельскохозяйственной продукции.

Варианты максимальных удельных расходов нетто (в целом по системе) определяют как средневзвешенное значение гидромодулей севооборотных участков.

2. Для каждого варианта гидромодуля q_i из ранжированного ряда определяют:

затраты на электроэнергию Z_{ij}^{en} за каждый год j функционирования i -й системы, р;

прочие эксплуатационные затраты, не входящие в себестоимость сельскохозяйственного производства, за каждый год функционирования системы Z_{ij}^{op} , р;

капиталовложения в целом по системе K_i , р;

амортизационные отчисления по системам Z_i , р.

3. Устанавливают в соответствии с требованиями число и виды сельскохозяйственных культур, намечаемых к возделыванию: на богаре; продукция которых переводится в продукцию животноводства (как на орошаемых землях, так и на богаре); имеющих налог с оборота.

4. Определяют также площадь, занятую каждой культурой при орошении и на богаре; число и виды культур, возделываемых на орошаемых землях в условиях недополива; урожайность сельскохозяйственных культур, возделываемых на богаре, и затраты на их производство за каждый год функционирования системы; урожайность культур и затраты на их возделывание в условиях орошаемого земледелия за каждый год функционирования системы (для каждого варианта системы); выход (в кормовых единицах) продукции растениеводства, возделываемой в условиях орошения и богары (если прирост чистого дохода определяют с учетом продукции животноводства); закупочные цены продукции растениеводства и животноводства; распределение (в %) кормов на производство каждого вида животноводческой продукции на орошаемых и богарных землях; постоянную часть затрат на производство каждого вида продукции животноводства на орошаемых землях и на богаре; затраты (в кормовых единицах) на производство каждого вида животноводческой продукции и другие данные, необходимые для определения валового и чистого дохода, а также других технико-экономических показателей при орошении.

5. Эксперт-проектировщик выбирает расчетный вариант по минимуму срока окупаемости совокупных капитальных вложений по приросту среднего или средневзвешенного чистого дохода с привлечением информации о других технико-экономических показателях вариантов:

$$T_{ок\ k}^{gm} = \frac{C_{мск}^{gm}}{ПЧД_{срв. л}^{gm}} \rightarrow \min; \quad (5.9)$$

$$ПЧД_{ср\text{в}}^{\text{гм}} = \left\{ \sum_{\text{л}=1}^{\text{л}} \left[\sum_{\text{м}=1}^{\text{м}} (З_{\text{цм}} - З_{\text{вмк\text{л}}}^{\text{о}}) \cdot У_{\text{мк\text{л}}}^{\text{о}} \cdot П_{\text{лм}}^{\text{о}} (\Gamma_{\text{мл}}^{\text{ор.с}}) - (З_{\text{цм}} - З_{\text{вмк\text{л}}}^{\text{б}}) \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \cdot У_{\text{мк\text{л}}}^{\text{б}} (П_{\text{лм}}^{\text{мак}} - П_{\text{лм}}^{\text{о}}) (\Gamma_{\text{мк}}^{\text{ор.с}}) - (А_{\text{мк}} + Э_{\text{к\text{л}}} + Э_{\text{л\text{к\text{л}}}) \right] \cdot \text{Орд}_{\text{л}} \right\} \cdot \frac{1}{\text{Орд}}, \quad (5.10)$$

где $П_{\text{лм}}^{\text{о}} (\Gamma_{\text{мл}}^{\text{ор.с}})$ – площадь орошения под м-й культурой в л-й год при $\Gamma_{\text{мл}}^{\text{ор.с}}$ гидромодуль; $П_{\text{лм}}^{\text{мак}}$ – максимальная орошаемая площадь под м-й культурой за период л лет (остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах).

ГЛАВА 6. Техничко-экономическое обоснование выбора года расчетной водообеспеченности на примере Приволжской оросительной системы

Общая площадь орошения Приволжской оросительной системы* составляет 91,9 тыс.га, в том числе 1-й очереди – 13264 тыс. га. Средние многолетние суммы осадков, определенные по материалам метеостанций в городах Энгельс и Красный Кут, равны соответственно 425 и 443 мм. На территории орошаемого массива площадью 13264 тыс.га принята структура посевных площадей, приведенная в таблице 6.1. Остальные показатели определены, исходя из общей площади орошения 91,9 тыс.га.

6.1. Структура посевных площадей Приволжской оросительной системы

Культура	Площадь	
	%	га
Пшеница:		
яровая	44,78	5935
озимая	10,35	1373
Люцерна	28,65	3801
Кукуруза (на силос)	7,02	932
Кормовые корнеплоды	3,68	475
Однолетние травы (на зеленый корм)	5,60	748
Итого	100,0	13264

Стоимость строительства оросительной системы в зависимости от расчетной обеспеченности дефицита водного баланса определяли по объектам, параметры которых зависят от водоподачи в систему. Это внутрихозяйственная сеть и дождевальная техника; подкачные, перекачные и головная насосные станции; магистральные и распределительные каналы; наливные водохранилища.

* Основные технико-экономические показатели системы, сведения о режиме орошения сельскохозяйственных культур, укрупненные графики гидромодулей, необходимые капиталовложения и эксплуатационные затраты по вариантам мероприятий систем, рассчитанных на различную обеспеченность гидромодулей, приведены по материалам института «Союзгидрохоз». Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от водообеспеченности, а также затраты на их производство приводятся по данным института «Приволжгидрохоз». (Выполнено совместно с И.Ф.Юрченко.)

Водоподачу определяли на основании графиков гидромодулей, построенных для восьмипольных севооборотных участков в колхозах им. Куйбышева и «Ленинский путь». Эти участки приняты за аналоговые.

Графики гидромодуля построены для четырех лет, имеющих расчетную обеспеченность 5; 25; 50; 75% дефицита водного баланса (ДВБ) и максимальную ординату соответственно 0,78; 0,68; 0,57; 0,48 л/(с·га). Минимальной обеспеченности дефицита (5%) соответствует максимальная ордината гидромодуля 0,78 л/(с·га), что противоречит норме, принятой в практике проектирования, — как правило, максимальная имеет максимальную обеспеченность 95%. Это несоответствие объясняется тем, что обеспеченность орошения определяли ранее по дефициту осадков. В этом случае самому сухому году, имеющему максимальную обеспеченность (вероятность превышения осадков) соответствовали максимальные оросительные нормы. Если определять эти нормативы по дефициту водного баланса, то для самого сухого года, требующего максимальных оросительных норм, характерна минимальная вероятность превышения ДВБ, или его минимальная обеспеченность. Однако принятый ранее метод расчета обеспеченности сохранился и при переходе на новый метод.

Стоимость мелиоративной системы для каждого из четырех лет расчетной водообеспеченности рассчитывали в двух вариантах: первый — система без водохранилища, второй — с водохранилищем.

Изменение стоимости строительства оросительной системы на 1 га площади и эксплуатационные затраты (включая амортизационные отчисления и стоимость электроэнергии) для всех лет, имеющих принятую расчетную обеспеченность, приведены в таблицах 6.2...6.4.

6.2. Стоимость водохозяйственных объектов и эксплуатационные затраты при различной обеспеченности ДВБ (вариант I — без водохранилищ)

Объект водохозяйственного строительства	Стоимость объекта, тыс. р.	Амортизационные отчисления		Капитальный ремонт		Текущий ремонт	
		%	сумма, тыс. р.	%	сумма, тыс. р.	%	сумма, тыс. р.
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Обеспеченность P = 5%</i>							
Перекачечные НС	26963,4	—	—	2,3	665,11	2,5	722,05
Подкачечные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,8	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	40490,3	—	—	1,8	728,82	0,8	323,92
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,9	0,4	252,54
Дождевальная техника	17379,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	—	—	—	0,9	—	1,0	—
Итого			5102,84		2900,63		2514,54
Всего							10518,01
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							2040,00
Итого							15083,46
На 1 га							0,165
<i>Обеспеченность P = 25%</i>							
Перекачечные НС	26615,2	—	—	2,3	611,54	2,5	666,08
Подкачечные НС	18288,1	7,4	1353,22	3,4	621,80	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	37495,2	—	—	1,8	674,91	0,8	299,96
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	—	—	—	—	—	—	—
Итого			5102,84		2792,15		2434,61
Всего							10329,60

1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							1666,42
Итого							14721,47
На 1 га							0,161
Обеспеченность $P = 50\%$							
Перекачные НС	23012,7	—	—	2,3	529,14	2,5	575,16
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,80	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	35657,2	—	—	1,8	641,83	0,8	285,26
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	—	—	—	—	—	—	—
Итого			5102,84		2676,67		2328,99
Всего							10108,50
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							1619,05
Итого							14253,00
На 1 га							0,155
Обеспеченность $P = 75\%$							
Перекачные НС	20029,7	—	—	2,3	451,70	2,5	501,00
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,80	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	34186,8	—	—	1,8	615,36	0,8	273,49
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	—	—	—	—	—	—	—
Итого			5102,84		2582,76		2243,06
Всего							9928,66
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							1251,53
Итого							13705,64
На 1 га							0,150

6.3. Стоимость водохозяйственных объектов и эксплуатационные затраты при различных процентах обеспеченности дефицитов водного баланса (вариант II — с водохранилищем, $P_{гм.с} = \text{const}$)

Объект водохозяйственного строительства	Стоимость объекта, тыс. р.	Амортизационные отчисления		Капитальный ремонт		Текущий ремонт	
		%	сумма, тыс. р.	%	сумма, тыс. р.	%	сумма, тыс. р.
1	2	3	4	5	6	7	8
Обеспеченность $P = 50\%$							
Перекачные НС	24980,0	—	—	2,3	574,54	2,5	624,50
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,28	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	36024,8	—	—	1,8	648,45	0,8	283,20
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,9	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	7787,4	—	—	0,9	70,00	1,0	77,87
Итого			5102,84		2900,63		2459,14
Всего							10360,67
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							2720,00
Итого							15606,12
На 1 га							0,170
Обеспеченность $P = 25\%$							
Перекачные НС	21433,7	—	—	2,3	493,98	2,5	536,54
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,22	3,4	621,80	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	33084,0	—	—	1,8	674,91	0,8	296,96

1	2	3	4	5	6	7	8
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	7560,0	—	—	0,9	68,15	1,0	75,60
Итого			5102,84		2663,34		2345,38
Всего							10111,56
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							8488,56
Итого							15125,57
На 1 га							0,164
Обеспеченность $P = 50\%$							
Перекачные НС	18841,2	—	—	2,3	433,71	2,5	575,16
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,80	3,8	694,96
Межхозяйственные каналы	32165,0	—	—	1,8	578,97	0,8	285,26
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	7290,0	—	—	0,9	66,62	1,0	72,90
Итого			5102,84		2585,00		2270,02
Всего							9957,86
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							2158,73
Итого							14642,04
На 1 га							0,158
Обеспеченность $P = 75\%$							
Перекачные НС	16132,0	—	—	2,3	371,22	2,5	501,00
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,80	3,8	694,96
Межхозяйственные каналы	31246,0	—	—	1,8	562,43	0,8	273,45
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	7047,0	—	—	0,9	63,46	0,1	70,47
Итого			5102,84		2502,81		2192,47
Всего							9798,12
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							1668,71
Итого							13992,28
На 1 га							0,152

6.4. Стоимость водохозяйственных объектов и эксплуатационные затраты при различных процентах обеспеченности дефицита водного баланса (вариант IIa — с водохранилищем, $P_{г.м.с} = \text{const}$)

Объект водохозяйственного строительства	Стоимость объекта, тыс. р.	Амортизационные отчисления		Капитальный ремонт		Текущий ремонт	
		%	сумма, тыс. р.	%	сумма, тыс. р.	%	сумма, тыс. р.
1	2	3	4	5	6	7	8
Обеспеченность $P = 5\%$							
Перекачные НС	24980,0	—	—	2,3	574,54	2,5	722,05
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,8	3,8	694,96
Межхозяйственные каналы	36024,8	—	—	1,8	648,45	0,8	323,92
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,9	0,4	252,54
Дождевальная техника	17379,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	7787,4	—	—	0,9	70,00	1,0	77,87
Итого			5102,84		2798,69		2459,14
Всего							10360,67
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							2720,00
Итого							15606,12

1	2	3	4	5	6	7	8
На 1 га							0,170
Обеспеченность $P = 25\%$							
Перекачные НС	24980,0	—	—	2,3	574,54	2,5	666,08
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,22	3,4	621,80	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	36024,8	—	—	1,8	648,45	0,8	299,96
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	7171,0	—	—	0,9	64,60	1,0	71,71
Итого			5102,84		2793,29		2452,98
Всего							10349,11
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							2488,56
Итого							15363,12
На 1 га							0,167
Обеспеченность $P = 50\%$							
Перекачные НС	24980,0	—	—	2,3	529,14	2,5	575,16
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,80	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	36024,8	—	—	1,8	641,83	0,8	285,26
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	6255	—	—	0,9	56,28	1,0	62,56
Итого			5102,84		2784,97		2443,83
Всего							10331,64
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							2158,73
Итого							15016,82
На 1 га							0,163
Обеспеченность $P = 75\%$							
Перекачные НС	24980,0	—	—	2,3	574,54	2,5	624,50
Подкачные НС	18288,1	7,4	1353,32	3,4	621,80	3,8	694,95
Межхозяйственные каналы	36024,8	—	—	1,8	648,45	0,8	288,20
Внутрихозяйственная сеть	63135,3	2,5	1578,38	1,4	883,90	0,4	252,54
Дождевальная техника	17369,1	12,5	2171,14	—	—	3,0	521,08
Водохранилища и плотины	—	—	—	—	—	—	—
Итого			5102,84		2728,69		2381,27
Всего							10212,80
Содержание штата							2525,45
Стоимость электроэнергии							1668,71
Итого							14406,96
На 1 га							0,157

Средневзвешенный прирост чистого дохода и срок окупаемости мелиоративной системы определяли для пятнадцати лет (обеспеченность ДВБ изменялась в пределах 2,3...49,4%) из тридцати лет наблюдений за ДВБ, подсчитанным по данным метеостанции г. Энгельса.

Показатели изменения капиталовложений и эксплуатационных затрат по мелиоративной системе в зависимости от выбора года расчетной обеспеченности ДВБ приведены в таблице 6.5. Результаты расчетов по выбору максимального удельного расхода для каждого варианта проекта (I вариант — без водохранилищ, II — с водохранилищами при $P_{гм.с} = \text{const}$, IIa — с водохранилищами при $P_{гм.с} = \text{const}$) показали, что минимальный срок окупаемости системы для варианта I будет достигнут при проектировании системы из расчета 20...25%-ной обеспеченности ДВБ на год; для варианта II — из расчета 20...25% и для IIa — 15...20%. Это указывает на то, что годом оптимальной обеспеченности может быть принят год 25%-ной обеспеченности по ДВБ.

6.5. Строительная стоимость и годовые эксплуатационные затраты на 1 га орошаемой площади при различных оросительных нормах в зависимости от обеспеченности по ДВБ, р.
(по вариантам, см. табл. 6.2...6.4)

Годы	Обеспеченность по ДВБ, %	I вариант		II вариант		III вариант	
		Строительная стоимость 1 га	Эксплуатационные затраты на 1 га	Строительная стоимость 1 га	Эксплуатационные затраты на 1 га	Строительная стоимость 1 га	Эксплуатационные затраты на 1 га
1957	2,7	1855,0	165,8	1847,5	171,0	1837,5	170,3
1951	5,6	1830,0	165,0	1816,5	170,0	1820,0	170,0
1972	8,9	1807,5	164,4	1790,0	168,7	1805,0	169,8
1969	12,2	1787,5	163,7	1770,0	167,8	1795,0	169,2
1967	15,5	1765,0	163,2	1745,0	167,0	1785,0	168,9
1946	18,2	1750,0	162,5	1730,0	166,2	1775,0	168,3
1950	22,0	1732,5	161,9	1715,0	165,2	1767,5	167,3
1948	25,3	1720,0	161,0	1700,0	164,2	1760,0	167,2
1966	28,6	1702,5	160,2	1685,0	163,0	1755,0	166,6
1971	31,9	1690,0	159,4	1672,5	162,4	1747,5	166,2
1967	35,2	1675,0	158,7	1660,0	161,6	1745,0	165,8
1947	38,5	1662,5	157,7	1650,0	160,7	1740,0	165,2
1949	41,8	1652,5	157,0	1640,0	160,0	1735,0	164,6
1956	45,1	1642,5	156,4	1632,5	159,3	1730,0	164,2
1953	48,4	1630,0	155,0	1620,0	158,8	1722,5	163,6

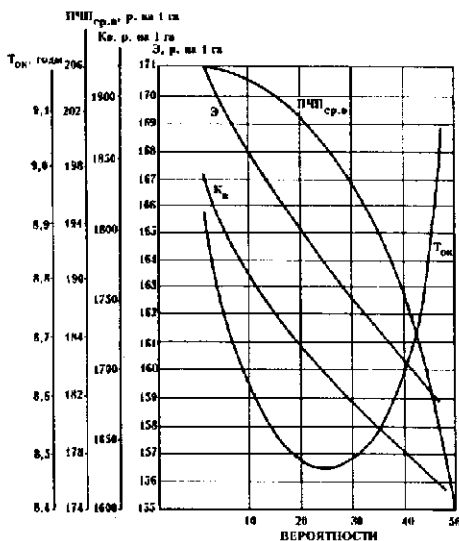


Рис. 6.1. Зависимость изменения капиталовложений, прироста средневзвешенного чистого дохода в результате орошения и сроков окупаемости гидромелиоративной системы от расчетной обеспеченности дефицита водного баланса и изменения эксплуатационных затрат (вариант II)

Проанализируем эффективность капиталовложений и использование воды для системы, рассчитанной на год 25%-ной обеспеченности по ДВБ, в годы, когда она отличается от расчетной. Сравнивать будем с годами, обеспеченность которых по ДВБ 50 и 5%.

На рисунке 6.1 в качестве примера даны кривые изменений капиталовложений, прироста средневзвешенного чистого дохода от орошения и сроков окупаемости гидромелиоративной системы в зависимости от расчетной обеспеченности по ДВБ, а также изменений эксплуатационных затрат для II варианта. Рассмотрим, как будут изменяться капиталовложения и средневзвешенный дополнительный чистый доход при переходе от системы, рассчитанной на год 25%-ной обеспеченности, к системам, рассчитанным на год 5- и 50%-ной обеспеченности. Превышение капиталовложений в систему, рассчитанную на год 5%-ной обеспеченности, для варианта II составляет 121 р. на 1 га (для

вариантов I и IIa соответственно 109 и 58 р. на 1 га), а для системы, рассчитанной на год 25%-ной обеспеченности, по сравнению с 50%-ной — 80 р. на 1 га (для вариантов I и IIa — 93 и 45 р. на 1 га).

Среднегодовой доход изменяется на 5,3 р. на 1 га (5,6 и 6,0 р. на 1 га), т.е. при переходе от года 25%-ной обеспеченности к году 5%-ной расчетной обеспеченности на 1 р. дохода расходуется 22,8 р. капиталовложений (для вариантов I и IIa соответственно 19,4 и 9,6 р.) а при переходе от года 50%-ной обеспеченности к году 25%-ной обеспеченности — 3,0 р. на 1 га (для вариантов I и IIa — 3,5 и 1,6 р.), т.е. в 7,6 раза меньше (для других вариантов в 5,6 раза и 6 раз).

Воспользовавшись данными зависимости изменения урожайности от обеспеченности по ДВБ, проследим, каким будет уменьшение продукции по ведущим культурам при замене системы, рассчитанной на год 5%-ной обеспеченности, системой, рассчитанной на год 25%-ной обеспеченности. Из тридцатилетнего ряда наблюдений имеем семь лет, обеспеченность которых ниже 25%. Это годы, в которые будет происходить уменьшение продукции при наличии системы, рассчитанной на год 25%-ной обеспеченности по ДВБ. В остальные 23 года, обеспеченность которых выше 25%, уменьшения продукции не будет. При замене системы, рассчитанной для года 5%-ной обеспеченности, системой, рассчитанной на год 25%-ной обеспеченности, выход продукции ведущих культур будет уменьшаться следующим образом, т/га: яровая пшеница — на 1,784; озимой пшеницы — на 2,055; люцерны — на 2,536; кукурузы — на 17,05 (табл. 6.6).

6.6. Недобор продукции по основным культурам при замене системы, рассчитанной на год 5%-ной обеспеченности по ДВБ, на систему, рассчитанную на 25%-ную обеспеченность

Обеспеченность по ДВБ, %	Урожайность, т/га, при строительстве системы с обеспеченностью по ДВБ, %		Урожайность, т/га			
	5	25	на богарных землях $У_6$	$\Delta Y_5 = Y_5 - Y_6$	$\Delta Y_{25} = Y_{25} - Y_6$	$\Delta Y_5 - Y_{25}$
<i>Яровая пшеница</i>						
2,3	39,76	35,52	2,00	37,76	33,52	4,24
3,6	40,00	36,00	2,50	37,50	33,50	4,00
8,9	40,0	36,80	3,10	36,90	33,70	3,20
12,2	40,00	37,48	3,80	36,20	33,68	2,52
15,5	40,00	38,04	4,60	35,40	33,68	1,96
18,7	40,00	38,52	5,20	34,80	33,32	1,48
22,0	40,00	39,56	5,80	34,20	33,76	0,44
Итого за 7 лет						17,84
<i>Озимая пшеница</i>						
2,3	49,30	44,20	6,00	43,30	38,20	5,10
3,6	50,00	45,00	6,60	43,40	38,40	5,00
8,9	50,00	46,30	7,20	42,80	39,10	3,70
12,2	50,0	47,00	7,80	42,20	39,20	3,00
18,7	50,00	47,80	8,40	41,60	39,40	2,20
18,7	50,00	49,00	9,00	41,00	40,00	1,00
22,0	50,00	49,46	9,60	40,40	39,85	0,55
Итого за 7 лет						20,55

Уменьшение капиталовложений в строительство системы для II варианта составляет 121 р. на 1 га (для вариантов I и IIa соответственно 109 и 58 р. на 1 га), эксплуатационных затрат — 68 р. на 1 га (для вариантов I и IIa соответственно 4 и 2,8 р. на 1 га. Если эти капиталовложения использовать

6.7. Анализ объемов производства сельскохозяйственной продукции по основным культурам и использования водных ресурсов при переходе от системы, рассчитанной на 5%-ную обеспеченность по ДВБ, к системе, рассчитанной на 25%-ную обеспеченность (за период функционирования системы)

Культура	Площадь, га	Дополнительная площадь, га	Ущерб за 7 лет, обеспеченность которых по ДВБ ниже 25%, т	Выход продукции, т		недозабор при системной на 5%-ную обеспеченность по ДВБ	Средний объем воды, м³/га		возможный за 23 года избыток забора при системной на 25%-ную обеспеченность по ДВБ		
				с дополнительной площади за 7 лет	с дополнительной площади за 7 лет из-за 29 лет избыток забора при системной на 5%-ную обеспеченность по ДВБ		возможный за 29 лет из-за 23 года избыток забора при системной на 25%-ную обеспеченность по ДВБ				
II вариант											
Пшеница:	5935	422	10588,0	9913,6	38824,0	48737,6	6920739	-200	1067	-411	608
яровая озимая	1373	96	2821,5	2686,6	11270,0	13956,6	1800401	-50	1337	-420	752
Площадка	3801	270	2639,3	14628,6	56880,0	70518,6	3173337	-1500	2592	-728	1658
Кукуруза	932	66	15890,6	19159,8	75900,0	95059,8	1330837	-300	1187	-243	693
Итого	12041	856	38939,4	46388,6	181884,0	228272,6	13225314				
I вариант											
Пшеница:	5935	376	10588,0	9833,0	34582,0	43425,0	6166350	-200	1067	-411	608
яровая озимая	1373	87	2821,5	2385,1	10005,0	12390,1	1598329	-50	1337	-420	752
Площадка	3801	240	9639,3	19003,2	49680,0	62683,2	2820744	-1500	2592	-720	1658
Кукуруза	932	59	15890,6	17127,7	67850,0	84977,7	1189688	-300	1187	-243	693
Итого	12041	762	38939,4	41349,0	162127,0	203476,0	10336605				
II вариант											
Пшеница:	5935	195	10588,0	4580,9	17940,0	22520,9	3197968	-200	1067	-411	608
яровая озимая	1373	45	2821,5	1233,6	5175,0	6408,6	826709	-50	1337	-420	752
Площадка	3801	125	9639,3	6172,5	25875,0	32847,5	1489138	-1500	2592	-720	1658
Кукуруза	932	31	15890,6	8709,0	36850,0	44369,0	621026	-300	1187	-243	693
Итого	12041	396	38939,4	21286,0	84640,0	105936,0	10199618				

6.8. Анализ использования водных ресурсов и объемов производства сельскохозяйственной продукции в год 5%-ной обеспеченности по ДББ при переходе от 5%-ной расчетной обеспеченности к 25%-ной

Оросительная норма, $\text{м}^3/\text{га}$	Превышение оросительной нормы года 5%-ной обеспеченности по ДББ	Превышение объема забора воды в год 5%-ной обеспеченности по ДББ	Превышение объема забора воды в год 5%-ной обеспеченности по ДББ	Объем воды, м^3	Площадь орошаемой в год 5%-ной обеспеченности	Выход продукции с орошаемых площадей в год 5%-ной обеспеченности	Выход продукции с орошаемых площадей в год 5%-ной обеспеченности	Выход продукции с орошаемых площадей в год 5%-ной обеспеченности	Возможное увеличение площади при переходе от 5%-ной обеспеченности к 25%-ной, %
25%-ная обеспеченность по ДББ	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, $\text{м}^3/\text{га}$	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, м^3	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, м^3	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, м^3	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, га	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, т	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, т	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, т	по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности, %
2500	2050	550	3264250	865100	23999150	1170	4504,5	630630	
2800	2100	700	361100	205600	755500	359	1728,6	224718	7
2800	2100	700	361100	205600	755500	359	1728,6	224718	7
6500	5300	1200	4561200	1431000	3130200	990	5133,0	2309085	
3000	2400	600	2246800	159400	2088400	870	41760,0	594640	
				2660100	8373280	2989	53124,1	1670973	
I вариант									
2800	2050	550	3264250	768750	2405500	1217	4585,4	655956	
2800	2100	700	361100	192700	778400	374	1727,7	230451	6
6500	5300	1200	4561200	1272000	3289200	603	5248,1	235874	
3000	2400	600	2246800	149600	2705200	994	47712,0	668968	
				2345050	8668300	2888	59416,2	2021800	
II вариант									
2500	2050	550	3264250	399750	2864500	1406	5413,1	757834	
2800	2100	700	361100	94600	866600	412	1952,8	253864	3
6500	5300	1200	4561200	662500	3898700	795	6568,5	295882	
3000	2400	600	2246800	74400	2172400	905	43440,0	608160	
				1231150	10803200	3473	57374,4	1924440	

на строительство мелиоративных систем на дополнительной площади при гидромодуле, соответствующем году 25%-ной обеспеченности по ДВБ, полным прирост орошаемых площадей в размере 944 га (здесь и далее в текстовой части приводятся данные по II варианту; данные по вариантам I и IIa приводятся в соответствующих таблицах). В таблицах 6.7 и 6.8 даны результаты анализа объектов производства сельскохозяйственной продукции и использования водных ресурсов при переходе от системы, рассчитанной на 5%-ную обеспеченность ДВБ, к системе, рассчитанной на 25%-ную обеспеченность, за весь период функционирования мелиоративной системы, а также в год, естественная увлажненность которого соответствует году 5%-ной увлажненности. При этом если недобор продукции за 7 лет, обеспеченность которых ниже 25%, составляет 38,9 тыс. т, то урожайность с дополнительной площади за эти же годы составляет 46,3 тыс. т. Таким образом, валовой сбор продукции за сухие годы не уменьшается, а в годы (23 года), когда дефицит водного баланса полностью покрывается, с дополнительной площади можно получить еще 181,8 тыс. т. Суммарный выход продукции при этом составляет 228, 2 тыс. т, или на 13225 тыс. р.

Таким образом, можно сделать вывод, что в случае ограниченных капиталовложений возможно снижение урожайности в остро засушливые годы, однако при соответствующих капиталовложениях, материальных и водных ресурсах получение запланированного валового объема продукции будет обеспечено.

Проанализируем возможности использования воды. Превышение общего забора воды в год 5%-ной обеспеченности по ДВБ по сравнению с годом 25%-ной обеспеченности составляет 11 033 тыс. м³. На дополнительную площадь требуется 2660 тыс. м³, т.е. остается резерв 8379 тыс. м³, что при определенном наличии капиталовложений позволяет значительно расширить орошаемую площадь (табл. 6.8). Повышение забора воды в систему при проектировании ее на год 5%-ной обеспеченности по ДВБ в 1,5...2 раза больше, чем для системы, запроектированной на год 25%-ной обеспеченности. При проектировании системы, рассчитанной на год 25%-ной обеспеченности без учета обеспеченности лет, следующих за ним (30 лет), возможна вероятность избыточного водозабора, м³/га: по яровой пшенице — 29 880, озимой — 37 374, по люцерне — 72 580, по кукурузе — 33249, по сравнению с недостаточным водозабором соответственно 200; 50; 1500 и 300 м³/га. При проектировании системы на расчетную обеспеченность по ДВБ 25% избыток возможного забора составляет соответственно 13 380; 16 500; 36 480; 15 249 м³/га, при недостатке соответственно 2880; 29400; 5100; 1700 м³/га.

Очевидно, что при проектировании оросительной системы на год 5%-ной обеспеченности по ДВБ в сеть за время существования системы подается значительное количество избыточной воды (так как водообеспеченность текущего года неизвестна), что нежелательно как с экономической точки зрения, так и вследствие возможного ухудшения условий жизни растений. Ниже показано, как изменяется (в многолетнем разрезе) водоподача мелиоративных систем при орошении яровой пшеницы:

Водоподача, тыс. м ³ /га	0,0...0,5	0,5...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0
Повторяемость	2	5	6	9	5	4

Для более южных районов страны значения повторяемости смещаются в сторону больших оросительных норм. При этом в пустынных районах разница между дефицитами водного баланса для обеспеченности 5 и 25% может быть незначительна. Отношение удельных расходов воды в год 5%-ной расчетной обеспеченности по ДВБ к году 25%-ной приведено в таблице 6.9.

**6.9. Расход воды при переходе от системы,
рассчитанной на 5%-ную обеспеченность по ДВБ, к системе,
рассчитанной на 25%-ную обеспеченность по ДВБ**

Норма расхода при 5%-ной обеспеченности, $\text{м}^3/\text{га}$	Урожайность, $\text{т}/\text{год}$	Расход воды, $\text{м}^3/\text{т}$	Норма расхода при 25%-ной обеспеченности, $\text{м}^3/\text{га}$	Урожайность, $\text{т}/\text{год}$	Расход воды, $\text{м}^3/\text{га}$	Отношение расходов 5% : 25%
2800	4,0	6,5	2050	3,6	56,9	1,14
2800	5,0	5,6	2100	4,5	46,6	1,20
6500	9,0	7,2	5300	8,5	62,3	1,15
3000	50,0	0,6	2400	46,1	5,2	1,15

Из данных таблицы видно, что при расчете системы на год 25%-ной обеспеченности по ДВБ больше возможность создать благоприятные условия на мелиорируемых землях. Отсюда можно сделать следующие выводы.

1. Предлагаемая методика позволяет выбрать такие параметры мелиоративной системы, которые обеспечат оптимальный прирост чистого дохода от орошения на длительный срок при минимальных затратах на строительство.

2. Расчеты, выполненные для Приволжской оросительной системы, показали, что оптимальный расчетный год для рассматриваемой системы — год 25%-ной обеспеченности по ДВБ, по сравнению с общепринятой в настоящее время — год 5%-ной обеспеченности.

3. Срок окупаемости системы составляет около 8 лет вместо 9 при расчетной обеспеченности по ДВБ 5%, капиталовложения на ее строительство снижаются на 121 р. на 1 га, а эксплуатационные затраты — на 4 р. на 1 га при среднегодовом приросте чистого дохода 203 р. на 1 га.

4. Дополнительные освобождающиеся капиталовложения можно использовать на расширение орошаемых площадей в объеме 7%.

5. Расчет системы на год 25%-ной обеспеченности по ДВБ позволяет также более рационально использовать водные ресурсы. Резерв воды, который образуется при изменении расчетной обеспеченности по ДВБ от 5 до 25%, позволяет увеличить площадь орошаемых земель на 25%.

6. Уменьшение забора воды в случае расчета системы на год 25%-ной обеспеченности способствует снижению вероятности избыточной подачи воды в систему во влажные годы, замедлению роста уровня грунтовых вод, что требует меньшей интенсивности дренажа при их подъеме.

ГЛАВА 7. Моделирование процессов тепловлагосолепереноса в почвогрунтах при определении параметров мелиоративных и гидромелиоративных систем

7.1. ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОЛЕПЕРЕНОСА В ПОЧВОГРУНТАХ

В рассмотренных выше методиках определения параметров мелиоративных и гидромелиоративных систем был использован балансовый метод расчета водно-солевого режима и решения, полученные на основе линейаризованных уравнений солепереноса.

Для мелиорации земель дальнейший интерес представляет рассмотрение задач прогнозирования минерализации почвенного раствора с учетом дифференциальной пористости и процессов сорбции и растворения, а также прогнозирования минерализации дренажного стока.

Для зон, где при мелиорации земель существенную роль играет температурный режим, целесообразно рассмотреть совместное перераспределение тепла, влаги и солей для дальнейшего совершенствования выше разработанных методов.

Анализ процесса переноса солей с позиции физико-химической гидродинамики пористых сред показывает, что в настоящее время следует пересмотреть методику экспериментальных работ в соответствии с теоретическими исследованиями. Необходимо направить экспериментальные работы на получение параметров переноса и растворения солей в почвогрунтах и на уточнение самой теории. Это позволит определить слабые места в математических моделях процесса переноса солей в почвогрунтах, усовершенствовать методы определения его параметров и, наконец, достичь основной цели — его количественной оценки. Это, в свою очередь, даст возможность обоснованно выбирать параметры дренажей для ускорения отвода солей или создавать на орошаемых землях условия, предотвращающие засоление, т.е. позволит управлять процессом переноса солей.

Для простейшего случая опреснения почвогрунтового слоя основное уравнение движения солей (Веригин, 1953) имеет вид

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D^* \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} + \beta (C_n - C); V = \frac{V_0}{m}, \quad (7.1)$$

где C — концентрация почвенного раствора, г/л; t — время, сут; x — расстояние, м; V — фактическая скорость движения воды в порах грунта, м/сут; V_0 — скорость фильтрации, м/сут; m — активная пористость; C_n — предельная концентрация насыщения, г/л; β — коэффициент растворения, 1/сут; D^* — коэффициент конвективной (фильтрационной) диффузии, м²/сут.

Это уравнение предполагает линейное (одномерное) движение солей и воды вдоль оси x , постоянную скорость фильтрации $V_0 = \text{const}$ и независимость интенсивности растворения содержащихся в твердой фазе почвы солей от их объема и поверхности (двухпараметрическое уравнение).

Если в твердой фазе соли отсутствуют, то уравнение (7.1) называется однопараметрическим и имеет вид

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D^* \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x}. \quad (7.2)$$

Решение уравнения (7.1) с учетом неравномерности начального засоления будет:

$$C = C_j + \frac{C_j + 1 - C_j}{h_j + 1 - h_j} (x - h_j); h_j \leq x \leq h_j + 1 \dots (j = 0, 1, \dots, K - 1); \quad (7.3)$$

$$C = C_K; h_K \leq x < \infty;$$

при краевых условиях (Brenner, 1962; Аверьянов, 1965)

$$V(C - C_n) = D^* \frac{\partial C}{\partial x} \text{ при } x = 0; \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \text{ при } x \rightarrow \infty; \quad (7.4)$$

где j — характерные точки начального засоления; C_j — концентрация в этих точках, г/л; h_j — расстояние от дневной поверхности почвогрунтов до точки o , м; C_n — концентрация солей в поливных водах, г/л.

Нами это уравнение получено в следующем виде:

$$C = C_n - (C_n - C_0) \left(\frac{w_-}{1+b} + \frac{w_+}{1-b} \frac{2x}{1-b^2} \right) + \exp[-(b^2-1) \cdot a^2] \left\{ \sum_{i=0}^K \frac{C_i}{2} F(a z_i) - \right. \\ \left. - \sum_{i=0}^{K-1} \frac{C_{i+1}}{2} F(a z_{i+1}) + \sum_{i=0}^{K-1} \frac{C_i + 1 - C_{i+1}}{2a(h_i^0 + 1 - h_{i+1}^0)} [\Phi(a z_i) - \Phi(a z_{i+1})] - \frac{C_n}{2} F(a z_0) \right\}. \quad (7.5)$$

Здесь $\omega_{\pm} = \exp[2a^2z(1 \pm b)\operatorname{erfc} a(z \pm b)]$;

$\chi = \exp(4a^2z - a^2b + a^2) \operatorname{erfc} az_1^+$;

$F(az_1) = \operatorname{erfc}(az_1^-) + [\operatorname{erfc}(az_1^+) - 4ai \operatorname{erfc}(az_1^+)] e^{4a^2z}$;

$\Phi(az_1) = i \operatorname{erfc}(az_1^-) + [i \operatorname{erfc}(az_1^+) - 4a^2 \operatorname{erfc}(az_1^+)] e^{4a^2z}$;

где $z_1^{\pm} = 1 + h_1^0 \pm z$; $(h_1^0 = \frac{h_1}{Vt}, z = \frac{x}{Vt})$; $a = \frac{V}{2} \sqrt{t/D^*}$; $b = \sqrt{1 + \frac{4\beta D^*}{V^2}}$.

Функции $\operatorname{erf}(u)$; $i \operatorname{erfc}(u)$ и $i^2 \operatorname{erfc}(u)$ табулированы и связаны с функцией ошибок $\operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-x^2} dx$ следующими зависимостями:

$$\operatorname{erf}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u); i \operatorname{erfc}(u) = \exp(u^2)/\sqrt{\pi} - u \operatorname{erfc}(u);$$

$$i^2 \operatorname{erfc} u = 1/4 \left\{ (1 + 2u^2) \operatorname{erfc} u - 2/\sqrt{\pi} u \exp(-u^2) \right\}.$$

Если происходит засоление, то в уравнении (7.1) знак перед вторым слагаемым меняется на обратный, а краевое условие (7.4) при $x = 0$ принимает вид

$$D^* \frac{\partial C}{\partial x} + V_* C = 0, \quad (7.6)$$

где V_* — скорость движения воды в порах грунта при восходящем потоке, м/сут.

Тогда формула (7.5) преобразуется следующим образом:

$$C = C_n - C_n \left(\frac{\varphi^+}{1+b} + \frac{\varphi^-}{1-b} - \frac{2\psi}{1-b^2} \right) + \exp[-(b^2-1)a^2] \left\{ \sum_{i=0}^K \frac{C_i}{2} F(ay_i) - \right. \\ \left. - \sum_{i=0}^{K-1} \frac{C_{i+1}}{2} F(ay_{i+1}) + \sum_{i=0}^{K-1} \frac{C_{i+1} - C_i}{2a(h_1^0 + 1 - h_1^0)} [\Phi(ay_i) - \Phi(ay_{i+1})] - \frac{C_n}{2} F(ay_0) \right\}. \quad (7.7)$$

Здесь $\varphi_{\pm} = \exp[-2a^2y(1 \pm b)\operatorname{erfc} a(y \pm b)]$;

$\psi = \exp(-4a^2y - a^2b^2 + a^2) \operatorname{erfc}(ay_0^+)$;

$F(ay_i) = \operatorname{erfc}(ay_i^-) + [\operatorname{erfc}(ay_i^+) + 4ai \operatorname{erfc}(ay_i^+)] \exp(-4a^2y)$;

$\Phi(ay_i) = i \operatorname{erfc}(ay_i^-) + [i \operatorname{erfc}(ay_i^+) + 4a^2 \operatorname{erfc}(ay_i^+)] \exp(-4a^2y)$;

$y_i^{\pm} = h_1^0 \pm y - 1$; $(h_1^0 = \frac{h_1}{V_*t}, y = \frac{x}{V_*t})$.

Как видно из формул (7.5), (7.7), изменение концентрации в какой-либо точке с течением времени зависит от эпюры начального засоления, коэффициента конвективной (фильтрационной) диффузии, коэффициента растворимости, скорости движения воды (с учетом ее направления), порозности и краевых условий.

Если в формуле (7.5) $C_i = C_i + 1$, т.е. засоление в начальный момент равномерное, то получим решение, приведенное в работах Н.Н. Веригина, Б.С. Шержукова (1969), а при $\beta = 0$ (при хорошей растворимости солей) — решение С.Ф. Аверьянова (1965):

$$C = 0,5C_0 \left\{ \operatorname{erfc}(az_0^-) + [\operatorname{erfc}(az_1^+) - 4ai \operatorname{erfc}(az_1^+)] e^{4a^2z} \right\}. \quad (7.8)$$

Коэффициент конвективной диффузии, входящий в уравнения солепереноса, характеризует движение солей, противоположное конвективному току жидкости при наличии градиента концентрации. Он включает эффекты перемешивания, связанные как с молекулярной диффузией, так и с гидромеханической дисперсией, вызываемой особенностями течения жидкости в неоднородном по форме и размерам поровом пространстве. Значение D^* зависит от характеристики пористой структуры почвы и скорости конвективного потока.

В первом приближении записывают (Николаевский, 1959):

$$D^* = D_m + \lambda V, \quad (7.9)$$

где D_m — коэффициент молекулярной диффузии, $\text{м}^2/\text{сут}$; λ — параметр гидродисперсии, м.

Определяем влияние скорости движения воды по порам, коэффициент конвективной диффузии и мощность опресняемого слоя на время опреснения. С учетом того, что промывка продолжается довольно долго, аргументы $az_j^+ \geq 2$ и формула (7.8) примет вид

$$C = 0,5C_0 \operatorname{erfc}(az_0^-) \quad (7.10)$$

Для того чтобы концентрация в интересующей нас точке почвогрунтового слоя была порядка 0,01 начальной, аргумент функции должен быть $az_0^- \geq p = 1,7$.

Разрешив аргумент функции относительно времени, получим

$$T = t_e + t_D \pm \sqrt{2t_e t_D + t_D^2} \quad (7.11)$$

Здесь T — продолжительность опреснения в интересующей нас точке до концентрации заданного уровня;

$$t_e = e/V; t_D = 2D^* p^2/V^2 \quad (7.12)$$

где e — расстояние от вышеуказанной точки по линии тока до поверхности почвогрунтов.

Грунты, обладающие большей фильтрационной способностью, опресняются быстрее, однако, как показывают экспериментальные работы (Рагимов, 1967), на оструктуренных почвогрунтах с большими скоростями фильтрации этого не происходит.

Кроме диффузионных процессов, в агрегированных суглинках при малых скоростях фильтрации большую роль играют процессы растворения солей. Коэффициент β характеризует скорость растворения солей твердой фазы и зависит от вида и состава солей, а также от вида засоления (поверхностного или объемного). Его значение варьирует в широких пределах. С увеличением интенсивности растворения солей β возрастает. Для легкорастворимых солей полагают $\beta = 0$ (т.е. используется однопараметрическая модель) и прогнозные расчеты ведут при условии, что все соли находятся в растворе.

Движение солей и влаги в почве — сложный физико-химический процесс. Наряду с вытеснением свободного раствора диффузионным переносом солей, растворением солей твердой фазы происходит обмен солями между свободным поровым раствором и внутриагрегатной влагой. В трехпараметрической модели различают поровые растворы, находящиеся в «пассивных» и «активных» порах. Если все поровое пространство принять за единицу и обозначить долю «активных» пор через κ , то количество «пассивных» пор определяется как $(1 - \kappa)$. Модель имеет вид (Coats, Smith, 1964; и др.)

$$\kappa \frac{\partial C}{\partial t} + V\kappa + (1 - \kappa) \frac{\partial N}{\partial t} = D^* \kappa \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial N}{\partial t} = \alpha (C - N), \quad (7.13)$$

где C и N — концентрация солей соответственно в «активных» и «пассивных» порах.

Трехпараметрическая модель пористой среды учитывает обмен солями между «сквозными» и «тупиковыми» порами. Скорость этого обмена пропорциональна разности концентраций в «сквозных» и «тупиковых» порах и характеризуется коэффициентом α . Значение α , так же как и β , зависит от вида и состава солей, а также от пористости структуры почвы.

7.2. ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА

Как отмечалось выше, экспериментальные данные изучения фильтрационных потоков в пористой среде свидетельствуют о неоднородности фильтрации пористых тел и наличии в них застойных, динамически менее активных областей. Работами Л. П. Розова (1956), И. Н. Антипова-Каратаева (1960), И. Ф. Музычука (1932–1934), Г. М. Меерсона (1936), В. Р. Волобуева (!:.), В. А. Ковды (1960) и других исследователей выявлены основные закономерности передвижения солей в почве.

Л. П. Розов (1960) считал, что солевой раствор в почве находится в двух физических состояниях: в виде раствора, прочно связанного молекулярными силами с поверхностями частиц, и в виде свободного раствора, занимающего пространство внутри полостей пор. Л. П. Розов (1956), И. Н. Антипов-Каратаев (1940) и С. В. Зонн (1974) показали, что оценка процесса промывки как процесса вытеснения содержащегося в почве солевого раствора промывной водой справедливо для бесструктурных, пылеватых и неосолонцованных почв. На основании опытов по промывке почвы Г. М. Меерсон (1936) сделал вывод, что вынос солей из предварительно увлажненной почвы уменьшается. Это он объяснял тем, что при капиллярном увлажнении солевые выцветы постепенно растворялись и вместе с влагой всасывались внутрь агрегатов.

В ряде работ (Coats, Smith, 1964; Deans, 1963 и др.) сделана попытка учесть указанные эффекты в переносе солей. Чтобы отразить явления, происходящие в засоленных почвах, возникает необходимость рассмотреть математические модели среды с дифференцированной пористостью и получить расчетные зависимости для количественного описания солепереноса.

В общей пористости m почвы выделим долю «сквозных» пор κ с концентрацией раствора C и долю «тупиковых» пор $(1 - \kappa)$ с концентрацией раствора N (Coats и Smith, 1964 и др.). «Сквозные» поры, активные в фильтрационном отношении, обмениваются солями с «тупиковыми». Скорость макропереноса в «сквозных» порах обозначим θ , а коэффициент конвективной диффузии, отнесенный к единице поверхности «сквозных» пор, D .

Рассмотрим следующие математические модели (Рекс, Якиревич, 1978).

