

С-56  
64205

ISSN 0131—1905

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР**

**СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ  
ИМЕНИ В. Д. ЖУРИНА (САНИИРИ)**

**ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ  
«СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК» ИМЕНИ А. А. САРКИСОВА**

# **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ**

**Сборник научных трудов**

**Ташкент—1985**



С-56

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР

Среднеазиатский ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт ирригации  
имени В. Д. Журина (САНИИРИ)

Ордена Трудового Красного Знамени институт  
«Средазгипроводхлопок» имени А. А. Саркисова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ  
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ

Сборник научных трудов



Ташкент—1985



Совершенствование управления гидромелиоративными системами, Сборник научных трудов. - Ташкент: САНИИРИ, 1985. - 192 с.

В сборнике освещаются некоторые вопросы проектирования и исследования автоматизированных систем управления водохозяйственными комплексами как большими сложными системами с внешними и внутренними связями. Рассматриваются методы решения задач планирования совместного использования поверхностных и подземных вод, прогноз водообеспеченности и водопотребления, оперативное управление, водоохранные мероприятия, организация контроля и учета водных ресурсов; принцип проектирования системного математического обеспечения диалога "человек-ЭВМ"; методы расчета надежности каналов связи, автоматизации и телемеханизации гидромелиоративных систем.

Результаты проектных разработок и исследований, помещенные в сборнике, представляют интерес для специалистов, занимающихся исследованием, проектированием и эксплуатацией автоматизированных систем управления водохозяйственными комплексами.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.А.Духовный (отв.редактор), А.А.Кэдыров, Г.Н.Кулашов (зам.редактора, Среднеазиатский институт ирригации), А.М.Мухамедов, А.Г.Пулатов, У.У.Умаров, Т.М.Шапошникова, Х.И.Якубов

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Н.М.Алавиёв, И.Л.Калинин, Г.Н.Кулашов, Б.Н.Макушенко, Ф.М.Мухамеджанов, Б.Я.Нейман, Э.Л.Окулич-Козарин, Г.В.Реслер, Н.М.Солохин, Ю.В.Толстунев (ответственный за выпуск), Ф.Я.Эйнгорн, Л.В.Эпштейн

Ф.Я.Эйнгорн, гл.инж.института  
"Среднеазиатский институт ирригации"

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ В РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И РЕШЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ

За последние годы орошаемое земледелие Средней Азии достигло огромных масштабов и продолжает развиваться. Завершается освоение земель Голодной и Дальверзинской, первых очередей Джизакской и Каршинской, приступают к освоению территории вторых очередей Каршинской и Джизакской степей. Только в бассейне Сырдарьи площади поливного земледелия в последнее десятилетие значительно увеличились и составили почти треть орошаемого фонда нашей страны.

Главным условием развития народного хозяйства среднеазиатского региона являются водные ресурсы. Без воды здесь невозможно развитие сельского хозяйства, промышленности, энергетики, транспорта и всех остальных отраслей.

Следует отметить, что к настоящему времени налицо явная диспропорция в соотношении площадей, пригодных к орошению, и имеющихся водных ресурсов. Уже сейчас, особенно в годы малой водообеспеченности, наблюдаются острые дефициты в оросительной воде. Расчеты показывают, что нехватка водных ресурсов приведет к снижению темпов развития поливного земледелия, и это скажется на развитии хозяйства не только среднеазиатского региона, а всей страны. Вот почему научно-исследовательские и водохозяйственные организации заняты поисками технических решений по



борьбе с потерями воды и экономному использованию водных ресурсов.

В целях сокращения потерь поливной воды и рационального использования водных ресурсов институт "Среднеазиатгипроводхлопок" перешел, например, на проектирование закрытых оросительных систем.

Правда, их строительство связано с увеличением затрат на 1 га осваиваемых земель, но сэкономленные водные ресурсы позволяют эффективно покрыть эти затраты за счет получения дополнительной продукции.

Другой путь повышения коэффициента использования воды - в создании качественной системы управления всем водохозяйственным комплексом (ВХК).

ВХК представляет собой совокупность природных и хозяйственных объектов, обеспечивающих формирование, транспортировку, регулирование, перераспределение и потребление водных ресурсов. Сложность управления ВХК обуславливается тем, что управляемые объекты расположены на больших территориях, в значительном удалении друг от друга и имеют подчас противоположные локальные цели, которые необходимо увязать, ибо водохозяйственный комплекс должен функционировать как единое целое.