Модель 1:

$$\kappa \frac{\partial C}{\partial t} + \theta \kappa \frac{\partial C}{\partial x} + (1 - \kappa) \alpha (C - N) = D^* \kappa \frac{\partial C}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial N}{\partial t} = \beta (C - N), \quad (7.14)$$

где β — параметр, характеризующий интенсивность обмена между компонентами C и N , сут⁻¹; α — параметр, характеризующий обмен солей активных и застойных зон и дополнительно учитывающий сорбционные эффекты в «сквозных» порах (при $\alpha \neq \beta$), сут⁻¹.

Возможны различные решения системы (7.14), например при следующих начальных и граничных условиях:

$$\text{при } t = 0 \quad C = C_0, \quad N = N_0, \quad C = \text{const}; \quad N_0 = \text{const}; \quad (7.15)$$

$$\text{при } t > 0 \quad x = 0, \quad C = C_n = \text{const}, \quad (7.16)$$

(C_n — концентрация промывной воды)

$$x \rightarrow \infty, \quad \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

Модель 2

Получается из модели 1 при $\alpha = \beta$, т.е. вымыв солей, поступающих из «тупиковых» пор в «сквозные», и солей «сквозных» пор идет с одинаковой интенсивностью (сорбционные эффекты не учитываются, см. уравнение 7.13).

Модель 3

$$\kappa \frac{\partial C}{\partial t} + \theta \kappa \frac{\partial C}{\partial x} + (1 - \kappa) \alpha (C - N) = D^* \kappa \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial N}{\partial t} = -\beta N, \quad (7.17)$$

Эта модель характеризуется тем, что в застойных зонах имеется затухающий солевой источник. Между сквозными и застойными зонами идет обмен солей с интенсивностью, характеризуемой параметром α . Параметр β характеризует скорость затухания солевого источника в застойных зонах.

Модель 4

$$\kappa \frac{\partial C}{\partial t} + \theta \kappa \frac{\partial C}{\partial x} + (1 - \kappa) \frac{\partial N}{\partial t} = D^* \kappa \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial N}{\partial t} = -\beta N, \quad (7.18)$$

Эта модель также характеризуется наличием затухающего солевого источника в застойных зонах. Затухание происходит вследствие перехода солей из застойных зон в «сквозные».

Входящие в уравнение параметры солепереноса зависят от скорости фильтрации, температуры, состава солей и их концентрации, но при определенных допущениях (скорость фильтрации и температура почвы меняются незначительно, концентрация порового раствора меньше 50 г/л) для данного образца их можно принять постоянными.

7.3. РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО-ВЛАГО-СОЛЕПЕРЕНОСА В ПОЧВОГРУНТАХ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Основные уравнения. Почвогрунты представляют собой многофазные системы, и создание общей модели, наиболее полно учитывающей особенности процессов, происходящих в системе «растение — окружающая среда», очень трудоемко. Такая модель была бы очень громоздка, и для ее реализации потребуются определение огромного числа параметров. Поэтому моделирование почвенно-мелиоративных процессов пошло по пути создания сравнительно простых моделей, приспособленных специально к принятию решений. Такие модели, предлагаемые для расчета водно-солевого режима, рассмотрены А.И. Головановым (1974), а с учетом неизотермичности процесс — Б.Ф. Никитенковым (1974), Г.И. Мигуновой и М.Г. Хубларяном (1978). Однако реализация моделей, предложенных в двух последних работах, не доведена до практического использования. Поэтому предложена математическая модель, отличающаяся от вышеупомянутых (Рекс, Якиревич, 1978).

Для исследования физического взаимодействия между водой, солями, пищевыми элементами почвогрунтовой толщи в их взаимосвязи многие авторы используют термодинамический подход (Лыков, Михайлов, 1963; Нерпин, Чудновский, 1975 и др.).

Термодинамическая сила χ_i характеризуется градиентом термодинамических параметров, определяющих равновесие системы. В качестве термодинамических сил переноса энергии и массы вещества принимают следующие (Лыков, Михайлов, 1963):

$$\chi_T = \frac{1}{T} \nabla T, \quad \chi_\mu = -\nabla (\mu / T). \quad (7.19)$$

Согласно законам термодинамики необратимых процессов перенос тепла, вещества и электрических зарядов определяется действием не одной соответствующей силы, а всех термодинамических сил, т.е.

$$J_1 = \sum_{k=1}^n L_{1k} x_k, \quad (7.20)$$

где L_{1k} — кинетические коэффициенты.

Если пренебречь действием электрических полей, то для потоков воды J_W , растворенного вещества J_C , тепла J_T система уравнений переноса имеет вид (Нерпин, Чудновский, 1975)

$$\begin{aligned} -J_W &= L_{WW} \nabla \left(\frac{\mu}{T} \right) + L_{WC} \left(\frac{\mu'}{T} \right) - L_{WT} \nabla \left(\frac{1}{T} \right); \\ -J_C &= L_{CW} \nabla \left(\frac{\mu}{T} \right) + L_{CC} \nabla \left(\frac{\mu'}{T} \right) - L_{CT} \nabla \left(\frac{1}{T} \right) \\ -J_T &= L_{TW} \nabla \left(\frac{\mu}{T} \right) + L_{TC} \nabla \left(\frac{\mu'}{T} \right) - L_{TT} \nabla \left(\frac{1}{T} \right). \end{aligned} \quad (7.21)$$

Из этих уравнений видно, что потоки вещества и энергии вызваны не только действием прямых термодинамических сил, но и действием перекрестных эффектов. Так, перенос влаги и растворенных веществ происходит не только под действием градиентов их потенциалов, но и под действием градиента температуры (термодиффузия, или эффект Соре). Аналогично тепло переносится путем теплопроводности (прямой эффект) и в результате диффузии растворенного вещества (эффект Дюфо).

Анализ физических механизмов переноса влаги показывает, что движение влаги происходит в основном под действием градиентов обобщенного потенциала почвенной влаги H :

$$H = P^* + \Phi,$$

где P^* — капиллярный потенциал в мерзлоталом грунте, или всасывающее давление; Φ — гравитационный потенциал.

Здесь мы не учитываем зависимости капиллярного потенциала от температуры, поскольку она характеризует лишь один из возможных механизмов термопереноса влаги (Глобус, 1969), а влияние градиента температуры будем учитывать, используя обобщенный коэффициент термопереноса.

Что касается градиента концентрации растворенных веществ, то его влияние было проанализировано Е. Бреслером (1976), который численным путем решает уравнение влагопереноса, учитывающее осмотическое давление, связанное с концентрацией почвенного раствора по закону Ван-Гоффа.

Расчеты показали, что осмотическая часть составила менее 5% всего потока влаги (что было также подтверждено экспериментом), поэтому влиянием градиента концентрации почвенного раствора на перенос влаги будем пренебрегать. В этом случае выражение для потока жидкой влаги будет иметь вид

$$V = -K(W) \frac{\partial H}{\partial x} - D_{TW} \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (7.22)$$

где $K(W)$ — коэффициент влагопроводности; D_{TW} — коэффициент термопереноса почвенной влаги; x — вертикальная координата; $H = P - \chi$.

Из внутренних источников учтем отбор влаги (e) корнями растений:

$$J_W = -e. \quad (7.23)$$

В мерзлой зоне примем

$$W = \bar{W} + \lambda, \quad (7.24)$$

где W — объемная влажность; $\bar{W}$ — объемное содержание незамерзшей влаги; λ — объемная льдистость.

Капиллярный потенциал в мерзлом грунте

$$P^* = f_{\lambda}(P, \lambda), \quad (7.25)$$

где $P = f(W)$ — капиллярный потенциал в талом грунте.

Исходя из этих предположений, получим

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial W}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial P^*} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial W}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial \lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial t} = \mu A_1 \frac{\partial H}{\partial t} + \mu A_1 \frac{\partial \lambda}{\partial t}, \quad (7.26)$$

где $\mu = \partial W / \partial P$ — капиллярная влагоемкость; $A_1 = \partial f_{\lambda}^{-1} / \partial P^*$;

$A_2 = \partial f_{\lambda}^{-1} / \partial \lambda$; f_{λ}^{-1} — функция, обратная f_{λ} .

Плотность теплового потока примем равной сумме кондуктивного и конвективного потоков:

$$q_T = \lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T}{\partial x} + C_p VT, \quad (7.27)$$

где $\lambda_{\text{эф}}$ — эффективный коэффициент теплопроводности почвогрунта; C_p — объемная теплоемкость раствора.

Считается, что температура всех фаз грунта вследствие того, что относительные скорости их движения в естественных условиях малы, одинакова.

Из внутренних источников тепла учтем лишь наиболее значительный — выделение тепла при замерзании:

$$h_T = L \frac{\partial \lambda}{\partial t}, \quad (7.28)$$

где L — удельная теплота плавления льда.

Плотность потока солей зависит от плотности потока жидкой влаги, градиента концентрации и градиента температуры:

$$q_C = -D \frac{\partial C}{\partial x} - D_{T.C} \frac{\partial T}{\partial x} + VC, \quad (7.29)$$

где D — коэффициент конвективной диффузии; $D_{T.C}$ — коэффициент термодиффузии солей.

Внутренний источник учитывает возможное поглощение солей (питательных веществ) корнями растений, вымерзание солей и растворение — кристаллизацию:

$$I_C = -\delta_e e_C - \delta_{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial t} C + \beta (C_n - C), \quad (7.30)$$

где δ_e , δ_{λ} — коэффициенты, характеризующие соответственно поглощение солей корнями растений и частичное их замерзание ($0 \leq \delta_e$; $\delta_{\lambda} \leq 1$; здесь принято предположение о пропорциональности источников в уравнении солепереноса соответствующим источникам в уравнении влагопереноса), β — коэффициент скорости растворения; C_n — концентрация предельного насыщения.

Уравнение неразрывности для i -го компонента (Лыков, Михайлов, 1963) имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} = -\text{div } q_i + h_i, \quad (7.31)$$

где ρ_i — содержание i -го компонента в единице объема смеси.

Уравнение сохранения энергии для элементарного объема грунта (Лыков, Михайлов, 1963) имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum U_i = -\text{div } Q_T + h_T, \quad (7.32)$$

где $\sum U_i = \sum \gamma_i \rho_i h_i$; γ_i — объемная масса компонента; h_i — удельная энтальпия.

Подставляя выражения (7.22), (7.23), (7.25), (7.29), (7.30) в уравнения (7.31) и (7.27), (7.28) – в (7.32), получим следующую систему уравнений:

$$\mu A_1 \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(W) \frac{\partial H}{\partial x} + D_{TW} \frac{\partial T}{\partial x} \right] - e - \mu A_2 \frac{\partial \lambda}{\partial t}; \quad (7.33)$$

$$V = -K(W) \frac{\partial H}{\partial x} - D_{TW} \frac{\partial T}{\partial x}; \quad (7.34)$$

$$C_{\text{эф}} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - C_p V \frac{\partial T}{\partial x}; \quad (7.35)$$

$$W \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} + D_{TC} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - V \frac{\partial C}{\partial x} - \beta (C - C_n) + C \left(\bar{\delta}_e e + \bar{\delta}_\lambda \frac{\partial \lambda}{\partial t} \right); \quad (7.36)$$

$$\frac{\partial N_T}{\partial t} = \beta (C - C_n), \quad (7.37)$$

где $C_{\text{эф}} = C_{\text{ск}} + C_p W + C_\lambda \lambda - L \frac{\partial \lambda}{\partial T}$ – эффективная объемная теплоемкость грунта; $C_{\text{ск}}$, C_p , C_λ – объемные теплоемкости скелета грунта, раствора и льда соответственно; N_T – содержание нерастворенных солей; $\bar{\delta}_e = 1 - \delta_e$; $\bar{\delta}_\lambda = 1 - \delta_\lambda$.

В случае использования модели солепереноса в среде с двойной пористостью («сквозной» и «тупиковой») вместо уравнения (7.36) можно использовать систему

$$\kappa W \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \kappa) \alpha (C - N) = \kappa \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} + D_{TC} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \kappa V \frac{\partial C}{\partial x} + \kappa C \left(\bar{\delta}_e e + \bar{\delta}_\lambda \frac{\partial \lambda}{\partial t} \right); \quad (7.38)$$

$$\frac{\partial (\bar{W} N)}{\partial t} = \alpha (C - N) - N \left(\delta_e e + \delta_\lambda \frac{\partial \lambda}{\partial t} \right). \quad (7.39)$$

Здесь κ – доля активных в фильтрационном отношении пор – «сквозных»; C – концентрация солей в «сквозных» порах, г/л; N – концентрация солей в «тупиковых» порах, г/л; α – коэффициент скорости обмена солями между «сквозными» и «тупиковыми» порами, сут⁻¹. Остальные обозначения те же.

Таким образом, системы уравнений (7.33)...(7.37) или (7.33)...(7.35); (7.38), (7.49) описывают совместное перемещение влаги, тепла и растворенных веществ в почве.

Параметры дифференциальных уравнений баланса влаги, тепла и солей. Для реализации принятой математической модели влаго-, тепло- и солеобмена необходима разработка методов определения основных параметров, входящих в уравнения (7.33)...(7.37).

К параметрам уравнения влагопереноса относятся следующие зависимости: $P = f_1(W)$ – капиллярного потенциала от влажности коэффициента влагопроводности и температуры, $K = f_2(W, T)$; интенсивности транспирации влаги растением от влажности и развития корневой системы, $e = f_3(W, x)$; содержания незамерзшей влаги от температуры, $\bar{W} = f_4(T)$; коэффициента термодиффузии почвенной влаги от влажности, $D_{TW} = f_5(W)$.

Параметры уравнения теплопереноса: эффективная объемная теплоемкость почвогрунта; эффективный коэффициент теплопроводности почвогрунта.

Параметры уравнений солепереноса: коэффициент конвективной диффузии солей; коэффициенты скорости растворения и обмена солей; коэффициенты скорости растворения и обмена солей; коэффициенты термодиффузии солей: доля «сквозных» пор.

От выбора перечисленных зависимостей и точности определения параметров уравнений будет зависеть точность и достоверность последующих расчетов.

Приведем те из них, применение которых, с нашей точки зрения, наиболее целесообразно.

Зависимость капиллярного потенциала от влажности. Разными авторами предлагается ряд методик для определения этой зависимости при искусственно созданных равновесных условиях.

Общий вид зависимости $P(W)$ показан на рисунке 7.1. При ее определении следует учитывать влияние явления гистерезиса, которое состоит в том, что при одном и том же давлении почвенной влаги влажность грунта различна в зависимости от того, достигается оно путем увлажнения или иссушения (Нерпин, Чудновский, 1975; Чудновский, 1976). Вследствие этого в расчетах желательно использовать обе ветви этой зависимости. Однако трудность заключается в выборе формы переходных кривых с одной ветви на другую, в ранее опубликованных работах пока не приводится достаточно хороших методик о выборе формы этих кривых. Поэтому для расчетов будем пользоваться только одной ветвью.

В наиболее широком диапазоне влажности и давления можно применять формулу В.В.Ведерникова (1975):

при $W > W_*$ (W_* – максимальная молекулярная влагоемкость)

$$P = h_k \sqrt{\gamma \ln \frac{W - W_*}{m - W_*}} \quad (7.40)$$

Здесь $\gamma = 0,37$; h_k – максимальная высота капиллярного поднятия влаги; m – пористость (при замене m значением полной влагоемкости учитывается влияние заземленного воздуха);

при $W < W_*$

$$P = P_m - \frac{W - W_m}{W_k - W_m} (P_m - \alpha h_k) \quad (7.41)$$

где W – влажность, соответствующая максимальной гигроскопичности; P_m – потенциал влаги при $W = W_m$; W_k – влажность при $P = \alpha h_k$; $\alpha \approx -1,5$ – коэффициент, выбираемый из условия планового сопряжения кривых (7.40) и (7.41).

Однако вид этой зависимости характерен для песчанистых почв. Для глинистых и торфяных почвогрунтов кривую $P(W)$ можно аппроксимировать формулой (Рекс, Якиревич, Яшин, 1980)

$$P = -h_k^* \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} \frac{m - W}{m - W_0} \right) \quad (7.42)$$

где h_k^* – параметр, определяемый по методу наименьших квадратов; W_0 – влажность, соответствующая прекращению движения влаги в жидком виде.

При отрицательных температурах зависимость капиллярного потенциала приводится к виду (Кулик, 1978)

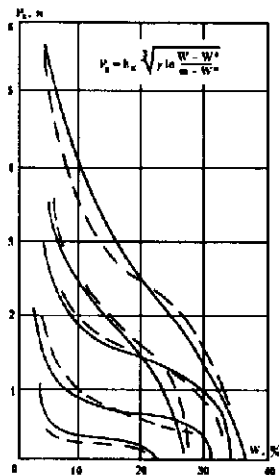


Рис. 7.1. Зависимость капиллярного потенциала от влажности (по В.В.Ведерникову и Б.Ф.Никитенкову, 1976)

$$F^* = f_2(P, \lambda) = P(W) \frac{1 + 8\lambda}{1 - \frac{\lambda}{m}} \quad (7.43)$$

Зависимость коэффициента влагопроводности от влажности и температуры. Методика определения этой характеристики разрабатывается уже в течение нескольких десятилетий, и к настоящему времени имеется достаточно большое количество выполненных работ (Аверьянов, 1949; Роде, 1965, 1969 и др.). Из наиболее часто используемых для аппроксимации можно привести следующую формулу (Аверьянов, 1949):

$$K_W = K_0 \left(\frac{W - W_0}{m - W_0} \right)^{n_K} \quad (7.44)$$

где K_0 — коэффициент фильтрации почвы, м/сут; $n_K = 3,56$; W_0 — влажность, соответствующая прекращению движения влаги в жидком виде.

А.И. Будаговский считает, что движение влаги прекращается при влажности, равной влажности завядания. У него $n_K = 4 \dots 6$ $n_K = 4$. В.В. Ведерников (1976) допускает, что движение влаги в жидкой фазе возможно до влажности, соответствующей максимальной гигроскопичности. В этом случае $n_K = 4 \dots 6$. При положительных температурах коэффициент фильтрации определяется по формуле Пуазейля.

С учетом льдистости (при отрицательных температурах) можно использовать следующую формулу (Ведерников, Никитенков, 1976):

$$K_W = K_0 \left(\frac{W - W_m}{m - n - W_m} \right)^{n_K} \left(\frac{m - \lambda - W_m}{m - W_m} \right), \quad n_1 = 7. \quad (7.45)$$

Зависимость интенсивности транспирации влаги растением от влажности. Правильное определение количества влаги, поглощаемой растением на различных стадиях его роста в зависимости от влажности почвы, имеет большое значение при расчете водного режима сельскохозяйственного поля. Механизм поглощения влаги растением весьма сложен, и описание его представляет собой самостоятельную задачу. Достаточно подробно она рассмотрена С.В. Нерпиным и А.Ф. Чудновским (1975). Для принятой модели влагопереноса на данном этапе важно подобрать не слишком сложные зависимости; но достаточно хорошо аппроксимирующие то количество влаги, которое поглощается корневыми волосками растений из различных слоев почвы.

Предлагается следующая зависимость:

$$e(xW) = \gamma_e f(x) \bar{e}(W) / \int_0^{h_n} e(W) f(x) dx, \quad (7.46)$$

где $\bar{e}(xW) = \left[\frac{(W - W_s)(m - W)}{(W_{ппв} - W_{вз})^2} \right]^{1/2}$ W ; $W_{вз}$ — влажность завядания;

$W_{ппв}$ — влажность, соответствующая предельной полевой влагоемкости; γ_e — суммарная скорость отбора влаги; $f(x)$ — функция, учитывающая распределение корневой системы в глубь почвогрунтового слоя.

Для большинства культур функцию $f(x)$ можно аппроксимировать с помощью распределения

$$f(x) = \frac{1}{(x + x_1) \sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{[\ln(x + x_1) - \bar{x}_\lambda]^2}{2\sigma_\lambda^2} \right), \quad (7.47)$$

где x_1 , σ_λ , $\bar{x}_\lambda$ — параметры распределения.

Зависимость содержания незамерзшей влаги от температуры. Фазовое состояние порового раствора — одно из важнейших понятий, с которым свя-

заны закономерности изменения механических, теплофизических и других свойств мерзлых почвогрунтов. Принцип равновесного состояния воды и льда был сформулирован Н. А. Цыговичем (1954), а исследованиями З. А. Нерсисовой (1953), И. Н. Вотякова (1961) и других ученых установлено существование однозначной зависимости между содержанием связанной воды и температурой. Н. С. Ивановым (1969) была предпринята первая попытка теоретического обоснования содержания связанной воды от температуры. Полученные им формулы весьма громоздки, и входящие в них коэффициенты, в свою очередь, зависят от температуры. Для наших расчетов удобнее было бы воспользоваться описанием зависимости для всего диапазона отрицательных температур одной функцией.

Достаточно хорошо аппроксимирует экспериментальные данные зависимость (Андерсон, Тайс, 1973)

$$W = a_W(-T)^{b_W} \quad (7.48)$$

где a_W , b_W — постоянные для данной почвы коэффициенты.

Зависимость коэффициента термодиффузии почвенной влаги от влажности. Экспериментальные кривые предложено аппроксимировать формулой (Якирев, 1981)

$$D_{TW} = D_{T0} \exp[-\alpha_T (W - W_T^2)], \quad (7.49)$$

где D_{T0} — максимальное значение D_{TW} при $W = W_T$.

Эффективная объемная теплоемкость почвогрунта. Объемная теплоемкость $C_{об}$ равна произведению удельной теплоемкости C_y на плотность γ .

Многочисленные измерения удельной теплоемкости показывают, что при абсолютно сухом состоянии почвы она практически равна удельной теплоемкости твердой фазы почвы.

Наиболее эффективный фактор, влияющий на изменение C_y — влажность. Это объясняется тем, что при увлажнении почв из их пор удаляется мало-теплопроводный воздух, который заменяется хорошо проводящей тепло влагой. С ростом W теплоемкость растет по линейному закону:

$$C_y = C_{ск} + C_p W, \quad (7.50)$$

Здесь $C_{ск}$ — объемная теплоемкость скелета; C_p — объемная теплоемкость раствора.

В области отрицательных температур (для мерзлых почв) можно записать:

$$C_y = C_{ск} + C_p W + C_L \lambda - L \frac{d\lambda}{dT}, \quad (7.51)$$

где L — скрытая теплота плавления льда.

Последний член учитывает выделение тепла при фазовых переходах.

Эффективный коэффициент теплопроводности почвогрунта. При анализе влияния различных факторов на величину λ_y . С. В. Нерпин, А. Ф. Чудновский (1967) отмечают, что наиболее существенны четыре фактора: влажность, плотность, дисперсность, температура.

Обобщение экспериментальных данных различных исследователей приводит к следующей эмпирической формуле для определения коэффициента теплопроводности (Нерпин, Чудновский, 1967; Куртнер, Чудновский, 1979):

$$\lambda_T = (C_{ск} + 0,01W) [m_1 (W - m_4)^2 + 10^{-3} m_2 \gamma + m_3] \cdot 10^{-7} \text{ кДж/(м} \cdot \text{с)}. \quad (7.52)$$

В области отрицательных температур коэффициент теплопроводности вычисляют по формуле (Иванов, 1969)

$$\lambda_y = \lambda_T + (\lambda_m - \lambda_T) \frac{\lambda}{W}, \quad (7.53)$$

где λ_T — коэффициент теплопроводности талых пород; λ_m — коэффициент теплопроводности мерзлых пород.

Полученные разными исследователями опытные данные о значении λ_m при определенных значениях льдистости и плотности почв изменяются в широких пределах.

Однако было установлено (Иванов, 1969), что критериальная величина $\Delta\lambda/\lambda_T = (\lambda_m - \lambda_T)/\lambda_T$ для песчанистых пород и величина $\Delta\lambda = \lambda_m - \lambda_T$ для глинистых пород являются линейными функциями влажности. Так, для песков

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_T} = (\Delta\lambda/\lambda_T)_{исх} + 0,0267(W - W_{исх}), \quad (7.54)$$

где $W_{исх}$ – выбранное (исходное значение влажности, при которой можно определить значения $(\Delta\lambda/\lambda_T)_{исх}$ и $\Delta\lambda_{исх}$. Последние могут быть определены или из опыта, или найдены по графикам, представленным на рисунке 7.2, если известны значения рассматриваемых величин хотя бы при одном значении влажности.

В этом случае коэффициент теплопроводности мерзлых пород можно определить по формуле (Иванов, 1969)

$$\lambda_m = \lambda_T + \Delta\lambda = \lambda_T (1 + \Delta\lambda/\lambda_T). \quad (7.55)$$

Коэффициент конвективной диффузии. Зависимость коэффициента конвективной диффузии от влажности и скорости влагопереноса в зоне неполного насыщения в настоящее время не установлена. Поэтому будем использовать гипотетическую формулу (Голованов, 1975)

$$D = D^* \bar{W}, \quad (7.56)$$

где $D^* = D_m + \lambda |V|^n$.

$$(7.57)$$

Коэффициенты скорости растворения и обмена принимают прямопропорциональными влажности.

Начальные и граничные условия. Для реализации принятой модели влаго-, тепло- и солепереноса в почве уравнения (7.33)...(7.37) необходимо дополнить соответствующими начальными и краевыми условиями.

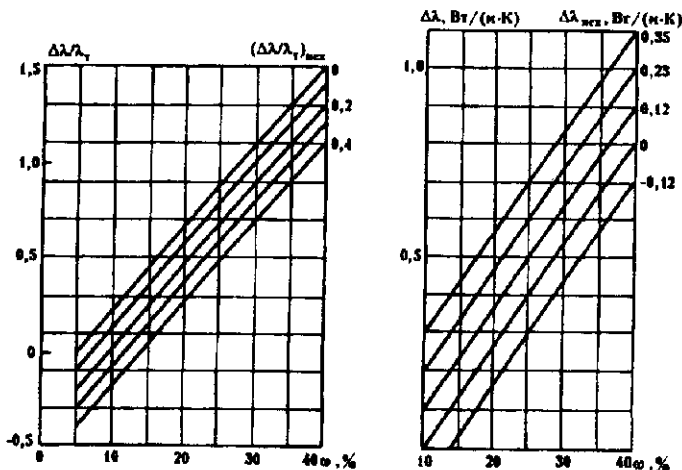


Рис. 7.2. Зависимость критерия $\Delta\lambda/\lambda_T$ для промерзших песчаных горных пород от влажности при различных значениях $(\Delta\lambda/\lambda_T)_{исх}$. Зависимость $\Delta\lambda$ для промерзших глинистых горных пород от влажности при различных значениях $\Delta\lambda_{исх}$.

1. Начальные условия.

В начальный момент времени задаются поля потенциалов температуры, концентраций:

$$\begin{aligned} H(x, 0) &= H_0(x); \\ T(x, 0) &= T_0(x); \\ C(x, 0) &= C_0(x); \\ N(x, 0) &= N_0(x). \end{aligned} \quad (7.58)$$

2. Краевые условия.

а. Краевые условия для уравнения влагопереноса.

В общем виде краевые условия для уравнения влагопереноса можно записать следующим образом:

на верхней границе при $x = 0$

$$\beta_{H1} \left[K(\bar{W}) \frac{\partial H}{\partial x} + D_{TW} \frac{\partial T}{\partial x} \right] = \alpha_{H1} H - \hat{H}_1; \quad (7.59)$$

на нижней границе при $x = L$

$$-\rho n_2 \left[K(\bar{W}) \frac{\partial H}{\partial x} + D_{TH} \frac{\partial T}{\partial x} \right] = \alpha_{H2} H - \hat{H}_2. \quad (7.60)$$

Отсюда при разных комбинациях α_{H1} , β_{H1} , $\hat{H}_1$ можно получить различные виды краевых условий:

при $\beta_{H1} = 0$; $\alpha_{H1} = 1$ получаем граничные условия 1-го рода:

$$H_x = 0 = \hat{H}_1(t); \quad (7.61)$$

$$H_x = L = \hat{H}_2(t); \quad (7.62)$$

при $\beta_{H1} = 1$; $\alpha_{H1} = 0$ получаем граничные условия 2-го рода:

$$\left(D_{TW} \frac{\partial T}{\partial x} + K_W \frac{\partial H}{\partial x} \right)_{x=0} = -\hat{H}_1(t); \quad (7.63)$$

$$-\left(K_W \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=L} = -\hat{H}_2(t).$$

В этом случае значение $\hat{H}_1 < 0$ соответствует испарению с поверхности почвы, а $\hat{H}_1 > 0$ задает инфильтрацию. Аналогично $\hat{H}_2 < 0$ соответствует оттоку (дренажу) на нижней границе, а $\hat{H}_2 > 0$ – притоку. При $\hat{H}_2 = 0$ нижняя граница служит водоупором.

Краевые условия 3-го рода определяют потоки через границы области, но величина этих потоков зависит от искоемых функций.

На верхней границе значение интенсивности испарения можно задать зависящим от влажности корнеобитаемого слоя почвы по какой-нибудь эмпирической формуле.

Нижнее краевое условие 3-го рода можно задать с учетом оттока воды в дренаж. Для этого могут быть использованы аналитические решения уравнения Буссинеска. На середине междренья отток за плоскость заложения дренажа за время Δt выражается как

$$\hat{H}_2(t_0) = \delta \frac{h(t_0) - h(t_0 + \Delta t)}{\Delta t} = -\delta \frac{\partial h}{\partial t} \quad t = t_0, \quad (7.64)$$

где δ – водоотдача; $h(t_0)$ – напор на середине междренья в момент времени t .

Значение $h(t_0)$ определяют путем аналитического решения уравнения Буссинеска. Оно зависит от параметров дренажа и напора на середине междренья в предыдущий момент времени, который, в свою очередь, вычисляют

на каждом шаге по времени из решения уравнения влагопереноса. При этом автоматически учитывается инфильтрационное питание. Поскольку процедура счета дискретная, то в формуле 7.65 можно полагать $h_0 = 0$. В частности, используя преобразованную (1949), получим

$$\hat{h}_2 = -\frac{8h_0 K_0 T_{cp}}{B(B + 8\Phi_d)} \quad (7.65)$$

где h_0 — напор на середине междренья, вычисляемый на каждом шаге времени из уравнения влагопереноса; K_0 — коэффициент фильтрации; B — междреннее расстояние; $T_{cp} = T_d + h_0/2$; T_d — расстояние от дрены до водопора; $\Phi_d = 0,73T_{cp} \lg 2 T_{cp}/\pi d$ (d — диаметр дрены).

б. Краевые условия для уравнения теплопереноса.

Аналогичным образом можно записать в общем виде краевые условия для уравнения теплопереноса:

на верхней границе при $x = 0$

$$\beta_{T1} = \left(-\lambda_0 \frac{\partial T}{\partial x} + C_p V T \right) = a_1 [\hat{T}_1(t) - T]; \quad (7.66)$$

на нижней границе при $x = L$

$$\beta_{T2} \lambda_0 \frac{\partial T}{\partial x} = a_2 [\hat{T}_2(t) - T(L, T)]. \quad (7.67)$$

При $\beta_{T1} = 1$ получаем граничные условия 3-го рода. В общем случае $\hat{T}_1(t)$ представляет собой некоторую эквивалентную температуру внешней среды, а a_1 — некоторый обобщенный коэффициент теплообмена почвы со средой. $\hat{T}_2$ — температура на нижней границе области. При $a_1 = a_2 = 0$ получаем условия 2-го рода на верхней и нижней границах, когда поток тепла за пределы области отсутствует.

При $\beta_{T1} = 0$ получаем условия 1-го рода, наиболее часто используемые на практике.

в. Краевые условия для уравнения солепереноса.

Как и в предыдущих случаях, можно скомбинировать краевые условия различных родов и записать их в виде

при $x = 0$

$$\beta_{c1} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} + D_{TC} \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \beta_{c1} V (C - C_n) + (1 - \beta_{c1}) (C - C_n); \quad (7.68)$$

при $x = L$

$$-\beta_{c2} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} + D_{TC} \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \alpha_{c2} V C + (1 - \beta_{c2}) C - q_c(t). \quad (7.69)$$

Варьируя параметрами β_{c1} (0 или 1), α_{c2} (0 или 1) и q_c (интенсивность потока солей или минерализации грунтовых вод), получаем разные краевые условия для уравнения солепереноса на границах области.

Численная процедура решения. Решение системы уравнений (7.35)... (7.37) в настоящее время возможно только численными методами на ЭВМ.

При аппроксимации уравнений и краевых условий на равномерной сетке были использованы неявные, абсолютно устойчивые конечно-разностные схемы, полученные с помощью интегрирующей интерполяционного метода (Самарский, 1977). Последующее решение проводили методом немонойтонной прогонки в итерационном цикле. Для расчета была составлена программа (совместно с А. М. Якиревичем, 1979) на языке ФОРТРАН для ЭВМ «Минск-32» и серии ЕС (рис. 7.3). Программа позволяет решать как одновременно всю систему уравнений тепло и массопереноса, так и отдельно каждое из них. Для этого вводят следующие признаки, задающие режим счета:

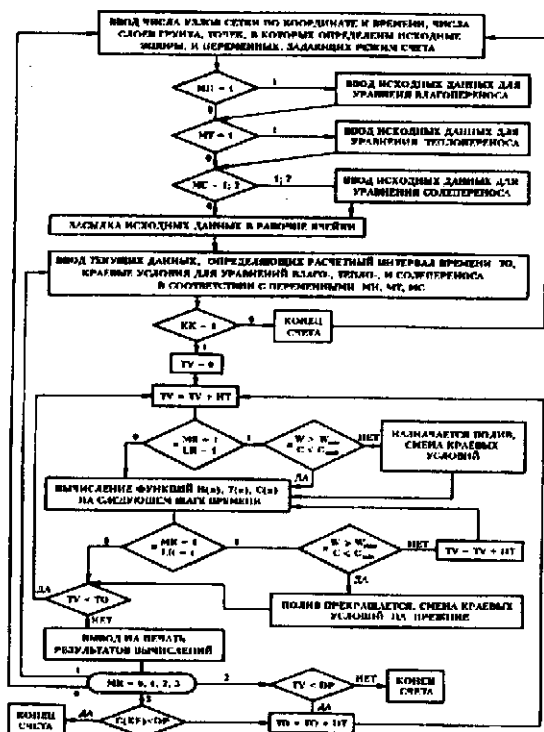


Рис. 7.3. Блок-схема программы WTC03:

TV — текущее время;
TO — расчет интервала времени; MR, MN, MT, MC — переменные, определяющие режим счета;
LR — переменная расчета режима орошения

- $MN = \begin{cases} 1 - \text{влагоперенос рассчитывают} \\ 0 - \text{влагоперенос не рассчитывают} \end{cases}$
 $MT = \begin{cases} 1 - \text{теплоперенос рассчитывают} \\ 0 - \text{теплоперенос не рассчитывают} \end{cases}$
 $MC = \begin{cases} 2 - \text{солеперенос рассчитывают по уравнениям (7.36)...(7.37)} \\ 1 - \text{солеперенос рассчитывают по уравнениям (7.38)...(7.39)} \\ 0 - \text{солеперенос не рассчитывают} \end{cases}$

Такой принцип построения алгоритма позволит с помощью одной программы решать задачи прогноза водного, теплового, солевого режимов и задачи по оценке и корректировке параметров теплового солепереноса, входящих в уравнения. Кроме этого, в программы заложена возможность использования различных аппроксимирующих функций для параметров уравнений.

Переменная MR определяет режим счета:

0 — расчет перераспределения компонент по глубине для ряда значений параметров уравнений; 1 — расчет режима на каждый новый период времени, за начальное принимается распределение компонент, полученное на конец предыдущего периода; 2 — расчет изменения компонент на глубине $X(KF)$ с шагом DT по времени; 3 — определение времени и нормы промывки; 4 — расчет режима на заданной глубине $X(KF)$ (KF — фиксированный узел сетки; DP — предельное время при $MR = 2$ или предельная концентрация при

$MR = 3$). Переменная LR предусматривает возможность автоматического расчета режима орошения в вегетационный период (при $LR = 1$) с учетом ограничений, налагаемых на водный и солевой режимы:

$$W_{\min} \leq W \leq W_{\max}; C \leq C_{\max}$$

т.е. влажность и минерализация порового раствора корнеобитаемого слоя должны находиться в заданных пределах.

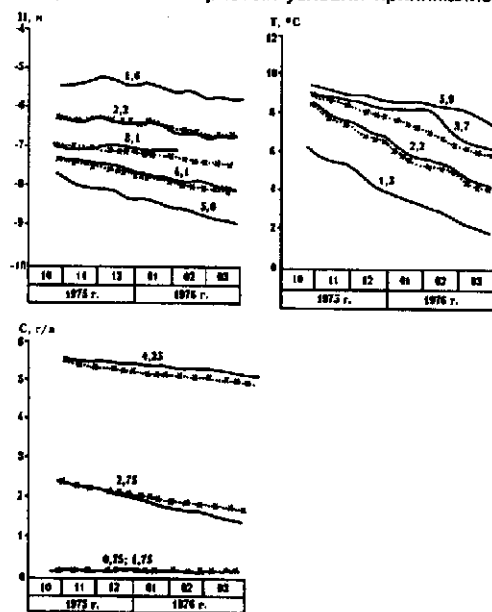
Таким образом, при заданных параметрах дренажа рассчитываются оптимальные мелиоративные режимы. Это позволяет сократить продолжительность счета на ЭВМ и затраты труда при проектировании, поскольку отпадает необходимость в последовательной корректировке водного и солевого режимов.

С помощью программы можно вычислять значения влажности, температуры, концентрации солей как на отдельные расчетные промежутки времени, так и на длительный срок, а также определять расчетное время и норму промывки на засоленных землях.

Ряд тестовых расчетов показал, что параметры D_{TW} и D_{TC} незначительно влияют соответственно на влагои солеперенос. Так, увеличение содержания влаги у «холодного» конца при градиенте температуры 0.7 град/см составило за 2 сут около 1%, а солей — 0,2% от содержащихся соответственно в верхнем слое.

С целью проверки модели и ее идентификации с процессами, происходящими в почвогрунтах, были проведены расчеты переноса влаги, тепла и солей и сопоставления их с данными натурных наблюдений (Файбишенко, 1978), полученными на опытных участках в Ершовском районе Саратовской области (сыровые глинистые отложения) в 1975–1976 гг. При этом на период времени с 10.10.1975 по 1.04.1976 г. решалась задача по корректировке параметров модели путем сопоставления результатов расчета с экспериментальными данными (рис. 7.4). В качестве крайних условий принимались по-

Рис. 7.4. Сопоставление натуральных (—) и расчетных (* * * *) значений потенциалов влаги (H), температуры (T) и концентрации порового раствора по хлору (C) во времени. Цифры на кривых — глубина установки тензиометров, м (экспериментальные данные Б.А.Файбишенко, Киевский государственный университет)



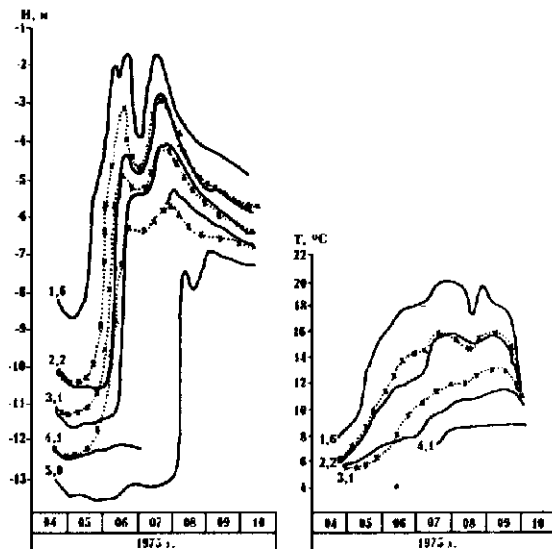


Рис. 7.5. Сопоставление натуральных (—) и расчетных (• x • x •) значений потенциалов влаги (H) и температуры (T) во времени. Цифры на кривых — глубина установки тензометров, м (экспериментальные данные Б.А.Файбишенко, Киевский государственный университет)

казания верхних и нижних тензометров и термометров. Затем были проведены расчеты на период с 20.05.1975 по 1.10.1975 г., когда процессы протекали более интенсивно (рис. 7.5). Полученное при этом достаточно хорошее совпадение подтверждает правильность выбора параметров модели и возможность описания процесса перераспределения влаги, тепла и солей в почвогрунтах с достаточной точностью.

Предложенные математические модели позволяют рассчитывать водно-солевой и тепловой режимы почв с учетом поглощения влаги корнями растений. Эти модели могут быть использованы для расчета оптимальных сроков и норм полива сельскохозяйственных культур (т.е. для выбора оптимального режима орошения), для оптимизации параметров дренажа, прогнозирования уровня грунтовых вод и решения других практических задач, без которых невозможно получение высоких урожаев.

Расчеты водно-солевого режима, проведенные для одного из районов Поволжья с использованием полученной модели, показали, что нет необходимости в искусственном создании промывного режима в вегетационный период на фоне дренажа, кроме того, расчеты позволили выбрать оптимальное междреннее расстояние и режим орошения.

Многокомпонентные модели солепереноса. Рассмотренные выше модели солепереноса не всегда достаточно хорошо описывают процессы солеобмена в почве: внутриагрегатное растворение солей, находящийся в твердой фазе, ионный обмен и др. Поэтому набор моделей солепереноса необходимо дополнить.

Если в «тупиковых» порах происходит растворение солей, то получим следующую модель:

$$\kappa \bar{W} \frac{\partial C}{\partial t} + \alpha (1 - \kappa) (C - N) = \kappa \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \kappa \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{TC} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \kappa V \frac{\partial C}{\partial x} + \left(\delta_e e + \delta_\lambda \frac{\partial \lambda}{\partial t} \right) C; \quad (7.70)$$

$$\frac{\partial (\bar{W} N)}{\partial t} = \alpha (C - N) - \frac{\kappa}{1 - \kappa} \frac{\partial N T}{\partial t} - \left(\delta_e e + \delta_\lambda \frac{\partial \lambda}{\partial t} \right) N; \quad (7.71)$$

$$\frac{\partial N_T}{\partial t} = -\beta (C_n - N) N^{\alpha_1} \quad (7.72)$$

где N_T — содержание нерастворенных солей в единице объема почвы; $\alpha_1 = 0$ для поверхностного засоления, $\alpha_1 = 0,5$ для дисперсного (объемного) засоления.

Для описания процессов обмена ионов натрия и кальция используем модель, предложенную И.П. Айдаровым, В.Е. Клыковым, Л.Ф. Пестовым, Д.Ф. Цульгиным (1978), модифицировав ее для неустановившегося движения растворителя (влаги):

$$\frac{\partial(WC_1)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_1 \frac{\partial C_1}{\partial x} \right) - \frac{\partial(VC_1)}{\partial x} - \gamma \frac{\partial N}{\partial t} - \delta_{e1} e C_1; \quad (7.73)$$

$$\frac{\partial(WC_2)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_2 \frac{\partial C_2}{\partial x} \right) - \frac{\partial(VC_2)}{\partial x} - \gamma \frac{\partial N_2}{\partial t} - \delta_{e2} e C_2; \quad (7.74)$$

$$\frac{N}{\sqrt{N_2}} = K_1 + K_2 \frac{C_1}{\sqrt{C_2}}; \quad (7.75)$$

$$N_1 + N_2 = N_0(x), \quad (7.76)$$

где $C_i(x, t)$ — концентрация ионов в почвенном растворе; $N_i(x, t)$ — концентрация ионов в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) ($i = 1 \dots 2$); $N_0(x)$ — суммарное содержание ионов в ППК; K_1 и K_2 — константы и изотермы; γ — объемная масса почвогрунта.

Последняя задача (совместно с И.П. Айдаровым, И.Г. Глобенко, А.М. Якиревичем) решена численным методом с использованием неявных конечно-разностных схем и метода матричной программы.

Для описания солепереноса многокомпонентного почвенного раствора с учетом кинетики растворения-кристаллизации и неравновесной ионообменной сорбции нами (совместно с А.Н. Николаенко) предложена следующая математическая модель, составленная для одномерного, изотермического процесса при постоянной скорости фильтрации.

Уравнения конвективно-диффузионного массопереноса с конечными источниками и стоками, обусловленными физико-химическими превращениями (растворение-кристаллизация, ионообменная сорбция):

$$W_0 \frac{\partial C_1}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_1}{\partial x} - W_0 \beta_1 (C_1 - C_{1p}) - W_0 \delta_{15} (C_{15} - C_{15 \text{ нас}}); \quad (7.77)$$

$$W_0 \frac{\partial C_2}{\partial t} = D_2 \frac{\partial^2 C_2}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_2}{\partial x} - W_0 \beta_2 (C_2 - C_{2p}) - W_0 \delta_{25} (C_{25} - C_{25 \text{ нас}}); \quad (7.78)$$

$$W_0 \frac{\partial C_3}{\partial t} = D_3 \frac{\partial^2 C_3}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_3}{\partial x} - W_0 \beta_3 (C_3 - C_{3p}) - W_0 \delta_{34} (C_{34} - C_{34 \text{ нас}}) - W_0 \delta_{35} (C_{35} - C_{35 \text{ нас}}); \quad (7.79)$$

$$W_0 \frac{\partial C_4}{\partial t} = D_4 \frac{\partial^2 C_4}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_4}{\partial x} - W_0 \delta_{34} (C_{34} - C_{34 \text{ нас}}); \quad (7.80)$$

$$W_0 \frac{\partial C_5}{\partial t} = D_5 \frac{\partial^2 C_5}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_5}{\partial x} - W_0 \delta_{25} (C_{25} - C_{25 \text{ нас}}) - W_0 \delta_{35} (C_{35} - C_{35 \text{ нас}}); \quad (7.81)$$

где C_i — концентрация i -го иона в почвенном растворе, $i = 1 \dots 5$ соответствует ионам Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , мг-экв/л; C_{ie} — концентрация гипотетической соли в ПР, образованной i -катионом и e -анионом; $C_{ie \text{ нас}}$ — концентрация насыщения соответствующей соли; C_{1p} — равновесная концентрация, которая устанавливается в результате ионного обмена между кати-

онами ППК и ПР; W_0 — влажность почвы (объемная), тождественна активной пористости; t — временная координата, сут; x — пространственная координата, м; D_i — коэффициент конвективной диффузии иона, $\text{м}^2/\text{сут}$; V — скорость фильтрации или испарения, $\text{м}/\text{сут}$; β_i — коэффициент скорости ионообменной сорбции, сут^{-1} ; δ_{ie} — коэффициент скорости растворения-кристаллизации соли, сут^{-1} .

Источники-стоки, обусловленные ионообменной сорбцией, описываются следующей системой уравнений:

$$\xi \frac{dN_i}{dt} = \beta_i (C_i - C_{ip}); \quad i = 1, 2, 3; \quad (7.82)$$

$$C_{3p}^2 / C_{1p} = K'_{31} N_3^2 / N_1; \quad C_{1p} / C_{2p} = K'_{12} N_1 / N_2; \quad (7.83)$$

$$\sum_{i=1}^3 N_i = Q; \quad (7.84)$$

$$\sum_{i=1}^3 dN_i / dt = 0, \quad (7.85)$$

где N_i — содержание i -го катиона в ППК, $\text{мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$; K'_{31} , K'_{12} — константы равновесия ионообменной сорбции; Q — емкость ППК, $\text{мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$; $\xi = 10d/W$, где W — влажность почвы; d — плотность почвы, $\text{г}/\text{см}^3$. Уравнение (7.82) описывает кинетику ионообменной сорбции, уравнение (7.83) — изотермы ионообменной сорбции Б. Н. Никольского, уравнение (7.84) отражает постоянство емкости поглощения или данного типа почвы, уравнение (7.85) — дифференциальный аналог уравнения (7.84) и учитывает постоянство емкости поглощения во времени. Система уравнений (7.82)...(7.85) решается относительно неизвестных N_1 , N_2 , N_3 , C_{1p} , C_{2p} , C_{3p} . Равновесные концентрации C_{1p} , C_{2p} , C_{3p} являются функциями процесса, их следует вычислять на каждом шаге по времени при численном решении системы уравнений, описывающей солеперенос.

Источники-стоки солей, связанные с растворением-кристаллизацией, описываются следующей системой уравнений:

$$\xi \frac{dN_{15}}{dt} = \delta_{15} (C_{15} - C_{15 \text{ нас}}); \quad (7.86)$$

$$\xi \frac{dN_{25}}{dt} = \delta_{25} (C_{25} - C_{25 \text{ нас}}); \quad (7.87)$$

$$\xi \frac{dN_{34}}{dt} = \delta_{34} (C_{34} - C_{34 \text{ нас}}); \quad (7.88)$$

$$\xi \frac{dN_{35}}{dt} = \delta_{35} (C_{35} - C_{35 \text{ нас}}); \quad (7.89)$$

$$C_{15 \text{ нас}} = 26 + 2,6 / [(26,0 + (C_{25} + C_{35}) / (C_{34} + C_{25}))]; \quad (\text{Чиркин, 1980})$$

$$\delta_{ie} = \delta_{ie0} (N_{ie})^\alpha;$$

$$\delta_{ie} = \delta_{ie0} / (N_{ie0})^\alpha, \text{ если } C_{ie} \leq C_{ie \text{ нас}};$$

$$\delta_{ie} = \delta_{ie0} m, \text{ если } C_{ie} > C_{ie \text{ нас}}.$$

В системе уравнений (7.86)...(7.89) N_{15} , N_{25} , N_{34} , N_{35} — содержание солей соответственно CaSO_4 , MgSO_4 , NaCl , Na_2SO_4 в твердой фазе почвы, $\text{мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$; N_{ie0} — содержание соли в начальный момент времени; δ_{ie0} — коэффициент скорости растворения, характерный для данной соли, и определяемый гидродинамическими условиями, при которых происходит растворение, α — показатель степени ($0 \leq \alpha \leq 0,7$); m — число, показывающее кратность коэффициента кристаллизации относительно коэффициента скорости растворения. В уравнениях (7.77)...(7.81) в конвективно-диффузионные части входят концентрации ионов, тогда как в источники — стоки, связанные с растворением-кристаллизацией, — входят концентрации солей.

Эта неопределенность относительно концентраций устраняется связкой ионов PR в гипотетические соли, в результате которой концентрация соли приравнивается к определенной концентрации тона или комбинации концентраций ионов в зависимости от их соотношения в PR . Связка ионов в гипотетические соли производится в следующей последовательности: Ca^{++} , связывается с SO_4^{--} , остаток SO_4^{--} — с Mg^{++} , остаток SO_4^{--} — с Na^+ , остаток Na^+ — с Cl^- .

Предполагается, что хлориды кальция и магния могут присутствовать только в поровом растворе (большая растворимость в воде), поэтому для них связка не производится.

Система уравнений (7.77)...(7.89) дополнена начальными и краевыми условиями. Решение выполняли численным методом конечных разностей. Используются неявные разностные схемы и методы немонотонной прогонки. Составлена программа для расчета на ЭВМ серии ЕС.

Для проверки модели были использованы экспериментальные данные, полученные В.П. Баяжиной и Е.И. Хлебниковой (ВНИИГИМ), по длительной (100 сут) промывке солонцовой почвы, в которую был внесен гипс. Объектом исследования были солонцовые почвы Есинского участка регулярного орошения (совхоз «40 лет Октября», Паласовская оросительная система).

Для опыта была взята солонцовая почва (пахотный горизонт А — 0...30 см). Исходная водная вытяжка, мг экв/100 г: Ca^{++} — 0,5; Mg^{++} — 0,50; Na^+ — 7,9; Cl^- — 4,85; SO_4^{--} — 3,3; HCO_3^- — 0,75. Исходные поглощенные основания, мг экв/100 г: Ca^{++} — 6,2; Mg^{++} — 8,2; Na^+ — 8,8; K^+ — 0,4. Почва была помещена в колонки диаметром 5,7 см, длиной 20 см и уплотнена до 1,5 г/см³. Равномерно по всей длине колонки в почву был внесен гипс (6,15 г), содержание которого в пересчете на безводную соль составляло 9,45 мг экв/100 г. Промывку проводили дистиллированной водой в течение 100 сут. В процессе промывки отбирали пробы вытекающего из колонки фильтрата для определения концентрации ионов и построения выходных кривых.

По окончании промывки почву исследовали на поглощение основания в слоях 0...10 и 10...20 см. Стандартные химические анализы, плотность почвы и зависимость скорости фильтрации от времени служили исходной информацией для расчета по модели выходных кривых для концентрации ионов и состава ППК в конце промывки. Для катионов натрия и магния выходные кривые, полученные расчетным путем, удовлетворительно соответствуют опытным. Для иона кальция наблюдалось хорошее соответствие расчета и опыта (табл. 7.1).

7.1. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных по составу катионов ППК
(результат промывки солонцовой почвы, содержащей 24 т/га гипса)

Слой, см	Исходное содержание катионов ППК, мг экв/100 г				
	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Σ
	6,2	8,2	8,8	0,4	23,6
0...10	10,5*	6,5	1,7	1,0	19,7
	12,2	8,3	2,7	нет	23,2
0...20	10,5	6,5	3,3	0,9	21,2
	14,0	5,5	3,7	нет	23,2

* В числителе — опытные данные, в знаменателе — расчетные данные.

Одновременно с выходными кривыми для ионов и динамикой катионов в ППК по модели рассчитывали и изменение содержания солей твердой фазы

почва в процессе промывки, в частности динамику гипса по профилю колонки. Экспериментально эту динамику не определяли, но ее прогнозный расчет — важная характеристика при мелиорации солонцов.

Удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных данных показывает возможность применения предлагаемой модели для прогнозных расчетов в мелиорации засоленных и солонцовых почв.

Выполнено сопоставление расчета с опытными данными по применению минерализованных коллекторно-дренажных вод в смеси с оросительными для орошения почв Каршинской степи (расчеты выполнены А.Н. Николаенко). Ионный состав исходной коллекторно-дренажной воды был следующий, мг-экв/л: Ca^{++} — 31,0; Mg^{++} — 58,3; Na^+ — 173,4 Cl^- — 156,4; SO_4^{--} — 101,8; HCO_3^- — 4,5. Общая минерализация 16 г/л. Воду разводили с оросительной в отношениях 1:1; 1:5; 1:10. Полученным раствором промывали образцы почвы до совпадения концентраций ионов в фильтрате и в исходном растворе, после чего проводили ее анализ на поглощенные основания (табл. 7.2).

7.2. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных по составу катионов ППК (результат промывки солонцовой почвы Каршинской степи)*

Отношение коллекторно- дренажной воды к ороси- тельной	Исходное содержание обменных катионов, мг-экв/100 г				
	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Σ
	6,7	2,6	1,0	1,1	11,4
1:1	<u>2,7</u>	<u>7,1</u>	<u>3,9</u>		<u>13,7</u>
	3,0	4,3	4,1	—	11,4
1:5	<u>3,3</u>	<u>7,9</u>	<u>2,4</u>		<u>13,6</u>
	3,6	5,2	2,6	—	11,4
1:10	<u>5,0</u>	<u>4,3</u>	<u>1,9</u>		<u>11,2</u>
	5,9	3,5	2,0	—	11,4
1:15**	6,9	4,1	0,4	—	11,4

* В числителе — опытные данные, в знаменателе — расчетные данные

** Прогноз

Расхождение между расчетом и опытными данными можно объяснить изменением емкости поглощения обменных катионов в результате промывки. В случае концентрации 1:10 при сохранении неизменной емкости поглощения наблюдалось хорошее соответствие расчета и опыта. Для концентрации 1:15 выполнен прогнозный расчет, который показывает, что только при таком разведении не происходит опасного увеличения обменного натрия в ППК при орошении минерализованными водами.

Результаты расчета по этой модели можно использовать для прогнозирования следующих процессов:

химическая мелиорация солонцовых почв путем внесения гипса или промывок почв растворами, содержащими соли кальция;

влияние орошения земель минерализованными водами, содержащими соли натрия, магния, кальция, на физико-химические свойства почв (осолонцевание);

формирование солевого профиля при испарении грунтовых вод между поливами.

Прогноз минерализации дренажного стока на мелиорируемых землях и моделирование двухмерных задач влагосолепереноса в почвогрунтах на ЭВМ. Ограниченное количество пресной воды при всевозрастающих площадях орошаемых земель и быстром развитии народного хозяйства приводит к необходимости поиска возможностей использования дренажных, морских и сточных вод.

Большой интерес для этой цели представляют дренажные воды сравнительно небольшой минерализации: до 3...5 г/л в летний период и 7...10 г/л в зимний. Расход дренажных вод на многих оросительных системах достигает 30% водозабора.

Исследования показывают возможность использования минерализованных вод как для промывки засоленных земель, так и для орошения. При натуральных наблюдениях концентрация фильтрата в зависимости от исходной засоленности почвы достигает 30...70 г/л. Процесс растворения и вытеснения солей из почвы протекает до тех пор, пока концентрация почвенного раствора не станет близка минерализации подаваемой воды. И.С. Рабочев (1973) на основании обобщения материалов делает вывод, что коллекторно-дренажные и подземные воды с содержанием солей до 5 г/л можно использовать для промывки солончаков, сильнозасоленных земель, для орошения риса и кормовых культур. Режим орошения в период вегетации должен быть промывного типа. На легких почвах рекомендуются оросительные нормы, тыс. м³/га: при поливе риса — 40...50, кукурузы — 6...8, люцерны — 9...11. Отмечается, что при близких грунтовых водах орошение минерализованной водой следует проводить только при наличии дренажа.

С.Н. Рыжов (1973) обращает внимание на роль осмотического давления, указывая, что при содержании солей в почвенном растворе 3...5 г/л и осмотическом давлении 0,1...2 МПа хлопчатник заметно не угнетается, а его урожайность составляет 3,2...3,5 т/га. При увеличении засоления до 8...19 г/л и осмотическом давлении 0,4...0,7 МПа урожайность хлопчатника снижается до 1,6...2,2 т/га, а при минерализации почвенного раствора 27...38 г/л и осмотическом давлении 1,0...1,2 МПа он полностью погибает. С повышением засоления почвы наблюдается снижение эффективности действия повышенных доз минеральных удобрений (из-за высокого осмотического давления), при этом прибавка урожая происходит, хотя и не в таком темпе.

Как отмечают Б.П. Строганов, В.В. Кабанов и Н.И. Шевякова (1973), большинство ученых не придерживаются осмотической теории угнетающего действия соленых вод. Их опыты показали, что осмотическое давление не оказывает существенной роли при концентрациях, представляющих интерес для агрономии. Отмечается, что при значительном увеличении содержания солей натрия нарушается уравновешенность почвенного раствора, так как в этих условиях анионы поглощаются более интенсивно, чем катионы, и сильно сдвигается равновесие процессов обмена в растительных клетках. Положительное влияние орошения морской водой и минерализованными грунтовыми водами на солеустойчивость растений объясняется сбалансированностью ионов в почвенном растворе и, как следствие, в растительной клетке (Баславская, 1936).

Одна из основных причин засоления земель при орошении — способность глини энергично поглощать натрий, что приводит к набуханию глинистых частиц и к водонепроницаемости почвы. Даже небольшое количество солей, содержащихся в пресной воде, непрерывно аккумулируется в почве, что приводит к повышению предела солеустойчивости растений. В песках аккумуляция солей невелика, так как незначительное содержание глинистых частиц в песках не может аккумулировать соли в пределах, губительных для растений. Это служит одной из основных причин, снижающих воздействие солей на растения или как бы повышающих солеустойчивость всех видов растений, произрастающих на песках. Поэтому песчаные почвы можно орошать водой с большей минерализацией.

Одна из положительных особенностей всех морских вод — содержание в них многих питательных веществ, в которых нуждаются растения, включая микроэлементы.

В работе И.К. Супряги (1973) отмечается, что в производственных условиях почвы, орошаемые водой с минерализацией 2...8,5 г/л, подвергаются осо-

лонцеванию не в одинаковой степени. Так, на карбонатных почвах осолонцевание в течение трех-пяти лет практически не отмечается, а на бескарбонатных оно наблюдается ежегодно, но интенсивность его различна в зависимости от агротехники и вида сельскохозяйственной культуры. Например, при внесении в почву навоза в количестве 20...30 т/га в первый год полива минерализованной водой количество натрия в составе поглощенных оснований не увеличилось. При плантажной вспашке в течение двух-трех лет процесс осолонцевания незначителен. При внесении гипса в количестве 2...3 т/га зафиксировано полное отсутствие поступления натрия из поливной воды в почву и даже снижение исходного его количества в почвенно-поглощенном комплексе. Таким образом, процесс осолонцевания почв, развивающийся при поливе минерализованными водами, поддается регулированию и при соблюдении специальных агротехнических и мелиоративных приемов может быть нейтрализован.

Выдвигаемый И.К. Супрягой тезис: если дренаж отсутствует, поливная норма не должна превышать 3000 м²/га с тем, чтобы не вызвать подъема грунтовых вод, а соли, аккумулярованные в верхнем слое почвы, практически полностью вымываются осенне-зимними и весенними атмосферными осадками – не может быть принят для случая бессточного бассейна с близким залеганием естественного или прогнозируемого уровня грунтовых вод.

Х. Якубов, Л. Корелис (1973) отмечают, что в северно-западной части староорошаемой зоны Голодной степи откачиваемые вертикальным дренажем воды с минерализацией 5...6 г/л вполне пригодны для промывки засоленных земель, а при добавлении оросительной воды (минерализация смешанной воды 3...3,5 г/л) могут быть использованы для орошения сельскохозяйственных культур при промывном режиме орошения и УГВ = 2,5...3,0 м.

Все перечисленные работы показывают, что промывка и орошение минерализованными водами возможны, для назначения их требуется выполнять прогнозный анализ водно-солевого режима почв с учетом почвенных, гидрогеологических и климатических условий. Поэтому остановимся на методических вопросах составления прогнозов дренажного стока (минерализации грунтовых вод) и водно-солевого режима почвогрунтов.

1. Прогноз минерализации дренажного стока при движении воды к закрытой горизонтальной дрене (при промывках).

Изменение поля концентрации при движении воды к горизонтальной закрытой дрене описывается уравнением

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_1^* \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_2^* \frac{\partial C}{\partial y} \right) - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y}. \quad (7.90)$$

Начальное условие: при $t = 0$

$$C = f(x, y); \quad (7.91)$$

краевые условия: при $y = 0$

$$D_2^* \frac{\partial C}{\partial y} = V_y (C - C_n); \quad (7.92)$$

при $y = L_2$

$$\frac{\partial C}{\partial y} = 0; \quad (7.93)$$

при $x = L_1 = |-L_1|$

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0, \quad (7.94)$$

где x, y – координаты (y – направлена вниз, x – слева направо), м; L_1, L_2 – области расчета; $f(x, y)$ – начальная минерализация в области, г/л; C_n – концентрация солей, поступающих на поверхность поля с водой, г/л;

t – время, сут; D_1^* , D_2^* – коэффициенты конвективной диффузии, $\text{м}^2/\text{сут}$; $D_1^* = D_{m1} + \lambda_1 V_1$; $D_2^* = D_{m2} + \lambda_2 V_1$; λ_1 , λ_2 – коэффициенты дисперсии, м ; D_{m1} , D_{m2} – коэффициенты молекулярной диффузии; V_x , V_y – составляющие скорости фильтрации по соответствующим координатам, $\text{м}/\text{сут}$; V – скорость фильтрации, $\text{м}/\text{сут}$, $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$.

а) Одиночная дрена на водоупоре. Следуя В.В. Ведерникову (1939), запишем соответственно для скоростей

$$V_x = - \frac{B \operatorname{sh} ax \sin ay}{1 + \operatorname{sh}^2 ax - \sin^2 ay}; \quad (7.95)$$

$$V_y = - \frac{B \operatorname{ch} ax \cos ay}{1 + \operatorname{sh}^2 ax - \sin^2 ay}; \quad (7.96)$$

$$a = \frac{\pi}{2T}; \quad B = K \frac{H + h - h_p}{A T}; \quad A = \frac{1}{\pi} \ln \frac{1 + \operatorname{sinh}}{1 - \operatorname{sinh}},$$

где T – глубина, на которой залегает водоупор; K – коэффициент фильтрации; h – глубина, на которой находится верх дрены; H – слой воды над поверхностью земли; h_p – пьезометрическая высота.

б) Одиночная дрена над водоупором:

$$V_x = - \frac{K (h - h_p + H)}{2A T \sqrt{\rho_2}} \sin \theta_3; \quad (7.97)$$

$$V_y = \frac{K (h - h_p + H)}{2A T \sqrt{\rho_2}} \cos \theta_3; \quad (7.98)$$

$$\theta_2 \begin{cases} \arccos \frac{\alpha^2 + \rho_1 \cos \theta_1}{\rho_2}, & \text{если } \sin \theta_1 > 0; \\ 2\pi - \arccos \frac{\alpha^2 + \rho_1 \cos \theta_1}{\rho_2}, & \text{если } \sin \theta_1 < 0; \\ 0, & \text{если } \sin \theta_1 = 0; \alpha^2 + \rho_1 \cos \theta_1 > 0; \\ \pi, & \text{если } \sin \theta_1 = 0; \alpha^2 + \rho_1 \cos \theta_1 < 0; \end{cases} \quad (7.99)$$

$$\theta_3 = \frac{\theta_2}{2}; \quad \rho_2 = \sqrt{\alpha^4 - 2\alpha^2 \rho_1 \cos \theta_1 + \rho_1^2} \quad (7.100)$$

$$\theta_1 \begin{cases} \arccos \frac{e^{2ax} \cos 2ay - 1}{\rho_1}, & \text{если } 2ay > 0; \\ 2\pi - \arccos \frac{e^{2ax} \cos 2ay - 1}{\rho_1}, & \text{если } 2ay < 0; \\ 0, & \text{если } \sin 2ay = 0; e^{2ax} \cos 2ay - 1 > 0; \\ \pi, & \text{если } \sin 2ay = 0; e^{2ax} \cos 2ay - 1 < 0; \end{cases} \quad (7.101)$$

$$\rho_1 = \frac{1}{2} \sqrt{e^{4ax} - 2e^{2ax} \cos 2ay + 1};$$

$$a = \frac{\pi}{2T}; \quad \alpha = \sqrt{\operatorname{sinh} h \operatorname{sinh} (h + d)};$$

$$A = \frac{1}{2h} \ln - \frac{1 + \sqrt{\frac{\operatorname{sinh} h}{\operatorname{sinh} (h + d)}}}{1 - \sqrt{\frac{\operatorname{sinh} h}{\operatorname{sinh} (h + d)}}}.$$

Здесь d – диаметр дрены.

в) Одиночная дрена при глубоком залегании водоупора:

$$V_x = - \frac{Q \sqrt{h} (h + d) 2xy}{\pi [x^2 - y^2 + h(h + d)]^2 + (2xy)^2}; \quad (7.102)$$

$$V_y = \frac{Q \sqrt{h} (h + d) [h(h + d) + x^2 - y^2]}{\pi [x^2 - y^2 + h(h + d)]^2 + (2xy)^2}; \quad (7.103)$$

$$Q = \frac{\pi (h + H - h_p)}{A}; \quad A = \frac{1}{\pi} \ln \frac{1 + \sqrt{h/(h + d)}}{\sqrt{h/(h + d)}}.$$

Поставленная задача решена численным методом конечных разностей. Решение позволяет с некоторым приближением прогнозировать минерализацию дренажного стока, что, в свою очередь, позволяет при проектировании оценивать возможность применения дренажных вод для промывок и орошения, а также необходимую степень из разбавления.

Во ВНИИГиМе по приведенным алгоритмам разработана программа расчета на ЭВМ «Минск-32» (совместно с В.С.Борисовым и В.Л.Барановой) по прогнозу для концентраций и дренажного стока для горизонтальной дрены.

В дальнейшем алгоритмы были усовершенствованы (совместно с В.С.Борисовым, Л.В.Кирейчевой), так как было признано целесообразным уточнить условие для концентрации S на контуре дрены. С этой целью был составлен баланс солей.

Массу солей, которая выносится за время dt с потоком воды из дрены, $M_1 = \int C V_{\pi} dS dt$ приравнивали к массе солей

$$M_2 = \int_S (-D \frac{\partial C}{\partial \bar{n}} + V_{\pi} C) dS dt, \quad (7.104)$$

поступающих из окружающей среды на контур дрены. В результате:

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{n}} = 0. \quad (7.105)$$

Здесь $\bar{n}$ — единичный вектор нормали к контуру дрены.

Уравнение (7.90) с условиями (7.91)...(7.105) в этом случае можно решить численно с помощью локально-одномерного метода (А.А.Самарского (1977)).

Дифференциальный оператор

$$L_1 C = \frac{\partial}{\partial x} \left(D - \frac{\partial C}{\partial x} \right) - V_1 \frac{\partial C}{\partial x} \quad (7.106)$$

можно аппроксимировать следующим разностным оператором:

$$L_1 C \begin{cases} (D C_x)_x - V_1 C_x, & \text{если } V_1 \geq 0; \\ (D C_x)_x - V_1 C_x, & \text{если } V_1 < 0. \end{cases} \quad (7.107)$$

Здесь C_x и C_x — соответственно правая и левая разностные производные.

Аналогично аппроксимируется и оператор

$$L_2 C = \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) - V_2 \frac{\partial C}{\partial y}. \quad (7.108)$$

Аппроксимируя производную по времени ($\partial C / \partial t \sim C_t$) и краевые условия с первым порядком точности, получим разностную схему, которая аппроксимирует исходную задачу (7.90)...(7.105) с погрешностью $O(\Delta x + \Delta t)$ и удовлетворяет всем ограничениям метода монотонной прогонки, который используется для решений полученной алгебраической системы уравнений.

Математический алгоритм реализован на языке «ФОРТРАН». Проверка предложенных решений выполнена на натурных данных, полученных при промывке сильнозасоленных почвогрунтов на фоне пластмассового горизонтального дренажа, построенного бестраншейным дренаукладчиком БДМ-301. Про-

мывку вели на участке площадью 30 га, расположенном в совхозе им. Узакова юго-восточной части Голодной степи. Почвогрунты здесь сильно засолены, хлоридно-сульфатного типа, обогащены гипсом.

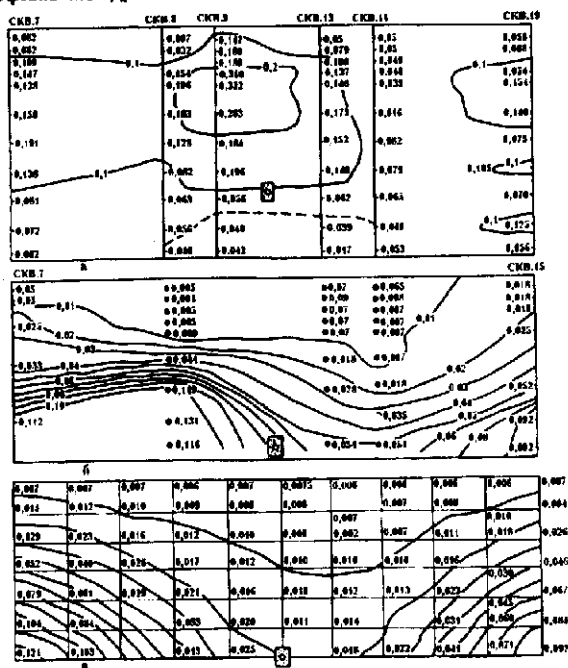
Региональный водоупор залегает на глубине 50 м. На участке через 50 м проложены пластмассовые дрены на глубине 2,8 м, длиной 360 м, диаметром 0,28 м (наблюдали 15 дрен, выведенных в открытый коллектор). Промывку проводили летом на четырех крупных балансовых чеках, где находился основной створ скважин. Каждая пара чеков была образована с помощью валиков высотой 1 м, располагающихся по осям дрен и перпендикулярно им, деля участки дрен пополам. Площадь каждого чека составляла 0,8 га. Регулярно (до промывки, после каждого такта и по окончании промывки) выполняли солевые съемки, отбирали пробы оросительной и дренажной воды.

Водоподача на промывку продолжалась 68 сут. За это время было подано 19,8 тыс.м³/га воды brutto (или 11,4 тыс.м³/га нетто). Из 5,4 тыс.м³/га пошло на затопление свободной емкости, 3 тыс.м³/га было отведено пластмассовым дренажем, 3 тыс.м³/га — коллектором.

Промываемые почвогрунты характеризуются следующими показателями: коэффициент фильтрации в среднем составляет 0,50 м/сут; средняя для верхней толщи (3м) пористость — 47,5%; полная влагоемкость — 45,8; предельная влагоемкость — 38,0; активная пористость — 20%.

Для сопоставления натуральных данных с теоретическими для междренья были построены изолинии равных концентраций по иону хлора и сумме токсичных солей до начала проведения промывки и после ее окончания. Как видно из рисунка 7.6, исходное засоление высоко и весьма неравномерно распределено по профилю междренья.

Рис. 7.6. Засоление почвогрунтов на междренье (по иону хлора, %). Совхоз Узакова, 1973 (по В.С.Борисову, Л.М.Рексу, Л.В.Кириичевой): а — исходное; б — конечное; в — теоретическое распределение солей по профилю междренья и окончании промывки; 0,1; 0,2 — изолинии концентрации иона Cl, % в водной вытяжке; дрена: 0,180 — содержание иона Cl в водной вытяжке, %.



Наиболее сильное засоление – непосредственно над дренай (0,3% по содержанию иона хлора); примерно в два раза ниже – в середине междренья (справа и слева) и еще более низкое (до 0,04% по Cl^-) – ниже глубины заложения. После окончания промывки произошло значительное перераспределение ион хлора: в придренной области содержание его снизилось более чем в 20 раз; на междренье (с поверхности земли) – в 5...10 раз. Наиболее интенсивное опреснение произошло в придренной десятиметровой области (здесь изолиния с допустимой концентрацией по хлору 0,01% проходит на глубине чуть более 1 м). Минерализация дренажного стока по плотному остатку снизилась с 20 до 11 г/л, а по иону хлора с 2,75 до 1,7 г/л.

Для выполнения теоретических расчетов по перераспределению солей в почвогрунте на фоне промывки была использована следующая исходная информация: коэффициент фильтрации – 0,5 м/сут; диаметр дренай – 0,25 м, глубина заложения верха дренай – 2,85; избыточное давление – 2,6; слой воды на поверхности земли – 0,25; глубина залегания до водоупора – 50 м; концентрация подаваемой воды по хлору – 0,005%; активная пористость – 0,20; половина междренного расстояния – 25 м.

Кроме того, был введен в матричной форме по исходному засолению почвогрунтов коэффициент конвективной диффузии. Непрерывную функцию начального засоления рассчитывали с помощью линейной аппроксимации натурных данных. Коэффициент конвективной диффузии в рассматриваемой модели принят как функция скорости. $D = D_m + \lambda V^\alpha$, где D_m – коэффициент молекулярной диффузии, равный для рассматриваемых условий $8 \cdot 10^{-5}$ м²/сут; V – скорость фильтрации; λ , α – параметры, зависящие от геометрии пористой среды.

Для определения параметров λ и α были выполнены расчеты по определению коэффициента конвективной диффузии при разных скоростях фильтрации и на разном удалении от дренай по программе SALT 1 (Рекс, Баранова, 1974) для однопараметрической модели. В середине междренья при скорости фильтрации 0,00465 м/сут коэффициент конвективной диффузии составил $3 \cdot 10^{-3}$ м²/сут; в 10 м от дренай при вертикальной скорости 0,012 м/сут D составил $1 \cdot 10^{-3}$ м²/сут; при скорости 0,043 м/сут $D = 0,1 \dots 0,06$ м²/сут.

Полученные результаты аппроксимированы уравнением вида $y = 1,23x + 0,0008$, где $\lambda = 1,23$; $\alpha = 1$, а коэффициент корреляции $r = +0,89$. При аппроксимации квадратичной зависимостью параметры уравнения следующие: $\lambda = 37$, $\alpha = 2$; коэффициент корреляции $r = +0,78$.

В результате расчета перераспределения солей, выполненного для тактов промывки на 26, 37 и 68-е сут (в узлах сетки с шагами по $y = 0,5$, $x = 5$ м), получены (в матричной форме) вертикальная и горизонтальная составляющие, модуль вектора скорости, а также концентрация иона.

Сравнение теоретических изолиний равных концентраций по хлору на конец промывки с натурными данными (как видно из рисунка) показывает, что по картине и характеру рассоления теоретическое распределение аналогично натурным данным. Однако теоретическое рассоление происходит интенсивнее, чем фактическое. Наиболее близкая сходимость результатов – для середины междренья, где скорости фильтрации малы и преобладают вертикальные токи воды. Отклонение натурных данных от теоретических в этом случае не превышает 40 %. Значительное расхождение наблюдается в пределах придренной области шириной 10 м. Таким образом, эту модель можно использовать только в случае двухмерной задачи для приближенной характеристики процесса солепереноса.

2. Моделирование двухмерных задач влагосолепереноса в почвогрунтах на ЭВМ.

Рассмотренные выше математические модели обладают рядом недостатков: двухмерные модели насыщенной фильтрации не позволяют прогнози-

ровать движение воды и солей в зоне неполного водонасыщения почвогрунтов; одномерные модели не учитывают пространственного характера влаго-солепереноса. Поэтому создана работоспособная модель (совместно с В.С. Борисовым), позволяющая прогнозировать водный и солевой режимы дренируемых массивов и территорий, прилегающих к оросительным каналам, рекам и другим водоемам. Кроме того, решена нестационарная профилиная задача массопереноса в двухмерной постановке с учетом зон неполного насыщения и наличия растворимых солей в твердой фазе.

В случае изотермического процесса уравнение движения влаги и солей в Декартовой системе координат x_1, x_2 (ось x_2 направлена вниз) имеет вид

$$\sigma \frac{\partial H}{\partial t} = \sum_{\nu=1}^2 \frac{\partial}{\partial x_\nu} \left(K_\nu \frac{\partial H}{\partial x_\nu} \right) - J, \quad \nu = 1 \dots 2; \quad (7.109)$$

$$W \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(D_1 \frac{\partial C}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(D_2 \frac{\partial C}{\partial x_2} \right) - \sum_{\nu=1}^2 V_\nu \frac{\partial C}{\partial x_\nu} - \gamma W (C - C_n) \eta(N) + \delta J C \eta (C_n - C); \quad (7.110)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \gamma W (C - C_n) \eta(N) + \delta J C \eta (C - C_n), \quad (7.111)$$

где $H = \Psi - x_2$ — напор; W — объемная влажность; $\Psi = \Psi(W)$ — потенциал капиллярных сил для зоны неполного насыщения; $\Psi = P/\gamma_*$ — для зоны полного насыщения; P — давление; γ_* — удельная масса жидкости; $\sigma = \partial W / \partial \Psi$ — коэффициент влагоемкости ($\sigma > 0$ в зоне неполного насыщения, $\sigma = 0$ в зоне полного насыщения); C — концентрация солей в жидкой фазе; K_ν, D_ν ($\nu = 1 \dots 2$) — соответственно коэффициенты влагопроводности и гидродинамической дисперсии (см. 7.115); $V_\nu = -K_\nu \frac{\partial H}{\partial x_\nu}$ — проекция потока влаги на ось x_ν ; $J = (1 - \delta) x$ — интенсивность источников (стоков) влаги и солей, соответственно; γ — коэффициент растворения; C_n — концентрация насыщения для солей в жидкой фазе; t — продолжительность процесса; $\eta(N)$ — функция Хевисайда.

Систему уравнений (7.109) ... (7.111) будем решать в прямоугольной области шириной L_1 и глубиной L_2 при следующих начальных условиях:

$$\left\{ \begin{array}{l} H = H_0(x_1, x_2) \\ C = C_0(x_1, x_2) \\ N = N_0(x_1, x_2) \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} t = 0; \\ 0 \leq x_1 \leq L_1; \\ 0 \leq x_2 \leq L_2. \end{array} \quad (7.112)$$

Для задания краевых условий разобьем границу данной области на интервалы, в каждом из которых будем задавать для уравнения (7.109) одно из следующих условий:

$$-K_\nu \frac{\partial H}{\partial x_\nu} = f_\nu(x_1, x_2, t); \quad (7.113)$$

$$H = f_3(x_1, x_2, t). \quad (7.114)$$

Для уравнения (7.110)

$$\alpha \frac{\partial C}{\partial t} - \kappa D_\nu \frac{\partial C}{\partial x_\nu} + \delta V_\nu C = F_\nu; \quad (7.115)$$

$$D_\nu \frac{\partial C}{\partial x_\nu} - V_\nu C = V_\nu F_3, \quad \nu = 1, 2. \quad (7.116)$$

где $f_v, f_3, F_3, \alpha, \kappa, \delta$ — известные функции времени, которые могут изменяться при переходе от одного интервала к другому.

Коэффициенты влагопроводности, коэффициенты гидродинамической дисперсии и зависимость потенциала капиллярных сил от влажности аппроксимируется следующими зависимостями:

$$K(W) = K_\Phi \left(\frac{W - W_*}{m - W_*} \right)^n; \quad (7.117)$$

$$\frac{W - W_*}{m - W_*} = \exp \left(- \left| \frac{\Psi}{h_k} \right|^v \right); \quad (7.118)$$

$$D_v = [D_m + \lambda_2(V_r^2 + V_z^2)]^{q/2} + (\lambda_1 - \lambda_2) |V_r|^q W, \quad (7.119)$$

где K_Φ — коэффициент фильтрации; W_* — влажность, при которой прекращается движение жидкости; m — пористость; h_k — высота капиллярного поднятия; D_m — коэффициент молекулярной диффузии; λ_1, λ_2 — параметры продольной и поперечной дисперсии соответственно; n, v, q — безразмерные константы.

Поставленная задача решена численным методом. Для построения неявной разностной схемы используется метод аппроксимации квадратичного функционала. Полученная нелинейная система разностных уравнений на каждом временном шаге решается методом установления с интеграциями по нелинейности. Найденное распределение гидродинамического напора позволяет определить значения влажности и потоков жидкости в зонах полного и неполного водонасыщения почвогрунтов (далее используется для решения уравнений солепереноса локально-одномерным методом А. А. Самарского).

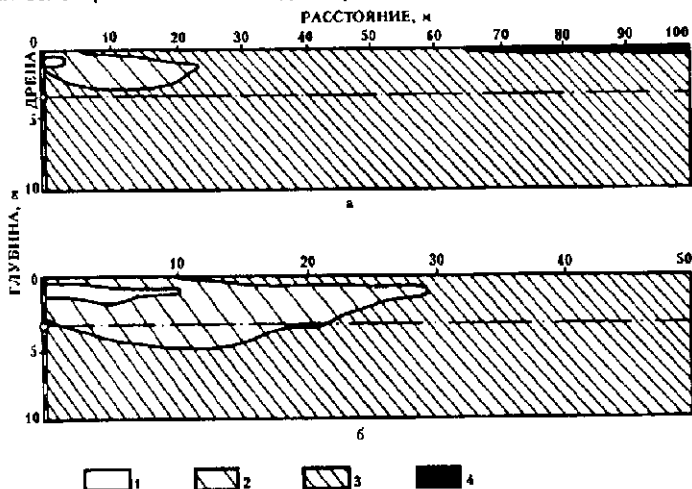


Рис. 7.7. Расслоение почвогрунта (конец вегетации — 10-й год), %:
а — на фоне разрезного дренажа; б — на фоне расчетного дренажа;
1 — 0,5; 2 — 0,5...1,0; 3 — 1,0...8,0; 4 — 8,0

Для проверки модели были использованы экспериментальные данные лабораторных исследований М. Vauslin (1976) и натурных наблюдений Л. В. Кирейчевой. Сопоставление расчетных результатов с экспериментальными данными показало их удовлетворительное совпадение.

Для иллюстрации приведем результаты прогнозных расчетов водосолевого режима почвогрунтов Хаузаханского массива с целью обоснования параметров горизонтального дренажа. Расчеты, выполненные на 10-летний период, показали, что предложенный вариант проекта строительства дренажа с междренним расстоянием 200 м приводит в конце этого периода к засолению почв в междурьях. Распределение концентраций солей в поровом растворе показано на рис. 7.7, а. По данным ТуркмениНИИГиМа, такое засоление может привести к снижению урожайности более чем в два раза. Удовлетворительный водно-солевой режим может быть достигнут при междренных расстояниях 100 м (рис. 7.7, б).

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет решать задачи прогнозирования водно-солевого режима почвогрунтов в двухмерной профильной постановке с учетом взаимосвязи процессов влагопереноса в зонах полного и неполного водонасыщения, неоднородности водно-физических свойств почвогрунтов, отбора корнями растений почвенного раствора.

ГЛАВА 8. Разработка методических подходов для совершенствования подготовки специалистов, исследований и проектирования систем ПП на МЗ

8.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ФОРМИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ

При рассмотрении проектирования как процесса необходимо четко представлять его содержание. На современном этапе проектирование рассматривают с позиций общности проектируемых систем, считая основным «процесс проектирования». При таком понимании проектирование является информационной подготовкой некоторого изменения. Поэтому, говоря о проектировании, имеют в виду: а) совокупность действий, выполняемых проектировщиками; б) продукт этих действий, т.е. проект (Гаспарский, 1978).

При обобщенном рассмотрении проектирования как системы, в которую входит и то, что проектируется, и те, кто проектирует (называясь соответственно «проектируемая система» и «проектирующая система»), процесс проектирования рассматривается как упорядоченное воздействие проектирующей системы на проектируемую с использованием того или иного метода (методов) действий.

Инженерный процесс разработки систем (системотехника) представляет собой обучающую программу, направленную проектировщиком на получение знаний и навыков в решении проектных задач, т.е. на «проектирование проектировщика» (Петрашинский, 1974). Обучающая программа должна установить общие теоретические и практические принципы организации проектирования и критерии его эффективности.

А. Н. Костяков уделял большое внимание формированию специалистов инженерного искусства по гидротехнике и мелиорации, что отражено в его работах «Предмет сельскохозяйственной гидротехники как науки и ее преподавание в специальной высшей школе» и «Мелиоративное образование». В первой работе им предложена схема предмета сельскохозяйственной гидротехники (табл. 9.1), в которой последовательно намечены основные положения, теории, разделы и главы, составляющие этот предмет.

8.1. Схема предмета сельскохозяйственной гидротехники (по А. Н. Костякову)

Предмет изучения		Главы курса сельскохозяйственной гидротехники			Вспомогательные предметы	
		Действие, работа сельскохозяйственно-гидротехнических систем	Типы сооружений и способов	Проектирование и постройка их	Общие	Специальные
<i>Действие, описание и постройка сельскохозяйственно-гидротехнических систем</i>						
Растение	Культуры, хозяйствование на мелиорированных землях	Учение об отношении растений к воде	Основы системы и типы орошения. Связь орошения и осушения	Способы обработки почвы и ухода при наличии мелиораций почвы	Ботаника и физиология растений. Бактериология почвы и воды. Учение о растительных сообществах	Земледелие. Лесоведение. Культура неудобных земель
Вода в состоянии влажности почвы	Регулирующая часть сельскохозяйственной гидротехнической системы	Учение об отношении (физическом и химическом) почвы к воде. Теория действия регулирующей части системы. Учение о способах и модуле полива и осушения (дренажа)	Конечная оросительная и оросительная сеть и присутствие ей сооружения	Проектирование и постройка оросительной и оросительной сети. Изыскания для орошения	Геология и петрография	Геодезия
Вода в состоянии тока в каналах	Проводящая часть сельскохозяйственной гидротехнической системы	Теория действия проводящей части системы. Учение о модуле подачи и модуле стока. Учение о коэффициентах полезного действия систем	Распределительная и магистральная сеть каналов и ее сооружения	Проектирование и постройка каналов. Земляные работы, наряды для производства работ	Математика. Теоретическая механика. Гидравлика	Графические методы расчетов. Общие начала строительного искусства. Проектирование
<i>Среда, в которой существуют или действуют гидротехнические системы</i>						
Вода в естественных водоемах (реки, пруды, колодцы)	Источники орошения и приемники стоков	Регуляция и использование режима рек в сельскохозяйственных целях. Грунтовые воды как источники орошения. Атмосферные воды как источники орошения	Головные сооружения каналов. Каптаж грунтовых вод. Водоохранилища	Средства для искусственного, механического действия воды. Проектирование и постройка водохранилищ. Водосборные сооружения	Строительная механика. Практическая механика	Инженерное искусство и общая гидротехника. Машиноведение
Естественные факторы (климатические, почвенные, гидротехнические)	—	Учение о потребности земель в сельскохозяйственных гидротехнических мелиорациях	Учение о мелиорационных районах	Составы культур и севообороты на мелиорированных землях	Физика. Химия	Метеорология. Почвоведение. Гидрология
Общественно-экономические факторы	—	Учение об экономических факторах мелиораций и о водной ренте	—	Организация хозяйства и водопользования на мелиорированных землях. Стоимость работ	Политическая экономия. Общее и водное право. Физическая и экономическая география России	Сельскохозяйственная экономика. Политика мелиораций. Пути сообщения. Санитарная техника

В схеме выделены три основных раздела сельскохозяйственной гидротехники:

1) теоретические основы действия и проектирования сельскохозяйственно-гидротехнических систем;

2) типы сельскохозяйственно-гидротехнических сооружений и способов: описание их, условия применения, постройка;

3) учение о мелиорационных районах (естественноисторические и экономические основы мелиораций).

Между этими разделами распределяются все объекты и стороны изучения сельскохозяйственной гидротехники. Очевидно, что первый и третий разделы довольно близки как по выбору объектов, так и по методике исследований и требуют от исследователя не только инженерных, но и естественноисторических и сельскохозяйственных знаний. Для постижения второго раздела требуется главным образом строительные, инженерные навыки, но в большем объеме, чем в предыдущих.

Все возрастающие требования к подготовке специалистов с высшим образованием, развитие теории и практики в области гидротехники и мелиорации побуждают постоянно совершенствовать учебные планы и программы подготовки инженеров-гидротехников для сельского хозяйства. Объем научной и прикладной информации, владение которой кажется необходимой для успешной работы специалиста в современных условиях, настолько велик, что попытки передать ее обучаемым в полном объеме за регламентированный срок оказываются невыполнимыми. В связи с этим перед высшей школой поставлена задача готовить специалистов так, чтобы на основе знаний фундаментальных наук они могли самостоятельно приобретать прикладные знания, необходимые для их практической деятельности. В современных условиях специалист должен уметь самостоятельно находить и использовать нужную информацию для решения как инженерных, так и организационно-экономических и управленческих задач. Для этого он должен знать и уметь использовать в повседневной работе современные технические средства, средства оргтехники и вычислительной техники.

Все это требует тщательного отбора учебных дисциплин, необходимых для конкретной инженерно-практической деятельности; оценки роли и значения каждой дисциплины в формировании специалистов; выявления взаимосвязей между дисциплинами; установления количественных соотношений по объемам дисциплин (в часах), с учетом регламентированных сроков обучения; обоснованной последовательности и преемственности при изучении предметов.

Для обоснованного решения этих задач необходима разработка модели [модель (франц.) — образец] профиля специальности. Назначение модели — определить содержание высшего образования по соответствующей специальности с учетом общих единых требований к специалистам с высшим образованием; требований отрасли и сфер будущей деятельности; подготовки специалистов широкого профиля; усиление мировоззренческой, профессиональной, практической, экономической и организационно-правовой подготовки; подготовки специалистов, способных самостоятельно изучать, осваивать и внедрять достижения науки, техники и практики, способных творчески, не шаблонно решать проблемы производства и инженерные задачи.

В соответствии с Типовой методикой по подготовке модели профиля специалиста, рекомендованной Проблемной научно-исследовательской лабораторией НОТ, в высшей школе при МИУ должны быть разработаны следующие материалы применительно к специальности 1511 — 1 «Гидромелиорация»: сферы и основное содержание деятельности инженеров-гидротехников; основные требования к ним; структурно-логическая схема подготовки инженера-гидротехника (рис. 8.1); схема связей дисциплин, обеспечивающих подготовку специалистов для работы в проектных и эксплуатационных организациях (рис. 8.2).

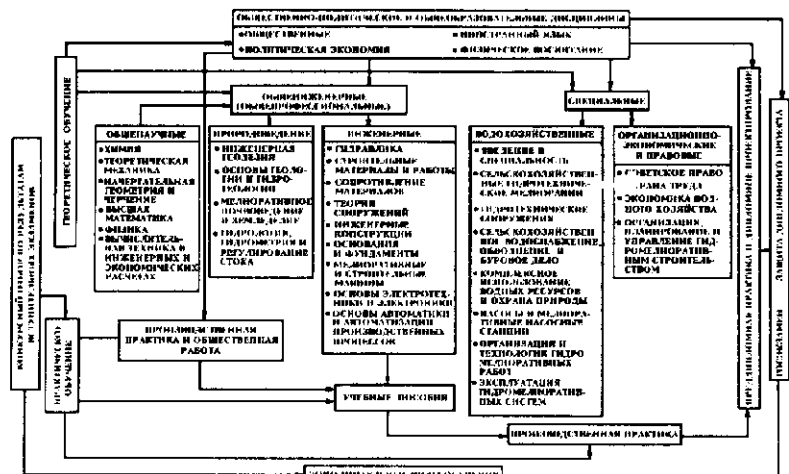


Рис. 8.1. Структурно-логическая схема подготовки инженера-гидротехника по специальности «Гидромелиорация»

С учетом подготовки специалистов широкого профиля признанно необходимым выявить отдельные данные о содержании деятельности инженеров-гидротехников при их работе в проектных, строительных и эксплуатационных производственных организациях, а также в системе АПК.