Анализ существующего положения, например, в бассейне Сыр-Дарьи показал, что водохозяйственная сеть этого региона насчитывает более тысячи каналов и десятки тысяч регулируемых гидротехнических сооружений, сотни насосных станций, тысячи скважин вертикального дренажа и десятки тысяч потребителей водных ресурсов. Причем технология использования воды и требования к ее качеству у большинства потребителей различны. Нужно отметить, что уровень эксплуатации водохозяйственного комплекса остается еще очень низким и не может удовлетворять возросшим требованиям к управлению большой сложной системой.

Следовательно, необходимо создать такую систему, которая обеспечила бы не только оперативный контроль за водными ресурсами и управление ими, но и рациональное их использование, заблаговременно оценивая варианты управления с точки зрения достижения максимального народнохозяйственного эффекта, а также давала бы прогноз природно-хозяйственной ситуации от реализации плана использования водных ресурсов.

Функционирование такой сложной системы должно базироваться на экономико-математических моделях, применении ЭВМ, устройств телемеханики и автоматики, использовании дистанционных методов получения информации.

Синтез ВХК как объекта управления позволяет выделить несколько уровней [1]:

- управление каскадом водохранилищ бассейна реки;
- управление головным водозабором из реки;
- управление водораспределением магистральных каналов;
- управление внутрихозяйственным водораспределением.

Каждому уровню управления соответствует круг задач, отвечающих наилучшему использованию водных ресурсов рассматриваемого уровня.

Управление каскадом водохранилищ решает задачи многолетнего регулирования стока реки, целесообразности пусков из водохранилищ с учетом требований гидроэнергетики и межреспубликанского вододелия.

Управление головным водозабором из реки, осуществляемое территориальным управлением, решает задачи оптимального управления и контроля водоподдачи головным регулятором магистральных каналов и насосным станциям.

Управление водораспределением магистральных каналов решает задачи рационального распределения водных ресурсов между водопотребителями, оценивает мелiorативное состояние подкомандных территорий, прогнозирует поступление возвратных вод и их качество.

Управление внутрихозяйственным водораспределением решает задачи, связанные с созданием наиболее благоприятной мелiorативной обстановки и с правильной эксплуатацией внутрихозяйственной гидромелiorативной сети для обеспечения плановой урожайности сельскохозяйственных культур.

В соответствии с вышесказанным институт "Среднеазиатгипроводхлопок" разработал несколько проектов автоматизированных систем управления ВХК, реализация которых позволит рационально использовать водные ресурсы на всех уровнях: накопления воды в водохранилищах, распределения ее по магистральным каналам, использование на орошаемом поле.

Системный подход в решении управления водохозяйственным



комплексом лежит в основе таких проектов, как "Информационно-вычислительный комплекс автоматизированной системы управления водными ресурсами бассейна р.Сырдарья" (АСУБ Сырдарья. I очередь), "Автоматизированная система управления водохозяйственным комплексом на землях, подкомандных Южному Голодностепскому каналу" (АСУ ВХК ЮГК. I очередь), "Система программирования урожая сельскохозяйственных культур в совхозе № 10а им.К.Е.Ворошилова Главсредазирсовхозострой в Голодной степи" (СПУр).

Техническим проектом АСУБ Сырдарья предусматривается решение вопросов рационального использования водных ресурсов Сырдарьи с притоками (Карадарья, Нарын, Чирчик) и находящимися на них водохранилищами. Учитывается оросительная способность местного стока малых рек, не доходящих до Сырдарьи.

Бассейн реки разбит на пять районов, подкомандных территориальным управлениям, находящимся в городах: Чирчик, Гулистан, Ленинобад, Андижан, Учкуртан. Территориальные управления подчиняются центральной службе управления бассейна Сырдарьи, расположенной в Ташкенте.

I очередь АСУБ Сырдарьи включает 74 пункта контроля и управления (ПКУ) головных регуляторов магистральных каналов, насосных станций, гидростов.

Технический проект утвержден в 1978г. Рабочая документация разрабатывается с 1981 г. Внедрение пускового комплекса намечено на 1986 г.

Таким образом, АСУБ Сырдарья охватывает уровни управления каскадом водохранилищ и головными водозаборами из рек.

Третий уровень - управление водораспределением магистрального канала - рассмотрен в проекте "Автоматизированная система управления водохозяйственным комплексом на землях, подкомандных Южному Голодностепскому каналу", выполненном по заданию Главсредазирсовхозострой.

Проектом предусматривается управление водораспределением в целях создания наилучших мелиоративных условий на орошаемом массиве (с учетом использования возвратных вод) и оперативного перераспределения оросительной воды в зависимости от сложившейся природно-хозяйственной обстановки. В нем впервые в практике водохозяйственных эксплуатирующих организаций предусмотрены воднобалансовые станции, выполняющие информативную роль и обеспечивающие

печивающие обратную связь в системе управления.