Требования к уровням знаний, умений и навыков по различным учебным дисциплинам определяются с учетом использования получаемой в процессе обучения информации в будущей практической деятельности:

I уровень – общее представление о теории и практике ее применения; использование положений фундаментальных научных дисциплин в качестве базы для освоения последующих дисциплин общепрофессионального и специального цикла. Работа выпускников в области этих дисциплин без дополнительного обучения невозможна.

II уровень – представление о теории, ее применение в будущей практической деятельности и при изучении специальных дисциплин. Работа выпускников в области дисциплин, освоенных на этом уровне, без дополнительного обучения, как правило, затруднена или невозможна.

III уровень – знание теории и умение использовать ее для решения практических задач. Эта группа дисциплин служит базовой основой для цикла специальных дисциплин. Выпускник в принципе может работать в области этих дисциплин при условии повышения своей квалификации путем самоподготовки.

IV уровень – полное знание теории и практики, владение навыками и применение их в практической деятельности без дополнительного обучения. Эта группа дисциплин определяет квалификацию инженера-гидротехника по специальности «Гидромелиорация».

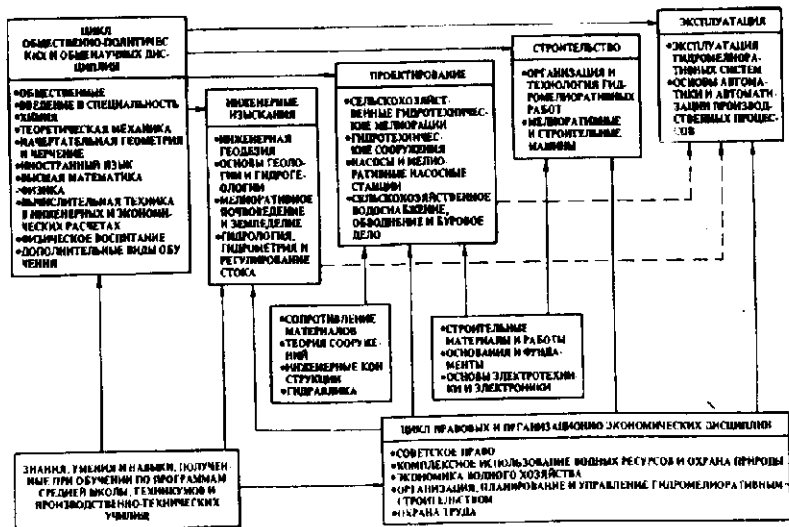


Рис. 8.2. Схема связей учебных дисциплин, обеспечивающих подготовку инженеров-гидротехников по специальности «Гидромелиорация» для работы в проектных, строительных и эксплуатационных организациях

Совокупность материалов, характеризующих сферы, основное содержание деятельности и требования к специалистам, называют *паспортом специальности*, или *профессиограммой*.

Процесс подготовки инженера-гидротехника представлен структурно-логической схемой, отражающей взаимную связь теоретического, практического и специальных видов обучения от момента поступления в институт до завершения подготовки дипломного проекта, защита которого служит основанием для присвоения квалификации инженера-гидротехника. На той же схеме отражена целесообразная последовательность и группировка всех учебных дисциплин по циклам: общественно-политические и общеобразовательные; общенаучные; общинженерные (общепрофессиональные); специальные (профилирующие).

При разработке структурно-логической схемы учтены: преемственность в изучении специальных дисциплин между собой; изучение их на базе общенаучных и общинженерных дисциплин; непрерывное изучение общественно-политических дисциплин, обеспечивающих формирование мировоззрения и личности в целом. Составляют специальную схему для более полного раскрытия связей между дисциплинами и обоснования последовательности их изучения: инженерные изыскания; проектирование водохозяйственных сооружений и объектов; строительство гидротехнических сооружений и гидромелиоративных систем; эксплуатация гидромелиоративных систем.

В отдельную группу объединяют цикл правовых и организационно-экономических дисциплин, знание которых необходимо современному специалисту в его сфере его деятельности.

С целью выявления значимости, обоснования последовательности и более тесной увязки между специальными (профилирующими) дисциплинами разрабатывают структурно-логические схемы взаимодействия по каждой из них: сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации; гидротехнические сооружения; насосы и мелиоративные насосные станции; организация и технология гидромелиоративных работ; эксплуатация гидромелиоративных систем; организация, планирование и управление водохозяйственным строительством.

Все эти материалы служат основанием для уточнения и совершенствования типового учебного плана по специальности «Гидромелиорация».

Задача повышения эффективности мелиорируемых земель с помощью мелиоративных систем, т.е. создание систем с оптимальными параметрами предусматривает необходимость планирования, вносимых в них изменений, для чего требуются специалисты-проектировщики, обладающие соответствующим комплексом знаний. С тем чтобы установить необходимый критерий, воспользуемся приведенной выше матрицей (с. ...), заполнив каждую ее клеточку элементарными теориями, которые описывают процесс мелиораций на данном этапе развития науки и техники во всех ее аспектах. Таким образом, заполненная и должным образом проанализированная матрица позволит определить тот необходимый объем элементарных знаний (табл. 8.2), разделов, тем (табл. 8.3), изучение которых необходимо для формирования будущих специалистов гидротехников.

8.2. Матрица для определения необходимого объема элементарных знаний для студентов, обучающихся по специальности «Гидротехника»

Действие	Результат — продукт							
	Мелиоративная обстановка — режим				сельскохозяйственные культуры (СХК)	результат охраны окружающей среды (РООС)	экономический стоимость, качество, производительность	
	водный	солевой	тепловой	пищевой				
		1	2	3	4	5	6	7
Среда: политическая социальная техническая экономическая	1	Знания о влиянии политической, социальной, технической и экономической сред на процесс мелиорации						
природная: климатическая гидрологическая почвенная геоморфологическая гидрогеологическая инженерно-геологическая биологическая	2	Знания о переносе вещества и энергии в природной среде (поле)				Знания о взаимодействиях СХК и природной среды	Знания о взаимодействии поля с окружающей средой	Знания об оптимизации природно-экономических процессов
Человек	3	Знания о роли человека в регулировании вещественно-энергетических процессов						Знания о роли человека в экономических процессах
Материалы	4	Знания о влиянии ресурсов на вещественно-энергетический режим и на СХК					Знания о влиянии ресурсов на РООС	Знания о роли ресурсов в экономике
Информация	5	Знания о информации и вещественно-энергетических и биологических процессах					Знания о информации о РООС	Знания о информации о экономических процессах

		1	2	3	4	5	6	7
Модель	6	Знания о моделях среды, человека, материала, информации, времени, управления инженерной системой, продукта						Знания о экономико-математическом моделировании
Время	7	Знания о неуставившихся процессах переноса веществ и энергии				Знания о росте и развитии СХК	Знания о эволюции РООС	Знания о эволюции экономических процессов
Управление	8	Знания об управлении вещественно-энергетическими процессами и системами				Знания об управлении ростом и развитием СХК	Знания об управлении РОС	Знания об управлении экономикой
Инженерная система: гидромилирагивная оросительная водозаборная проводящая регулирующая	9	Знания о процессе переноса веществ и энергии в системах осуществляющих перенос				Знания о влиянии осушительной системы на СХК	Знания о влиянии оросительной системы на РООС	Знания об оптимизации параметров инженерных систем
	10	Знания о процессе распределения вещества и энергии по полю						
	11					Знания о влиянии осушительной системы на СХК	Знания о влиянии осушительной системы на РООС	
	12	Знания о процессе сбора вещества и энергии на поле						
	13	Знания о процессе движения веществ и энергии от поля к водоприемнику						
14					Знания о влиянии СХП на СХК	Знания о влиянии системы СХП на РООС		
сельскохозяйственного производства (СХП)	15	Знания о воздействии системы СХП на водный, солевой, тепловой и пищевой режимы						

8.3. Матрица для определения необходимых разделов и тем предметов для студентов, обучающихся по специальности «Гидротехника»

Действие		Результат – продукт						экономический
		вещественно-энергетический (В – Э)						
		вод- ный ре- жим	соле- вой ре- жим	тепло- вой режим	пище- вой режим	сельско- хозяйст- венные культуры (СХК)	результат охраны окружаю- щей среды (РООС)	
		1	2	3	4	5	6	7
Среда: политическая социальная техническая экономическая	1							
природная: климатическая гидрологическая почвенная геоморфологическая гидрогеологическая биологическая	2	Количественная связь приземного слоя воздуха с почвенным слоем и СХК (постановка граничных условий). Использование теории тепломассопереноса для описа-ния водно-солевого и теплопища-вого режимов почвогрунтового слоя. Описание миграции влаги и солей в зоне полного и неполного насыщения для различных типов-ых гидрогеологических схем				Взаимо- связь природ- ной сре- ды с СХК	Основ- ные поло- жения при охра- не при- родной среды	Понятия о сто- имостных оцен- ках природных ресурсов и их роль в технико- экономических задачах
Человек	3	Роль человека в регулировании В – Э-процессами						Трудовые ре- сурсы при по- становке техни- ко-экономиче- ских задач

		1	2	3	4	5	6	7
Материал	4							Закупочные цены и себестоимость СХК
Информация	5	Методика наблюдений, сбора и анализа информации о водно-солевом и теплическом режимах мелиорируемых земель				Постановка наблюдений за СХК	Постановка наблюдений за РООС	Общие принципы методики и обработки технико-экономической информации
Модель	6	Вывод основных уравнений тепло-массопереноса и их решение				Математические модели роста и развития СХК	Модели, описывающие РООС	Экономико-математическое моделирование
Время	7	Установившийся и не установившийся водно-солевой и теплический режимы						Динамические и статистические технико-экономические задачи
Управление	8	Управление водно-солевым, теплическим режимами на мелиорируемых землях. Управление мелиоративной системой, регулирующей В – Э-процессы				Управление ростом и развитием СХК	Управление РООС	Основные положения по управлению технико-экономическими процессами
Инженерная система: гидромелиоративная оросительная: водосборная проводящая регулирующая	9						Требования к взаимной увязке оросительной системы в РООС	Система с позиции системного подхода
	10							
	11							
осушительная: регулирующая	12						Требования к взаимной увязке осушительной системы в РООС	Общие принципы функционального, морфологического и информационного описания систем. Иерархия водохозяйственных и сельскохозяйственных систем. Постановка оптимизационных задач в соответствии с иерархией систем. Роль теории принятия решений при моделировании речных бассейнов с некоторым количеством водохозяйственных и мелиоративных систем
проводящая	13							
водосборная	14							
сельскохозяйственно-го производства (СХП)	15	Количественная оценка влияния агрокультур-техники и других приемов возделывания СХК на водно-солевой и теплический режимы						

В таблицах содержится информация в виде знаний, которые могут найти отражение в программах различных кафедр соответствующих вузов. Матричный подход может способствовать целостному представлению о совокупности критериев и понятий, определяющих наши знания процессов мелиорации и мелиоративных систем.

Выполненная в матрице (табл. 8.3) детализация разделов и тем дополнена «квалификационными деревьями целей», что позволяет наметить пути со-

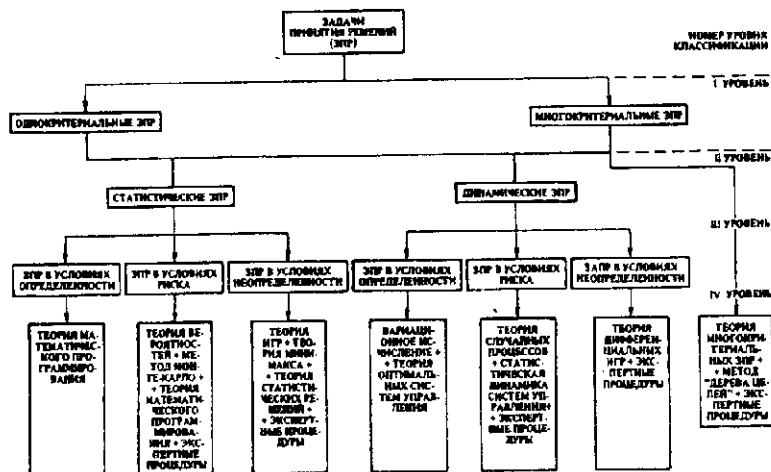


Рис. 8.3. Классификационное дерево целей

ставления того необходимого минимума знаний, который даст возможность будущим специалистам-проектировщикам ставить и решать задачи оптимизации параметров мелиоративных систем. Пример такого дерева цели показан на рисунке 8.3 (Пасечник, 1977).

Процедура построения дерева целей состоит в следующем. Вначале формируют общую (глобальную) цель — передача знаний за определенный срок, которую указывают в самом верхнем (нулевом) уровне дерева. Затем общую цель расчленяют на подцели (основные цели), которые являются элементами первого уровня. Их можно трактовать как знания в виде разделов, теорий, которые необходимо передать студентам для достижения общей цели. Эти знания, в свою очередь, служат целями уже для элементов знания следующего уровня (рис. 8.4).

Далее указывают элементы второго уровня, например, пути достижения основных целей. Им ставят в соответствии знания — элементы третьего уровня и т. д. — до тех пор, пока не будут определены элементы всех уровней, от которых зависит достижение основных целей.

В принципе число уровней дерева целей не ограничено. Каждый его элемент должен быть предельно конкретным. Элементы нижнего уровня — конкретизация

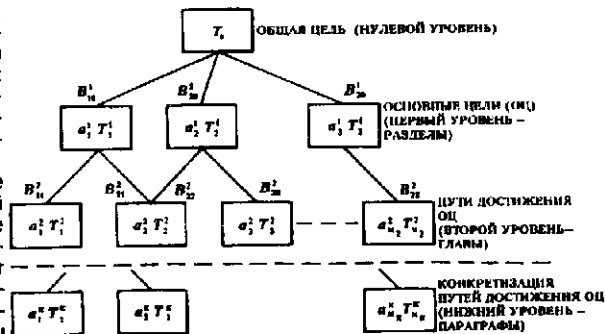


Рис. 8.4. Структура дерева целей

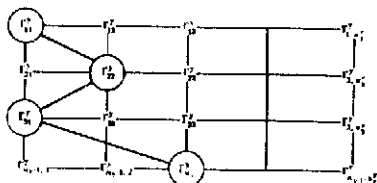


Рис. 8.5. Дерево возможных плановых решений

путей достижения основных целей (параграфы, пункты и т.д.).

Детализация всей совокупности целей и задач позволяет правильно определить целевое назначение разрабатываемых систем — знаний, которые нужны специалистам при проектировании, строительстве и эксплуатации мелиоративных систем, поэтому задачу можно поставить следующим образом: какие знания и в каком объеме должны быть переданы будущему специалисту для достижения поставленной цели — проектирования эффективных мелиоративных систем, отвечающих современному

уровню технического прогресса, причем при ограниченном ресурсе времени. Однако описание целей и системы знаний только на понятийном уровне оказывается недостаточным для получения обоснованных прогнозов развития системы их передачи.

Рассмотрим следующие основные количественные характеристики элементов (знаний) дерева целей:

1) Степень важности (значимости) — a_y^z , где y — номер уровня; z — номер элемента (знания) на данном уровне ($y = 1, 2, \dots, M_y$; $z = 1, 2, \dots, M_z$).

2) Количество ресурса T_y^z (времени), необходимое для реализации этого элемента (передачи знаний). Предполагается, что каждый уровень дерева целей отображает весь план передачи знаний. Поэтому должно выполняться условие нормировки:

$$\sum_{z=1}^{M_z} a_y^z = 1; \quad a_y^z \geq 0; \quad y = 1, 2, \dots, M_y; \quad z = 1, 2, \dots, M_z.$$

Такая нормировка приводит к тому, что степень важности выражается в долях единицы и элементы (знания) дерева становятся сравнимы. Это позволяет упорядочить элементы учебного плана в целом или раздела отдельного предмета по степени их важности, которую можно интерпретировать как долю вклада элемента (знания) в достижение основных целей реализации системы передачи знаний.

Расчет a_y^z ведет «сверху вниз», т.е. начинают с первого уровня дерева. Для основных целей системы показатели a_y^z являются просто их коэффициентами относительной важности (весовыми коэффициентами, или весами) в достижении общей цели — передачи знаний. Для определения весовых коэффициентов могут быть использованы различные экспертные методы, например метод парных сравнений.

Степень важности знаний уровней дерева целей рассчитывают следующим образом. Вначале определяют весовые коэффициенты B_y^z y -го уровня, как составляющие реализации иерархически связанных с ними знаний предыдущего ($y - 1$)-го уровня. Затем веса B_y^z знаний умножают на показатель важности a_{y-1}^{z-1} соответствующих знаний верхнего уровня и полученные значения суммируют. Например, степень важности путей достижения основных целей получают путем умножения веса того или иного пути на степень важности соответствующей основной цели.

В общем случае показатели важности рассчитывают в соответствии со следующими формулами:

$$a_z^y = \sum_k B_{zk}^y a_k^{y-1}; \quad y = 1, 2, \dots, M; \quad z = 1, 2, \dots, M_y; \quad \sum_z a_z^y = 1,$$

где a_z^y – степень важности z -го значения y -го уровня дерева целей; B_{zk}^y – весовой коэффициент z -го знания y -го уровня как познания в реализации k -го знания $(y-1)$ -го уровня; a_k^{y-1} – степень важности k -го знания $(y-1)$ -го уровня.

Построение дерева целей и определение степени важности его элементов (знаний) – только первый этап планирования. Следующий этап – распределение ограниченных ресурсов (времени).

Элементы (знания) нижнего уровня дерева целей должны быть настолько конкретны, чтобы можно было оценить потребности в ресурсах (времени). Более того, зная потребность во времени для передачи каждого знания нижнего уровня дерева целей, можно, учитывая его ограниченно, ставить задачу об оптимальном его использовании, т.е. задачу определения оптимального по важности (с учетом других ограничений) списка знаний, включаемых в план или разделов отдельного предмета.

Рассмотрим один из возможных подходов к проблеме оптимального распределения ограниченных ресурсов, в котором используются экспериментальные оценки степени важности элементов (знаний) дерева целей.

Если a_z^y – степень важности, а T_z^y – потребности в ресурсах времени z -го элемента (передачи знаний) y -го уровня в первоначальном плане, $y = 1, 2, \dots, M$; $z = 1, 2, \dots, M_y$ и если обозначим через T – общий объем времени, которое требуется для передачи всех знаний самого нижнего уровня дерева целей в первоначальном плане, а через T_0 – объем времени, выделенного для передачи знаний, тогда

$$T = \sum_{z=1}^{M_y} T_z^y.$$

Если $T \leq T_0$, то проблема распределения времени не возникает. В противном случае необходимо отказаться от реализации некоторых элементов знаний. При этом список элементов, включаемых в окончательный план, должен быть оптимальным в смысле суммарной степени их важности, а также затрат времени на их передачу, причем затраты времени не должны превышать T_0 .

Решение задачи оптимального распределения ограниченных ресурсов (времени) начинают с первого уровня дерева целей, содержащего независимые и непротиворечивые основные цели передачи знаний, которые должны быть обязательно включены в план. Однако степень достижения основных целей может быть различной, т.е. при ограниченных ресурсах (времени) в оптимальный план будут включены лишь самые важные (с учетом выполнения ограничений) элементы второго уровня. Исключение некоторых элементов второго уровня приводит к исключению из плана соответствующих элементов третьего уровня и т.д.

Предположим, что для $(y-1)$ -го уровня дерева целей определен выбор $M_y - 1$ элементов (знаний), которые должны быть включены в план. Пусть N_l^y – множество элементов (знаний) y -го уровня, необходимых для достижения l -й цели $(y-1)$ -го уровня. Тогда общая продолжительность передачи всех элементов z (знаний) y -го уровня T^y , предусмотренным первоначальным планом, составляет:

$$T^y = \sum_{z=1}^{M_y} T_z^y = \sum_{l=1}^{M_y-1} \sum_{z \in N_l^y} T_z^y.$$

Запись $z \in H_u^Y$ означает, что суммирование ведется по всем элементам (знаниям) множества H_u^Y .

Если $T^Y > T_0$, то из первоначального плана необходимо исключить элементы (знания) u -го уровня. Причем предпочтение необходимо отдавать элементам (знаниям) с меньшей степенью важности.

В этом случае задачу оптимального распределения ограниченных ресурсов (времени) на u -м уровне дерева целей можно сформулировать в виде задачи дискретного программирования:

$$\sum_{l=1}^{M_Y-1} \sum_{z \in H_l^Y} a_{lz}^Y x_{lz}^Y \rightarrow \max;$$

при ограничениях

$$\sum_{l=1}^{M_Y-1} \sum_{z \in H_l^Y} T_{lz}^Y x_{lz}^Y \leq T_0; \quad \sum_{z \in H_l^Y} x_{lz}^Y \geq 1; \quad l = 1, 2, \dots, M_Y - 1,$$

где $\{x_{lz}^Y = 0$, если $z \notin \Gamma_l^Y$; $x_{lz}^Y = 1$, если $z \in \Gamma_l^Y\}$.

Здесь Γ_l^Y — выбор элементов (знаний) из множества H_l^Y , входящих в оптимальный план. Решение данной задачи — это список элементов (знаний) u -го уровня, объединяющий (содержащий) все выборы Γ_l^Y , где $l = 1, 2, \dots, M_Y - 1$.

Для поиска оптимального плана можно использовать различные методы дискретного программирования.

Введем в рассмотрение возможные способы достижения l -й цели ($u - 1$)-го уровня. Этими способами являются возможные наборы элементов (непустые подмножества Γ_{l0}^Y) множества H_l^Y . Если число элементов (знаний), входящих в H_l^Y обозначить через $p = |H_l^Y|$, то число непустых подмножеств Γ_{l0}^Y будет равно

$$C_l^Y = \sum_{\delta=1}^p C_p^{\delta},$$

где C_p^{δ} — число сочетаний из p элементов по δ , т.е. что индексы l и e соответствуют рангам, полученным при упорядочении по убыванию значений a_{lz}^Y и D_{l0}^Y . Цепочка вершин дерева решений (по одной из каждого его уровня) соответствует некоторому возможному плану передачи знаний u -го уровня дерева целей.

Далее можно перейти к процедуре *сокращенного перебора возможных плановых решений*. При этом среди возможных планов в первую очередь рассматривают те, которым соответствует как можно большее значение целевой функции

$$\sum_{l=1}^{M_Y-1} \sum_{z \in \Gamma_{l0}^Y} a_{lz}^Y x_{lz}^Y.$$

Другими словами, дерево решений рассматривают в направлении снизу вверх и справа налево. После получения возможного решения:

$$\Gamma^Y = \{\Gamma_1^Y, \Gamma_2^Y, \dots, \Gamma_{M_Y-1}^Y\}$$

проверяют ограничения:

$$T^y \sum_{n=1}^{M_y-1} \sum_{z \in \hat{\Gamma}_n^y} T_z^y \leq T_0.$$

Допустимый план T^y с максимальным значением целевой функции является оптимальным. Применение метода сокращения перебора возможных плановых решений позволяет получить оптимальный план передачи знаний.

В заключении отметим, что во ВНИИГиМе этот прием используют при определении оптимальных параметров мелиоративных систем.

8.2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Облегчить процесс проектирования — избавить проектировщика от трудоемких и повторяющихся действий. Этого можно достичь, описав процесс решения проектной задачи во всех его тонкостях, выделить из него «рутинные элементы», разработать для них программы, в которых использованы алгоритмические методы решения проектных задач.

Основой для создания проектирующих систем «человек — машина» с четким разделением функций между различными элементами проектирующей системы в процессе решения задачи послужило выявление структуры процесса проектирования, позволяющее идентифицировать и творческие элементы процесса.

Облегчение и детализация процесса решения проектной задачи (как частный случай процесса обработки информации) повлияли на структуру процесса проектирования: проектирующие системы (даже те, которые еще не подверглись автоматизации) начали приспосабливать свою структуру (статическую и динамическую) к структурам автоматизированных систем. Следовательно, концепции обработки информации выявили, что *проектирование должно рассматривать как процесс*. Под термином *методология проектирования* понимают научную дисциплину, занимающуюся методами, процедурами и технологиями «проектно-творческой деятельности» (Гаспарский, 1978).

В методологии проектирования и методологии науки имеются общие характеристики, что связано с некоторой общностью проектирования и научной деятельности, возникающей из потребности информации. Рассматривая проектирование как предмет исследования, различают: а) совокупность действий проектировщиков; б) результаты этих действий (проекты). Проектирование, понимаемое как «деятельность», т.е. как совокупность действий проектировщиков, представляет собой процесс, развивающийся во времени. Методология проектирования выделяет и анализирует характер действий, совершаемых в проектной работе: составление проекта, анализ его выполнимости, формирование критериев оптимизации, решение проблем, описание и объяснение взаимодействия проектируемой системы и ее окружения и т.д. Анализ выделенных однотипных проектных действий показывает, что некоторые из них присутствуют во всяком проектировании и играют в них одну и ту же роль, другие — встречаются в проектировании только одних объектов, а во всех остальных отсутствуют или играют одну роль в проектировании одних объектов и совсем другую — в других. В связи с этим методологию проектирования делят на *общую* и *частные* методологии, которые, в свою очередь, распадаются на ряд специальных методологий проектирования, различающихся приемами и типами проектируемых объектов.

Общая методология вырабатывает общие методологические определения типов проектных действий, которые встречаются в любом проектировании. К таким действиям относят: формирование задачи, составление проекта, оптимизацию и др. Специальные методологии проектирования вырабатывают методологические понятия, которые встречаются в проектировании не всех, а только отдельных объектов (например, понятия конструирования, техно-

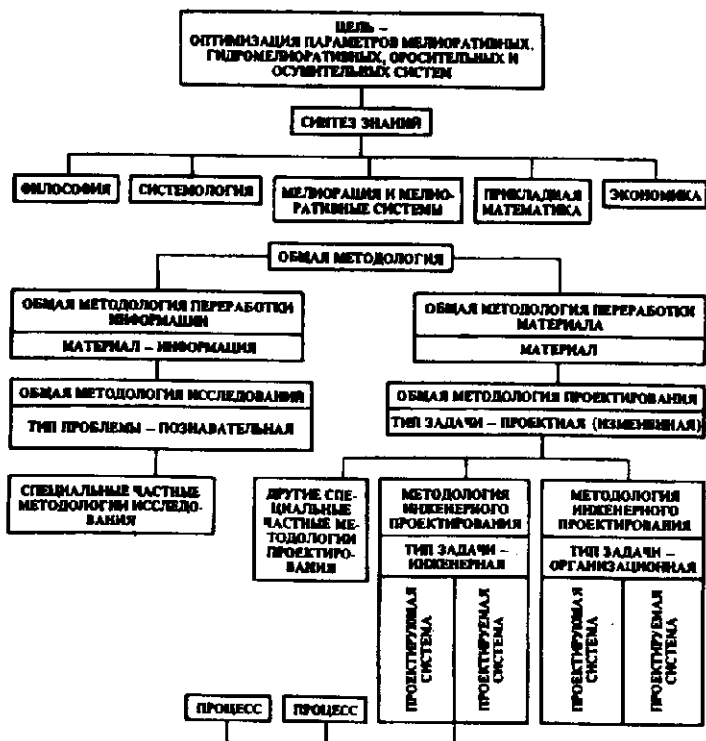


Рис. 8.6. Схема методологии

логичности и др.). С помощью общих и специальных методологических понятий методология проектирования описывает весь процесс проектирования разнообразных систем.

Существует методология, содержанием которой служат исследования самого проектирования. Нельзя говорить о деятельности проектировщиков без упоминания о проектируемых ими системах, и наоборот, можно говорить о проектируемых системах независимо от действий человека в процессе их создания.

В настоящее время делают первые попытки построения теории искусственных систем. Наиболее развиты некоторые разделы специальных методологий в таких отраслях, которые можно описать на языке математики при несистемном подходе.

Общность многих проектных задач приводит ко все более широкому использованию общей методологии проектирования. Это оказывает влияние на частные методологии, разрабатывающие методы, некоторые из которых оказываются существенными для общей методологии.

По схеме (рис. 8.6) показано место методологии проектирования в системе методологических знаний и выделена особо методология инженерного проектирования (Гаспарский, 1978).

8.3. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ

Проектирование можно считать как бы аналогичным производственному процессу, так как в результате получаем некоторую искусственную систему — проект, удовлетворяющий определенным условиям и требованиям.

Наука в целом и технические науки в частности моделируют реальную действительность в две стадии (Вайс, 1968). Конечный результат первой стадии — теоретические выводы проведенных исследований, второй — концепции искусственных систем, разрабатываемых на этапе проектирования. При переходе от теоретических моделей к практическим обобщенные утверждения детализируют.

Эффективность понимают как совокупность практических достоинств, считая, что деятельность тем эффективнее, чем больше она включает достоинств хорошей работы, причем в наибольшей степени (Котарбинский, 1965; Гаспарский, 1978). «Полезный результат действия — положительно оцениваемое состояние объекта, достигнутое в результате этого действия; основной результат — состояние системы, достигнутое за счет действия и являющееся результатом реализации цели или ее части; затраты на реализацию действия — объем ресурсов, израсходованных на реализацию действия для достижения полезного результата» (Зеленевский, 1966).

В приведенной структуре понятий цель, результат и затраты объединены более общим понятием — *эффект действия*. Цель — это предвидимый максимально возможный эффект; *результат* — положительно оцениваемый достигнутый эффект; *затраты* — отрицательно оцениваемый эффект. Так как затраты представляют собой объем ресурсов, израсходованных на действие, то прирост эффекта инструментальной (инженерной) системы равен разности между объемом ресурсов, затрачиваемых на выполнение действия до введения системы, и объемом ресурсов, затрачиваемых на это же действие после ее введения (при прочих равных условиях). Определенный таким образом прирост эффекта инструментального или полученного с помощью мелиоративных систем (МС) эффекта называют потребителем эффектом технического объекта Π_3 (Васютинский, 1962).

Потребительский эффект отражает экономию ресурсов при выполнении действия за счет его инструментализации или за счет МС. Изготовление искусственной системы (производственное технологическое действие) требуют определенных затрат (соответственно $\Pi_{т.д.}$; $\Sigma_{т.д.}$). Разделив потребительский эффект Π_3 на сумму средств $\Pi_{т.д.} + \Sigma_{т.д.}$ затраченных на искусственную систему, получаем:

$$\frac{\Pi_3}{\Pi_{т.д.} + \Sigma_{т.д.}} = \Pi_3^{ис}$$

Величина $\Pi_3^{ис}$ представляет собой инструментализационную или полученную с помощью МС экономическую (эффективную). Потребительская эффективность отражает объем сэкономленных на действии (благодаря его инструментализации) ресурсов, отнесенных к единице затрат на изготовление и эксплуатацию технического объекта (искусственной системы). Анализируя технические решения, обычно стремятся отыскать такое значение функции, для которого $\Pi_3^{ис}$ максимально. Это критерий оптимальности инженерных решений, основывающийся на методе анализа потребителем эффектов. Таким образом, задача проектирования — выбор оптимальных технологических действий, в частности формулировка критериев выбора на основе анализа решений и полезности искусственных систем с привлечением системы принятых в технике понятий.

Схема, по которой осуществляют технологический выбор, обычно основывается на приведении в соответствие труда, материалов, энергии и времени с желанием удовлетворить потребности с помощью мелиоративных си-

стем, а также на удовлетворении этих потребностей посредством труда, материалов, энергии и времени.

Труд, материал, энергия и время представляют собой ресурсы, которые затрачиваются на выполнение действия. Здесь обнаруживаются две тенденции: с одной стороны, к максимизации результата, что приводит к увеличению объема потребляемых ресурсов, а с другой — к максимизации экономии в использовании ресурсов, что, в свою очередь, приводит к ограничению результата. Удовлетворить оба эти стремления в одном действии, разумеется, невозможно, но есть возможность реализовать их в паре действий, т.е. в первом — стремиться к минимизации потребления ресурсов, а в последующем — максимизировать результат (при известном потреблении ресурсов в предварительном действии). Это подход в рамках методики анализа потребительских эффектов определяется как *оптимальное развитие*.

В связи с тем, что отдельные составляющие потребительских эффектов и затрат имеют, как правило, различный физический смысл или различные размерности (иногда возникают и такие составляющие, которые вообще трудно измерить), их невозможно просуммировать. В таких случаях предлагается пользоваться матрицами потребительских эффектов и затрат, столбцы которых соответствуют отдельным видам ресурсов, а строки — отдельным частям искусственной системы или же определенным условиям эксплуатации. Матрица производственных затрат может служить основой для анализа тенденций технического прогресса в данной отрасли техники (табл. 8.4).

Если представить АПК в виде шести подсистем: 1) системы производства продукции (СПП) на немелиорированных и мелиорированных землях; 2) системы транспортировки (СТ); 3) системы хранения (СХ); 4) системы переработки (СП); 5) системы доставки (СД); 6) системы реализации (СР), — то очевидно, что восемь компонентов (категорий): человек, материал, инженерная система, среда, информация, модель, время, управление — являются составляющими каждой подсистемы АПК (рис. 8.7).

Впоследствии будем их называть *структурными объектами* АПК. Можно проследить, какими свойствами, признаками и показателями характеризуется каждый компонент, входящий в ту или иную подсистему, и каких затрат ресурсов эти компоненты требуют, т.е. выявить состав отраслей, обеспечивающих АПК. Это дает возможность вести разработку подсистем АПК и всего АПК на единой методологической основе с применением современных подходов к выбору основных вариантов его структурных объектов. Например, можно использовать методы морфологического анализа. Для этого составляют морфологическую таблицу возможных вариантов структурных объектов АПК (рис. 8.8).

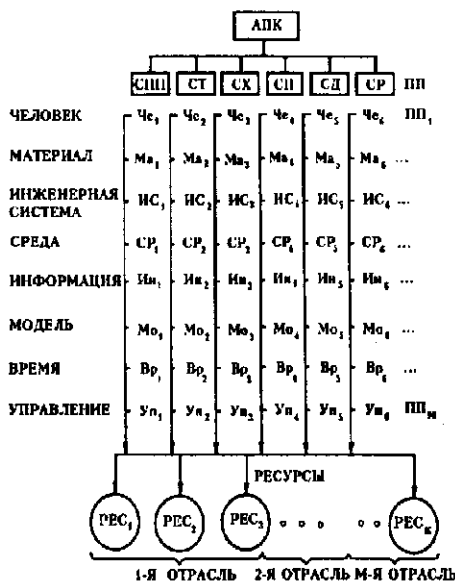


Рис. 8.7. Структура АПК

8.4. Матрица затрат ресурсов

Элементы систем	Ресурс (компоненты)																	
	Машины				Материал							Труд			Энергия	Время		
	зем-ля-ро-д-ные	тран-сп-орт-ные	под-ём-ные	ме-тал-лы	лес	трубы	бетон	це-мент	за-щита	во-да	зем-ля	некве-лифициро-ван-ный	квали-фициро-ван-ный	инже-нер-ный	элект-ро-энер-гия	горюче-смазоч-ные ма-териалы	строи-тельст-ва, обу-чение, наладка	
Среды:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	политическая																	
	социальная																	
	техническая																	
	экономическая																	
	природная:																	
	климатическая																	
	гидрологическая																	
	почвенная																	
	геоморфологическая																	
	гидроэкологическая																	
	инженерно-геологическая																	
	биологическая																	
	Инженерные системы:																	
	гидромелиоративная:																	
	оросительная:																	
проводящая:																		
водозаборы																		
насосно-силовое оборудование																		
каналы																		
трубопроводы																		
сооружения																		

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
регулирующая:																		
каналы	17																	
трубопроводы	18																	
сооружения	19																	
поливная техника	20																	
осушительная:																		
регулирующая:																		
дрены	21																	
сважины	22																	
коллекторы	23																	
сооружения	24																	
насосно-силовое оборудование	25																	
проводящая:																		
коллекторы	26																	
сооружения	27																	
водосбросные сооружения	28																	
насосно-силовое оборудование	29																	
сельскохозяйствен. производства	30																	
Человек	31																	
Материал	32																	
Информация	33																	
Модель	34																	
Время	35																	
Управление	36																	

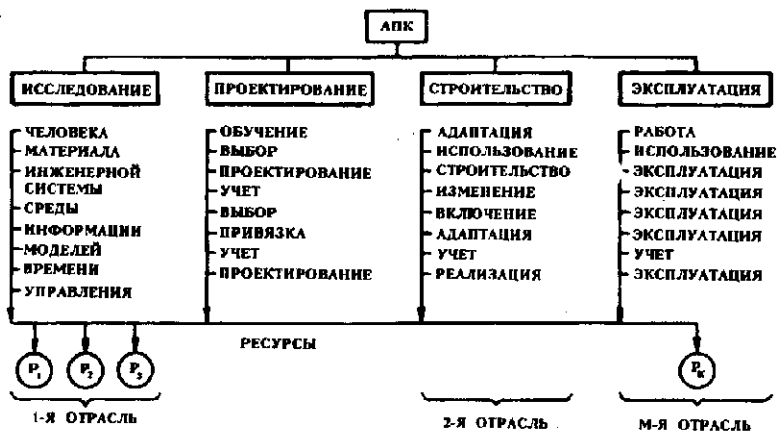


Рис. 8.9. Структура этапов разработки АПК

но и к этапам его исследования, проектирования, строительства и эксплуатации (рис. 8.9).

На этапе «исследование» изучают свойства категорий и общенаучных понятий, что позволяет выделить и описать их с целью дальнейшего включения в морфологическую таблицу (рис. 8.10). Подобные морфологические таблицы строят для этапов «проектирование», «строительство», «эксплуатация» АПК, что позволяет просматривать возможные варианты организации «комплексов». Изложенный выше методологический подход позволяет сформулировать обобщенный экономический критерий. Для решения однокритериальных задач выбора структуры и оптимизации параметров АПК этот критерий (если следовать Воропаеву, 1971; Гофману, 1977 и др.), в общем виде можно свести к следующему выражению:

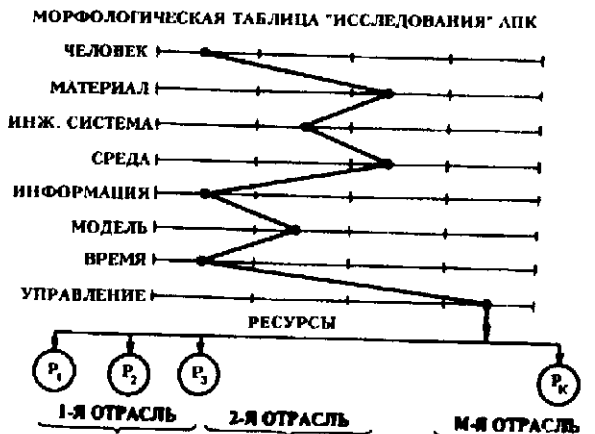


Рис. 8.10. Морфологическая таблица «исследования» АПК

$$\begin{aligned}
& \sum_{m=1}^M \sum_{T=a}^A \left[K_d \left(K_{\text{МВМТН}}^{\text{ИС}} + K_{\text{МВМТН}}^{\text{Мо}} + K_{\text{МВМТН}}^{\text{Ин}} + K_{\text{МВМТН}}^{\text{Уп}} + K_{\text{МВМТН}}^{\text{Ср1}} + K_{\text{МВМТН}}^{\text{Че}} \right) \right] + \\
& + \sum_{m=1}^M \sum_{T=b}^B \left[K_d \left(T_{\text{МВМТН}}^{\text{ИС}} + T_{\text{МВМТН}}^{\text{Мо}} + T_{\text{МВМТН}}^{\text{Ин}} + T_{\text{МВМТН}}^{\text{Уп}} + T_{\text{МВМТН}}^{\text{Ср1}} + T_{\text{МВМТН}}^{\text{Че}} \right) \right] + \\
& + \sum_{j=1}^J \sum_{T=0}^A K_d \left(Ma_{j \text{ втп}} - \min_{\text{втп}} Ma_{j \text{ втп}} \right) \Xi_{\text{ор}}^j + \sum_{T=0}^A K_d \left(Br^{\text{втп}} - \min_{\text{втп}} Br^{\text{втп}} \right) \Xi_{\text{ор}}^{\text{вр}} + \\
& + \sum_{T=0}^A \sum_{i=0}^I K_d \left(\max_{\text{втп}} \Pi \Pi_{i \text{ втп}} - \Pi \Pi_{i \text{ втп}} \right) \Xi_{\text{з}}^i + \\
& + \sum_{T=0}^A \sum_{k=1}^K K_d \left(O_{\text{МКТН}}^{\text{тв}} - \min_{\text{МТН}} O_{\text{МКТН}}^{\text{тв}} \right) \Pi_k^{\text{отв}} \rightarrow \min.
\end{aligned}$$

Здесь первые суммы учитывают капитальные вложения ($K_{\text{в}}$) в инженерную систему (ИС), модель (Мо), информацию (Ин), управление (Уп), частично в среду (Ср1) и человека (Че) — подготовка специалистов; вторые суммы учитывают текущие затраты, соответственно в ИС, Мо, Ин, Уп, Ср1 и Че — повышение квалификации. Индексы суммирования обозначают: m — номер мероприятия; v — номер варианта; n — последовательность осуществления мероприятия; $T_{\text{вм}}^n$ — время начала осуществления m -го мероприятия в v -м варианте для n -й последовательности; $\Delta T_{\text{вм}}^n$ — затраты времени на осуществление m -го мероприятия в v -м варианте для n -й последовательности ($a = T_{\text{вм}}^n$; $A = T_{\text{вм}}^n + \Delta T_{\text{вм}}^n$) — коэффициент дисконтирования затрат и результатов; $K_{\text{вМВМТН}}$ — капитальные вложения на осуществление m -го мероприятия в v -м варианте в T -м году для n -й последовательности; $T_{\text{МВМТН}}$ — текущие затраты после осуществления m -го мероприятия в v -м варианте в T -м году для n -й последовательности; T — расчетный срок, данный сроку создания «комплекса» плюс два срока окупаемости; $\Pi \Pi_{i \text{ втп}}$ — объем потребительского продукта i -го вида ($i = 1, \dots, I$) в v -м варианте в T -м году для n -й последовательности; $\Xi_{\text{з}}$ — замыкающие затраты на продукцию i -го вида; $Ma_{j \text{ втп}}$ — объем отвлекаемых материальных ресурсов j -го вида ($j = 1, \dots, J$) в v -м варианте T -м году для n -й последовательности; $\Xi_{\text{ор}}^j$ — экономическая оценка ресурса j — го вида; $Br^{\text{втп}}$ — время, используемое в v -м варианте в T -м году для n -й последовательности; $\Xi_{\text{ор}}^{\text{вр}}$ — экономическая оценка времени; $O_{\text{МКТН}}^{\text{тв}}$ — объем технологического выброса k -го вида ($k = 1, \dots, K$) в v -м варианте в T -м году для n -й последовательности; $\Pi_k^{\text{отв}}$ — плата за единицу объема технологического выброса k -го вида

$$B = T_{\text{вм}}^n + \Delta T_{\text{вм}}^n; \quad B = T_{\text{в}}^n(m+1) + \Delta T_{\text{в}}^n(m+1).$$

Если капиталовложения и текущие затраты в компоненты «комплекса» осуществляются одновременно, то суммирование каждого слагаемого в квадратных скобках производится отдельно в соответствующих временных интервалах a , A и b , B . Может также оказаться, что отрасли, входящие в АПК в качестве подсистем, будут иметь отличные числовые значения нормативного коэффициента E .

При этом конкретный состав мелиоративных мероприятий может быть выбран из таблицы 8.5, разработанной автором (совместно с П. В. Кирейчевой и И. Ф. Юрченко, 1987.).

8.5. Структура сельскохозяйственных мелиораций

Вид	Метод	Мероприятия
<i>Гидротехнические мелиорации</i>		
Оросительные	Подача воды извне	Строительство оросительной сети с забором воды из естественных водоемов и водотоков Строительство оросительной сети с использованием искусственных водоемов и водотоков Строительство оросительной сети с использованием повторных вод на орошение Строительство оросительной сети с использованием сточных вод
	Повышение уровня подземных вод	Переброска части стока из других источников
	Перехват поступления поверхностных и подземных вод	Создание подпора в увлажнительной сети Устройство оградяющей сети (НЛК) Строительство дамб Устройство береговых дрен Перехват притоков рек каналами
	Осушительные	Строительство осушительной сети Регулирование рек-водоприемников
Водозаборные	Ограждение от притока поверхностных вод, регулирования русловых процессов	Строительство противоселевых сооружений (селезадерживающих, селеводводящих, селенаправляющих, кольматаж низменности)
	Организация поверхностного стока	Устройство перепадов, быстротоков, труб для пропуска поверхностного стока в гидрографическую сеть Устройство ярусных лиманов и водоемов-копаней на склонах Террасирование
	Закрепление грунтов	Строительство противопопозневых сооружений
	Ускорение или задержание паводковых вод	Регулирование рек-водоприемников Сооружение водохранилищ, дамб, переброска части стока в другие речные бассейны
Обводнительные	Перераспределение стока	Строительство систем для обводнения пастбищ Строительство систем сельскохозяйственного водоснабжения
<i>Агримелиоративные мелиорации</i>		
Агрохимические	Повышение содержания гумуса	Внесение органических удобрений
	Регулирование pH почвы	Известкование Гипсование Кислование, внесение минеральных удобрений
	Регулирование солевого состава	Внесение калция Внесение химсодержащих мелиорантов Внесение минеральных удобрений Внесение микроэлементов
	Регулирование бактериального состава	Внесение пестицидов
Агротехнические	Оструктурирование почв	Внесение химических структурообразователей
	Аккумуляция поверхностного стока	Бородревание Планировка Рыхление Лунование Пахота поперек склона Щелевание Кротование Гребневание Грядование Планировка
	Ускорение поверхностного стока	

Вид	Метод	Мероприятия
Культур-технические	Окультуривание почвенного слоя	Первичная вспашка Планировка Фрезерование Дискование
	Оструктурирование почв	Глубокая вспашка с глинованием Глубокая вспашка пескованием. Глубокое рыхление с известкованием
	Регулирование условий поглощения и отражения солнечной радиации	Мульчирование Запыление снега
	Окультуривание земель	Сведение лесостепарниковой растительности, удаление пней и погребенной древесины, капитальная планировка, уборка камней, уничтожение кочек и мохового огеса Уничтожение валов Рекультивация выработок Объединение сельскохозяйственных угодий Террасирование
	Биомелиорации	
Фито-мелиоративные	Замедление поверхностного стока Закрепление почв	Посев трав Введение в севообороты многолетних трав Посадка приовражных, прибалочных лесостепарниковых насаждений, посев трав
	Изменение факторов микроклимата	Создание древесно-кустарниковых полос, кулисные посевы
Зоомелиоративные	Регулирование влажности почв Обогащение почвенной фауны Оструктурирования	Биологический дренаж Внесение бактериальных препаратов Внесение компостов с насекомыми Внесение дождевых червей
	Климатические	
Аэро-химические	Регулирование атмосферных осадков	Внесение в воздух химических веществ для образования дождевых облаков Рассеивание градовых облаков
Специальные гидрологические	Регулирование испаряемости	Создание мономолекулярных пленок на водоемах

Сформулированная методологическая основа позволяет объективно отобразить компонентный состав существующего (прогнозируемого) производства потребительских продуктов; сформулировать «комплекс» компонент, составляющих основу АПК; разработать процедуры принятия решений по выбору принципа действия АПК, структурных объектов АПК и их основных параметров.

8.4. ЕДИНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ, ИЛИ БОНИТИРОВКА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ПОЧВ

Сегодня еще остается актуальным вопрос о построении единой классификации земель, или единой бонитировки мелиорированных почв (БМП). При этом необходима одновременная классификация земель как по природным условиям, так и по показателям качества систем, реализующих определенные виды мелиораций; выделение четырех классов (категорий) мелиорированных земель в соответствии с существующими в стране градациями качества продукции: высшая, первая, вторая, третья. В основу классификации предлагается положить показатель Д.И.Шашко (1967):

$$БКП = K_p \frac{\Sigma t > 10^{\circ}C}{1000},$$

где БКП – относительный биолого-климатический потенциал; K_p – коэффициент биологической продуктивности (расчетный); $\Sigma t > 10^{\circ}C$ – сумма тем-

ператур воздуха выше 10°C; 1000 – сумма температур выше 10°C близ северной границы земледелия.

Сравнительная оценка потенциальной биологической продуктивности климата дается в условной шкале. Д.И.Шашко принята единая шкала продуктивности в баллах для условий оптимальной влажности почвы. Вес баллов для зерновых рассчитывают по их урожайности, исходя из того, что 10 т соответствует 5 баллам. Для оценки продуктивности хлопчатника, сахарной свеклы, люцерны и других культур предлагается пользоваться таблицей 8.6.

8.6. Шкала оценки продуктивности сельскохозяйственных культур

Индекс	Оценка, балл	БКП	Урожайность, т/га				
			Зерно	Хлопок-сырец	Сено люцерны	Сахарная свекла	Кукуруза на силос
Но	100	1,2...1,6	2,0	1,1	3,5	15,0	17,0
Н	100...130	1,6...2,0	2,0...2,6	1,1...1,4	3,5...4,5	15,0...20,0	17,0...22,0
Пн	130...170	2,0...2,5	2,6...3,4	1,4...1,9	4,5...6,0	20,0...25,0	22,0...29,0
С	170...210	2,5...2,8	3,4...4,2	1,9...2,4	6,0...8,0	25,0...31,0	29,0...35,0
Св	210...250	2,8...3,2	4,2...5,0	2,4...2,8	8,0...10,0	31,0...37,0	35,0...42,5
Пв	250...300	3,2...3,6	5,0...6,0	2,8...3,4	10,0...12,0	37,0...45,0	42,5...51,0
В	300...350	3,6...4,0	6,0...7,0	3,4...4,0	12,0...15,0	45,0...52,5	51,0...60,0
Во	350	4,0	7,0	4,0	15,0	52,5	60,0

Примечание: Но – очень низкая; Н – низкая; Пн – пониженная; С – средняя; Св – выше средней; Пв – повышенная; В – высокая; Во – очень высокая.

Биологическая продуктивность почвенно-климатических условий по Д.И.Шашко при естественном увлажнении очень низкая – от 5 до 20 баллов (в зависимости от районов), а при орошении – очень высокая. По многим культурам в передовых хозяйствах фактически урожайность эквивалентна 300...400 баллам и более.

Для удобства дальнейшей записи обозначим термический ресурс региона $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ через $T_{p.p}$ и поставим такую цель: вывести единую оценку для

всех регионов страны. Условно будем считать, что в СССР есть такой регион производства сельскохозяйственной продукции (СХП), где показатель $T_{p.p}$ максимальный ($T_{p.p \max}$) и имеются сортоиспытательные станции (СИС), на которых почва полностью мелиорирована, агротехника находится на высоком уровне, влажностный режим – на оптимальном биологическом уровне.

В качестве примера возьмем сельскохозяйственную культуру (СХК) – люцерну на сено ($Y_{p.p \max}^{\text{л}}$). Отношение $\frac{Y_{p.p \max}^{\text{л}}}{T_{p.p \max}}$ назовем коэффициентом урожайности термического ресурса и обозначим $K_{p.p \max}^{\text{л}}$. Этот коэффициент будем считать постоянной величиной, или эталоном продуктивности для всех регионов страны на мелиорированных и немелиорированных землях за счет термического ресурса.

Учитывая, что урожайность СХК определяется по минимальной составляющей, обеспечивающей культуру, поступим следующим образом. На полностью мелиорируемой почве СИС при высоком уровне агротехнике изменим влажностный режим в широком диапазоне, вплоть до условий богарного увлажнения, а затем рассчитаем коэффициенты влажности по зависимости

$$K_{\text{вл}}^{\text{л}} = \frac{Y_{p.p}^{\text{л}}}{K_{p.p \max}^{\text{л}} T_{p.p}}$$

где $K_{p.p \max}^{\text{л}}$ определен по вышеизложенной методике ($K_{p.p \max}^{\text{л}}$ – константа),

а $T_{p.p}$ — термический ресурс региона, в котором на СИС проводится определение урожайностей люцерны — $Y_{p.k}^A$ при k -м варианте влажности, т.е. получим график (рис. 8.11).

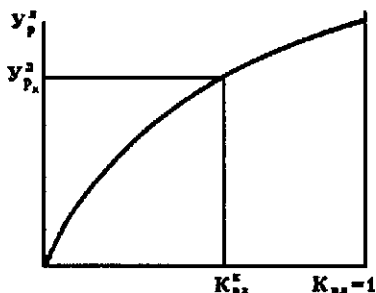


Рис. 8.11. Графическое выражение зависимости урожайности сельскохозяйственной культуры в определенном регионе от режима увлажнения почвы

Далее при различных уровнях засоления или гумусированности, подзолистости или зольности на СИС путем эксперимента установим влияние этих факторов на урожайность при различных степенях увлажнения и по формуле

$$K_{\text{зас}}^K = \frac{Y_{p.k}^A}{K_{\text{вз}}^K K_{\text{ур}}^T \max T_{p.p}}$$

рассчитаем соответствующие коэффициенты. Например, для расчета коэффициента засоленности $K_{\text{зас}}^K$ требуются графики, показанные на рисунке 8.12.

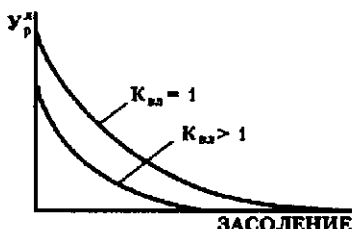


Рис. 8.12. Графическое выражение зависимости урожайности сельскохозяйственной культуры в определенном регионе от режима увлажнения и степени засоления почвы

В результате изложенного можно записать выражение для бонитета мелiorированных почв:

$$\text{БМП} = Y_p^A = K_{\text{ур}}^T \max T_{p.p} K_{\text{вз}} K_{\text{зас}}.$$

Вместо коэффициента, характеризующего засоление ($K_{\text{зас}}$), можно подставить соответственно коэффициенты, характеризующие почвы различных регионов: гумусность — $K_{\text{гум}}$, подзолистость — $K_{\text{п.зол}}$, зольность — $K_{\text{зол}}$. Методика их определения аналогична методике определения коэффициента засоленности $K_{\text{зас}}$, т.е. (для этого могут быть выбраны посевы, расположенные на участках с разными значениями исследуемого признака).

По аналогии можно ввести и коэффициент агротехники $K_{\text{ат}}$, тогда зависимость имеет вид

$$\text{БМП} = K_{\text{ур}} \max T_{\text{р.р}} K_{\text{вл}} K_{\text{почв}} K_{\text{ат}},$$

где $K_{\text{почв}}$ — коэффициент, характеризующий почвы данного региона по засоленности или гумусированности, подзолистости или зольности; $K_{\text{ат}}$ — коэффициент, характеризующий агротехнику.

При значениях $K_{\text{вл}}$, $K_{\text{почв}}$, $K_{\text{ат}}$, — приблизительно равных единице, получаем потенциально возможный бонитет почв данного термического региона.

Итак, в результате теоретических рассуждений мы получили зависимость, позволяющую оценивать БМП и в предельных случаях получать значения бонитетов идеально мелиорированных почв и почв, находящихся в богарных условиях. Наличие этой зависимости позволяет продолжить логические построения и использовать зависимость для оценки и прогнозирования БМП при разных степенях мелиоративного воздействия на почвы. Для этого необходимо произвести структурирование исходной цели, которое для нашего случая можно представить в следующем виде:

1. Бонитет возрастает за счет увеличения коэффициентов $K_{\text{вл}}$, $K_{\text{почв}}$, $K_{\text{ат}}$.
 2. Значение $K_{\text{вл}}$ увеличивается в результате создания или изменения O_p^M (оросительного модуля), D_p^M (дренажного модуля) или УГВ (уровня грунтовых вод), т.е. создание оросительной, осушительной или гидромелиоративной систем.
 3. Реализация пунктов 1 и 2 требует затраты водных (B_p), трудовых (T_p), земельных ($З_p$), энергетических ($Э_p$) и материальных ресурсов (M_p).
 4. Увеличение $K_{\text{почв}}$ в зависимости от региона требует различных комплексов мелиоративных мероприятий. Например, понижение $K_{\text{зас}}$ можно добиться внесения гипса, путем рылления, планировки, промывок почв и т.д.; увеличения коэффициента $K_{\text{п.зол}}$ — путем внесения извести, путем рылления и т.д.
 5. Реализация этих мероприятий предполагает наличие системы машин и человека, т.е. трудовых, энергетических и материальных ресурсов.
 6. Увеличение коэффициента $K_{\text{ат}}$ также требует проведения соответствующих мероприятий и наличия ресурсов.
- Все изложенное можно представить графически в виде иерархической взаимосвязи: цель — пути достижения цели — ресурсы (рис. 8.13).

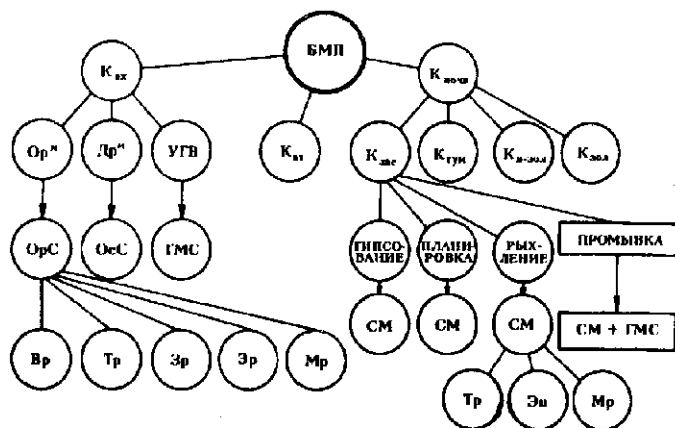


Рис. 8.13. Графическое выражение иерархической взаимосвязи: цель — пути достижения цели — ресурсы

1. При наличии в какой-то степени мелиорированной территории (площадью A) требуется получить прирост продукции (ПП) при минимальных затратах ресурсов. Для решения этой задачи можно поступить следующим образом:

а) рассчитать удельный прирост продукции:

$$У_{п.п} = ПП / A;$$

б) определить потенциальную возможность территории по приросту БМП:

$$\begin{aligned} \max \text{ ПБМП} &= \text{БМП}_{\text{пот}} - \text{БМП}_{\text{сущ}} = K_{\text{ур. макс}}^T \text{ Тр.р} - \\ &- K_{\text{ур. макс}}^T \text{ Тр.р} K_{\text{ал}} K_{\text{почв}} K_{\text{кат}} = K_{\text{ур. макс}}^T \text{ Тр.р} (1 - K_{\text{ал}} K_{\text{почв}} K_{\text{кат}}); \end{aligned}$$

в) поставить в соответствие $\max$ ПБМП прирост продукции с единицы площади и проверить реальность задания, т.е., если $\max$ ПБМП = $У_p У_{п.п}$, то задание реально, если нет, то необходимо расширение площадей. При значительном превышении значения $У_p$ над $У_{п.п}$ выбирают варианты, минимизирующие затраты ресурсов.

2. Задача та же, но накладывают ограничение на имеющийся ресурс, например водный. Тогда отыскивают варианты, реализующие задачу, но при одном ограниченном ресурсе.

3. Задача может быть поставлена следующим образом: какой максимальный прирост БМП можно достигнуть на площади A при ограничениях по всем указанным выше ресурсам и т.д.

Таким образом, предлагаемый подход по БМП позволяет не только классифицировать почвы на основе оценки их бонитета, но и определять прирост БМП в зависимости от набора мероприятий и их действенности.

В заключение следует сказать, что в качестве эталонной величины вместо $Тр.р$ может быть принята и какая-либо другая, например фотосинтетическая активная радиация (ФАР). Приемлемость того или иного эталона можно установить только после массовой обработки фактического материала и выполнения соответствующих расчетов.

Следует отметить, что обработка проектной документации или документации, полученной на существующих системах в виде ресурсных составляющих, позволит при обратном переходе к технологическим конструктивным решениям выполнить классификацию и установить в зависимости от региона наборы возможных инженерных систем, реализующих необходимые мероприятия для увеличения прироста БМП.

В этом отношении могут быть полезны концепции, изложенные в «Методике автоматизированного анализа данных при выборе и размещении мелиораций и мелиоративных систем на предпроектной стадии (мелиоративного кадастра)», разработанные ВНИИГиМом, ВГУ и ЦОУгипроводхозом.

ГЛАВА 9. Начальные стадии проектирования*

9.1. АДАПТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ МЕЛИОРАЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК КАЧЕСТВА

При разработке схем развития и размещения мелиораций оптимизируют структуру и параметры системы, включающей объекты мелиоративного строительства (ОМС), а также взаимосвязанные с ними источники ресурсов (ИР). Цель структурной оптимизации — сокращение перечня возможных ОМС и ИР. Параметрическая оптимизация связана с определением объемов мелиоративных работ и мощностей ИР.

* Глава написана совместно с О.Г.Гохманом, А.И.Каплинским, И.Б.Руссманом, В.М.Умывакиным.

Для моделирования взаимосвязей между ОМС и ИР предлагается использовать интегральные оценки трудности обеспечения ОМС дефицитными ресурсами из ИР, которые характеризуют степень выполнения требований, предъявляемых ОМС к качеству ресурса в ИР. Данные оценки строят путем обработки информации о потребности в мелиорации, в ресурсах, объемах и качестве ресурсов, потребляемых при выполнении мелиоративных работ. На основе этих данных формируют оценки стимулирующего развития ИР.

Характерная черта рассматриваемых задач выбора наилучших вариантов – трудность выявления и формализации на априорном уровне содержательных принципов, лежащих в основе их математического моделирования.

При выработке наилучших вариантов вступают во взаимодействие противоречивые глобальные цели развития системы, что требует постановки и решения соответствующих задач многоцелевой оптимизации (МО). Однако наличие широкого спектра целей – от экономических до экологических – затрудняет формирование и одновременный учет критериев, характеризующих качество вариантов. В такой ситуации необходима «подстраховка» экономических критериев рядом содержательных принципов (в частности, принципами сохранения плодородия почв и ресурсосбережения), которые сопутствуют социальным и экологическим целям. Однако проявление действия таких принципов не поддается количественной оценке в рамках базовых (типовых) моделей (например, модели распределения ограниченных ресурсов). Конечная цель математического моделирования рассматриваемых слабоформализованных задач выбора заключается в построении на основе базовой модели расширенной оптимизационной модели. Эта модель позволяет выявить потенциальные возможности обеспечения объектов системы дефицитными ресурсами в соответствии с заданными контрольными цифрами ее развития с учетом научно-технического прогресса. Здесь термин «ресурс» принимается в обобщенном смысле. Поэтому в качестве ИР выступают земельные массивы перспективной мелиорации, водоисточники, отраслевые базы промышленности, организации – поставщики оборудования и т.д.

Выработку устойчивых компромиссных решений предлагается перенести с уровня глобальных целей (результата) на уровень локальных целей (ресурсов), выбрав некоторую универсальную характеристику трудности их достижения (обеспечения дефицитными ресурсами). Это требует перехода от содержательных принципов, которые формулируются на глобальном уровне (вне математических моделей), к принципам математического моделирования, допускающим формализованное проявление своего действия в рамках определенных промежуточных моделей МО с помощью набора локальных критериев (предцелевых функций). Так, принцип ресурсообразования приводит к принципу гибкого управления интенсивностью потребления ресурсов из ИР на основе совершенствования технологии. Действие данного принципа проявляется в отказе от определенных ИР или в снижении интенсивности потребления ресурсов из них. Далее необходимо согласование эколого-экономического принципа отказа от ИР с определенными принципами многоцелевой оптимизации.

Построение расширенной модели ресурсной оптимизации включает два уровня – *априорный* и *апостериорный* (имитационного моделирования).

Первый уровень связан с описанием типов исходной информации, обеспечивающей однозначное восстановление целевой функции данной модели в соответствии с определенной «жесткой» технологией. Для этого используют математический аппарат, позволяющий сконструировать оценки стимулирующего развития ИР (своего рода внутренние цены ресурсов). Эти оценки являются коэффициентами линейной целевой функции типа «обобщенных» затрат. Они отражают информацию о значимости тех или иных ресурсов для достижения противоречивых целей развития системы (для установления компромисса между противоречивыми требованиями к качеству наилучших вариантов). Поэтому

конструируемая целевая функция имеет смысл производственной и учитывает нелинейный характер зависимости «ресурсы – результат».

Второй уровень ориентирован на учет и преодоление неточности исходной информации, используемой для формирования оценок стимулирующего развития ИР, и включает два основных этапа. На первом этапе на фоне предельных функций идет балансировка решений по дефицитным ресурсам путем последовательных приближений. При этом должны выполняться контрольные цифры, что требует выявления путем интенсивного развития системы, компенсирующих отказ от некоторых ИР. Последнее возможно только при нарушении (размывании) лимитирующих ограничений по ресурсной базе системы. Другими словами, данные ограничения должны выполняться лишь в среднем. Этот важный принцип математического моделирования, по существу, является отражением имеющейся инерционности системы и соответствует стратегии преимущественной реконструкции ее объектов. На втором этапе корректируют коэффициенты целевой функции расширенной модели. Устанавливаемые оценки позволяют свернуть локальные критерии качества и перейти от многокритериальной модели ресурсной оптимизации к однокритериальной расширенной модели. Именно имитационное моделирование дает возможность согласовать принцип отказа от ИР с принципами многоцелевой оптимизации (например, лексикографическим принципом и принципом компенсации). При этом отказ от определенных ИР обеспечивает устойчивость компромиссных вариантов ресурсного обеспечения развития мелиорации.

Таким образом, построение расширенной модели – это процесс многовариантного анализа задачи ресурсной оптимизации, имеющий имитационный характер и направленный на восстановление оценок стимулирующего развития ИР.

Построение расширенной оптимизационной модели задачи выбора наилучших вариантов ресурсного обеспечения перспективного развития мелиораций. Для формирования устойчивых компромиссных вариантов ресурсного обеспечения развития мелиорации и их целенаправленного анализа необходимо решить комплекс взаимосвязанных в информационном и алгоритмическом аспектах задач (рис. 9.1). Их связь состоит в том, что результат решения одной из них служит входной информацией для другой задачи или нескольких других. При этом в качестве основной рассматривают задачу оптимизации ресурсного обеспечения перспективного развития мелиорации. Она заключается в рациональном распределении (закреплении) природных, материально-технических, энергетических, трудовых, финансовых и других ресурсов по ОМС.

Опишем количественно трудность d_{ij} получения требуемого результата мелиорации на i -м ОМС по качеству ресурса из j -го ИР. Обозначим μ_j качество ресурса в j -м ИР, а ε_{ij} – требования i -го ОМС к качеству ресурса в j -м ИР. Эти требования порождены требованиями к результату мелиорации на i -м ОМС при заданной технологии мелиоративных работ. Требования к качеству ресурса удовлетворяются, если $\mu_j \geq \varepsilon_{ij}$. Будем считать, что $0 \leq \mu_j, \varepsilon_{ij} \leq 1$. При $\mu_j \geq \varepsilon_{ij}$ количественная оценка трудности обеспечения i -го ОМС ресурсом из j -го ИР определяются по формуле

$$d_{ij} = [\varepsilon_{ij} (1 - \mu_j)] / [\mu_j (1 - \varepsilon_{ij})]$$

Она является мерой несоответствия ресурса из j -го ИР требованиям к его качеству, которые порождены требованиями к результату мелиорации на i -м ОМС. Поэтому величины d_{ij} являются «трудностями» получения результата на i -м ОМС по качеству ресурса из j -го ИР и, следовательно, позволяют количественно описать географическую и технологическую взаимосвязь ОМС и ИР.

Величины $C_{ij} = \ln[1 / (1 - d_{ij})]$ отражают информацию о значимости j -го ИР для получения требуемого результата на i -м ОМС (информацию о дефицит-

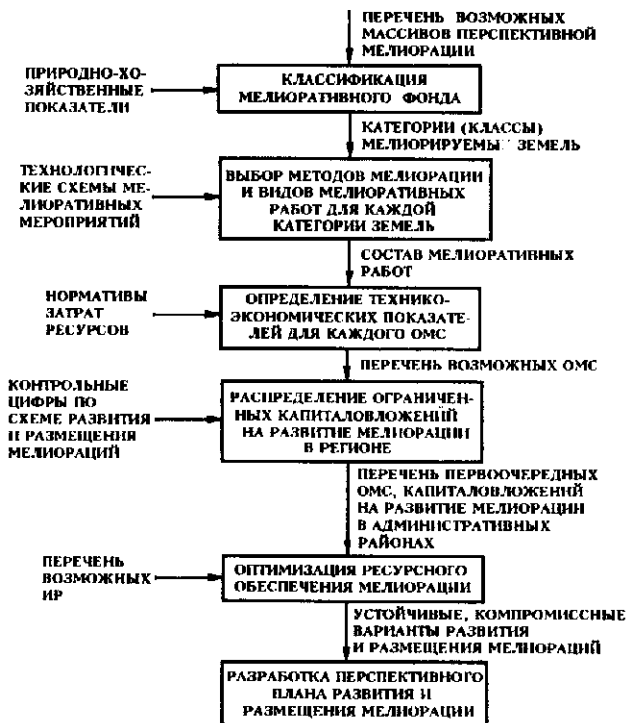


Рис. 9.1.
Основные технологические этапы прохождения и переработки информации при разработке схем развития и размещения мелиорации

ности ресурса из j -го ИР, потребляемого для выполнения мелиоративных работ на i -м ОМС). В связи с этим характеристики C_{ij} интерпретируют как оценки стимулирующего развития ИР (своего рода внутренние «цены» при использовании i -м ОМС единицы ресурса определенного качества из j -го ИР).

Отметим основные свойства оценок C_{ij} :

- 1) $C_{ij} = 0$ при $d_{ij} = 0$;
- 2) $C_{ij} \rightarrow \infty$ при $d_{ij} \rightarrow 1$.

Требование всемерной экономии природных, материально-технических, трудовых, финансовых и других ресурсов при многоцелевой ресурсной оптимизации реализуется на основе отказа от определенных ИР (точнее говоря, снижения интенсивности потребления ресурсов из этих источников). Аргументом для отказа служит неопределенность информации в отношении их использования. Отказ от ИР приводит в конечном счете к перераспределению капитальных вложений на развитие мелиорации, связанному с увеличением объемов и повышением качества ресурсов в ИР, а также совершенствованием технологии мелиоративных работ.

Угруппенная блок-схема построенная расширенной оптимизационной модели ресурсного обеспечения мелиорации с использованием стандартных обозначений для записи алгоритмов и программ показана на рисунке 9.2.

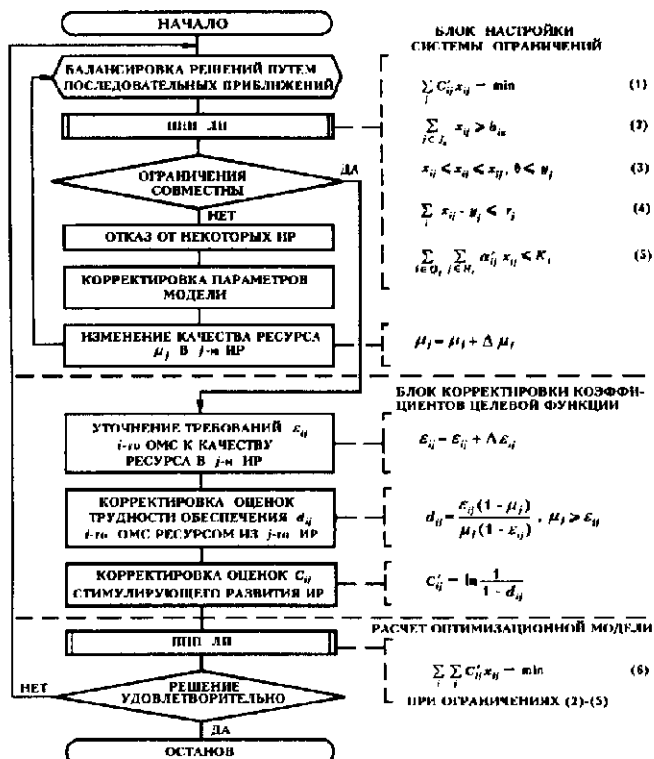


Рис. 9.2.
Укрупненная блок-схема построения и расчета расширенной оптимизационной модели ресурсного обеспечения мелиорации

Индексы модели: i – индекс ОМС, $i = \overline{1, N}$; j – индекс ИР, $j = \overline{1, M}$; k – индекс вида ресурса, $k = \overline{1, L}$; t – индекс административного района, $t = \overline{1, S}$.

Исходные данные модели: b_{ik} – потребность i -го ОМС в ресурсах k -го вида; x_{ij} и $\bar{x}_{ij}$ – соответственно минимальная и максимальная потребность i -го ОМС в ресурсе из j -го ИР; r_j – априорно установленный доступный объем ресурса в j -м ИР; α_{ij} – затраты на обеспечение i -го ОМС из группы O_t единицей ресурса из j -го ИР из группы H_t ; K_t – объем капиталовложений на развитие мелиорации в t -м административном районе; β_j – коэффициент относительной влажности j -го ИР.

Переменные модели: x_{ij} – объем ресурса, потребляемого при выполнении мелиоративных работ на i -м ОМС из j -го ИР; y_j – недостающий объем ресурса в j -м ИР.

Рассмотрим этапы построения расширенной оптимизационной модели ресурсного обеспечения мелиорации более подробно.

По существу, вопрос о перспективном развитии и размещении мелиорации сводится к вопросу о стимулирующем развитии определенных источников ресурсов (увеличению располагаемых водных ресурсов, повышению мощности

баз стройиндустрии и т. д.). Существующие цены часто не соответствуют реальной ситуации обеспеченности ОМС ресурсами. Например, дефицитный ресурс может иметь низкую цену, а легкодоступный — высокую (вода в Сибири и вода в Средней Азии). Поэтому в качестве коэффициентов целевой функции линейной оптимизационной модели ресурсного обеспечения мелиорации целесообразно использовать показатели C_{ij} (оценки стимулирующего развития ИР).

В дальнейшем будем различать априорный и апостериорный этапы обработки информации в процессе математического моделирования задач выбора наилучших вариантов.

Пусть на априорном этапе обработки информации восстановлены характеристики стимулирующего развития ИР C_{ij} — «внутренние цены» по обеспечению i -го ОМС единицы ресурса определенного качества из j -го ИР. Отметим, что чем больше C_{ij} , тем больше критичность (чувствительность к изменению) объема и качества ресурса из j -го ИР для получения требуемого результата мелиорации на i -м ОМС. При этом $[C_{ij}] = [x_{ij}]^{-1}$, где квадратные скобки обозначают размерность величин. Тогда $C_{ij} x_{ij}$ — затраты на обеспечение i -го ОМС ресурсом из j -го ИР в объеме x_{ij} .

В качестве целевой функции линейной оптимизационной модели ресурсного обеспечения мелиорации предлагается использовать суммарные «обобщенные» затраты.

При построении оптимизационной модели естественно учесть требования по обеспеченности каждого планируемого ОМС определенными видами ресурсов в необходимом объеме (потребность в ресурсах). Эти требования целесообразно установить на основе технико-экономического обоснования ОМС.

Выделим отдельные виды (однородные группы) ресурсов:

$$J_1, \dots, J_L \quad (L < M).$$

Так, группа «водные ресурсы» может включать все источники поверхностных, подземных и сточных вод. Тогда вышеуказанные требования запишутся в виде указанных выше ограничений. Здесь предполагается взаимозаменяемость ресурсов в пределах выделенных однородных групп J_k , $k = 1, L$. В противном случае, эти ограничения должны быть дополнены некоторыми соотношениями взаимозаменяемости.

Допустим, что выделенные капиталовложения распределены по группам объектов мелиоративного строительства ($Q_1, \dots, Q_S$) и соответствующим группам источников ресурсов ($H_1, \dots, H_S$). В основу разделения на группы Q_k и H_k могут быть положены административно-хозяйственные или программно-целевые принципы в отличие от разделения источников ресурсов на однородные группы J_k по видам ресурсов.

Предположим также, что с учетом географического положения определены априорные удельные затраты α_{ij}^1 , связанные с использованием на i -м ОМС из группы Q_k единицы ресурса из j -го ИР группы H_k . Кроме того, установлены лимиты капиталовложений K_k , выделяемых на обеспечение объектов мелиоративного строительства, входящих в группу Q_k , ресурсами из источников группы H_k . Потребуем, чтобы выполнялось вышеуказанное ограничение. Аналогичным образом могут быть сформулированы ограничения на материально-техническое обеспечение и др.

Итак, имеется фрагмент линейной оптимизационной модели ресурсного обеспечения мелиорации. Следует отметить параметрический характер предлагаемой модели. Так, величины α_{ij}^1 на основе которых формируются коэффициенты C_{ij} целевой функции, могут быть уточнены в процессе балансировки предплановых эколого-экономических решений путем последовательных приближений.

Чтобы ответить на вопрос, можно ли совместить требования к ресурсному обеспечению мелиорации в рамках выделенных капиталовложений и основных

видов ресурсов, в балансовую модель (9.1)...(9.5) вводят управляющие переменные u_j , значения которых показывают недостающие объемы ресурсов в конкретных ИР. Это важная советующая информация для экспертов, облегчающая принятие решения об отказе от определенных источников на основе оценки возможностей повышения интенсивности использования ресурсов из остальных ИР. В этом смысле предлагаемая модель является имитационной.

Фрагмент оптимизационной модели базируется на априорной информации, которая не всегда реально отражает эффект взаимного влияния ИР на обеспеченность ОМС необходимыми ресурсами. Неполнота и неточность данной информации приводит к тому, что модель становится чувствительной к изменению ее параметров. В связи с этим настройка системы ограничений осуществляется в режиме имитационного моделирования. Его конечная цель – уточнение исходной информации, используемой для формирования интегральных оценок d_{ij} трудности обеспечения ОМС ресурсами по «жесткой» технологии. В связи с этим возникает необходимость приведения в соответствие «внутренних цен» C_{ij} и стимулирующего развития определенных ИР на апостериорном этапе обработки информации.

Возможны следующие пути уменьшения C_{ij} путем снижения трудностей d_{ij} обеспечения i -го ОМС ресурсами из j -го ИР.

При фиксированной технологии мелиоративных работ:

1) в результате отказа от определенных ИР и высвобождения соответствующих капиталовложений и ресурсов имеется возможность увеличить объем и (или) повысить качество ресурса из j -го ИР;

2) снижают требования к результату мелиорации на i -м ОМС. Это позволяет снизить требования к ресурсам в j -м ИР.

В условиях совершенствования технологии мелиоративных работ при фиксированных требованиях к их результату на i -м ОМС:

1) при неизменных объеме и качестве ресурса из j -го ИР появляется возможность снизить требования к ресурсам;

2) отсутствует перспектива увеличения объема и повышения качества ресурса в отдельных ИР.

Здесь учитывается тот факт, что совершенствование технологии мелиоративных работ может кардинальным образом изменить представление ЛПР о потенциальных возможностях обеспечения ОМС ресурсами из тех или иных ИР.

В результате непользования имитационных моделей осуществляется переход от удельных характеристик ресурсов (например, нормативов), которыми мы располагаем на априорном этапе, к новым характеристикам – конкретным объемам ресурсов, потребляемых из определенных ИР. Эту информацию используют для выбора технологии мелиоративных работ. По существу, она служит основой для пересмотра «внутренних цен» C_{ij} . Расчет модели (9.2)... (9.6) с апостериорными коэффициентами C_{ij} целевой функции дает возможность выявить оптимальные варианты ресурсного обеспечения мелиорации.

Уточнение «внутренних цен» C_{ij} на постериорном этапе обработки информации основано на использовании многокритериальных моделей ресурсной оптимизации, позволяющих осуществить корректировку (в частности, правых частей l_j ограничений) балансовой модели.

Выделим следующие вопросы, связанные со стимулирующим развитием ИР:

1) о перспективности использования ИР; при этом исследуют возможности уменьшения объемов потребляемых ресурсов;

2) о дефицитности ресурсов в ИР; здесь требуется по возможности уменьшить недостающие объемы ресурсов в источниках;

3) об обеспечении ОМС ресурсами из возможно меньшего числа ИР.

Во всех этих случаях речь идет о качественной информации, позволяющей выяснить, насколько важно для разработчиков схемы сокращения списка ИР в критических ситуациях, связанных с трудностью обеспечения ОМС заданными объемами ресурсов. Применение соответствующих имитационных и многокритериальных моделей задачи выбора наилучших вариантов связано с попыткой развернуть качественную информацию в количественную.

Для организации процесса имитационного моделирования используют набор разноименных показателей y_j (предцелевых функций), $j = \overline{1, M}$, с помощью которых учитывают экспертную информацию о важности ИР при реализации определенных принципов многоцелевой оптимизации (компромисса).

Для ответа на поставленные вопросы необходимо организовать диалог с ЛПР на языке разноименных показателей y_j , характеризующих интенсивность использования ресурсов из соответствующих ИР. В результате приходим к многокритериальной постановке задачи выбора наилучших вариантов ресурсного обеспечения мелиорации. Вопросу о дефицитности ресурсов в ИР соответствует следующая модель МО:

$$\begin{aligned} y_i &\rightarrow \min_{X, y'} \\ &\dots\dots\dots \\ y_M &\rightarrow \min_{X, y'} \end{aligned} \quad (9.1)$$

где X — матрица $||x_{ij}||$ размерности $N \times M$, а y' — вектор размерности M .

Введение в качестве управляющих переменных разноименных предцелевых функций y_j позволяет сформировать целевую функцию (9.1) балансовой модели. Коэффициенты β_j , которые учитывают относительную важность и физическую размерность показателей y_j , можно выбрать на основе экспертной информации о приоритете ИР в рамках лексикографического подхода к МО. Причем чем выше приоритет j -го ИР, тем больше β_j .

Вместо попытки априорного сворачивания предцелевых функций y_j предлагается решить адаптивную алгоритмизацию задачи выбора наилучших вариантов ресурсного обеспечения мелиорации. В данном случае величины β_j , удовлетворяющие условию нормировки, интерпретируются как вероятности привлечения в качестве основной цели ресурсной оптимизации отдельных предцелевых функций.

В диалоговых адаптивных алгоритмах учитывается возможность получения текущей экспертной информации и повышения способности ЛПР к оценке предпочтительности варианта ресурсного обеспечения в процессе имитационного моделирования. При этом преследуется цель сокращения перечня возможных ИР. В качестве советующей информации эксперты получают систему компенсации, т.е. сведения о возможности наращивания мощностей ряда ИР за счет отказа от других при заданных контрольных цифрах развития мелиорации. В результате диалога с ЛПР формируется целевая функция и становится совместной система ограничений балансовой модели.

Данная целевая функция стимулирует экономию дефицитных ресурсов. В предлагаемой технологии моделирования она «рождается» на основе контрольных цифр развития мелиорации. Ее формирование позволяет преодолеть трудности, характерные для многоцелевых задач принятия решений в ситуациях, когда имеется большое число разноименных предцелевых функций и возможно оперировать лишь значениями этих функций, так как отсутствует их явный аналитический вид.

Адаптивная алгоритмизация слабоформализованных задач ресурсной оптимизации. Низкий информационный уровень математического описания слабоформализованных задач выбора связан с неопределенностью требований к качеству наилучших вариантов и нестандартностью ситуаций принятия решений.

Неопределенность в выборе критерия оптимальности и в задании ограничений порождены наличием большого числа разноименных, противоречивых показателей качества и их принадлежностью к различным иерархическим уровням принятия решений. Подчеркнем, что само понятие «качество» вариантов и необходимость его оценки приводит к многоцелевым (многокритериальным) задачам принятия решений, в которых активно используются знания, опыт и эвристические способности лица, принимающего решения (ЛПР).

Нестандартность ситуации принятия решения характеризуется высокой размерностью задачи, алгоритмической формой задания зависимостей (возможностью вычисления для каждого варианта лишь значений предцелевых функций и функции ограничений), незнанием явного аналитического вида функции предпочтения (ФП) ЛПР (возможностью оперировать в процессе поиска наилучших вариантов только «поточечным» знанием ЛПР о ФП) и др.

Наличие нескольких предельных (асимптотических) целевых установок вызывает необходимость в многокритериальной постановке задач выбора наилучших вариантов.

Такая постановка имеет следующую неформальную запись:

$$\begin{aligned} f_1(x) &\rightarrow \min_{x \in D}; \\ &\dots\dots\dots \\ f_m(x) &\rightarrow \min_{x \in D}; \end{aligned} \quad (9.2)$$

где $x = (x_1, \dots, x_n)$ — вектор переменных; $f = (f_1, \dots, f_m)$ — вектор предцелевых функций; D — допустимое множество вариантов.

Она отражает различные требования к качеству наилучших вариантов в экстремальной форме без осознания, по существу, ЛПР компромисса между значениями противоречивых предцелевых функций.

Различные подходы к проблеме многоцелевой оптимизации (МО) отличаются разнообразием ситуаций принятия решений, в которых их стараются применять, пониманием наилучшего варианта, соотношением априорной и текущей информации, используемой для выявления стратегии компромисса, и др. Так, при нормативном (аксиоматическом) подходе поиск наилучшего варианта сводится к выбору принципа оптимальности и (или) формированию ФП в результате проверки заданной системы аксиом о естественном поведении ЛПР.

Если ЛПР трудно поставлять достоверную исходную информацию, то целесообразно сначала применять адаптивный подход. Он связан с организацией процесса взаимного обучения ЛПР и исследователя операций (консультанта по принятию решений, ЭВМ) построению ФП. При этом понятие наилучшего варианта формулируется на языке разноименных предцелевых функций. Кроме того, отпадает трудная проблема их нормировки, существующая при аксиоматическом подходе.

Рациональным, с нашей точки зрения, является совместное применение аксиоматического и адаптивного подходов. Причем адаптивные человеко-машинные процедуры составляют основу «гибкой» части, а аксиомативное свертывание предцелевых функций — «жесткой» части технологии математического моделирования задач выбора наилучших вариантов. Рассматриваемые ниже задачи МО являются слабоформализованными, т.е. нуждающимися в более полной формализации.

Направляющий методологический принцип математического моделирования многоцелевых слабоформализованных задач заключается в такой переформулировке исходной постановки, которая позволяет учесть особенности их последующей алгоритмизации, связанные с ориентировкой на нижний информационный уровень.

Далее будем предполагать лишь существование оптимизированной функции предпочтения ЛПР. Причем явный аналитический вид данной функции неизвестен и имеется возможность лишь сравнивать значения ее реализаций. Для получения реализаций ФП используются ответы ЛПР на определенные вопросы, например: «Укажите номер предцелевой функции, значение которой должно быть улучшено для перехода к более предпочтительному варианту?»; «Каковы удовлетворительные уровни предцелевых функций?»; «В каких пределах находятся вероятности, с которыми необходимо улучшать значения той или иной предцелевой функции?»; «Какой из двух вариантов предпочтительнее?» и т. д. Здесь в качестве измерительного устройства выступает человек, имеющий ограниченные психофизиологические возможности по переработке многомерной информации. Поэтому в условиях неопределенности требований к качеству наилучших вариантов осознание компромисса и формирование ФП (свертывание предцелевых функций) должны базироваться на методе «проб и ошибок». Важность и необходимость ошибок в ответах ЛПР объясняется тем, что они не только обеспечивают «приближение к цели — компромиссу, но и удаление от этой цели, что несет большую информацию, формирующую дальнейшие шаги ЛПР».

Таким образом, функцию предпочтения целесообразно рассматривать как результат осреднения случайной оценочной функции ЛПР, реализации которой, по существу, используются при локальном сравнении вариантов. При этом функция предпочтения формируется в результате агрегирования «точечных» знаний ЛПР (осреднения его ответов) и понимается как асимптотическая цель. Для приведения в соответствие математической постановки уровню алгоритмизации задачу (9.2) необходимо переформулировать в виде следующей однокритериальной задачи стохастической оптимизации (СО):

$$\Psi(x) = M_Z\{\hat{F}[f_1(x), \dots, f_m(x), Z]\} \rightarrow \min_{x \in D}, \quad (9.3)$$

где Z — случайный вектор, отражающий неточность, неуверенность в ответах ЛПР при сравнении реализации некоторой случайной оценочной функции $\hat{F}[\cdot]$ (при оценке качества того или иного варианта); $M_Z\{\cdot\}$ — математическое ожидание оценочной функции ЛПР по Z ; $\Psi(x) = \varphi[f_1(x), \dots, f_m(x)]$ — некоторая свертка предцелевых функций, строго монотонная по предпочтениям ЛПР.

Перейдем к созданию в рамках некоторой однокритериальной задачи СО потенциальных возможностей по преодолению неопределенности в требованиях к качеству наилучших вариантов в нестандартных ситуациях принятия решений.

Вначале выделим универсальное свойство нестандартности ситуаций в целом на алгоритмическом уровне. Такое свойство — «нелокальность», связанная с трудностью предсказания поведения функции предпочтения ЛПР в области поиска наилучших вариантов. Поэтому повышение эффективности проектируемых алгоритмов МО должно базироваться на выявлении скрытых статистических закономерностей (случайных факторов), лежащих в основе прогнозирования осредненного поведения оценочной функции ЛПР. Для нахождения факторов в проектируемых алгоритмах процесс собственно поиска наилучших вариантов должен рационально сочетаться с процессом исследования ФП (генерирования и обработки статистической информации). Как следствие — необходимо привлекать универсальные (в первую очередь вероятностные) схемы перебора для восполнения недостающей статистической информации, а также выявлять статистические связи между переменными, обусловленные действием случайных факторов. Последнее определяет выбор носителя информации, участвующей в способах повышения эффективности проектируемых алгоритмов МО. В данном случае носителями статистических связей являются распределения, т. е. система статистически связанных случайных векторов.

Необходимость выявления случайных факторов, отражающих статистическую связь между переменными, а также привлечения вероятностных схем перебора требует расширения понятия «переменная». Поэтому необходим переход от исходных, детерминированных переменных $x_1, \dots, x_n$ к обобщенным случайным переменным $X_1, \dots, X_n$. В силу рандомизации переменных предельные функции и ФП оказываются случайными величинами. В связи с этим для получения количественной оценки вариантов естественно перейти к осредненным характеристикам. В результате приходим к следующей однокритериальной задаче СО:

$$\Phi(X) = M_X \{ M_Z \{ \hat{F}[f_1(X), \dots, f_m(X), Z] \} \} \rightarrow \min_{\{X\}}, \quad (9.4)$$

где $\Phi(X)$ – некоторый функционал, заданный на множестве случайных векторов $\{X\}$, в котором ведется поиск оптимального решения $X = X^*$.

Рассмотрим вопросы «привязки» к рандомизированной постановке (9.9) задачи МО регулярной алгоритмической базы СО с вероятными гарантиями отыскания наилучших вариантов. Алгоритмы СО позволяют, не зная явного аналитического вида целевого функционала и оперируя лишь реализациями случайной оценочной функции ЛПР (стоящей под знаком математического ожидания), оптимизировать этот функционал.

Формализация задачи (9.2) в виде рандомизированной постановки достаточна для построения в рамках схем стохастической аппроксимации адаптивных человеко-машинных процедур принятия решений, соответствующих нижнему информационному уровню и обеспечивающих достижение асимптотической цели в вероятностном смысле. Данные процедуры являются корректными человеко-машинными процедурами (с точки зрения достоверности дополнительной информации, получаемой от ЛПР) в соответствии с принятой терминологией (Ларичев, Поляков, 1980). Кроме критерия «соответствия требований метода возможностям ЛПР», проектируемые алгоритмы МО должны оцениваться по следующим критериям: чувствительность к случайным ошибкам ЛПР и скорость сходимости (число итераций и число обращений к ЛПР).

Практическое применение вероятностных итерационных процедур МО обеспечивает определенную скорость сходимости даже при наличии ошибок в ответах ЛПР.

При поиске наилучших вариантов в множестве случайных векторов $\{X\}$ используют итерационные процедуры перестройки распределений, которые ниже будут получены в рамках вариационного подхода по отношению к рандомизированной постановке. В данных процедурах для получения начального приближения целесообразно привлекать универсальные схемы перебора, например метод ЛП-поиска. Человеко-машинные процедуры принятия решений, основанные на данном методе, дают возможность получать репрезентативную выборку без обращения к ЛПР в результате генерирования заданного числа вариантов, наиболее равномерно заполняющих область поиска. Однако в методе ЛП-поиска ограничены возможности использования дополнительной информации ЛПР при целенаправленном построении множества вариантов.

Для выявления осредненной тенденции формирования функции предпочтения важно иметь «первичную» статистику, т.е. текущую информацию, получаемую в процессе диалога от ЛПР и отражающую указанные выше противоречия в его ответах. В качестве источника такой статистики (обучающей последовательности) могут быть использованы адаптивные человеко-машинные процедуры, функционирующие на нижнем информационном уровне. В связи с этим возникает необходимость совершенствования данных процедур на основе сужения области поиска наилучших вариантов.

Для сужения области поиска (сокращения перебора) воспользуемся важным свойством задач МО – принадлежностью оптимального решения мно-

жеству парето-оптимальных вариантов (компромиссных точек). Поэтому для совершенствования проектируемых вероятностных адаптивных процедур МО к полному перебору вариантов необходимо добавить параметрические способы целенаправленного движения в множестве Парето.

Процесс обучения ЛПР в оценке возможностей компромисса в среднем должен базироваться на его ознакомлении с различными промежуточными формами проявления последствий принимаемых решений. Универсальный способ проявления таких последствий — обнажение противоречий в ответах ЛПР, к которым приводит выбор отдельной предцелевой функции в качестве основного критерия оптимальности. Наиболее ярко такие противоречия проявляются на парето-оптимальных вариантах или в их окрестности.