Система телемеханики призвана обеспечить контроль и управление сооружениями магистрального канала и скважинами вертикального дренажа с единого диспетчерского пункта, контролировать работу магистральной коллекторной сети массива.

Работа системы будет осуществляться в режиме диалога "человек-машина". Здесь выбран принцип многоуровневого планирования: планирование использования водных ресурсов выполняется отдельными административными районными (РУОС) и областными (ОблПУВХ) организациями, ответственными за получение сельскохозяйственной продукции, а также эксплуатирующими организациями Минводхоза (УЗЮГК) и отдельными потребителями (совхозами) в отведенных границах и при соблюдении соответствующих ограничений.

Эта система находится в стадии строительства.

Особый интерес, по нашему мнению, представляет "Система программирования урожая сельскохозяйственных культур в совхозе № 10а им.К.Е.Ворошилова Главсредазирсовхозострой в Голодной степи" (СПУр), разрабатываемая институтом "Средазгипроводхлопок".

В соответствии с принятой майским (1982 г.) Планом ЦК КПСС Продовольственной программой СССР предусматривается осуществить переход к планированию деятельности агропромышленного комплекса и управлению им как единым целым на всех уровнях [2].

В свете поставленных задач представляется целесообразным осуществлять планирование водохозяйственных и агротехнических мероприятий как единого комплекса.

Основным фактором, обуславливающим урожайность сельскохозяйственных культур, является мелиоративное состояние земель. От того, в какое время будут созданы на поле оптимальные для возделываемой культуры водно-воздушные и солевые условия, в значительной мере зависит развитие растений, а следовательно, и урожайность.

Единая система планирования и управления водохозяйственным и агропромышленным комплексом позволит обеспечить программируемый урожай сельскохозяйственных культур при рациональном использовании водных ресурсов, техники, материальных и трудо-



вых ресурсов, оценить различные варианты проведения мероприятий для достижения максимально возможного производства сельскохозяйственной продукции и обеспечения ее плановой поставки, определить необходимые для этого ресурсы.

Системный подход к проблеме управления водохозяйственным комплексом позволяет повысить коэффициент использования водных ресурсов и, следовательно, получить дополнительную сельскохозяйственную продукцию.

### Использованная литература

1. Толстунев Ю.В., Саковский С.А. От простейшего водомера на канале до автоматизированной системы управления бассейном крупной реки. - Науч. тр. Ин-т "Среднеазиатского водохозяйства", Ташкент, 1979, вып. 10, с. 92-99.

2. Продовольственная программа СССР на период до 1990 года и меры по ее реализации: Материалы майского Пленума ЦК КПСС 1982 года. - М.: Политиздат, 1982. - III с.

УДК 626.8:65.012.011.56

Ф.Б.Абуталиев, зав. лаб., проф.,  
д-р физ.-мат. наук,  
чл.-корр. АН УзССР

Ф.М.Гареев, зав. отд. канд. техн.  
наук

(Уз НПО "Кибернетика")

### СИНТЕЗ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА КАК БОЛЬШОЙ СИСТЕМЫ (аспекты проектирования)

Для исследования сложных объектов и управления ими существуют достаточно общие методы автоматизации моделирования таких систем и управления. К ним относятся: вычислительный эксперимент [1,2], алгоритмизация [3], имитационное моделирование сложных систем, систем автоматизации проектных работ (САПР) [4] и АСУ сложных объектов, ряд других. В силу того, что каждая такая система автоматизации ориентируется на конкретную проблемную область и опирается лишь на часть знаний о ней, указанные системы имеют свою методику построения.

Это обстоятельство затрудняет составление общей методики построения и исследования сложных систем.

В настоящей работе освещается достаточно общая методика проектирования сложных систем (МПСС), представляющая собой технологию проектирования сложных систем (ТПСС) и поддерживающую ее программно-инструментальную проектируемую систему (ПИПС). Она разработана в рамках комплексной программы "Алгоритмизация", выдвинутой акад. В.К.Кабуловым [5].

Методика охватывает все основные этапы проектирования сложных систем [6]. Каждый этап понимается как некоторый языковой уровень представления сложной системы, конкретизирующий и детализирующий предыдущий этап. Таким образом, методика предполагает последовательность языков  $A_1, A_2, \dots, A_5$  и систему конкретизирующих отображений  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ , которые объединены в многоуровневую языковую стратификацию  $U = \langle A, \alpha \rangle$ , где

$$A = \{A_i \mid i = 1, 2, \dots, 5\},$$

$$\alpha = \{\alpha_j \mid j = 1, 2, 3, 4\} \text{ и } \alpha_j = A_j \rightarrow A_{j+1}.$$

Основные уровни представления:  $A_1$  - концептуальный,  $A_2$  - аналитический,  $A_3$  - конструктивный,  $A_4$  - программный,  $A_5$  - машинный.