Таким образом, диалог ЛПР — ИО на нижнем информационном уровне должен сопровождаться тенденцией выхода в определенную часть множества Парето. Данную тенденцию необходимо «вынести» на уровень постановки некоторой задачи СО, отражающей неопределенность в выборе критерия оптимальности.

Известно, что целенаправленное движение в множестве эффективных точек можно определять путем решения задач

$$\sum_j p_j f_j(x) \rightarrow \min_{x \in D'} \quad (9.5)$$

выбрав различные наборы параметров $p = (p_1, \dots, p_m)$, удовлетворяющие условию

$$\sum_j p_j = 1, \quad p_j \geq 0, \quad j = \overline{1, m}.$$

Дополнительную экспертную информацию о приоритете предцелевых функций часто не удается застabilизировать из-за наличия ошибок в ответах ЛПР. В этом случае «окончательная» свертка (9.11) не всегда имеет практический смысл. Сформулируем задачу СО, эквивалентную в определенном смысле задаче (9.10) и приводящую к более полной формализации исходной задачи МО (9.7). Для удобства последующей алгоритмизации числовые оценки приоритета p_j будем интерпретировать как вероятности выбора j -й предцелевой функции в качестве основного критерия оптимальности соответствующей однокритериальной модели.

Введем в рассмотрение дискретную случайную величину V , отвечающую за организацию диалога ЛПР — ЭВМ, который поддерживается процедурами целенаправленного движения в определенную часть множества Парето. Она принимает значения $1, \dots, m$ с вероятностями $p_1, \dots, p_m$ и соответственно характеризует неопределенность в выборе единого критерия оптимальности. С величиной V связана функция $f_V(x)$, принимающая в качестве реализаций набор предцелевых функций $f_1(x), \dots, f_m(x)$. Тогда задача (9.10) приобретает вид

$$M_V\{f_V(x)\} \rightarrow \min_{x \in D'} \quad (9.6)$$

Случайные величины V (вероятности $p_j, j = \overline{1, m}$) являются непосредственно управляемыми параметрами (параметрами обучения) этих алгоритмов, причем реализации v случайной величины V в качестве основного критерия соответствует привлечение предцелевой функции $f_v(x)$.

Располагая приближенным решением $x(V)$ задачи (9.6) и, следовательно, набором значений $f_1(x(V)), \dots, f_m(x(V))$ ЛПР поставляет дополнительную информацию, которую используют при корректировке V . Для получения данной информации используют ответы ЛПР на вопросы, связанные с реализациями его оценочной функции предпочтения. Например: «Укажите номер предцелевой функции, по которой достигнут неудовлетворительный уровень» или «Укажите номера предцелевых функций, значения которых необходимо улучшить для пе-

рехода к более предпочтительному варианту, и номера предцелевых функций, для которых допустимо снижение качества». Информацию от ЛПР обрабатывают, корректируют параметры обучения и в результате получают новый вариант. (В адаптивных процедурах МО предполагается возможность многократного обращения к ЛПР для получения дополнительной информации.)

Технология организации диалога ЛПР – ЭВМ, связанного с целенаправленным движением в окрестности парето-оптимальных вариантов, базируется на следующем принципе корректировки случайной величины V : увеличиваются вероятности p_j выбора в качестве основного критерия оптимальности тех предцелевых функций, по которым достигнуты неудовлетворительные уровни. Корректировка осуществляется в соответствии с условиями локального улучшения. Эти условия позволяют определить, вероятности каких предцелевых функций необходимо увеличить, каких уменьшить, а каких оставить без изменения.

Настройку вероятностей p_j ведут на основе ответов ЛПР в процессе очередных оптимизаций отдельных предцелевых функций с определенным для каждой промежуточной однокритериальной модели временным масштабом работы – на один шаг работы с одной предцелевой функцией может приходиться, например, три шага работы с другой и т.д.

Рандомизированная переформулировка исходной многоцелевой постановки (9.2) слабоформализованных задач принятия решений в виде однокритериальной задачи СО (9.6) позволяет выполнить следующие важные апостериорные требования к условиям функционирования проектируемых адаптивных процедур МО.

1. Организовать гибкий диалог ЛПР – ЭВМ на естественном для ЛПР языке разномысленных предцелевых функций.

2. Работать ЛПР в процессе диалога с отдельными предцелевыми функциями или их группами.

Подчеркнем, что при работе с многомерной информацией (например, при наличии большого числа разномысленных критериев качества) ЛПР изначально ориентировано на использование упрощенных стратегий поиска наилучших вариантов – поочередного рассмотрения критериев («исключения по аспектам»), перевода части критериев в ограничения и компенсации, а не на формирование ФП. В основе стратегии «исключения по аспектам» лежит следующая гипотеза о поведении человека при решении задач выбора: «Случайным образом (с вероятностью, пропорциональной важности критерия) производится выбор критерия, затем происходит исключение альтернатив, не удовлетворяющих ограничению по данному критерию, далее выбирается второй критерий и т.д.». Эта гипотеза, впервые выдвинутая А.Тверским, получила многократное экспериментальное подтверждение.

В связи с тем, что адаптивные процедуры МО оперируют лишь с реализациями случайной величины $f_V(x)$, стоящей в выражении (9.6) под знаком математического ожидания, именно данная модель СО обеспечивает возможность работы ЛПР в процессе диалога с отдельными предцелевыми функциями. Отметим, что здесь свертывание предцелевых функций понимается как некоторая асимптотическая цель, достижение которой требует решения промежуточных однокритериальных задач оптимизации.

3. Организовать процесс обучения ЛПР выбору основного критерия оптимальности (построению промежуточных однокритериальных оптимизационных моделей).

При построении промежуточных оптимизационных моделей ЛПР часто вынужден работать с нефиксированным (изменяющимся) перечнем функций. Так, учитывая «нежесткость» ограничений, часть из них имеет смысл рассматривать в качестве дополнительных предцелевых функций.

Введение случайной величины V позволяет осуществлять имитацию выбора отдельных предцелевых функций в качестве основного критерия оптималь-

ности и таким образом обучить ЛПР построению промежуточных однокритериальных оптимизационных моделей.

4. Использовать гибкие стратегии поиска парето-оптимальных вариантов, причем целенаправленное движение в определенную часть множества Парето можно осуществлять извне в отличие от движения только по компромиссным точкам.

5. Выявлять противоречия в ответах ЛПР, к которым приводит выбор отдельной предцелевой функции в качестве основного критерия оптимальности, и тем самым «высвечивать» последствия принимаемых решений, возникающие при попытке улучшить значения одних предцелевых функций за счет ухудшения качества других.

Если функции – ограничения $g_k(x)$, $k = \overline{1, l}$, формирующие область поиска D , или предцелевые функции $f_j(x)$, $j = \overline{1, m}$, необязательно являются выпуклыми, то область Парето может иметь сложную структуру. Это затрудняет целенаправленное движение в окрестности компромиссных точек в рамках задачи (9.11) и требует привлечения схем перебора.

В связи с вышеуказанным необходима более полная формализация исходной задачи МО, основанная на рандомизации переменных и учитывающая требования к последующей алгоритмизации. Таким образом, приходим к следующей однокритериальной модели СО:

$$Mx\{Mv\{f_v(X)\}\} \rightarrow \min_{\{X\}}. \quad (9.7)$$

Здесь $\{X\}$ – множество случайных векторов, статистически связанных со случайной величиной V и удовлетворяющих некоторой системе ограничений:

$$Mx\{g_k(X)\} \leq b_k, \quad k = \overline{1, l}, \quad (9.8)$$

а также «жестким» ограничениям на реализации x случайного вектора X : $x \in D$.

В качестве функций, задающих ограничения (9.8), могут выступать некоторые предцелевые функции. В этом случае модель СО (9.7)...(9.8) является адаптивным расширением известной модели главного критерия.

Рандомизированная переформулировка исходной задачи МО в отличие от априорного (аксиоматического) свертывания предцелевых функций содержит потенциальные возможности по преодолению неопределенности в требованиях к качеству наилучших вариантов в нестандартных ситуациях принятия решений.

Модель СО (9.7)...(9.8) генерирует «первичную» статистику – наборы значений $f_j(X(V))$, ..., $f_m(X(V))$ – полученную на нижнем информационном уровне и отражающую экстремальные тенденции в требованиях к качеству наилучших вариантов лишь по отдельным предцелевым функциям. Перестройка случайной величины V связана с накоплением информации о локальных предпочтениях ЛПР и ее представлении в виде матриц данных $F = \|f_j(X(V^i))\|$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, N}$. Такая «первичная» информация подчиняется определенным статистическим закономерностям, нахождение которых необходимо для выявления осредненной тенденции формирования ФП (для обучения ЛПР оценке возможностей компромисса в среднем).

Достижение данной цели требует агрегирования «поточечных» знаний ЛПР о ФП с помощью системы статистических моделей, оперирующих с матрицами данных и использующих различные понятия «осреднения». Эти модели дают возможность получать различные промежуточные формы проявления последствий принимаемых решений. Им соответствуют различные формы описания скрытых статистических закономерностей (факторов). Для сработки «первичной» информации, заложенной в противоречивых ответах ЛПР, можно использовать методы прикладной статистики с целью получения разного рода средних характе-

ристик (в частности, матожиданий, главных компонент, регрессионных уравнений). Так, в качестве промежуточной целевой установки по статистическому анализу данных может выступать выделение групп противоречивых предцелевых функций для формирования более точных вопросов в ЛПР, касающихся возможности улучшения знаний одних критериев за счет ухудшения качества других. Адаптивные процедуры МО, в которых организация диалога ЛПР — ЭВМ, базируется на применении статистических моделей.

Отметим, что в адаптивных человек-машинных процедурах ЛПР происходит сравнение полученных знаний $f_j(X(V))$ с некоторым... уровнем — удовлетворительным уровнем $\hat{f}_j$ (а фактически сравнение разностей $f_j(X(V)) - \hat{f}_j$ с нулем). При этом пороги $\hat{f}_j$ выступают реализациями случайной величины, отражающей требования ЛПР к качеству наилучших вариантов по j -й предцелевой функции (возможно, с учетом неточности, неуверенности ЛПР в своих ответах). Следовательно, вводится еще одна степень свободы, которая позволяет в отличие от более опосредованной стратегии поиска наилучших вариантов, связанной с корректировкой случайной величины V , воспользоваться непосредственной реакцией ЛПР на неудовлетворительные уровни предцелевых функций.

Получаемая с помощью модели (9.7)...(9.8) «первичная» статистика дает возможность найти средние характеристики порогов $\hat{f}_j$, которые соответствуют компромиссным требованиям к качеству наилучших вариантов и, таким образом, отражают осредненную тенденцию формирования ФП. В результате информация, получаемая от ЛПР и ведущая к изменению V , связана также с выбором порогов $\hat{f}_j$ в силу функции предпочтения ЛПР на основании реализаций $f_j(X(V))$. Тогда естественно стремление отыскать компромиссное решение X^* , удовлетворяющее системе уравнений регрессионного типа

$$M\{\hat{f}_j(X) - \hat{f}_j\} = 0 \quad (9.9)$$

или системе неравенств

$$M\{\hat{f}_j(X) - \hat{f}_j\} \leq 0, \quad j = \overline{1, m}. \quad (9.10)$$

Соотношения (9.9) или (9.10), которые связаны с рандомизированной постановкой (9.7)...(9.10), могут рассматриваться как этап более полной формализации исходной задачи МО с последующей ориентацией на типовые вероятностные итерационные алгоритмы СО, оперирующие лишь с реализациями случайных величин, стоящих под знаком математического ожидания.

Использование моделей регрессионного анализа для обработки «первичной» статистики позволяет прогнозировать пороги $\hat{f}_j$ с целью ознакомления ЛПР с последствиями принимаемых решений и служить основой для формирования в процессе диалога вопросов, более полно раскрывающих экспертное представление о компромиссных требованиях к качеству наилучших вариантов.

Подход к МО, основанный на решении системы регрессионных уравнений, позволяет конструировать адаптивные человеко-машинные процедуры, в которых парето-оптимальные варианты генерируются с помощью нелинейных критериев, например,

$$\sum_j \gamma_j |\hat{f}_j(x) - \hat{f}_j| = M_w\{|\hat{f}_w(x) - \hat{f}_w|\} \rightarrow \min_{x \in D}, \quad (9.11)$$

где $D_1 = \{x | x \in D, |\hat{f}_j(x) - \hat{f}_j| \leq \delta_j, j = \overline{1, m}\}$; δ_j — предельно допустимые отклонения от удовлетворительных уровней $\hat{f}_j$; γ_j — коэффициенты значимости отклонений; $\sum_j \gamma_j = 1, \gamma_j \geq 0, j = \overline{1, m}$.

При рандомизации переменных получаем модель СО вида

$$M_X \{ M_W \{ |f_W(x) - \hat{f}_W| \} \} \rightarrow \min_{\{X\}}, \quad (9.12)$$

при выполнении остальных ограничений лишь в среднем. Случайную величину W корректируют на основе ответов ЛПР об отклонении от удовлетворительных уровней.

Здесь попытку априорного свертывания предцелевых функций заменяют работой с порогами $\hat{f}_j$, что приводит, по существу, к их интерпретации в виде ограничений, которые допускают «размывание». Можно считать, что при этом задается интервал изменения критерия $\hat{f}_j$, каждой точке которого соответствует определенное значение критерия некоторой функции принадлежности $\mu_j = \mu_j(\hat{f}_j)$. Расплывчатость устраняют путем введения конкретных порогов $e_j = e_j(\hat{f}_j)$. Таким образом, появляется возможность выхода на оценки d_j трудности достижения асимптотической цели по j -й предцелевой функции:

$$d_j = [e_j (1 - \mu_j)] / [\mu_j (1 - e_j)], \quad (9.13)$$

а следовательно, и на оценки стимулирующего развития ИР (оценки информационного типа):

$$C_j = \ln \frac{1}{1 - d_j}. \quad (9.14)$$

9.2. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОГРАНИЧЕННЫХ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ МЕЛИОРАЦИЙ В РЕГИОНЕ

Развитие сельскохозяйственных мелиораций в регионе должно опираться на перспективный план мелиоративного строительства вследствие большого интервала между периодом принятия решений о распределении капиталовложений и периодом получения практически значимых результатов. Важнейшая проблема перспективного планирования состоит в установлении потребности в различных ресурсах для достижения поставленных целей развития мелиорации и определение сроков возможного завершения работ на объектах строительства (реконструкции, расширения). В большинстве реальных ситуаций срок окончания планируемых работ указывают заранее, а объемы ресурсов, выделяемых для реализации мелиоративных мероприятий, больше. Это требует применения целевого подхода к разработке схем развития и размещения мелиораций, который бы дополнял территориально-отраслевую основу и обеспечивал гибкость всей системы планирования и управления. Такой подход позволяет учитывать все многообразие внешних и внутренних связей системы, включающей совокупность объектов мелиоративного строительства, рассредоточенных на территории региона и требующих для своего развития значительных затрат ресурсов и времени. (Здесь и далее под объектом мелиоративного строительства — ОМС — понимается определенный комплекс мелиоративных работ на соответствующем массиве.)

Сущность указанного подхода заключается в первоочередном выделении наиболее важных целей развития мелиорации с соответствующим подчинением распределения ресурсов для их достижения. При этом за основу плана принимают нормативный прогноз, т.е. обоснованную оценку потребности региона в сельскохозяйственных мелиорациях в конце планируемого периода. Целевой подход к разработке перспективного плана вовсе не означает, что можно не учитывать современное состояние, а также основные условия и факторы развития и размещения мелиорации на перспективу. Однако развитие системы в течение длительного периода больше зависит от целенаправленного распределения ресурсов, чем от ее состояния на момент составления отраслевой схемы.

Ресурсы и сроки выполнения отдельных работ увязывают путем разработки целевых программ (ЦП) – подробных предплановых решений, обеспечивающих достижение общей цели развития мелиорации в регионе. Например, получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур планируют как следствие гидротехнических, агротехнических и других видов мелиорации.

Таким образом, перспективный план мелиоративного строительства наряду с традиционными этапами должен предусматривать разработку ЦП развития мелиорации в целом по региону.

Целевые программы, как правило, разрабатывают в такой последовательности:

- 1) определение конечной общей цели развития с указанием всех существенных ее показателей;
- 2) построение дерева целей – иерархической структуры, полученной в результате разбиения элементов верхних уровней на элементы нижних уровней;
- 3) определение числовых оценок приоритета всех элементов дерева относительно общей цели развития;
- 4) установление объемов всех видов ресурсов, необходимых для реализации мероприятий;
- 5) формирование и целенаправленный анализ возможных вариантов ЦП по суммарному объему используемых ресурсов, ожидаемому эффекту и срокам реализации;
- 6) оценка эффективности наилучших вариантов ЦП.

Процессу разработки ЦП предшествует четкое определение контрольных цифр развития мелиорации (например, состава и объема сельскохозяйственной продукции, лимитов капиталовложений), которые должны быть достигнуты к концу планового периода.

Важнейший этап разработки ЦП – построение дерева целей развития мелиорации в регионе. В нашем случае элементами нижнего уровня дерева целей является ОМС (точнее говоря, мелиоративные работы на этих ОМС).

Следующий этап разработки ЦП связан с анализом дерева целей, в частности с распределением ограниченных ресурсов, выделяемых на развитие мелиорации в регионе.

Для выполнения каждой мелиоративной работы на конкретном массиве перспективной системы мелиорации требуется определенный набор ресурсов. Необходимо определить оптимальный перечень ОМС, обеспечивающих максимальную эффективность мелиорации при заданных ограничениях на капиталовложения и другие ресурсы. Эффективность отдельных ОМС оценивают с помощью числовых оценок приоритета (коэффициентов относительной влажности), которые характеризуют вклад каждого объекта в достижение общей цели развития мелиорации в регионе. Входной информацией для задачи распределения ограниченных капиталовложений при перспективном планировании являются: структура дерева целей развития мелиорации в регионе, числовые оценки приоритета, потребность в капиталовложениях и основных видах ресурсов для каждого ОМС, а выходной – оптимальный перечень ОМС для включения в перспективный план строительства, а также капиталовложения, выделяемые на развитие сельскохозяйственных мелиораций для каждого административного района, области и т.д.

Решение задачи распределения ограниченных капиталовложений служит информационной основой для формирования и целенаправленного анализа устойчивых компромиссных вариантов развития мелиорации в регионе.

Построение дерева целей развития мелиораций в регионе. Разработку ЦП развития мелиорации в регионе начинают с построения дерева целей – иерархической схемы целей и подцелей (мероприятий), реализация которых обеспечивает достижение общей цели развития мелиорации в регионе (рис. 9.3). Построение дерева включает две технологические процедуры: раз-

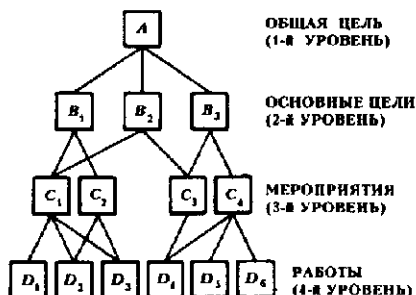


Рис. 9.3. Пример общей структуры дерева целей развития мелиорации в регионе

работку его структуры и определение количественных характеристик его элементов. (Здесь и далее под структурой дерева целей будем понимать совокупность элементов различных иерархических уровней — с указанием взаимосвязей между элементами смежных — выше- и нижележащего — уровней.)

К количественным характеристикам элементов дерева целей относятся показатели затрат ресурсов и ожидаемого результата мелиорации, а также числовые оценки приоритета, которые отражают долю вклада элементов в достижение общей цели.

Исходным данным для разработки структуры дерева целей служат: программные и директивные документы, направленные на социально-экономическое развитие региона; концепция перспективного развития и размещения мелиорации в регионе; характеристика природно-хозяйственных условий и др. Выходной информацией являются: число уровней и их наименования, (формулировки целей и названия мероприятий), описание взаимосвязей между элементами смежных уровней (матрицы смежности).

В основе разработки структуры дерева целей лежат две взаимосвязанные технологические операции: 1) определение уровней и элементов; 2) установление связей между элементами смежных уровней. Обе эти операции выполняют «сверху — вниз».

Вначале формулируют общую цель развития мелиорации в регионе в течение рассматриваемого планового периода (единственный элемент первого уровня дерева). Затем эту цель расчлняют на некоторое число основных целей (элементов второго уровня). При этом предполагается, что общая цель будет достигнута только в случае полной или частичной реализации всех основных целей. Каждую основную цель расчлняют на ряд подцелей — элементов третьего уровня (например, мелиоративных мероприятий). Каждую из этих подцелей можно представить в виде совокупности еще меньших по размеру элементов и т.д. Процесс поуровневой детализации элементов дерева целей продолжается до тех пор, пока не будут получены мероприятия, представляющие собой некоторые самостоятельные мелиоративные работы, дальнейшее расчленение которых не имеет смысла в рамках разрабатываемой ЦП развития мелиорации.

Элементы нижнего уровня дерева целей будем называть *работами*. Работы должны быть либо выполнены, либо нет, так как их частичное выполнение не способствует достижению вышележащих целей. В первом случае они будут включены в перспективный план мелиоративного строительства, во втором — не будут. Пример такой работы — строительство некоторого ОМС. О вкладе этого объекта в достижение общей цели можно говорить только после завершения его строительства и ввода в эксплуатацию.

Число уровней дерева целей зависит от сложности рассматриваемой проблемы мелиорации, их определяют эксперты, участвующие в разработке ЦП.

Все уровни различаются лишь степенью детализации общей цели развития мелиорации в регионе и должны быть одинаковы по содержанию и объему используемых ресурсов (например, капиталовложений).

Процесс расчленения (декомпозиции) целей направлен на выявление структуры (внутренних связей элементов) рассматриваемого дерева. При этом учитывают связь данного элемента (который представляет собой некоторую систему, имеющую определенную структуру и определенные потребности в ресурсах для ее реализации) с большей системой, частью которой он является, но не учитывают связи с его подсистемами (элементами нижележащего уровня). Декомпозицию целей можно выполнять на основе различных принципов, что в итоге приведет к различным иерархическим структурам. Так, можно расчленить систему мелиорации на подсистемы по административно-хозяйственному принципу или на основе других принципов. Разработку структуры выполняет группа экспертов — главных инженеров проекта, главных специалистов и др.

Строго сформулированных способов построения дерева целей не существует. Структура дерева отражает точку зрения его разработчиков. Совокупность элементов каждого уровня должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) независимость, т. е. достижение цели одного элемента данного уровня не должно оказывать влияние на достижение целей других элементов этого же уровня;

- 2) непротиворечивость, т. е. реализация одного элемента какого-либо уровня не должна препятствовать реализации других элементов этого же уровня;

- 3) полнота, т. е. декомпозиция элементов вышележащего уровня не должна вести к пропуску каких-то элементов, реализация которых способствует достижению общей цели развития мелиорации в регионе.

Проверка выполнения этих требований не должна быть формальной — только эксперты решают, выполнены они или нет. Различные по структуре деревья могут отражать различные концепции перспективного развития и размещения мелиораций при неизменной общей цели. Например, структура дерева целей развития мелиорации в республике, построенного по административно-хозяйственному принципу, может включать промежуточные уровни, в частности уровень «природнохозяйственные зоны», располагающийся между уровнем «республика» и уровнем «области» или между уровнем «области» и уровнем «административные районы». Введение промежуточных уровней уточняет в целом структуру дерева (уменьшается число связей между смежными уровнями) и повышает достоверность количественных характеристик его элементов. В некоторых ситуациях (например, когда необходимо распределить заданный объем капиталовложений на развитие мелиораций в союзной республике между областями и нет обоснованных и нет обоснованных укрупненных нормативов) целесообразно вводить дополнительные уровни (например, уровни «районы» и «хозяйства»).

Построение дерева целей базируется на описании условий, в которых будут решаться задача распределения ограниченных капиталовложений на развитие мелиорации в регионе: границы региона, социально-экономические и природно-хозяйственные условия, основные сельскохозяйственные культуры, плановый срок завершения мелиоративных работ и др. После этого должна быть сформулирована общая цель развития мелиорации в регионе на языке контрольных цифр: каковы оценки ожидаемого прироста урожайности основных сельскохозяйственных культур, на каких площадях должна проводиться мелиорация земель, каковы объемы капиталовложений, выделяемых на мелиоративное строительство.

Следующий этап разработки дерева — анализ эколого-экономических факторов в различных районах региона с целью выделения природно-хозяйственных зон. Каждая зона может включать ряд регионов, имеющих примерно

одинаковые условия, но не обязательно примыкающих друг к другу. Желательно, чтобы границы зон совпадали с границами административных районов. Общую цель развития мелиорации в регионе расчленяют на основные цели, каждая из которых представляет собой задачу повышения эффективности сельскохозяйственного производства определенной зоны в результате мелиорации земель.

Основную цель (цель зоны) расчленяют на цели входящих в зоны районов, которые, в свою очередь, расчленяют на подцели — мелиоративные мероприятия в границах отдельных хозяйств. Наконец, подцели (цели хозяйств) расчленяют на мелиоративные работы, связанные со строительством ОМС, наиболее важных с точки зрения достижения общей цели.

Взаимосвязи между элементами каждой пары уровней дерева целей описывают с помощью матриц смежности, строки которых соответствуют элементам «нижнего», а столбцы — элементам «верхнего» уровней. На пересечении i -го столбца и j -й строки ставят «1», если имеется связь i -го элемента верхнего уровня и j -го элемента нижнего уровня, и «0» — в противном случае.

Для решения конкретной задачи распределения ограниченных капиталовложений на развитие мелиорации в регионе требуется уточнение предлагаемой структуры с последующим ее утверждением. Уточнение структуры связано с решением вопроса о числе уровней дерева, конкретизацией элементов каждого уровня и связей между элементами смежных уровней.

Каждый элемент дерева целей характеризуется некоторым приоритетом по отношению к общей цели. Числовые оценки приоритета (коэффициенты относительной важности) показывают долю (или процент) вклада каждого элемента в достижение общей цели. Их используют в качестве коэффициентов линейной целевой функции оптимизационной модели распределения ограниченных капиталовложений на развитие мелиорации в регионе. Исходными данными для определения числовых оценок приоритета являются структура дерева, относительные веса связей элементов смежных уровней, потребность элементов в капиталовложениях.

Расчету коэффициентов относительной важности предшествует определение относительных весов связей элементов смежных уровней дерева целей, которое выполняют «сверху вниз». Каждый элемент, не принадлежащий нижнему уровню, представляет собой некоторую систему, имеющую определенную структуру. Относительные веса (весовые коэффициенты) используют для оценки степени связи элементов данного уровня (подсистем) с элементами вышележащего уровня (системами). При наличии связей между элементами смежных уровней эти веса положительны, при отсутствии — равны нулю.

Для определения весовых коэффициентов используют объективную или субъективную (экспертную) информацию. В первом случае, например, веса связей можно рассматривать как величины, пропорциональные некоторым количественным характеристикам элементов дерева целей — площадям мелиорации, удельной продуктивности и т. д.

Очень часто на практике весовые коэффициенты связей элементов определяют на основе экспертных суждений (см. рис. 9.2). При определении весов связей β_i , S_i и n_i задача экспертов состоит в том, чтобы оценить вклад каждой подсистемы в достижение цели системы. Рассмотрим несколько способов нахождения весовых коэффициентов элементов смежных уровней на основе обработки экспертной информации.

Первый способ. Если подсистем (элементов) мало (3...5), то эксперты могут указать их веса связей непосредственно (например, в долях единицы) на основе своего опыта и интуиции. Это значит, что указанные экспертом веса принимаются без их обоснования, т. е. от эксперта не требуют подкрепления своих оценок логическими рассуждениями или расчетами.

Второй способ. При большом числе ранжируемых подсистем непосредственные оценки экспертов становятся недостаточно надежными или вообще

не могут быть получены. Поэтому предлагается использовать метод парных сравнений, хорошо зарекомендовавший себя на практике.

По этому методу исходную экспертную информацию получают на основе $N(N-1)/2$ парных сравнений, где N — число рассматриваемых подсистем, и записывают в специальные таблицы (матрицы парных сравнений A^v). Элементами матриц A^v служат оценки a_{ij}^v предпочтительности i -й подсистемы по отношению к j -й, данные v -м экспертом: $i, j = \overline{1, N}$; $v = \overline{1, n}$. Экспертные оценки, в частности, задаются в следующей порядковой шкале:

$$a_{ij}^v = \begin{cases} 2, & \text{если } i\text{-я подсистема предпочтительнее } j\text{-й подсистемы;} \\ 1, & \text{если } i\text{-я и } j\text{-я подсистемы эквивалентны;} \\ 0, & \text{если } j\text{-я подсистема предпочтительнее } i\text{-й подсистемы.} \end{cases}$$

Элементы этой матрицы должны удовлетворять условию: $a_{ij}^v + a_{ji}^v = 2$. Ее заполняют по правилам, аналогичным правилам формирования спортивных турнирных таблиц. На пересечении рассматриваемой строки и столбца матрицы ставят оценку 2, если оцениваемая подсистема, соответствующая номеру строки, предпочтительнее подсистемы, соответствующей номеру столбца; в противном случае ставят оценку 0. При эквивалентности (равнозначности) подсистем на пересечении строки и столбца записывают оценку 1.

Третий способ. Для определения весовых коэффициентов связей элементов смежных уровней используют экспертную информацию о важности факторов, характеризующих подсистемы и влияющих на степень достижения цели системы, а также о предпочтительности подсистемы с точки зрения каждого из этих факторов. Исходная экспертная информация задается в виде матриц парных сравнений. При этом каждый раз сравнивают только пару факторов или пару подсистем. Список факторов, рассматриваемых при оценке связей всех элементов уровня, должен быть одним и тем же.

Обозначим α_{μ} — весовой коэффициент μ -го фактора, а $\beta_{\mu i}$ — весовой коэффициент i -й подсистемы с точки зрения μ -го фактора, удовлетворяющие следующим условиям нормировки:

$$\sum_{\mu} \alpha_{\mu} = 1; \alpha_{\mu} \geq 0; \mu = \overline{1, m}; \quad \sum_i \beta_{\mu i} = 1; \beta_{\mu i} \geq 0; i = \overline{1, N}.$$

Тогда вес i -й подсистемы можно определять по формуле

$$\beta_i = \sum_{\mu} \alpha_{\mu} \beta_{\mu i}; \mu = \overline{1, m}; i = \overline{1, N}$$

Пусть построено дерево целей развития мелиорации в регионе, фрагмент которого приведен на рисунке 9.3. Здесь A — общая цель (например, цель области); B_i — основная цель (цель i -го административного района); $i = \overline{1, N}$; C_j — j -е мероприятие (цель j -го хозяйства); $j = \overline{1, M}$; D_k — k -я работа (цель k -го ОМС); $k = \overline{1, L}$. Обозначим β_i , γ_j и δ_k — соответственно коэффициенты относительной важности i -го элемента второго уровня, j -го элемента третьего уровня и k -го элемента четвертого уровня дерева целей; s_{ji} и t_{ki} — соответственно относительные веса связей j -го элемента третьего уровня с i -м элементом второго уровня и k -го элемента четвертого уровня с j -м элементом третьего уровня дерева целей.

Коэффициенты относительной важности и относительные веса связей элементов дерева целей должны удовлетворять следующим условиям нормировки:

$$\sum_i \beta_i = 1; \beta_i \geq 0; i = \overline{1, N}; \quad (9.15)$$

$$\sum_j \gamma_j = 1; \quad \gamma_j \geq 0; \quad j = \overline{1, M}; \quad (9.16)$$

$$\sum_{\kappa} \delta_{\kappa} = 1; \quad \delta_{\kappa} \geq 0; \quad \kappa = \overline{1, L}; \quad (9.17)$$

$$\sum_i s_{ji} = 1; \quad s_{ji} \geq 0; \quad j = \overline{1, M}; \quad i = \overline{1, N}; \quad (9.18)$$

$$\sum_{\kappa} t_{kj} = 1; \quad t_{kj} \geq 0; \quad \kappa = \overline{1, L}; \quad j = \overline{1, M}. \quad (9.19)$$

Условия (9.1)...(9.5) следуют из того, что коэффициенты относительной важности элементов каждого уровня характеризуют долю их вклада в достижение общей цели, а веса связей элементов смежных уровней – долю вклада подсистем в достижение целей системы.

Коэффициенты относительной важности элементов дерева целей рассчитывают «сверху вниз». Вначале на основе экспертных суждений определяют значения β_i , s_{ji} и t_{kj} . Это исходная информация для расчета γ_j и δ_{κ} . Коэффициенты относительной важности элементов второго уровня β_i , совпадают с относительными весами связей этих элементов с общей целью и непосредственно характеризуют долю их вклада в ее достижение.

Коэффициенты относительной важности элементов третьего уровня вычисляют по формуле

$$\gamma_j = \beta_i s_{ji} \quad (9.20)$$

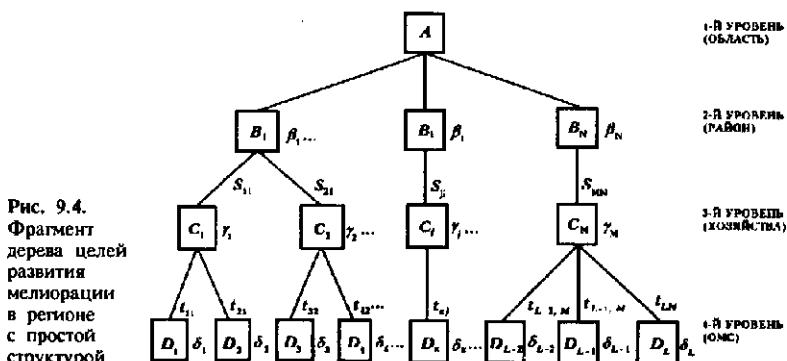
где коэффициенты γ_j удовлетворяют условию нормировки (9.2), а веса связей s_{ji} – условию (9.4).

Коэффициенты относительной важности элементов четвертого уровня (и всех последующих, если они имеются в дереве целей) рассчитывают по аналогичной формуле:

$$\delta_{\kappa} = \gamma_j t_{kj}. \quad (9.21)$$

Здесь значения δ_{κ} и t_{kj} удовлетворяют соответственно уровням (9.17) и (9.19).

При расчете коэффициентов относительной важности по формуле (9.21) учитывают тот факт, что реальный эффект от мелиорации земель на ОМС проявляется только в границах хозяйства, где они построены (именно исходя из такого принципа построено дерево целей на рис. 9.4.).



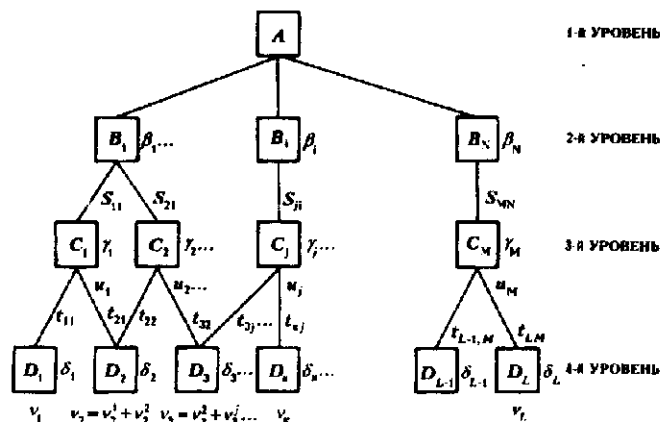


Рис. 9.5.
Фрагмент
дерева целей
развития
мелиорации
в регионе
со сложной
структурой

Рассмотрим фрагмент дерева целей развития мелиорации в регионе, имеющем более сложную структуру (рис. 9.5). Здесь некоторые элементы (например, D_2) способствуют достижению более чем одной цели вышележащего уровня. Такая ситуация часто встречается на практике при создании межхозяйственных ОМС. В данном случае элемент дерева D_2 характеризуется несколькими весами связей (например, t_{21} и t_{22}), которые определяют независимо друг от друга. При этом коэффициенты относительной важности ОМС вычисляются по формуле

$$\delta_k = \sum_j \gamma_j t_{kj}, \quad j = \overline{1, M}; \quad k = \overline{1, L}.$$

(9.22)

В условиях дефицита капиталовложений необходимо распределять этот ресурс по ОМС в соответствии с их коэффициентами относительной важности, т.е. в первую очередь выделить расходы на наиболее важные ОМС. В этом случае не все ОМС, указанные в дереве целей развития мелиорации в регионе, будут включены в ЦП. Если в рассматриваемом регионе имеется потребность в строительстве большого числа ОМС, то в описанный выше способ расчета следует внести коррективы — предусмотреть учет потребности в капиталовложениях элементов дерева целей.

Рассмотрим следующую ситуацию. Предположим, что мелиоративные мероприятия в двух различных хозяйствах имеют одинаковые коэффициенты относительной важности. Причем мероприятие в первом хозяйстве связано с большим числом работ (ОМС) и для их реализации необходим большой объем капиталовложений, чем для мероприятия во втором хозяйстве. Если не учитывать потребность мероприятий в капиталовложениях, то в результате расчета коэффициентов относительной важности многие ОМС первого хозяйства будут иметь меньшие значения δ_k по сравнению с ОМС второго хозяйства. Распределение в данной ситуации ограниченных капиталовложений в соответствии с коэффициентами относительной важности ОМС не вполне справедливо. Среди не включенных в ЦП развития мелиорации объектов в силу малых значений δ_k могут оказаться многие ОМС первого хозяйства. В итоге мероприятия в первом хозяйстве либо совсем не будут реализованы,

либо будут реализованы частично. В то же время в ЦП будут включены все (или почти все) ОМС второго хозяйства.

Мелиоративные работы на каждом ОМС (элементы четвертого уровня дерева целей на рис. 9.5) характеризуются необходимым объемом капиталовложений v_k . На основе v_k можно рассчитать потребность u_l в капиталовложениях на мелиоративные мероприятия в хозяйствах (элементов третьего уровня), учитывая структуру дерева. Пусть некоторый элемент четвертого уровня (например, D_2) обеспечивает реализацию двух или большего числа элементов третьего уровня (например, C_1 и C_2). Рассмотрим способ распределения капиталовложений между мероприятиями.

Коэффициент относительной важности элемента D_2 определяют следующим образом: $\delta_2 = \gamma_1 t_{21} + \gamma_2 t_{22}$. Разделим капиталовложения v_2 между мероприятиями C_1 и C_2 на v_2^1 и v_2^2 в том же отношении, в каком делится на две составляющие δ_2 . Получим

$$v_2^1 / v_2^2 = \gamma_1 t_{21} / \gamma_2 t_{22}. \quad (9.23)$$

Тогда объем капиталовложений, необходимый для полной реализации мероприятия C_1 (если нет никаких других связей между элементами третьего и четвертого уровней, кроме показанных на рисунке 9.3), определяется суммой $u_1 = v_1 + v_2^1$. Для реализации мероприятия C_2 требуется $u_2 = v_2^2 + v_3^2$ единиц капиталовложений.

В связи с этим коэффициенты относительной важности элементов дерева целей развития мелиорации в регионе рекомендуется рассчитывать в два этапа. На первом этапе значения δ_k определяют по формулам (9.21)...(9.22). На втором — их корректируют с учетом потребности в капиталовложениях на мероприятия u_l . Вначале вычисляют γ_l , учитывающую относительную потребность j -го мероприятия в капиталовложениях, необходимых для достижения цели i -го района:

$$\hat{\gamma}_l = \beta_l \gamma_l u_l / \sum_q \gamma_q u_q, \quad q \in J_l, \quad J = \overline{1, M}; \quad i = \overline{1, N}. \quad (9.24)$$

Затем рассчитывают

$$\delta_k = \sum_l \hat{\gamma}_l t_{kl}, \quad J = \overline{1, M}; \quad k = \overline{1, L}. \quad (9.25)$$

Пример расчета коэффициентов относительной важности элементов дерева целей развития мелиорации в регионе с учетом потребности в капиталовложениях см. на рисунке 9.4 и в таблице 9.1.

Исходные данные для расчета потребности в капиталовложениях, а также других количественных показателей элементов (например, удельной продуктивности в кормовых единицах): структура дерева, площадь мелиорируемой территории по способам мелиорации и по категориям (типам) земель для каждого элемента нижнего уровня (ОМС), нормативы затрат капиталовложений и лимитирующих ресурсов по способам мелиорации, ожидаемая урожайность ведущих сельскохозяйственных культур по категориям земель, коэффициенты пересчета валовой урожайности на кормовые единицы и др. Эти показатели рассчитывают по уровням «снизу вверх» путем суммирования их значений в соответствии с заданной структурой дерева. На нижнем уровне определение количественных характеристик элементов базируется на нормативах затрат капиталовложений и лимитирующих ресурсов, а также на прогнозе урожайности ведущих сельскохозяйственных культур (или они известны, например, в результате предварительного технико-экономического обоснования ОМС).

9.1. Результаты расчета коэффициентов относительной важности ОМС и решения задачи распределения ограниченных капиталовложений (лимит капиталовложений $V = 40$)

Номер ОМС (k)	Коэффициент относительной важности, %		Потребности в капиталовл- ожениях, v_k	Оптимальный вариант, x_k
	δ_k	δ_k		
1	0,9	1,08	1,0	1
2	1,8	2,16	2,5	1
3	1,8	2,16	3,0	1
4	9,45	3,85	1,2	1
5	4,05	1,65	1,0	1
6	1,8	2,51	1,0	1
7	5,4	7,83	2,0	1
8	7,2	10,44	1,3	1
9	3,6	5,22	3,5	1
10	3,6	3,2	2,7	1
11	10,4	10,0	4,0	1
12	1,0	1,04	1,2	1
13	7,6	7,78	3,3	1
14	2,8	1,54	2	0
15	1,2	1,48	1,35	0
16	0,6	0,74	1,3	0
17	1,8	2,22	2,1	1
18	4,2	2,0	1,25	1
19	0,525	0,25	0,6	0
20	0,525	0,25	2	0
21	5,95	6,5	1,5	1
22	5,95	6,5	2	1
23	2,975	3,25	1,5	1
24	8,925	9,75	1,4	1
25	2,975	3,25	1,9	1
26	2,975	3,25	0,7	1
Всего	100,0	100,0	47,3	

Анализ дерева целей развития мелиорации в регионе. Приведем математическую постановку дискретных задач распределения ограниченных капиталовложений при перспективном планировании мелиоративного строительства.

Пусть в развитие мелиорации в регионе выделено V единиц капиталовложений, а для k -го планируемого ОМС требуется v_k единиц, $k = \overline{1, L}$. Если потребность в капиталовложениях всех ОМС превышает V , т.е. $\sum_k v_k > V$

то возникает задача распределения ограниченных капиталовложений при перспективном планировании мелиоративного строительства.

Необходимо определить перечень первоочередных ОМС для включения их в ЦП развития мелиорации в регионе. Другими словами, необходимо выбрать мелиоративные работы (элементы нижнего уровня дерева целей), сумма коэффициентов относительной важности которых максимальна при условии, что суммарная потребность в этих работах не превышает V .

Исходные данные задачи: структура дерева целей развития мелиорации в регионе, коэффициенты относительной важности элементов нижнего уровня дерева целей (ОМС) δ_k и величины капиталовложений v_k , требуемые для выполнения мелиоративных работ на каждом ОМС. В такой ситуации математическая модель задачи распределения ограниченных капиталовложений записывается в виде

$$\sum_k \delta_k x_k \rightarrow \max; \quad (9.26)$$

$$\sum_k v_k x_k \leq V, \quad k = \overline{1, L}, \quad (9.27)$$

где $x_k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-й ОМС включается в ЦП;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Это известная задача целочисленного (дискретного) программирования — задача «о ранце». Такая постановка задачи распределения ограниченных капиталовложений имеет смысл в двух случаях: 1) допускается частичная реализация целей развития мелиорации, для чего достаточно включить в ЦП только часть ОМС; 2) ограничения на капиталовложения (9.27) приводят к поочередному строительству ОМС, и в первую очередь следует строить наиболее важные из них.

Введем в формулировку задачи дополнительное условие. Предположим, что в ЦП включен по крайней мере один ОМС из каждого хозяйства, а также, что каждый ОМС способствует мелиорации земель только на территории одного хозяйства. В этом случае задача имеет вид

$$\sum_j \sum_v \hat{\delta}_{jv} x_{jv} \rightarrow \max; \quad (9.28)$$

$$\sum_j \sum_v v_{jv} x_{jv} \leq V; \quad (9.29)$$

$$\sum_v x_{jv} \geq 1, \quad v = \overline{1, M_j}; \quad j = \overline{1, M}, \quad (9.30)$$

где $x = \begin{cases} 1, & \text{если ОМС с номером } jv \text{ включен в ЦП;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Здесь каждый ОМС помечен двойным индексом jv (j — номер хозяйства, v — порядковый номер ОМС из j -го хозяйства); M_j — число ОМС в j -м хозяйстве.

Ограничения этой задачи будут совместными, если выполняется условие

$$\sum_j \min_v v_{jv} \leq V, \quad v = \overline{1, M_j}; \quad j = \overline{1, M}. \quad (9.31)$$

Кроме того, можно потребовать, чтобы на реализацию каждого мероприятия затрачивалось не менее I_j единиц капиталовложений. Введение такого ограничения можно обосновать стремлением предотвратить усиленную разработку одних мероприятий за счет других. Это приводит к следующей математической постановке задачи рационального распределения капиталовложений:

$$\sum_j \sum_v \hat{\delta}_{jv} x_{jv} \rightarrow \max; \quad (9.32)$$

$$\sum_j \sum_v v_{jv} x_{jv} \leq V; \quad (9.33)$$

$$\sum_v v_{jv} x_{jv} \geq I_j, \quad v = \overline{1, M_j}; \quad j = \overline{1, M}. \quad (9.34)$$

Причем V и I_j должны быть связаны соотношением

$$\sum_j I_j \leq V, \quad j = \overline{1, M}. \quad (9.35)$$

Решение задач целочисленного программирования (9.28)...(9.30) и (9.18)...(9.20) сводится к отысканию набора значений x_j , соответствующего максимума целевой функции и удовлетворяющего заданным ограничениям. Это позволяет определить оптимальный список ОМС, включаемых в ЦП развития мелиорации в регионе.

Все приведенные выше задачи распределения ограниченных капиталовложений — это задачи дискретной оптимизации. В их математические модели могут быть внесены изменения, связанные с выбором других целевых функций (например, «максимум объема сельскохозяйственной продукции») и заданием дополнительных ограничений (например, требующих выполнения основных контрольных цифр развития мелиорации в регионе).

Для практического решения дискретных задач оптимизации используют модуль целочисленного программирования пакета прикладных программ «Линейные программирования в АСУ» (ППП ЛП АСУ), который реализует модифицированный метод ветвей и границ. Результаты решения задачи оптимального распределения ограниченных капиталовложений (9.26)...(9.27), соответствующей дереву целей развития мелиорации в регионе, приведен на рисунке 9.6.

Целевой подход к перспективному планированию мелиоративного строительства базируется на обоснованных оценках контрольных цифр развития мелиорации — потребности региона в производстве сельскохозяйственной продукции в конце планового периода, потребности в мелиорации, лимитов капиталовложений, лимитирующих ресурсов и др. При наличии данных оценок основным способом формулированного представления целей является их задание в виде ограничений, т.е. с помощью неравенств. Они служат важнейшей входной информацией базовых моделей распределения ограниченных капиталовложений при перспективном планировании мелиоративного строительства. Однако во многих практических ситуациях цели развития мелиорации не заданы изначально в виде конкретных контрольных цифр. Приведем два примера таких ситуаций.

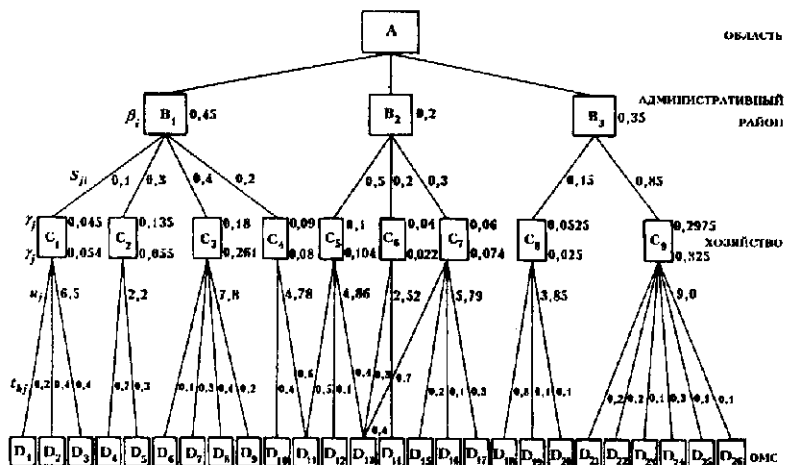


Рис. 9.6. Дерево целей развития мелиорации в регионе с количественными характеристиками

Пример 1. Заданы лимиты капиталовложений на развитие мелиораций в республике. Требуется определить лимиты капиталовложений, выделяемых на развитие мелиорации в каждом административном районе. Здесь контрольные цифр определяют «сверху вниз».

Пример 2. Заданы объем производства сельскохозяйственной продукции, а также нижний и верхний пределы ввода площадей мелиорации в регионе. Требуется определить лимиты капиталовложений и уточнить потребность в продукции. При этом контрольные цифры определяют «внизу вверх».

Рассмотрим один из способов математического моделирования задач распределения ограниченных капиталовложений в условиях неполноты и неопределенности априорной информации. Считают, что основные целевые установления по развитию мелиорации заданы в экстремальной форме, т.е. в виде критериев качества. Отметим, что в такой ситуации можно прийти искусственным путем в результате «размывания» ограничений. Здесь контрольные цифр определяют (уточняют) на основе решения задач многоцелевой (многокритериальной) оптимизации.

Пусть из контрольных цифр заданы только нижний $\underline{P}$ и верхний $\bar{P}$ пределы ввода площадей мелиорации и известны следующие исходные данные: структура дерева целей, площадь мелиорации p_k , потребность в капиталовложениях x_k и лимитирующих ресурсах w_{rk} ($r = \overline{1, m}$), продуктивность в кормовых единицах y_k и числовые оценки приоритета δ_k для каждого k -го элемента нижнего уровня целей (далее k -го ОМС), $k = \overline{1, L}$.

Опишем основные технологические этапы определения (уточнения) контрольных цифр развития мелиорации в условиях неполноты и неопределенности априорной информации

1. Формулировка оптимизационной модели определения потребности в мелиорации. *Дискретная модель*:

$$\sum_k \delta_k x_k \rightarrow \max; \quad (9.36)$$

$$\underline{P} \leq \sum_k p_k x_k \leq \bar{P}, \quad k = \overline{1, L}, \quad (9.37)$$

где $x_k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-й ОМС включают в ЦП развития мелиорации;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Примечание. Если не известны числовые оценки приоритета δ_k , отражающие долю вклада k -го ОМС в достижении общей цели развития мелиорации в регионе, в качестве коэффициентов целевой функции (9.22) могут быть использованы, например, величины y_k — удельная продуктивность (в кормовых единицах).

Непрерывная модель отличается от дискретной тем, что в ней используется ограничение

$$0 \leq x_k \leq 1, \quad k = \overline{1, L}.$$

В этом случае предоставляются дополнительные возможности для выявления путей интенсивного развития мелиорации.

Дискретные задачи оптимального распределения ограниченных капиталовложений при перспективном планировании мелиоративного строительства соответствуют ситуации, когда планируемый ОМС либо целиком включают в ЦП развития мелиорации в регионе, либо — нет. Другими словами, предусматривается полный отказ от определенных ОМС. Это сильно ограничивает математическое моделирование рассматриваемых задач с целью выявления потенциальных возможностей интенсивного развития мелиорации на основе формализации содержательного принципа частичного отказа от некоторых ОМС (снижения интенсивности мелиорации на этих ОМС). Реализация данного принципа может проявляться, например, в отказе от определенных видов

мелиорации. Однако модели целочисленного программирования не дают соответствующей информации для принятия решений о частичном отказе от некоторых ОМС.

К дополнительным трудностям практического использования дискретных моделей распределения ограниченных капиталовложений относятся большая размерность задачи и, как следствие, значительная продолжительность счета даже на современных ЭВМ, а также отсутствие возможности послеоптимизационного анализа задачи и др.

2. Генерирование заданного числа возможных вариантов перспективного развития и размещение мелиорации.

В основе этого этапа лежит вариантный анализ задачи определения оптимальной потребности в мелиорации с различными правыми частями.

Оптимизационные модели, сформулированные на первом этапе, используются в качестве генераторов возможных вариантов перспективного развития и размещения мелиорации. Для каждого l -го варианта $x^l = (x_1^l, \dots, x_L^l)$, $l = \overline{1, N}$, рассчитывают

продуктивность (в кормовых единицах) $V^l = \sum_k y_k x_k^l$;

потребности в капиталовложениях $V^l = \sum_k v_k x_k^l$;

потребности в лимитирующих ресурсах $W^l = \sum_k w_{rk} x_k^l$, $r = \overline{1, m}$;

потребности в мелиорации $P^l = \sum_k p_k x_k^l$, $k = \overline{1, L}$.

3. Многокритериальный анализ возможных вариантов перспективного развития и размещения мелиорации.

Для решения задач многоцелевой оптимизации предлагаются следующие технологические операции:

выделение парето-оптимальных вариантов (множество Парето);

построение многомерной классификации и получение визуального представления множества Парето;

выделение наилучших вариантов на основе построения интегральных оценок трудности достижения целей развития мелиорации.

В результате многокритериального анализа множества вариантов перспективного развития и размещения мелиорации определяют (конкретизируют) контрольные цифры в виде пороговых (нормативных) значений показателей качества. Это позволяет использовать базовые и расширенные оптимизационные модели распределения ограниченных капиталовложений для выбора начального приближения и итерационного поиска эффективных путей устойчивого развития мелиорации в регионе.

9.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО РАЙОНИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО ФОНДА

Повышение эффективности мелиоративных мероприятий требует применения методов программно-целевого планирования при разработке схем развития и размещения мелиораций. При этом ресурсный принцип планирования (по схеме «цели – ресурсы – план») заменяют целевым (по схеме «цели – прогноз – программа – ресурсы – план»). Целевая программа (ЦП) представляет собой достаточно подробное предплановое решение реализации мелиоративных мероприятий, обеспечивающих достижение общей цели – развития мелиорации в регионе.

Выявление и структуризация региональных проблем, границы которых не совпадают с существующим административно-территориальным делением,

вызывают необходимость природно-хозяйственного районирования для разработки ЦП (проблемного районирования).

Далее под объектом районирования (ОР) будем понимать элементарный участок изучаемой территории, выделенный по определенному принципу и характеризующийся набором природно-хозяйственных показателей (ПХП). ПХП — это характеристика природно-хозяйственных условий ОР, которая может быть измерена или вычислена для каждого объекта; не имеет одинаковых значений для всех объектов; для каждого объекта имеет только одно значение.

Определение состава мелиоративных работ на конкретном массиве требует выбора видов строительства (реконструкции, расширения) и его методов для каждой категории (типа) земель. Выделение различных категорий основано на классификации мелиоративного фонда. При этом объектами классификации (районирования) являются массивы перспективной мелиорации.

Введем понятия района и класса. *Район* — часть изучаемой территории, для которой характерна определенная однородность природно-хозяйственных условий. *Класс* — группа ОР, сходных по комплексу ПХП.

Предлагаемая методика природно-хозяйственного районирования предназначена для автоматизации процесса разбивки изучаемой территории на части (районы), которым соответствуют классы наиболее близких, внутренне связанных между собой ОР. Результаты такого районирования позволяют рассматривать ОР, попавшие в один класс, с единой точки зрения и проводить в отношении этих объектов одинаковую политику планирования и управления. Отличительная особенность рассматриваемых ниже задач природно-хозяйственного районирования и классификации мелиоративного фонда — необходимость одновременного учета при выделении классов ОР большого числа взаимосвязанных, неравноценных и разноименных ПХП, ОР, образующие один район, могут не иметь общих территориальных границ. Эффективное средство решения этих задач — методы анализа данных.

Автоматизированная технология включает следующие этапы: разработка семантической (содержательной) модели решаемой задачи природно-хозяйственного районирования; построение многомерной классификации ОР с помощью ЭВМ; содержательный анализ и интерпретация результатов расчетов; составление сводной карты районирования.

Исходную информацию собирают: путем устного опроса (интервью); экспертным методом; путем анкетирования; путем изучения документов.

Метод устного опроса заключается в том, что необходимые исходные данные получают в результате бесед с ведущими специалистами по конкретной задаче. При экспертном методе необходимую информацию получают путем опроса мнений ведущих специалистов (экспертов). При анкетировании эксперты представляют необходимые сведения в виде анкет. Метод изучения документов заключается в том, что исходные данные, отражающие анализируемые природно-хозяйственные условия ОР, выбирают из различных документов.

Для обработки информации используют следующие методы многомерного статистического анализа: ранжирования данных (определения весовых коэффициентов ПХП); кластер-анализа (многомерной классификации ОР); многомерного шкалирования (визуального представления совокупности ОР).

Методы ранжирования данных предназначены для определения числовых оценок приоритета (весовых коэффициентов) неравноценных ПХП. Методы кластер-анализа — для выделения классов из разнородной совокупности ОР, характеризующихся набором ПХП. Методы многомерного шкалирования — для получения визуального представления о сходстве (различии) между Р, характеризующихся набором ПХП.

Разработка семантической модели задачи природно-хозяйственного районирования. Построение семантической (содержательной) модели вклю-

чает: определение (четкую формулировку) основной цели природно-хозяйственного районирования; описание и обоснование выбора совокупности ОР; описание и обоснование выбора набора (перечня) ПХП, характеризующих ОР и соответствующих основной цели районирования.

Элементами семантической модели являются ОР и их природно-хозяйственные условия. Им соответствуют категории и понятия, принадлежащие разработчикам сводной карты районирования. Элементы семантической модели связаны друг с другом по содержанию.

Для описания элементов используют иерархические полнотелые структуры. На нулевом (верхнем) уровне структуры помещают категорию или укрупненное понятие (например, регион или природно-хозяйственные условия), которое на следующих уровнях «разбивают» на более конкретные понятия (например, зона и гидрогеологические условия). На самом нижнем уровне располагаются первичные, а далее – неделимые понятия (например, ОР и ПХП). Их число зависит от выбора уровня детализации элементов семантической модели.

Для обоснованного выбора совокупности ОР рекомендуется строить иерархические понятийные структуры изучаемой территории обязательным выделением уровня, которому соответствует базовое районирование (например, уровня природно-хозяйственных зон или подзон). Это районирование обычно проводят традиционным путем, в основе которого лежат определенные качественные характеристики природно-хозяйственных условий.

Именно между уровнями иерархической структуры, соответствующими базовому районированию и элементарным участкам изучаемой территории региона, будут находиться выделяемые районы определенного ранга (уровня детализации).

Для описания природно-хозяйственных условий ОР используют конкретный перечень ПХП. В этот перечень включают ПХП, наиболее существенные с точки зрения основной цели районирования. Для обоснованного выбора перечня ПХП целесообразно предварительно разработать иерархическую понятийную структуру природно-хозяйственных условий ОР, а затем проанализировать степень важности и информативность ПХП, находящихся на ее нижнем уровне.

Построение многомерной классификации объектов районирования. При построении многомерной классификации ОР собирают исходную информацию и обрабатывают ее на ЭВМ. Сбор информации включает: получение сведений о природно-хозяйственных показателях ОР; измерение (определение значений) всех ПХП для каждого ОР; получение экспертной информации, необходимой для проведения расчетов на ЭВМ.

Обработка информации базируется на графо-аналитическом подходе к построению многомерной классификации ОР, который предполагает определение весовых коэффициентов ПХП; выделение классов ОР, сходных по комплексу ПХП; получение визуального представления о сходстве (различии) между ОР.

Исходные природно-хозяйственные данные представляют в вид таблиц «объект-показатель» (матриц данных), строки которых соответствуют ОР, а столбцы – характеризующим их ПХП. Причем для каждого ОР должны быть известны значения всех ПХП. На пересечении i -й строки и j -го столбца матрицы данных $Y = ||y_{ij}||$ содержится значение j -го ПХП i -го ОР, $j = \overline{1, m}$; $i = \overline{1, N}$.

Для построения многомерной классификации требуются экспертные данные, позволяющие формализовать понятие «сходство ОР», характеризующееся набором неравноценных и разноименных ПХП. Для вычисления меры сходства требуется: определение весовых коэффициентов ПХП; выбор способа нормирования природно-хозяйственных данных; выбор вида меры сходства.

Экспертная информация, необходимая для расчета весовых коэффициентов неравноценных ПХП, задается в виде специальных анкет-матриц парных сравнений. При этом эксперт отвечает на вопрос: «Укажите, какой из двух сравниваемых ПХП важнее с точки зрения основной цели природно-хозяйственного районирования?». Элементами матриц парных сравнений $A^v = ||a_{jk}^v||$ служат экспертные оценки важности j -го ПХП по отношению к k -му ПХП, $k = 1, m$; $v = 1, n$.

Разноименные ПХП выражаются в различных системах единиц и существенно различаются порядком числовых значений. Для приведения ПХП к сопоставленному виду в комплексном измерителе (мере) сходства между ОР нормируют данные. Матрицы данных Y нормируют единым способом.

Мера сходства (расстояния) $\rho_{i,l}$ между i -м и l -м ОР может иметь различный вид, $i, l = 1, N$.

Способ нормирования природно-хозяйственных данных и вида мер сходства между ОР выбирают на основе опроса экспертов и вычислений на ЭВМ.

Обработывают информацию одним из следующих методов: парных сравнений для определения весовых коэффициентов неравноценных ПХП; автоматической классификации по дереву кратчайших расстояний для выделения классов ОР, сходных по комплексу ПХП; визуализации данных для получения представления о сходстве (различии) между ОР в наглядно-обозримой форме.

При построении многомерной классификации ОР используют следующую технологическую схему сбора и обработки информации: задание совокупности ОР; выбор перечня ПХП, характеризующих ОР; формирование матрицы исходных природно-хозяйственных данных; задание матриц парных сравнений ПХП по степени предпочтительности; расчет весовых коэффициентов ПХП и оценка степени согласованности экспертных суждений; выбор способа нормирования природно-хозяйственных данных; выбор вида меры сходства между ОР в пространстве исходных ПХП; задание числа выделяемых классов ОР; выбор вида расстояния между точками (ОР) в пространстве обобщенных ПХП; задание начальной длины шага и максимального числа итераций при поиске оптимальной конфигурации точек; выделение классов ОР и получение наглядного представления о сходстве (различии) между ОР; содержательный анализ и интерпретация результатов расчетов.

Рекомендуется вначале разбить совокупность ОР на естественное число классов, а затем на заданное.

После предварительного анализа результатов расчетов уточняют число выделяемых классов ОР и число итераций при поиске оптимальной конфигурации точек в пространстве обобщенных ПХП. При построении неудовлетворительной многомерной классификации ОР необходима корректировка экспертной информации, получаемой на более ранних технологических этапах. В частности, уточнение перечня исходных ПХП, перевзвешивание ПХП, использование другого способа нормирования данных, изменение вида меры сходства.

Содержательный анализ и интерпретация результатов расчетов. При содержательном анализе и интерпретации результатов многомерной классификации ОР с помощью ЭВМ уточняют состав и границы классов ОР; описывают классы на языке исходных разноименных ПХП; интерпретируют обобщенные ПХП и описывают классы на их языке; образуют и формулируют названия районов определенного ранга на основе анализа своеобразия природно-хозяйственных условий классов ОР; подготавливают предварительные рекомендации по выбору комплекса мелиоративных мероприятий.

Состав и границы классов, полученных с помощью методов кластер-анализа, уточняют на основе сопоставления результатов многомерной классификации и карты базового районирования следующим образом: все ОР наносят на карту базового районирования; отмечают ОР, отнесенные к одному классу;

сравнивают границы классов и границы районов на карте; выявляют причины отнесения единичных ОР, входящих в определенный район, к классу, не имеющему общих границ с этим районом; принимают решение о «перевode» единичных ОР в состав классов, образующих определенный район на карте, или решение об уточнении границ данного района.

При описании классов на языке исходных ПХП указывают сведения о диапазоне изменения, средних значениях и среднеквадратических отклонениях данных показателей.

Обобщенные ПХП и описание классов на их языке интерпретируют на основе анализа результатов автоматической классификации и визуального представления о сходстве и различии между ОР.

Вначале на диаграмме рассеяния точек в результирующем пространстве ПХП отмечают границы классов и выделяют аномальные ОР. (Под такими объектами понимаются ОР, которые имеют экстремальные – минимальные или максимальные – значения обобщенных ПХП и резко выделяются на диаграмме своим положением).

Для каждого аномального ОР определяют те исходные ПХП, которые имеют экстремальные значения. Если аномальные ОР соответствуют направлению в сторону улучшения (снижения или увеличения значений) исходных ПХП, то их обводят синим цветом, в противном случае – красным. Выявленная тенденция изменения исходных ПХП должна быть проверена на «промежуточных» ОР.

На основе проведенного анализа устанавливают направления улучшения обобщенных ПХП и выделяют группы исходных, вносящих наибольший вклад в формирование первого и второго обобщенных ПХП.

Интерпретируют (формулируют наименование) обобщенные ПХП. Для этого на диаграмме рассеяния выделяют ОР, имеющие близкие значения по одному обобщенному ПХП и существенно различающиеся по другому. Затем эксперт отвечает на вопрос: «Как назвать единым термином тот обобщенный ПХП, по которому резко отличаются выделенные объекты?».

При описании классов на языке обобщенных ПХП учитывают положение ОР относительно осей этих показателей на диаграмме.

Образуют и формулируют наименование районов определенного ранга на основе анализа состава, границ и описания классов ОР на языке исходных и обобщенных ПХП. Затем составляют сводную карту природно-хозяйственного районирования территории региона, на которой выделяют районы путем их раскрашивания. Для каждого района разрабатываются конкретные рекомендации по выбору комплекса мелиоративных мероприятий с учетом своеобразия природно-хозяйственных классов ОР.

Методы решения задач природно-хозяйственного районирования.

В основе решения задачи природно-хозяйственного районирования изучаемой территории региона лежит многомерная классификация ОР по набору взаимосвязанных, неравнозначных и разноименных ПХП. Качество разбивки совокупности ОР на однородные группы существенно зависит от выбора (экспертным путем) перечня ПХП.

Приведем формальную постановку задачи многомерной классификации (кластер-анализа).

Пусть задано конечное множество ОР $\Omega = \{1, \dots, N\}$, каждый из которых описывается фиксированным набором ПХП y_j , $j = \overline{1, m}$. С геометрической точки зрения каждый ОР можно рассматривать как точку в m -мерном пространстве ПХП. Предположим, что для каждой пары ОР можно вычислить некоторую величину (меру сходства, «расстояние»), характеризующую «близость» между ними по всему набору ПХП.

Требуется среди всевозможных разбиений $\omega = \{\Omega_1, \dots, \Omega_L\}$ множества Ω на подмножества (классы) Ω_S , $S = \overline{1, L}$, выбрать такое, в котором сходство ОР внутри классов было бы как можно больше, а между классами – как мож-

но меньше. Причем, каждый ОР должен принадлежать только какому-то одному классу.

Природно-хозяйственные показатели могут быть количественными и качественными.

Количественными являются ПХП, измеренные в интервальной шкале и шкале отношений. Такие показатели (например, температура почвы и минерализация грунтовых вод) позволяют численно определить степень проявления соответствующих природно-хозяйственных условий ОР.

Значения качественных ПХП (показателей, измеренных в номинальной и порядковой шкалах), вообще говоря, не являются числами. Номинальные ПХП (например, морфогенетический тип почвы) позволяют разбивать исследуемые ОР на группы с одинаковыми именами – значениями этих показателей (например, черноземы). Порядковые ПХП (например, степень засоления почв) дают возможность выделять группы ОР, упорядоченные по рангам – показателям, описывающим степень проявления природно-хозяйственных условий ОР (например, незасоленные, слабозасоленные земли и т.п.).

Важнейший этап построения многомерной классификации ОР формирования комплексного измерителя (меры) сходства между объектами по набору ПХП.

В каждой конкретной задаче природно-хозяйственного районирования показатели ОР, как правило, имеют различную относительную важность. Поэтому для сопоставления ПХП в едином комплексном измерителе сходства необходимо определить их коэффициенты относительной важности (весовые коэффициенты). В задачах многомерной классификации они отражают значимость единичных изменений каждого ПХП при определении меры сходства между ОР.

В компьютерной технологии для определения весовых коэффициентов ПХП реализован метод парных сведений, удобный и надежный для решения практических задач. В данном методе исходная экспертная информация определяется на основе попарного сравнения всех ранжируемых ПХП по степени важности.

Отметим основные преимущества представления исходной экспертной информации в виде матриц парных сравнений:

1) эксперты сосредоточивают свое внимание не на всех ПХП сразу, а только двух. Это облегчает экспертизу и, следовательно, способствует повышению ее качества;

2) происходит большое число сравнений каждого ПХП с другими, благодаря чему повышается точность оценки;

3) каждая последующая экспертная оценка не связана с предыдущей;

4) экспертные оценки не обязаны быть транзитивными, т.е. j -й ПХП может быть важнее k -го, k -й важнее l -го и в то же время l -й важнее j -го;

5) для оценки степени согласованности экспертных суждений можно использовать аппарат статистических критериев.

С формальной точки зрения определение весовых коэффициентов ПХП методом парных сравнений сводится к отысканию собственных векторов

$\beta^v = (\beta_1^v, \dots, \beta_m^v)$, соответствующих максимальным собственным числам λ_v матриц A^v , т.е. $A^v \beta^v = \lambda_v \beta^v$. При этом необходимо, чтобы матрицы A^v были неразложимыми. Матрица A^v считается *разложимой*, если множество индексов $J = \{1, \dots, m\}$ можно разбить на два подмножества J_1 и J_2 , причем такие, что все показатели из J_1 предпочтительнее всех показателей из J_2 .

Если матрица A^v *неразложима*, то итерациональный процесс

$$\beta^v[t] = A^v \beta^v[t-1] / \lambda_v [t-1], t = 1, 2, \dots, n$$

сходится к максимальному собственному числу $\lambda_v = \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_v[t]$ матрицы A^v с

соответствующим вектором $\beta^v = \lim_{t \rightarrow \infty} \beta^v[t]$. При этом

$\lambda_v = \sum_k \sum_j a_{jk}^v \beta_j^v[t]$ — сумма компонент вектора $A^v \beta^v[t]$;

$\beta^v[t] = (\beta_1^v[t], \dots, \beta_m^v[t])$ — вектор весовых коэффициентов ПХП на t -й итерации; $\sum_j \beta_j^v[t] = 1$; $\beta_j^v[t] \geq 0$; $\beta_j^v[0] = 1/m$; $j = \overline{1, m}$.

Если в процедуре парного сравнения ПХП участвуют несколько экспертов, то полученные индивидуальные оценки β_j^v весовых коэффициентов усредняются, и формируется групповая матрица предпочтений A . Ее элементы a_{jk} отражают частоту «общей» предпочтительности j -го ПХП по сравнению с k -м, т.е. удовлетворяют условию $a_{jk} + a_{kj} = 1$. Доля случаев, когда j -й ПХП оказывается более значимым, чем k -й ПХП в общем числе получаемых оценок, определяется по формуле:

$$a_{jk} = \frac{1}{n} \sum_v (\beta_j^v - \beta_k^v + 1) / 2; \quad j, k = \overline{1, m}; \quad v = \overline{1, n}.$$

Для получения групповых оценок весовых коэффициентов используют вероятностные модели (Миркин, 1974). Их применение основано на предположении, что существуют некоторые «истинные» коэффициенты относительной важности ПХП β_j . При этом индивидуальные оценки β_j^v весовых коэффициентов, полученные на основе обработки матрицы парных сравнений A^v , рассматриваются как реализация некоторой случайной величины β_j с математическим ожиданием $M[\beta_j] = \beta_j$.

После получения групповых оценок β_j определяют степень согласованности экспертных суждений об относительной важности ранжируемых ПХП.

В качестве меры согласованности используют коэффициент конкордации Кэндалла W , который изменяется в пределах от 0 до 1. Причем $W = 1$ в случае полного совпадения мнений экспертов. Путем оценки коэффициента конкордации W можно установить, есть ли статистическая значимая согласованность экспертных суждений. Для этого вычисляют статистический критерий χ^2 . Если расчетное значение $\chi^2_{\text{расч}}$ больше критического (табличного) $\chi^2_{\text{табл}}(\gamma, \alpha)$ со степенями свободы $\gamma = (m - 1)$ и уровнем значимости α , то это означает, что W значимо отличается от нуля, т.е. мнения экспертов согласованны. Уровень значимости α определяет вероятность ошибки, которую можно допустить, приняв решение о том, что $W \neq 0$, когда на самом деле $W = 0$.

Количественные ПХП могут быть выражены в различных единицах измерения и иметь существенно различные значения. Поэтому они оказываются непоставимыми в комплексном измерителе сходства. В таких случаях необходимо предварительное нормирование природно-хозяйственных данных, которое можно выполнять различными способами, например:

$$\bar{y}_i^j = (y_i^j - y_i^{\min}) / (y_i^{\max} - y_i^{\min}),$$

где $\bar{y}_i^j$ — нормированное значение j -го ПХП i -го ОР; $y_i^{\min}$ и $y_i^{\max}$ — соответствующие минимальное и максимальное значения j -го ПХП.

После этого все ПХП приводят к безразмерному виду, причем $0 \leq \bar{y}_i^j \leq 1$, $j = \overline{1, m}$; $i = \overline{1, N}$.

Мера сходства («расстояние») между ОР может иметь различный вид, в частности

$$\rho_{il} = \sum_j \beta_j |\bar{y}_j^i - y_j^l|,$$

где ρ_{il} — расстояние между i -м и l -м ОР в N -мерном пространстве ПХП; $i, l = \overline{1, N}$; β_j — весовые коэффициенты ПХП, удовлетворяющие условию:

$$\sum_j \beta_j = 1, \quad \beta_j \geq 0, \quad j = \overline{1, m}.$$

Когда ОР характеризуется количественным m_1 и качественным m_2 ПХП, меру сходства можно определить по формуле:

$$\rho_{il} = \rho_{il}^1 + \rho_{il}^2,$$

где ρ_{il}^1 и ρ_{il}^2 — соответственно мера сходства ОР по набору количественных и качественных ПХП.

В качестве ρ_{il}^2 используют выражение

$$\rho_{il}^2 = \sum_j \theta_j \theta_l (y_j^i, y_j^l),$$

где $j = \overline{m_1 + 1, m}$; $\theta_j = 1$, если $y_j^i \neq y_j^l$; $\theta_j = 0$, если $y_j^i = y_j^l$.

Определение количественной меры сходства (весовых коэффициентов ПХП, способа нормирования данных и вида расстояния между ОР) позволяет формализовать экспертное представление о подобии природно-хозяйственных условий анализируемых объектов.

Далее для решения задач природно-хозяйственного районирования необходимо использовать методы многомерной классификации (кластер-анализа) и визуализации данных (многомерного шкалирования). Совместное применение этих методов позволяет повысить качество природно-хозяйственного районирования. Это обеспечивается возможностью проведения более углубленного анализа состава классов и их содержательной интерпретации.

Для построения многомерной классификации ОР применяют метод кластер-анализа, основанный на построении дерева кратчайших расстояний. В этом методе использовано следующее понятие класса: для произвольно выбранного объекта из некоторого класса найдется хотя бы один объект из этого же класса, сходство с которым больше, чем с любым объектом из другого класса.

Деревом кратчайших расстояний (ДКР) называют конечный связный граф без циклов с наименьшей суммой длин ребер между вершинами (объектами). Длины ребер ДКР характеризуют степень сходства анализируемых ОР по комплексу ПХП.

Пусть среди всевозможных разбиений $\omega = \{\Omega_1, \dots, \Omega_L\}$ совокупности ОР $\Omega = \{1, \dots, N\}$ на непересекающиеся подмножества (классы) Ω_s требуется найти наилучшее разбиение. Предположим в начале, что множество Ω необходимо разбить на классы Ω_1 и Ω_2 . Для этой цели расстояние между ними $\omega = \{\Omega_1, \Omega_2\}$ определяют по принципу «ближайшего соседа», т.е.

$$\rho(\omega) = (\Omega_1, \Omega_2) = \min_{i \in \Omega_1, l \in \Omega_2} \rho_{il}.$$

Пусть Λ — множество всех разбиений $\omega = \{\Omega_1, \Omega_2\}$ множества Ω . В соответствии с задачей классификации поставим следующую задачу оптимизации: найти такое значение $\omega^* \in \Lambda$, чтобы $\rho(\omega^*) = \max_{\omega \in \Lambda} \rho(\omega)$. Другими словами,

множество Ω требуется разбить на такие два класса, расстояние между которыми было бы максимальным. В связи с тем, что число всевозможных разбиений множества из N объектов на два класса равно $2^N - 1$, то даже при небольшом числе N определить $\omega^* \in \Lambda$ путем полного их перебора затруднительно. Аналогично формулируют задачу оптимизации и при разбиении множества Ω на $L > 2$ классов. В этом случае ее решение сводится к последовательному разбиению Ω на максимально удаленные подмножества.

ДКР строят на основе матрицы $A = ||\rho_{ij}||$ «расстояний» между ОР. Сначала берут произвольный объект и ищут ближайший к нему в смысле введенной меры сходства. Далее определяют ОР, ближайший к полученной паре, т.е. наиболее сходный с первым или вторым, и т.д. После построения ДКР выделяют классы ОР, находящиеся на наибольшем расстоянии друг от друга.

По определению ДКР, последовательный его разрез по $(L - 1)$ ребрам максимальной длины ведет к образованию L различных классов. Если считать, что число классов заранее не задано, то находят ребра u_i , длины которых u_i удовлетворяют условию:

$$u_i > u_i - 1, \quad u_i > u_i + 1, \quad u_i > \bar{u},$$

где $\bar{u}$ — средняя длина ребер ДКР.

Так как ДКР является связным графом, то удаление таких ребер ведет к выделению естественного числа классов. При использовании метода классификации по ДКР вначале рекомендуется разбить множество Ω на естественное число классов, а затем (после содержательного анализа результатов классификации) — на заданное.

В тех случаях, когда формальный анализ является вспомогательным средством для решения задач природно-хозяйственного районирования, экспертам целесообразно выдавать информацию в наглядно-обозримой форме.

Методы визуализации природно-хозяйственных данных основаны на построении обобщенных ПХП, которые дают возможность получать информацию об анализируемых ОР в сжатом, агрегированном виде.

С другой стороны, методы визуализации данных могут быть отнесены к методам многомерной классификации, в основу которых положена гипотеза «компактности», т.е. предположение о том, что классу в пространстве обобщенных ПХП соответствует изолированная группа близких точек. Они позволяют получать наглядное представление о взаимном расположении ОР, что значительно облегчает содержательный анализ результатов классификации.

В этом случае множеству Ω ставится в соответствие конфигурация точек в m -мерном пространстве ПХП (исходном пространстве). Требуется «перевести» N точек из исходного пространства ПХП в результирующее пространство меньшей размерности $m < m$ ($m = 1, 2, 3$), образованное обобщенными показателями $\Phi_1, \dots, \Phi_m$, таким образом, чтобы сохранить внутреннюю структуру данных. Другими словами, в результирующем пространстве необходимо найти такую конфигурацию, расстояние между точками которой наилучшим образом соответствует сходству между объектами в исходном пространстве.

Отметим, что взаимное расположение N точек в исходном и результирующем пространстве полностью характеризуется $N(N - 1)/2$ расстояниями ρ_{ij} и d_{ij} соответственно. В частности,

$$d_{ij} = \left[\sum_k (\Phi_k^i - \Phi_k^j)^2 \right]^{1/2},$$

где Φ_k^i — значение k -го обобщенного ПХП i -го ОР (i -й точки).

Для выбора наилучшей конфигурации точек в результирующем пространстве используют следующий критерий качества отображения:

$$S = \frac{1}{\sum_{i < j} \rho_{ij}} \sum_{i < j} (\rho_{ij} - d_{ij})^2 / \rho_{ij}.$$

Для критерия S более точно сохраняются небольшие расстояния и менее точно — большие (так как большие веса $1/\rho_{ij}$ придаются ошибкам в передаче небольших расстояний).

Критерий S – функция N m координат N точек в пространстве размерности m . Для поиска оптимальной конфигурации точек в результирующем пространстве используют метод безусловной минимизации, являющийся аналогом метода Ньютона. При этом

$$\Phi_k^i[t] = \Phi_k^i[t-1] - \alpha[t] \frac{\partial S}{\partial \Phi_k^i} [t-1] / \frac{\partial^2 S}{(\partial \Phi_k^i)^2} [t-1], \quad t = 1, 2, \dots, N,$$

где $\Phi_k^i[t]$ – значение k -го обобщенного показателя i -го объекта на t -й итерации; $\alpha[t]$ – длина шага в направлении убывания S ;

$-\frac{\partial S}{\partial \Phi_k^i} [t-1] / \frac{\partial^2 S}{(\partial \Phi_k^i)^2} [t-1]$ – направления, образующие острый угол с антиградиентом критерия S .

В качестве начального приближения в итерационном методе минимизации S используют проекцию объектов из исходного пространства в в результирующее, образованное m ПХП с наибольшими весовыми коэффициентами или первыми главными компонентами m .

Предлагаемая автоматизированная технология реализуется с помощью оригинального комплекса программ природно-хозяйственного районирования (комплекса DISTRICT) и стандартных пакетов программ статистического анализа.

В состав комплекса DISTRICT входят три программы:

1) определения весовых коэффициентов ПХП методом парных сравнений (программа WEIGHTPX);

2) построения многомерной классификации ОР по дереву кратчайших расстояний (программа DKRPX);

3) получения визуального представления совокупности ОР (программа VIZPX). Комплекс DISTRICT ориентирован на решение задач природно-хозяйственного районирования следующей размерности: число ОР – не более 500; число ПХП – не более 50.

Комплекс DISTRICT и ППСА функционируют на любой модели ЭВМ со стандартным набором технических средств. Программы работают под управлением операционной системы.

9.4. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И ВЫБОР НАИЛУЧШИХ ВАРИАНТОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРОЕКТНОЙ СТАДИИ

«Жизненный цикл» мелиоративной системы (МС) можно разделить на три этапа: разработка (предпроектные работы и проектирование), строительство и эксплуатация. Качество МС формируется на первом, обеспечивается на втором и реализуется на третьем этапах.

Согласно ГОСТ 15467-79 под качеством МС будем понимать иерархическую совокупность всех технико-экономических свойств (конструктивных, эксплуатационных, стоимостных и др.), определяющих ее способность функционировать в соответствии со своим назначением. Иными словами, качество МС можно определить как функцию ее технико-экономических показателей (ТЭП), по значениям которой системы можно сравнивать как более или менее совершенные в отношении их соответствия некоторой определенной цели.

Оценку качества МС строят по принципу сравнения значений ее ТЭП с заранее выбранными нормативными уровнями показателей (требуемыми значениями этих ТЭП). Относительную оценку качества МС, основанную на сравнении совокупности значений различных ТЭП с заданной совокупностью их нормативных уровней, называют *уровнем качества*. Такая оценка должна исходить из назначения МС, т.е. обеспечения необходимых условий для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях.

В дальнейшем будем рассматривать только тот аспект качества, который полностью определяется значениями ТЭП, связанными с созданием технически совершенных МС, т.е. их *техническим уровнем*. Для создания технически совершенных МС, удовлетворяющих определенным требованиям, необходимо рациональное использование природных, энергетических, трудовых, финансовых и других ресурсов. В связи с этим для количественной оценки технического уровня МС про всей совокупности ТЭП формируют обобщенный (интегральный) показатель с учетом ограничений на имеющиеся ресурсы и состояние мелиорируемых земель.

Получение обобщенной оценки технического уровня МС не является самоцелью. Она необходима для планирования, управления, контроля и анализа качества МС. Построенная оценка дает возможность обосновать долгосрочные прогнозы, четко планировать на их основе необходимое ресурсное обеспечение перспективного развития, размещения мелиорации и т.д.

Определение технического уровня МС включает следующие основные этапы.

1. Построение иерархической структуры оцениваемых технико-экономических свойств МС.

2. Расчет коэффициентов относительной важности элементов иерархической структуры и формирование перечня (набора) локальных ТЭП.

3. Построение обобщенного показателя технического уровня вариантов МС и их ранжирование по этому показателю.

Совокупность технико-экономических свойств МС представляется в виде иерархической структуры типа дерева целей. При этом более крупные и сложные элементы описываются через свойства более простых элементов иерархической структуры, а оценка формируется «снизу-вверх». На ее верхнем уровне находится комплексное свойство – «технический уровень», которое на следующих уровнях разбивается на более конкретные свойства. На самом нижнем уровне иерархической структуры расположены измеряемые характеристики этих свойств и локальные ТЭП. Набор данных ТЭП должен наиболее полно отражать все существенные аспекты технического уровня МС. Отметим, что локальные ТЭП могут быть измерены в различных шкалах (Миркин, 1974). Так, показатель «энергоёмкость» измеряется в количественной шкале – шкале отношений, а показатель «степень автоматизации» – в порядковой.

Важный момент при построении обобщенной оценки технического уровня МС – определение весовых коэффициентов относительной важности (значимости) ТЭП в данной иерархической структуре. Действительно, ТЭП, описывающие МС, неодинаковы по своему вкладу в технический уровень системы. Кроме того, ТЭП, как правило, взаимозависимы, и при отсутствии информации об этой зависимости никакими формальными расчетами однозначно решить задачу определения технического уровня не удастся. Отсутствие этой информации может быть восполнено только в результате привлечения к решению задачи специалистов-экспертов, которые предоставляют необходимую информацию.

В основе современных методик расчета технического уровня лежит выделение множества объектов, оптимальных по множеству Парето, т.е. объектов, у которых хотя бы один показатель выше, чем соответствующий показатель остальных объектов. Преимущество таких методик заключается в возможности выделения наилучших вариантов на основе объективной информации. В то же время, работоспособность таких методик существенно снижается при наличии большого числа противоречивых локальных показателей, так как в этом случае множество Парето практически совпадает с допустимым множеством всех оцениваемых объектов. В связи с этим для ранжирования объектов требуется дополнительная информация, связанная с построением интегрального показателя качества.

Предлагаемая ниже методика построения интегральных оценок технического уровня МС основана на естественных (обоснованных) исходных прин-

ципах (Бермант, Руссман, 1978) и допускает решение ряда других задач (автоматизированное проектирование МС, построение прогнозных моделей развития мелиоративной техники и др.).

В настоящее время можно выделить три класса обобщенных оценок.

Для первого класса известен вид свертки частных показателей, которые измеряются в количественных шкалах и имеют определенную размерность. Наиболее распространенные виды таких сверток:

$$\text{аддитивная } F_1 = \sum_j y_j^0 \text{ и мультипликативная } F_2 = \prod y_j^0,$$

где y_j^0 — частная оценка вариантов МС по j -му показателю, $j = \overline{1, m}$. Так, с помощью аддитивной свертки оценивают приведенные затраты, а с помощью мультипликативной — надежность системы, состоящей из последовательно соединенных подсистем.

Для второго класса заданы только измеримые в количественных шкалах частные показатели, от которых зависит искомая обобщенная оценка. Необходимо выработать вид этой неизвестной функции от заданных показателей.

Рассмотрим некоторое множество МС определенного типа $\Omega = \{1, \dots, N\}$, каждая из которых характеризуется набором показателей $y_1, \dots, y_m$. Тогда получим матрицу данных $Y = \|y_j^i\|$, каждый элемент y_j^i которой представляет собой значение j -го ТЭП i -й МС. Увеличение или уменьшение значения ТЭП означает улучшение технического уровня. Все такие ТЭП можно преобразовать (беря либо обратную величину, либо приписывая показателю противоположный знак) к одной форме: чем меньше значение ТЭП, тем лучше. Примем, что улучшение технического уровня соответствует уменьшению значения ТЭП.

Чтобы определить диапазон изменения ТЭП и выбрать нормативные ограничения, удобно перейти от исходной матрицы Y к матрице $\bar{Y}$ в которой значения каждого j -го ТЭП расположены в порядке возрастания сверху вниз. Тогда первая строка матрицы $\bar{Y}$ будет описывать некоторую «идеальную» МС. Соответственно, в самой последней строке будут расположены наихудшие значения имеющихся ТЭП. При этом диапазон изменения j -го ТЭП определяется соотношением:

$$y_j^{\min} \leq y_j^i \leq y_j^{\max}, \quad j = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, N}.$$

На основе анализа матрицы $\bar{Y}$ назначают нормативные уровни ТЭП y_j^* , фактически отражающие требования к качеству технического уровня МС по j -му ТЭП: $y_j^i \leq y_j^*$. Поскольку такие требования часто являются противоречивыми, то целесообразно нормативные уровни задавать с некоторыми допусками $\delta_j > 0$. Тогда нормативные ограничения принимают вид:

$$y_j^i \leq y_j^* + \delta_j.$$

Для построения интегрального показателя технического уровня необходимо прежде всего представить каждый ТЭП в безразмерном виде, причем желательнее, чтобы такое представление отражало как степень совершенства конструкции, так и требования потребителя к каждому ТЭП. Сделаем следующую замену переменных:

$$\mu_j^i = p_j y_j^i + q_j, \quad \varepsilon_j = p_j (y_j^* + \delta_j) + q_j, \quad j = \overline{1, m}; \quad i = \overline{1, N}.$$

Величины μ_j^i и ε_j должны удовлетворять следующим условиям:

$0 \leq \mu_j^i \leq 1$; $0 \leq \varepsilon_j \leq 1$; $\mu_j^{\min} = p_j y_j^{\min} + q_j = 1$; $\mu_j^{\max} = p_j y_j^{\max} + q_j = 0$. После простых преобразований получаем

$$\mu_j^i = (y_j^{\max} - y_j^i) / (y_j^{\max} - y_j^{\min}); \quad \varepsilon_j = (y_j^{\max} - y_j^* - \delta_j) / (y_j^{\max} - y_j^{\min}).$$

Очевидно, что μ_j^i характеризует достигнутый технический уровень i -го варианта МС по j -му ТЭП ($\mu_j^i = 1$ – наивысшее качество, $\mu_j^i = 0$ – отсутствие данного качества), а ε_j характеризует требования к техническому уровню по j -му ТЭП для любой МС.

Следует отметить, что требования ε_j зависят от целевого назначения (области применения) МС. В том случае, когда значение j -го ТЭП меньше нормативного уровня (выполняется требование к качеству по j -му ТЭП для i -й МС), т.е. когда $\mu_j^i \leq \mu_j^* + \delta_j$, $\mu_j^i \geq \varepsilon_j$. Локальная оценка d_j^i технического уровня i -й МС по j -му ТЭП представляет собой следующую функцию безразмерных переменных ε_j и μ_j^i :

$$d_j^i = [\varepsilon_j (1 - \mu_j^i)] / [\mu_j^i (1 - \varepsilon_j)].$$

Она характеризует трудность достижения требуемого технического уровня МС по соответствующему локальному ТЭП.

Формула для интегрального показателя технического уровня, если предположить независимость (одноуровневость) и равнозначность входящих в нее локальных оценок, имеет вид:

$$d^i = 1 - \prod_j (1 - d_j^i)^{\beta_j},$$

где весовые коэффициенты ТЭП β_j удовлетворяют условию

$$\sum_j \beta_j = 1, \quad \beta_j \geq 0, \quad j = \overline{1, m}$$

В третьем классе обобщенных оценок, в отличие от второго свертке подлежат частные показатели, измеренные в различных шкалах. Некоторые из этих показателей (например, ТЭП – «степень автоматизации») измеряются в рангах или баллах, а другие (например, ТЭП – «энергоёмкость») являются количественными. Поэтому при формировании обобщенной оценки технического уровня все ТЭП должны быть приведены к одной шкале – порядковой или количественной (Миркин, 1974). Кроме того, в связи с трудностью построения объективных моделей данных ТЭП на предпроектной стадии целесообразно использовать экспертные оценки.

Рассмотрим нормативный метод построения обобщенной оценки технического уровня МС, относящийся к третьему классу.

Необходимость разработки технических совершенных МС требует принятия обоснованных инженерных решений уже на предпроектной стадии. Обоснованность их выбора для различных природно-хозяйственных условий мелиорируемой территории определяется представительностью множества возможных вариантов МС и полнотой набора показателей технического уровня (качества) этих решений.

Повышение технического уровня предпроектных решений требует поиска наилучших вариантов МС на всех уровнях оптимизации. Первому уровню соответствует выбор наилучшего принципа действий (основной технической схемы) МС, который практически не поддается формализации, второму – поиск наилучшей структуры МС в рамках выбранного принципа действия. На третьем этапе определяют параметры МС для заданной структуры.

Для всестороннего рассмотрения вариантов структуры МС целесообразно применять морфологический анализ. Его основу составляет построение морфологических таблиц (МТ) проектируемых МС. Эти таблицы позволяют анализировать многообразие возможных вариантов структуры МС в результате их систематического обзора и представления в наглядной форме. Для представления множества возможных вариантов структуры МС в виде МТ должны быть определены состав и тип структурных объектов. Структурными объектами называют взаимосвязанные технологическим процессом мелиорационные элементы системы, которые обеспечивают выполнение ее основной функции.