Концептуальный уровень представления ( $A_1$ ) предполагает описание сложной системы в понятиях и терминах предметной области с членением ее на компоненты по предметно-функциональному принципу и описанием связей взаимодействующих компонент, их параметров и характеристик.

С аналитическим уровнем представления ( $A_2$ ) связывается уровень аналитического описания системы, т.е. представление компонент, связей и параметров в виде математических моделей.

Отображение  $\alpha_1$  интерпретируется как механизм перехода от концептуальной (физической) модели системы к математической со свойственными такому переходу обобщениями и упрощениями понятий и связей, которые сохраняют в достаточной мере адекватность представлений.

Конструктивный уровень представления ( $A_3$ ) понимается как алгоритмическое описание исследуемой системы и области изменения ее параметров.



Отображение  $\alpha_2$  мыслится как механизм перехода от аналитических моделей сложной системы к вычислительным, алгоритмическим, в качестве которых могут выступать известные методы вычислительной математики.

Программный уровень ( $A_4$ ) предполагает представление алгоритмов и данных системы на языке программирования, в качестве которого могут выступать или алгоритмические, или проблемно-ориентированные, или языки модульных систем программирования.

Отображение  $\alpha_3$  трактуется как механизм трансляции с языка конструктивного представления на язык программного.

С машинным уровнем представления ( $A_5$ ) связывается описание системы на внутреннем языке компьютера и испытание - вычисление характеристик и поведения проектируемой сложной системы.

Отображение  $\alpha_4$  выступает как известные средства трансляции и активации программного продукта в операционной системе компьютера.

Технологический процесс проектирования сложной системы (ТПСС) понимается как многошаговый циклический процесс последовательных переходов от одного уровня представления к другому с последующим переходом  $A_5 \rightarrow A_1$ .

Проектировщик, работающий в режиме ТПСС, должен владеть языками представления каждого уровня, что весьма осложняет построение системы. В силу этого возникает необходимость в создании единого, общего для всех уровней, языка представления сложной системы. В качестве такого предлагается язык логических схем (ЯЛС). ЯЛС - это система правил построения правильных конструкций языка над некоторым базисом операций, определяющим ориентацию языка на соответствующий уровень представления.

Поэтому, говоря о языке представления  $A_i$ , будем понимать его как пару: базис  $i$ -го уровня  $B_i$  и система образующих правил  $G$  языка ЯЛС:

$$A_i = \langle B_i, G \rangle.$$

Базис есть не что иное как множество операторов, отношений и данных этого уровня. Правила конструирования  $G$  едины для всех уровней методики.

Для пользователей-инженеров разработана графическая форма языка логических схем - графический язык логических схем (ГЯЛС).

Каждая компонента описания сложной системы оформляется в виде чертежа, отражающего все логические связи в компоненте. Логическое описание компоненты системы состоит из трех составляющих фрагментов: схемы, спецификации и основной надписи.

Схема логического описания компоненты системы - это графически выполненный чертеж, в котором можно выделить управляющую подсхему и подсхему данных. Первая располагается в верхней части чертежа, вторая - в нижней.

Управляющая подсхема логического описания компоненты представляет собой ортогональный, ориентированный граф, узлами которого являются элементы, обозначающие операторы и предикаты отношений соответствующего базиса, а дугами - связи передачи управления.

Подсхема данных представляет собой ортогональный, ориентированный граф логической структуры данных, используемых в этой компоненте.

Обе подсхемы объединяются в схему дугами информационных связей, идентифицирующих входные и выходные связи элементов подсхем.

Спецификация и основная надпись логического описания компоненты представляют собой таблицы, выполненные в соответствии с требованиями ГОСТа и содержащие необходимые сведения об элементах схемы и месте компоненты в описании всей системы.

Такое логическое описание системы позволяет автоматизировать процесс описания и отображения сложной системы на уровне представления; провести системно-технический анализ логической модели на операционном, информационном, ситуационном и временном уровне анализа сложной системы: выделить рациональные структуры моделей базы данных, программ и взаимодействия.

Средством, поддерживающим технологию ТПСС, является инструментальный комплекс ПИПС, представляющий собой пакет программ [7], состоящий из следующих компонент: системы модельного наполнения базы проектирования; базы проектирования; системы взаимодействия и проектирования; монитора ПИПС.