Для обоснования состава структурных объектов МС рекомендуется применять анализ функций. Его начинают с формулировки основной функции, которая должна наиболее полно соответствовать исходной цели. Далее выявляют технические функции и соответствующие им структурные объекты МС. Так, функции «забор воды из водисточника» соответствует объект «водозаборное сооружение». Тип структурных объектов МС определяется выбором ее технической схемы. Такой схемой для оросительной системы служит схема водоподачи и водораспределения.

Для построения МТ необходимо определить существенные качественные (номинальные) параметры структурных объектов МС, от которых зависит их технический уровень, и задать возможные значения этих параметров. Существенные параметры не должны находиться в иерархической зависимости один от другого. Номинальные параметры (например, «вид дождевальной техники») описывают тип структурных объектов МС. Их значениями являющиеся названия альтернативных способов конструктивно-технологической реализации этих объектов (например, названия дождевальных машин «Фрегат», «Днепр» и т.д.).

Каждому i -уровню МТ (номинальному параметру x_i) соответствует определенное число M_i ее элементов (значений этого параметра) x_i^k ; $k = \overline{1, M_i}$; $i = \overline{1, n}$. Составляя различные комбинации элементов всех уровней МТ, получают возможные варианты структуры МС. Таким образом, при оптимизации структуры МС анализируются альтернативные способы конструктивно-технологической реализации структурных объектов при компоновке их в систему.

Учет ограничений на увязку элементов различных уровней МТ позволяет выделить множество допустимых вариантов структуры МС. При этом для каждой пары уровней задают матрицы смежности, строки которых соответствуют элементам «нижнего», а столбцы — элементам «верхнего» уровней. На пересечении k -го столбца и l -й строки ставят «1», если комбинация k -го элемента верхнего уровня и l -го элемента нижнего уровня допустима, в противном случае ставят «0».

Пусть множество возможных вариантов инженерных решений проектируемой МС $\Omega = \{\omega^1, \dots, \omega^N\}$ представляется в виде морфологических таблиц. Варианты $\omega^i = (x^i, y^i)$ описываются двумя наборами признаков. Набор номинальных параметров $x = (x_1, \dots, x_n)$ — концептуальная модель МС, а набор ТЭП $y = (y_1, \dots, y_m)$ — технический уровень вариантов.

Обозначим через φ_{ij}^k оценку в баллах k -го элемента по j -му ТЭП на i -ом уровне МТ. Причем для всех k, j и i , φ_{ij}^k принимает целые значения из интервала $[0, K]$. В общем случае показатели y_j являются комплексными по отношению к одноименной совокупности частных ТЭП φ_{ij} , встречающихся на различных уровнях МТ. В работе И.Б.Руссмана и В.М.Умывакина установлен вид свертки дискретных оценок φ_{ij}^k для неаддитивных показателей (в частности, для показателя «степень автоматизации») $y_j^0 = \min_{1 \leq i \leq n} \varphi_{ij}^k$.

Если аддитивные показатели (например, металлоемкость) измеряются в баллах, то в качестве комплексной оценки вариантов структуры МС могут быть использованы средневзвешенные оценки. Для показателей, встречающихся только на одном i_s -м уровне МТ, $y_j^0 = \varphi_{ij_s}^k$.

Теперь рассмотрим вопросы построения обобщенной оценки технического уровня вариантов структуры МС. Будем считать, что все показатели y_j принимают значения из интервала $[0, K]$. Следуя работе [И.М.Берманта и И.Б.Руссмана (1978)], введем величину

$$D_j = [E_j (K - M_j^i)] / [M_j^i (K - E_j)],$$

где M_j^i и E_j — соответственно оценка j -го ТЭП и его нормативный уровень.

D_i^j – частная оценка технического уровня i -го варианта структуры МС по j -му ТЭП.

При объединении D_i в обобщенную оценку D вводят следующие ограничения:

- 1) $D(D_1, \dots, D_m) \in [0, K]$ при $D_1, \dots, D_m \in [0, K]$;
- 2) $D(0, \dots, 0) = 0$, $D(K, K, \dots, K) = K$.

Если все частные оценки D_i удовлетворяют условиям коммутативности и ассоциативности, то

$$D^i = K [1 - \prod_j (1 - D_i^j / K)^{\beta_j}],$$

где D^i – обобщенная оценка технического уровня i -го варианта структуры МС; β_j – весовые коэффициенты, отражающие относительную важность частных оценок D_i , $\sum_j \beta_j = 1$, $\beta_j \geq 0$, $j = \overline{1, m}$,

Отметим, что вариантам с минимальными значениями D^i соответствует наиболее высокая степень выполнения требований к техническому уровню инженерных решений МС.

Рассмотрим пример применения нормативного метода построения обобщенной оценки технического уровня крупных и сложных МС на предпроектной стадии разработки ТЭО.

Основная цель заключалась в создании технически совершенной оросительной системы (ОрС), обеспечивающей возможность получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур при рациональном использовании природных, трудовых, материальных, энергетических и финансовых ресурсов, а также биологическую доочистку сточных вод.

Функциональное назначение этой системы – подача вод, пригодных для орошения, и отвод избытков поверхностных вод. Основная функция проектируемой ОрС – регулирование водно-солевого режима почв орошаемого массива. Ее выполнение обеспечивают следующие структурные объекты: водозаборные сооружения (забор воды из водисточников); проводящая сеть (транспортировка воды к орошаемому массиву); распределительная сеть (распределение воды на орошаемом массиве); поливная техника (перевод воды из состояния водяного тока в состояние почвенной влажности); водосборно-сбросная сеть (сбор и отвод избытков воды в водоприемник).

Тип структурных объектов проектируемой ОрС был конкретизирован в результате выбора проектировщиками ее технической схемы. Приведем ее краткое описание.

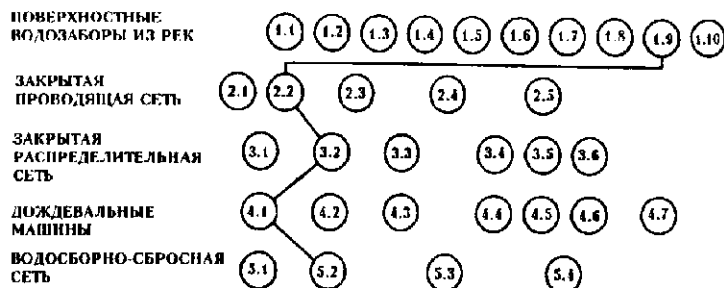


Рис. 9.7. Морфологическая таблица и наиболее предпочтительный вариант структуры оросительной системы

Сточные воды и чистая вода забираются поверхностными водоисточниками. Вода в проводящей сети перекачивается и подается в распределительную сеть стационарными насосными станциями. Оросительная сеть – закрытая стационарная. Для полива применяют дождевальную технику, пригодную к использованию сточных вод. Водосборно-сбросная сеть может быть как открытой, так и закрытой. В рамках выбранной технической схемы осуществлялся поиск наилучших вариантов структуры проектируемой *Орс*. (рис 9.7).

Для формализованного представления возможных вариантов структуры проектируемой *Орс* была построена ее МТ, которая включает *Орс* рассматриваемого типа. Далее экспертами были сформулированы ТЭП вариантов структуры проектируемой *Орс*. Это 13 технико-экономических показателей, перечень и коды которых приведены в таблице 9.2. Зависимости между параметрами ТЭП вариантов структуры проектируемой *Орс* задавали в табличном виде. При этом для всех элементов каждого уровня МТ были получены экспертные оценки в баллах по соответствующим ТЭП (в интервале от 0 до 10). Оценку в 10 баллов присваивали элементам МТ, в которых максимально проявлялись оцениваемые свойства.

9.2. Характеристика наилучших вариантов структуры проектируемой *Орс*

Номер варианта	Коды элементов МТ, образующих варианты	Коды ТЭП вариантов и их оценка													Обобщенная оценка технического уровня
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	
1	1.9; 2.4; 3.3; 4.1; 5.4	7.1	8.3	8	8	6	10	8.3	8	6.5	7	8	6	6	0.3372
2	1.8; 2.3; 3.3; 4.2; 5.4	6.7	6.6	8	8	6	10	8.0	8	8.0	8	10	10	2	0.3390
3	1.9; 2.2; 3.2; 4.1; 6.2	6.5	8.3	8	10	6	10	7.3	7	10	7	8	6	6	0.3913
4	1.7; 2.1; 3.2; 4.1; 5.3	6.7	7.6	8	10	6	10	7.0	6	10	7	8	6	6	0.3921
5	1.7; 2.4; 3.1; 4.1; 5.4	6.7	8.3	8	10	6	10	7.6	6	7.5	7	8	6	6	0.5941
6	1.10; 2.3; 3.1; 4.1; 5.3	7.3	6.6	5	5	5	5	7.3	6	9.0	7	8	6	6	0.7790

* 01 – капитальные затраты; 02 – эксплуатационные затраты; 03 – степень механизации; 04 – степень автоматизации; 05 – производительность насосной станции; 06 – напор насосной станции; 07 – материалоемкость; 08 – обеспеченность арматурой; 09 – энергоемкость; 10 – интенсивность дождя; 11 – возможность полива высокостебельных культур; 12 – коэффициент земельного использования; 13 – производительность дождевальной машины.

Задачи выбора наилучших вариантов структуры МС относятся к классу дискретных задач многокритериальной оптимизации. Их решение связано с построением и целенаправленным анализом множества *G* допустимых вариантов структуры МС. Среди них требуется отыскать те, которые наилучшим образом удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к техническому уровню, т.е. с наиболее приемлемыми значениями всех ТЭП.

В процессе выбора наилучших вариантов структуры МС выполняют подготовительно-заключительные операции, а также процедуры формирования и многокритериального анализа множества допустимых вариантов. Эти операции и процедуры объединены в технологическую схему автоматизированного анализа данных на предпроектной стадии разработки МС. К подготовительным относятся операции по установлению зависимостей между характеристиками вариантов структуры МС.

Для решения задач выбора наилучших вариантов структуры конкретной МС в первую очередь используют процедуру формирования множества допустимых вариантов. Когда полный «перебор» вариантов в МТ нецелесообразен, исполь-

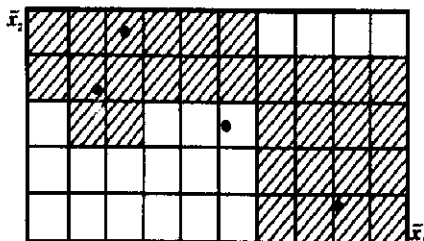


Рис. 9.8. Представление множества допустимых вариантов структуры МС на плоскости обобщенных

оценок $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2$

зуют операцию получения заданного числа репрезентативных вариантов. Под их репрезентативностью понимают следующее: среди ограниченного числа вариантов, включенных в анализ, должны быть варианты с наибольшим разнообразием оцениваемых свойств. Такая операция сокращенного перебора вариантов связана с построением количественных обобщенных оценок. Их значения характеризуют степень приемлемости различных элементов МТ для конкретных природно-хозяйственных условий мелиорируемой территории.

На рисунке 9.8 схематично представлено множество допустимых вариантов структуры МС на плоскости количественных обобщенных оценок $\tilde{x}_1$ и $\tilde{x}_2$. Допустим сочетаниям значений номинальных параметров x_1 и x_2 соответствуют заштрихованные прямоугольники.

Область допустимых вариантов в данном случае является «плохой» (в частности невыпуклой). В связи с этим для получения заданного числа репрезентативных возможных вариантов структуры применяется метод ЛП-поиска. Этот метод позволяет осуществить дискретизацию непрерывной области

$$\tilde{X} = \{ \tilde{x} \mid 0 \leq \tilde{x}_i \leq 1, i = \overline{1, n} \}$$

в результате генерирования конечного числа пробных точек $\tilde{x}^i$ (возможных вариантов структуры МС), наиболее равномерно заполняющих $\tilde{X}$, а значит, и область допустимых вариантов $G_{\tilde{X}}$.

После построения конечного множества допустимых вариантов структуры МС в нем выделяют варианты с возможно лучшими значениями всех ТЭП. С этой целью пользуются процедурой многокритериального анализа множества допустимых вариантов.

Первая операция процедуры систематизации и агрегирования анализируемого материала – выделение множества вариантов структуры МС, оптимальных по Парето. Оно содержит допустимые варианты, которые лучше остальных одновременно для всех ТЭП. Поиск вариантов структуры МС, оптимальных по Парето, эффективен (в смысле сужения множества допустимых вариантов) по небольшому числу «главных» ТЭП.

Однако число вариантов МС, оптимальных по Парето, может быть достаточно большим. Кроме того, они характеризуются значительным разнообразием оцениваемых технико-экономических свойств проектируемой МС. В такой ситуации проводят классификацию множества и получают его представление в форме, удобной для визуального анализа. Классификация множества Парето заключается в выделении таких подмножеств (классов), которые содержат сходные, близкие между собой варианты структуры МС. Данные варианты характеризуются аналогичными технико-экономическими свойствами. Это дает возможность для дальнейшего поиска наилучших вариантов МС в некоторых классах или среди их типичных представителей.

Представление множества Парето в наглядно-обозримой форме облегчает содержательный анализ и интерпретацию результатов классификации (рис. 9.9).

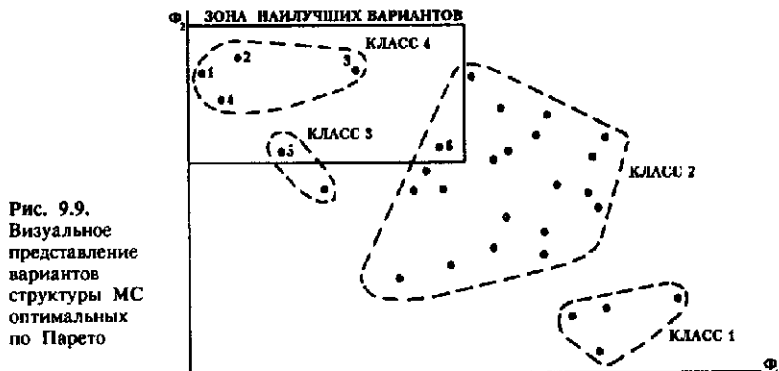


Рис. 9.9.
Визуальное
представление
вариантов
структуры МС
оптимальных
по Парето

Заключительная операция автоматизированного анализа данных на предпроектной стадии – определение значений параметров (элементов уровней МТ) выбранных наилучших вариантов структуры МС.

Для практической реализации комплекса процедур формирования и многокритериального анализа множества допустимых вариантов создан пакет прикладных программ автоматизированного анализа данных на предпроектной стадии разработки МС (ВНИИТИМ, ВГУ).

Вместо заключения

За последние 10-15 лет (в целом в науке и в том числе сельскохозяйственной и мелиоративной) произошли существенные продвижения в понимании современного взаимодействия человека с техно-природными системами и их взаимного влияния. Нам представляется, что современные взгляды позволяют рассматривать мелиоративную деятельность как создание деятельно-техно-природных (ДТП) систем (рис. 1).

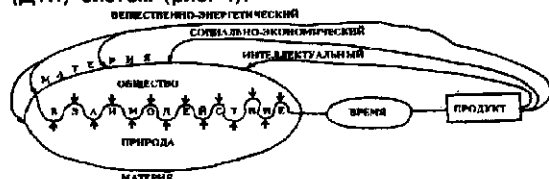


Рис. 1.

Системы производства продукции на мелиорированных землях являются разновидностью подобных систем. Исследованиями за указанный период показано, что компоненты, входящие как в ДТП систему, так и в систему производства продукции на мелиорированных землях (СППнаМЗ) имеют одинаковый компонентный состав, т.е. они включают человека, инженерные системы, среду в широком смысле, материальные ресурсы и обеспечиваются управлением при надлежащем объеме информации, моделей, описывающих процессы во времени. Поэтому мы считаем, что в концепции понятия АГРОЛАНДШАФТ должна найти отражение как в целом ДТП система, так и ряд обслуживающих подсистем: служба мелиоративного кадастра, маркетинга и информационно-советующие системы, позволяющие прогнозировать, обосновывать и выбирать в имитационном и экспертном режимах как мелиоративные мероприятия, так и их мощности при помощи современных методов (рис. 2).

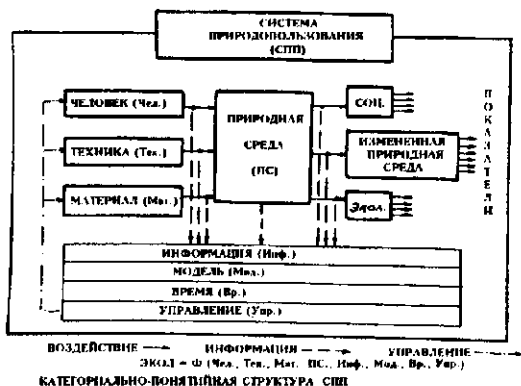


Рис. 2.

Решение экологических, социальных проблем, стоящих перед страной, требует поиска качественно новой основы развития механизмов рыночной экономики для преодоления инерции действия механизмов ведомственно-отраслевой экономической структуры. С другой стороны, перед каждой отраслью стоит задача качественного развития, связанная с поиском путей эффективного существования в условиях рыночной экономики. Концепции качественного развития каждого вида деятельности должны рассматривать вопросы изменения целей, приоритетов и средств развития.

С особенной остротой необходимость изменения тенденций развития стоит перед отраслями агропромышленного комплекса. Более того, именно эффективность развития систем производства продуктов питания является основой благополучия и показателем, уровнем развития страны.

В настоящее время нет единой концептуальной основы, позволяющей согласовать программы, разрабатываемые Госкомприродой по защите окружающей среды, программ развития агропромышленного и промышленного секторов экономики и программ социального развития общества.

Поэтому считаем целесообразным рассмотреть вопросы взаимосвязи экономики, экологии, мелиорации и информации на примере мелиоративной деятельности. Рассматривать концепцию развития мелиорации как составную часть социально-экономического развития общества на этапе перехода к рыночным отношениям. Матричное представление о компонентном составе и их взаимосвязях приведены на рис. 3.

КАТЕГОРИАЛЬНО-ПОНЯТИЙНАЯ МАТРИЦА
СИСТЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТ ДЕЙСТВИЕ	ПРОДУКТ (П)											
	ИЗМЕНЕННАЯ ПРИРОДНАЯ СРЕДА (ИПС)				ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА (ЭС)				СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СРЕДА (СЭС)			
ЧЕЛОВЕК (Чел.)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12
ТЕХНИКА (Тех.)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12
МАТЕРИАЛ (Мат.)	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12
СРЕДА (Ср.)	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	4.12
ИНФОРМАЦИЯ (Инф.)	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10	5.11	5.12
МОДЕЛЬ (Мод.)	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10	6.11	6.12
ВРЕМЯ (Вр.)	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10	7.11	7.12
УПРАВЛЕНИЕ (Упр.)	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.10	8.11	8.12

Рис. 3.

П = Ф (Чел., Тех., Мат., Ср., Инф., Мод., Вр., Упр.)

Для достоверной оценки природно-мелиоративного состояния массива мелиораций и технического состояния инженерной системы, тенденций развития объекта и определения мер по улучшению условий на нем, необходимо рассматривать эту систему как деятельностно-техно-природную (ДТП), обстановка на которой определяется не только свойствами отдельных элементов системы (положение УГВ, засоление и т.д.), но, в основном, характерными процессами, протекающими на системе (изменение объема подземных вод, перераспределение солей и т.д.) и факторами (причинами) природными и деятельностными в их связи и взаимодействии, причем деятельностный фактор оказывается наиболее значимым.

Деятельность и функционирование гидромелиоративной системы, во-первых, вызывает изменения направленности и интенсивности природных процессов, а, во-вторых, обуславливает появление новых процессов. Изменение направленности и интенсивности существовавших и появление новых процессов вызывает, в свою очередь, изменение свойств отдельных компонентов ДТП системы. Все это дает возможность говорить об изменении мелиоративной ситуации.

Мелиоративную деятельность необходимо контролировать, отслеживая изменения деятельностно-природно-мелиоративных ситуаций, что даст возможность оперативного вмешательства для устранения отрицательных воздействий мелиоративной деятельности на мелиорированные земли и экологическую ситуацию. Между тем, при анализе инженерной системы, как компоненты целостного деятельностно-техно-природного объекта, появляется целый ряд аспектов его рассмотрения, и в каждом из этих аспектов показатели могут иметь свое значение.

Следует отметить, что «ценности», разные не только в разных аспектах анализа, на разных системах, и в разных регионах, меняются с течением времени и тесно связаны с сознанием людей, общества и его культуры. Так, если основной «ценностью» провозглашался урожай без достаточного контроля за почвой, то теперь скорее всего в большинстве регионов основной «ценностью» становится почва, ее плодородие и экологическая ситуация, определяемая влиянием деятельности и функционирования гидромелиоративных систем. Как сказано было выше, гидромелиоративная система является сложной инженерной системой, которая включается в деятельностно-природную среду, с комплексом инженерных сооружений, воздействующим на природную среду.

Деятельностно-техно-природная система-это конгломерат, сочетающий в себе природную и деятельностную части, которые живут и развиваются по различным законам, и поэтому требуют специальных средств и методов для изучения. Функционирование инженерной составляющей любой ДТП системы может существенно влиять на значительную часть природного компонента и трансформировать его.

Для того, чтобы иметь целостное представление об объекте, надо изучить влияние деятельностной и инженерной частей на природную составляющую и, «рассловив» ДТП объект «вырезать» из него контуры, сочетающие в себе деятельностно-природные части. Этот прием-искусственное членение всего ДТП объекта, каковым является система производства продукции на мелиорированных землях (СППнаМЗ), на отдельные части производится для удобства его дальнейшего исследования.

Таким образом, каждая выделенная часть ДТП объекта исследуется самостоятельно. В каждой из выделенных частей ДТП объекта присутствует деятельностная часть, которая управляет инженерной системой. Например, для подачи воды сельскохозяйственным растениям. Как было указано выше, деятельностная часть ДТП объекта воздействует на природную часть инженерной системой и изменяет ее. Поэтому необходимо, во-первых, выделить те элементы природной части, на которые распространяется влияние гидро-

мелиоративной системы и во-вторых, определить, каким образом, на выделенные элементы природного блока отражается воздействие гидромелиоративной системы.

К аналогичным выводам о необходимости выделения нескольких объектов исследований из такого сложного ДТП объекта, каким является СППнаМЗ, можно прийти из анализа цели гидромелиораций. Провозглашение ряда других «ценностей», кроме урожая, приводит к необходимости по-новому сформулировать цели гидромелиорации. Сформулированная Костюковым А. Н. еще в 30-е годы цель гидромелиорации как «создание биологического и гидрогеологического круговорота воды для развития сельскохозяйственных культур» была забыта и долгие годы преподносилась как получение высоких урожаев при минимальных капиталовложениях. Такие формулировки цели гидромелиорации неверны и порочны по двум причинам. Во-первых, в получении урожая участвует, в первую очередь сельхозпроизводство (агротехника, удобрения и т.д.), а гидромелиорация является сервисной службой сельхозпроизводства, хотя оба эти вида деятельности осуществляются на одном и том же природном материале. Следует четко определить сферы деятельности гидромелиорации и сельхозпроизводства.

Соорганизация этих двух видов деятельности предельно важна. Обоснование переустройства гидромелиоративных систем при составлении проектной документации возможно только на основе учета и изучения той и другой деятельности. Для оценки состояния гидромелиоративных систем целесообразно разделить сферы деятельности сельскохозяйственного производства и мелиоративной деятельности и изучать их отдельно и во взаимодействии. Во-вторых, при определении цели ни слова не говорилось о необходимости ограничения негативного влияния гидромелиорации на природную среду (почвы и экологическую обстановку), что привело к ряду негативных последствий.

Нам представляется, что цель гидромелиорации следует определить как «создание оптимального водного режима с. х. культур при сохранении плодородия почв, соблюдении экологической обстановки и обеспечения социально-экономических условий развития с. -х. предприятия или всего региона». Исходя из сформированной цели гидромелиорации и необходимости создания целостной картины на гидромелиоративной системе путем многоаспектного анализа, её следует оценивать как минимум в четырех аспектах:

1. Возможность ГМС обеспечить водный режим с. -х. культур.
2. Влияние ГМС на состояние мелиорируемых земель.
3. Влияние ГМС на экологическую обстановку.
4. Влияние ГМС на социально-экономические условия развития с. -х. предприятия и всего региона.

Выделив таким образом из ДТП системы четыре подсистемы, т.е. самостоятельные объекты исследования, проведем для каждого из них два вида анализа:

- анализ состояния объекта;
- анализ ситуации, заключающейся в оценке влияния функционирования гидромелиоративной системы на «объект исследования».

При этом функционирование ГМС-подача воды с. -х. культурам по-разному отражается на каждом объекте исследования. Если анализ и оценка состояния ГМС в какой-то степени разработаны в существующих методиках, то анализу человеческой деятельности, как наиболее сложной для изучения componente, отводилась второстепенная роль. По существу деятельность в этих методиках рассматривается через различные состояния объекта, являющиеся только результатом деятельности. Не оспаривая в принципе необходимость изучения и оценки состояния объекта, следует отметить что без анализа и оценки самой деятельности, как первопричины любого состояния, невозможно получить знания о ГМС, а значит и прогнозировать изменение ее состояния.

Такой подход следует применять как к проектированию новых систем, так и к анализу состояния существующих. При этом анализ деятельности заключается в анализе возможности инженерной системы и деятельности человека на ней выполнить свою основную функцию.

Разработка эффективных мероприятий по управлению состоянием мелиоративных земель, прилегающих территорий и водных объектов должна базироваться на единой информационной системе сбора, обработки и хранения данных наблюдений за процессами протекающими под влиянием водных мелиораций и включать прогнозы возможных изменений при осуществлении проектов водохозяйственной деятельности. Подобная информационная система рассматривается как мониторинг мелиоративных земель. Мониторинг мелиоративных земель являясь подсистемой «Мониторинга земель РФ», предназначен для слежения орошаемых и осушаемых земель, выявления изменений, их оценки, предупреждения и устранения последствий негативных процессов.

Кадастр отражает существующую обстановку не в полной мере, и не дает представление о направленности процессов, формирующих мелиоративную ситуацию. Не учитывалось изменение плодородия почв, которое складывается из взаимодействия таких процессов как накопление или вынос гумуса, переуплотнения пахотного и подпахотного слоев, изменения структурного состояния пахотного горизонта, эрозии, смытость почв и др. Не решались и такие важные задачи как оценка воздействия мелиоративной деятельности на прилегающие территории (за исключением учета подтопленных населенных пунктов).

Перечисленные недостатки указывают на необходимость совершенствования службы регулярных наблюдений, которая должна быть организована на базе эколого-мелиоративного мониторинга (ЭММ). Для эффективной реализации программы работ по созданию ЭММ необходимо разработать его концепцию. Эколого-мелиоративный мониторинг является подсистемой Государственного мониторинга земель Российской Федерации и представляет собой комплекс регулярных наблюдений за состоянием орошаемых и осушаемых земель, а также за окружающей средой, испытывающих воздействие водных мелиораций с целью своевременного выявления изменений в их состоянии оценки, прогноза, предупреждения и устранения последствий негативных процессов. Объектом ЭММ является мелиоративное состояние орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных (независимо от формы их собственности), элементы инженерных гидротехнических сооружений, а также окружающая мелиоративные земли среда, испытывающая прямое или опосредованное воздействие водных мелиораций.

К водохозяйственной деятельности относится обеспечение возделывания сельскохозяйственных культур с помощью регулярного орошения (в т.ч. рисовые оросительные системы, системы лиманного орошения, орошение животноводческими стоками, осушительные мероприятия, пolderные системы).

Окружающая мелиорированные земли среда как объект ЭММ включает: сельскохозяйственные угодья, земли запаса, рекреационные и природохозяйственные зоны, национальные парки, заказники, подтопленные в следствии орошения или переосушенные в следствии осушительных мероприятий земель, а также подтопленные населенные пункты, в контуре гидромелиоративной системы или в зоне ее влияния.

ЭММ, являясь подсистемой Государственного Мониторинга земель, входит в Государственную информационную систему о состоянии окружающей среды РФ и в глобальный мониторинг природной среды.

ЭММ и Государственный Мониторинг подземных вод, имеют общие объекты наблюдений: (подземные и поверхностные воды в районе водозаборов подземных вод для орошения, водоприёмники в зоне влияния инфильтрационных водозаборов и др.); должны согласовать контролируемые процессы и их показатели.

ЭММ должен работать в тесном контакте с органами рыбохраны, санэпидстанции, коммунального хозяйства и комитетами охраны окружающей среды и учитывать их нормативные требования к качеству отработанных (дренажных) вод, степени загрязнения почв.

Специфические процессы в окружающей мелиоративные земли среде, возникающие не только под влиянием водных мелиораций, могут быть включены в ЭММ по согласованию с заинтересованными организациями.

По ландшафтному признаку выделяются: полярно-тундровая, лесотундрово-северо-таёжная, средне-таёжная, южнотаёжно-лесная, лесостепная, степная, сухостепная, полупустынная. Распространение типов и подтипов почв строго коррелируется с климатическими зонами и ландшафтами и включает весь набор от глеево-тундровых до светлых серозёмов, согласно «Природно-сельскохозяйственному районированию земельного фонда СССР 1985г.»

Все мелиорированные земли должны быть привязаны к бассейнам рек, начиная от самого низшего порядка (малые) до бассейнов крупных рек, например, бассейн р. Волги, Дона, Оби, Енисея и т.д. Водохозяйственная деятельность в зоне избыточного увлажнения направлена преимущественно на реализацию осушительных мероприятий, в зоне недостаточного увлажнения на орошение сельскохозяйственных культур. В переходной зоне в зависимости от специфики, сельскохозяйственные культуры возделываются с применением осушения или орошения.

Кроме того, здесь имеют место сельскохозяйственные угодья на мелиорируемых землях с гидромелиоративными системами двойного регулирования. На уровне гидромелиоративной системы производится оценка состояния мелиорированных земель, оценка воздействия на прилегающие земли, оценка состояния элементов инженерных сооружений и выдается информация, необходимая для управления состоянием мелиорированных и прилегающих земель путем реализации агротехнических мероприятий, изменения режима водоподдачи и водоотведения, улучшения качества воды и др.

На уровне землепользования (хозяйства, фермы ассоциации фермерских хозяйств) производится оценка состояния земель и контроль за состоянием прилегающих территорий. При обобщении информации ЭММ для уровней распространения генетических типов и подтипов почв выявляются изменения в их водно-физическом, физико-химическом состоянии, плодородии под влиянием водных мелиораций.

При обобщении информации ЭММ для различных уровней бассейнов рек выясняется (оценивается) величина ущерба речному стоку за счет прямого отбора воды из реки, сброса в реку дренажного стока с качеством, несоответствующим принятым стандартам или сбросом дренажного стока в бассейн другой реки, изменения подземной составляющей в речном стоке за счет водных мелиораций.

Форма представления материала должна включать цифровое, графическое, табличное выражение как на бумажных так и магнитных носителях.

Целью надзора за мелиоративным состоянием орошаемых земель является получение информации для своевременной разработки и осуществления мероприятий по улучшению земель, предотвращению развития неблагоприятных процессов на орошаемых и прилегающих к ним сельскохозяйственных угодьях, а также для защиты от подтопления застроенных территорий в зоне влияния орошения. Надзор за мелиоративным состоянием орошаемых земель включает комплекс наблюдений за процессами, обусловленными применением водных мелиораций, а также оценку и учет мелиоративного состояния по установленным формам статистической отчетности.

Прогноз изменения мелиоративного состояния орошаемых земель и прилегающих территорий проводится для своевременного выявления площадей с тенденцией развития негативных гидрогеологических, почвенных и инже-

нерно-геологических процессов. Наблюдения за направленностью и динамикой почвенных процессов являются основной для разработки предложений по проведению агротехнических мероприятий, промывок засоленных земель, гипсованию солонцов, глубокому рыхлению, внесению органики, изменению культур в севообороте, а также рекомендаций по повышению эффективности работы дренажа (улучшение его эксплуатации, или реконструкция), улучшению качества оросительной воды. Наблюдения за инженерно-геологическими процессами используются для разработки предложений по предотвращению просадки, суффозии, водной эрозии, карстовых проявлений оползней и других инженерно-геологических неблагоприятных явлений на орошаемых площадях и территориях, расположенных в зоне влияния орошения.

Методы обработки и хранения информации, полученной при контроле за мелиоративным состоянием орошаемых земель и состоянием земель в зоне влияния орошения, должны быть ориентированы на применение ЭВМ с графическими комплексами и методами дистанционного зондирования и контактных инструментальных методов анализа воды и почвы.

Информации должны содержать оценку мелиоративного состояния и прогноз возможных его изменений с предложениями по предотвращению и ликвидации негативных гидрогеологических, почвенных и инженерно-геологических процессов. В конце вегетационного периода информации о мелиоративном состоянии орошаемых с/х угодий направляются в районные, областные, краевые и республиканские организации по мелиорации, водному хозяйству, землепользованию и землеустройству.

Раскрытие недостатков в организации мелиоративной деятельности с переориентацией научной деятельности не на основную цель-повышения устойчивости агробиоценозов, а за счет совершенствования организации мелиоративной деятельности, создания новых и совершенствование имеющихся технологий мелиорации, особенно те, которые не могут быть реализованы из-за низкого уровня организации мелиоративной деятельности в целом.

Пробелы в знаниях о деятельности на ГМС сказываются при оценке состояния гидромелиоративных систем и при планировании эксплуатационных мероприятий на объекте; поскольку в этом случае результат работы системы становится непредсказуем, а ситуация на объекте выходит из под контроля, должны анализироваться не только состояние объекта, но и человеческая деятельность на ГМС и влияние этой деятельности на состояние объекта.

Совершенствование системы показателей и критериев должно быть направлено на объективную оценку мелиоративного состояния улучшаемых земель, оперативное выявление причин, вызвавших негативную направленность почвенных, гидрогеологических и инженерно-геологических процессов.

Список литературы

- Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. — М.: АН СССР, 1956.
- Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод // Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. — М.: АН СССР, 1956, т. 1.
- Аверьянов С.Ф. Рассоляющее действие фильтрации из каналов // Влияние орошения на режим грунтовых вод. — М.: АН СССР, 1959, с. 44–120.
- Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в европейской части СССР // Орошаемое земледелие в европейской части СССР. — М.: Колос, 1965.
- Аверьянов С.Ф., Рекс Л.М. Некоторые математические модели переноса солей в почвогрунтах. — Труды института почвоведения и агрохимии Минсельхоза АрмССР. — Ереван, 1971, вып. 6, с. 667–691.
- Айдаров И.П., Клыков В.Е., Пестов Л.Ф., Шульгин Д.Ф. Математическая модель динамики натрия и кальция в почвах. — Почвоведение, 1978, № 8, с. 134–139.
- Алпатыев С.М., Остапчик В.П. К обоснованию формирования поливных режимов с использованием биоклиматического метода расчета суммарного испарения. — Мелиорация и водное хозяйство. — Киев, 1971, вып. 19, с. 3–16.
- Антипов-Каратаев И.Н. Физико-химические исследования в связи с мелиорацией солонцов. — Известия АН СССР, серия «Биология», № 3, 1960.
- Артюх А.Т. Категориальный синтез теории. — Киев: Наукова думка, 1977.
- Балаев Л.Г., Рекс Л.М. Постановка и оценка научных исследований проектирования гидромелиоративных систем // Совершенствование методов гидрогеологических и почвенно-мелиоративных исследований орошаемых и осушаемых земель. — М.: ВНИИГиМ, 1976, вып. 4., с. 41–52.
- Балаев Л.Г., Рекс Л.М. Комплексные исследования для оптимизации параметров гидромелиоративных систем, — Доклады ВАСХНИЛ, 1977, № 4, с. 33–35.
- Балаев Л.Г., Рекс Л.М., Богомолов В.Н., Жабин В.Ф., Хачатурян В.Х. Организация исследований по оценке мелиоративной системы. — Труды ВО «Союзводпроект». — М., 1979, № 52, с. 11–20.
- Большаков М.Н. О расчете оросительной способности незарегулированных рек. — Гидротехника и мелиорация, 1951, № 3.
- Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. — М.: Наука, 1964.
- Ведерников В.В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. — М.: Росстройиздат, 1939.
- Ведерников В.В., Никитенков Б.Ф. Некоторые вопросы использования математических моделей при прогнозировании водного и солевого режима почвогрунтов. — Труды МГМИ, вып. «Сельскохозяйственные мелиорации», т. 40, 1976.
- Ведерников В.В. Влияние влажности на характеристики впитывания // Вопросы проектирования технически совершенных систем: Сб. науч. трудов ВО «Союзводпроект». — М., 1976. Вып. 3 (43). С. 68–75.
- Веригин Н.Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники. — М.: АН СССР, ОТН, 1953, № 10, с. 1369–1382.
- Веригин Н.Н., Васильев С.В., Саркисян В.С., Шержуков Б.С. Гидротехнические и физико-химические свойства горных пород. — М.: Недра, 1977.

- Винер Н. Кибернетика и общество. — М.: Иностранная литература, 1958.
- Воропаев Г.В. Оценка эффективности капитальных вложений в мелиоративное строительство. — Гидротехника и мелиорация, 1971, № 2.
- Гаспарский В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок. — М.: Мир, 1978.
- Гвишиани Д.М. Материалистическая диалектика — философская основа системных исследований // Системные исследования. Методологические проблемы. — М.: Наука, 1980, с. 7–28.
- Гиг Дж. Ван. Прикладная общая теория систем. — М.: Мир, 1981, т. 1, 2, с. 333, 730.
- Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. — Л.: Гидрометеиздат, 1969.
- Голченко М.Г. Обобщенные элементы проектного поливного режима сельскохозяйственных культур на минеральных почвах Белоруссии // Комплексная мелиорация земель и эксплуатация гидромелиоративных систем. — Бел СХА, Горки, 1976, с. 17–22.
- Горбачева Р.И. Способы построения кривых взаимосвязи урожая с влагообеспечением. Вопросы водного хозяйства. — Фрунзе: Кыргызстан, 1976, с. 126–144.
- Гранберг А.Г. Математические модели социалистической экономики. — М.: Экономика, 1978.
- Добров Г.М. Прогнозирование науки и техники. — М.: Наука, 1969.
- Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы систематологии. — М.: Советское радио, 1976.
- Зуик Д.Т. О применении подвижного орошения в степных и лесостепных районах СССР. — Гидротехника и мелиорация, 1951, № 8, с. 6–22.
- Иванов Н.С. Теплои массоперенос в мерзлых горных породах. — М.: Наука, 1969.
- Конторович Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. — М.: АН СССР, 1960.
- Кардаш В.А. К вопросу о технико-экономической сущности и методах определения оптимальной величины расчетной водообеспеченности орошения. — Материалы совещания «Математика и ЭВМ в мелиорации». — М.: ВНИИГиМ, 1977, ч. 1, с. 186–210.
- Кац А.И. Динамический экономический оптимум. — М.: Экономика, 1970.
- Кирейчева Л.В., Рекс Л.М. Вопросы оптимизации параметров дренажа с учетом водно-солевого режима и на основе технико-экономических расчетов // Вопросы исследования дренажа на орошаемых землях. — М.: ВНИИГиМ, 1977.
- Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. — М.-Л.: АН СССР, 1946–1947 гг., т. I, II.
- Константинов А.Р. Испарение в природе. — Л.: Гидрометеиздат, 1968.
- Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1970.
- Костяков А.Н. Основы мелиораций. — М.-Л., 1933.
- Костяков А.Н. Избранные труды. — М.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1961, т. I, II.
- Костяков А.Н. Основы мелиораций. — Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1960.
- Котарбинский Т. Трактат о хорошей работе. — М.: Экономика, 1975.
- Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв. — Л.: Гидрометеиздат, 1979.

- Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория теплои массопереноса. — М.-Л.: Гидроэнергоиздат, 1963.
- Лыков А.В. Теплообмен: Справочник. — М.: Энергия, 1972.
- Моисеев Н.Н. Неформальные процедуры и автоматизация проектирования. — М.: Знание, 1979.
- Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энергои массообмен в системе растение — почва — воздух. — Л.: Гидрометеиздат, 1975.
- Никитенков Б.Ф. Некоторые вопросы теории движения тепла, влаги почвенного воздуха и солей в мерзло-талых почвогрунтах. — Труды МГМИ, выпуск «Сельскохозяйственная мелиорация», 1974, т. XXXVI, с. 65–70.
- Новик И.Б. О стиле мышления в современном естествознании. — М.: Политиздат, 1975.
- Пойя Д. Математика и правдоподобные рассуждения. — М.: Наука, 1957.
- Пряжинская В.Г. Оптимизация показателей орошения в условиях неустойчивого увлажнения. — Материалы совещания «Математика и ЭВМ в мелиорации». — М.: ВНИИГИМ, 1971, ч. 1, с. 135–147.
- Рекс Л.М. Определение параметров переноса солей ория и практика борьбы с засолением орошаемых земель: Сборник научных трудов ВАСХНИЛ. — М*: 1971, с. 39–45.
- Рекс Л.М. Техничко-экономическое обоснование оросительных норм и параметров гидромелиоративных систем. — Гидротехника и мелиорация, 1974, № 2, с. 42–49.
- Рекс Л.М. Определение параметров дренажа на основе анализа водно-солевого режима // Использование подземных вод для орошения в комплексе с поверхностными водами IX МКИД. — М., 1975, с. 215–225.
- Рекс Л.М. Вопросы технико-экономического обоснования типа и параметров дренажа на орошаемых землях. — Труды ВО «Союзводопроект». — М., 1976, № 1, (44), с. 84–92.
- Рекс Л.М. О дренировании земель Сыртового Заволжья. — Гидротехника и мелиорация, 1976, № 4, с. 83–86.
- Рекс Л.М. К методике определения параметров солепереноса в почвогрунтах. — Степные просторы, 1976, № 12, с. 29–30.
- Рекс Л.М., Кирейчева Л.В. Вопросы оптимизации параметров дренажа с учетом водно-солевого режима и на основе технико-экономических расчетов // Вопросы исследования дренажа на орошаемых землях: — Сборник научных трудов ВНИИГИМ. — М., 1977, с. 24–39.
- Рекс Л.М. Нужен ли дренаж в Поволжье? — Степные просторы, 1977, № 4, с. 34–35; № 5, с. 39–40.
- Рекс Л.М. Оценка работы гидромелиоративных систем. — Степные просторы, 1978, № 2, с. 32–33.
- Рекс Л.М. Мелиоративная система (гидромелиоративная система плюс агрокультуртехника). — Гидротехника и мелиорация, 1978, № 5, с. 61–62.
- Рекс Л.М., Якиревич А.М. Прогноз изменения минерализации почвенного раствора при промывках на основе математического моделирования. — Почвоведение, 1978, № 10, с. 128–135.
- Рекс Л.М., Нечипуренко Т.П., Юрченко И.Ф., Гофман О.Н. Определение мощности мелиоративных систем (на примере Поволжья) // Мелиорация почва и борьба с засолением земель в Поволжье: Сборник научных трудов ВНИИГИМ. — М., 1979, с. 162–190.
- Рекс Л.М. Системное развитие мелиоративной системы, // Вопросы методологии изысканий, проектирования и управления гидромелиоративными системами: Сборник научных трудов ВНИИГИМ. — М.: 1981, с. 55–64.
- Самарский А.А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1977.

- Седов Л.И. Механика сплошной среды. — М.: Наука, т. I, 1973.
- Фридман А. Уравнения с частными производными параболического типа. — М.: Мир, 1968.
- Хачатуров Т.С. Эффективность капитальных вложений. — М.: Экономика, 1979.
- Шестаков В.М. Методические указания по расчетам систематического дренажа в слоистых системах. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1966.

- Brenner H. The diffusion model of longitudinal mixing in beds of finite length. Numerical values. — Chemical Engineering Science, 1962. № 4.
- Coats K.U., Smith B.D. Dead and pore volume and Dispersion in Porous Media. Soc. Petrol. Eng. Jour., v.4, №1, 1964.
- Deans U.A. Mathematical Model for Dispersion in the Direction of Flow in Porous Media. Soc. Petrol. Eng. J. v.3, №1, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение. Общие положения о системно-структурном подходе	3
Глава 1. Мелиоративная система	12
1.1 Основные положения А.Н. Костякова о мелиоративной системе	13
1.2 Мелиоративная система и ее представление на категориально-понятийном каркасе процесса	15
1.3 Перспективы развития мелиоративной системы	19
1.4 Место мелиоративной системы в процессе изменения жизненных условий общества	22
Глава 2. Техничко-экономическое моделирование и критерии оптимизации при расчете параметров гидромелиоративных и мелиоративных систем	24
2.1 Схематизация работы гидромелиоративных систем	24
2.2 Общие положения об экономико-математическом моделировании и критериях оптимизации	26
2.3 Анализ основных критериев, используемых при оптимизации параметров гидромелиоративных и мелиоративных систем	29
2.4 Критерии оптимизации при проектировании гидромелиоративных и мелиоративных систем	33
Глава 3. Методика определения параметров гидромелиоративных систем	34
3.1 Основные положения	34
3.2 Балансовые модели расчета водосолевого режима почвогрунтов при орошении засоленных земель	36
Глава 4. Определение параметров ГМС с учетом водосолевого режима на основе технико-экономических расчетов	41
Глава 5. Методика определения расчетного гидро модуля систем ПП на МЗ	57
5.1 Общие положения	57
5.2 Площадь орошения по вариантам фиксирования	61
5.3 Переменная площадь орошения	67
Глава 6. Техничко-экономическое обоснование выбора года расчетной водообеспеченности на примере Приволжской оросительной системы	69
Глава 7. Моделирование процессов тепловлаго-солепереноса в почвогрунтах при определении параметров мелиоративных и гидромелиоративных систем	79
7.1 Основные математические модели солепереноса в почвогрунтах	79
7.2 Прогноз изменения минерализации почвенного раствора	83
7.3 Расчет процессов тепловлаго-солепереноса в почвогрунтах на мелиорируемых землях	84
Глава 8. Разработка методических подходов для совершенствования подготовки специалистов, исследований и проектирования систем ПП на МЗ	109
8.1 Проектирование систем и формирование знаний проектировщиков	109
8.2 Методология исследований и проектирования систем	121
8.3 Методология проектирования и эффективность систем	123
8.4 Единая классификация, или бонитировка мелиорированных почв	131
Глава 9. Начальные стадии проектирования	136
9.1 Адаптивное моделирование развития и размещения мелиораций на основе построения интегральных оценок качества	136
9.2 Основы автоматизированной технологии распределения ограниченных капиталовложений на развитие мелиораций в регионе	151
9.3 Методические аспекты природно-хозяйственного районирования и классификации мелиоративного фонда	164
9.4 Автоматизированная оценка технического уровня и выбор наилучших вариантов мелиоративных систем на предпроектной стадии	173
Вместо заключения	181
Список литературы	188