Система модельного наполнения базы проектирования выполняет функции первоначального создания базиса каждого уровня представления сложной системы.

База проектирования состоит из базы данных, базы программ



и модели предметной области, которые обеспечивают процесс проектирования с информационной, программной и содержательной точек зрения.

Система взаимодействия и проектирования - это проблемно-ориентированный язык конструирования и преобразования конструктивных уровней представления сложной системы.

Монитор ПИПС - управляющая программная компонента, обеспечивающая совместную работу программ комплекса в соответствии с технологией ТПСС.

Рекомендуемая методика показала свою эффективность в практике проектирования сложной системы АСУ бассейна реки Сырдарьи.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Самарский А. Современная прикладная математика и вычислительный эксперимент. - Коммунист, 1983, № 18, с.31-42.
2. Тихонов А.Н. Математические модели. Научно-технический прогресс. - М.: Знания, 1980, с.7-22.
3. Кабулов В.К. Алгоритмизация в механике сплошных сред. - Ташкент: "Фан" УзССР, 1979. - 272с.
4. Абуталиев Ф.Б. и др. К вопросу алгоритмизации проектирования элементов БИС. Информационное сообщение № 290. - Ташкент: "Фан" УзССР, 1982. - 15с.
5. Кабулов В.К. Алгоритмическое направление в кибернетике и пакеты прикладных программ. - Изв. АН УзССР. Сер.техн. наук, 1976, № 6, с.3-10.
6. Абуталиев Ф.Б., Гарев Ф.М. Некоторые вопросы построения модульных систем пакетов прикладных задач. - Алгоритм. Сб. ИК и ВЦ АН УзССР, 1977, вып.30, с.95-98.
7. Абуталиев Ф.Б. Решение задач неустановившихся фильтаций. - Ташкент: "Фан" УзССР, 1972. - 172с.

УДК 626.810:626.824:631.67:631.165

Ю.В.Толстунов, нач.отд.

(Среднеэтипроводхлопок)

#### К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КРУПНОГО ОРОШАЕМОГО МАССИВА

В условиях дефицита водных ресурсов планирование их использования в вегетационный период в масштабе крупного орошаемого массива представляет определенные трудности, связанные с оценкой большого количества информации и разработанных на ее основе альтернативных решений.

Следует отметить, что обработка и оценка информации и множества решений об управлении возможны только при наличии экономико-математических моделей и ЭВМ, т.е. в условиях АСУ.

Модели планирования использования водных ресурсов предложены в ряде работ [1-3]. В одних рассматривается рациональное применение только поверхностного стока, в других рекомендуется оптимальное сочетание использования поверхностного и подземного стока.

Однако экономическая оценка плана водораспределения затрудняется из-за того, что вода как ресурс при применении ее для целей орошаемого земледелия не имеет стоимости. Поэтому поиск решений этой задачи, особенно в случае глубокого дефицита водных ресурсов, представляется важным и нужным.

В данном исследовании предлагается метод разработки плана использования водных ресурсов (поверхностных, возвратных и подземных вод) орошаемого массива с экономической оценкой его при помощи решения двойственной задачи.

Крупный орошаемый массив, как правило, располагает магистральной оросительной сетью, коллекторно-дренажной сетью, скважинами подземного водозабора. Он может иметь административное деление и включать сельскохозяйственные предприятия (совхозы, колхозы, подсобные хозяйства) различного производственного назначения (хлопководческие, зерновые, садово-виноградские и т.д.).

Для вегетационных поливов сельскохозяйственных культур, выращиваемых на массиве, используется не только естественный



поверхностный сток, забираемый из реки в магистральный оросительный канал, но и другие составляющие водных ресурсов: возвратные и подземные воды.

Технология применения различных видов водных ресурсов каждым хозяйством индивидуальна. Например, для использования возвратных вод необходимы установки насосов на коллекторной сети, соблюдение допустимой концентрации солей в воде, а привлечение подземных вод для орошения связано с необходимостью затрат на электроэнергию или даже устройство новых подземных водозаборов. Следовательно, затраты на единицу используемых ресурсов определенного вида будут разные. Кстати сказать, степень допустимой минерализации оросительной воды для возделывания различных культур тоже неодинакова. Так, на незасоленных, легких по механическому составу почвах при выращивании хлопчатника допускается минерализация оросительной воды 4 г/л, люцерны - 6 г/л, кукурузы - 5 г/л, бобовых - 6 г/л [4].

Стоимость проведения полива также колеблется в больших пределах и зависит от многих обстоятельств: применяемой в совхозе техники, типа оросительной сети, рельефа местности и т.д.

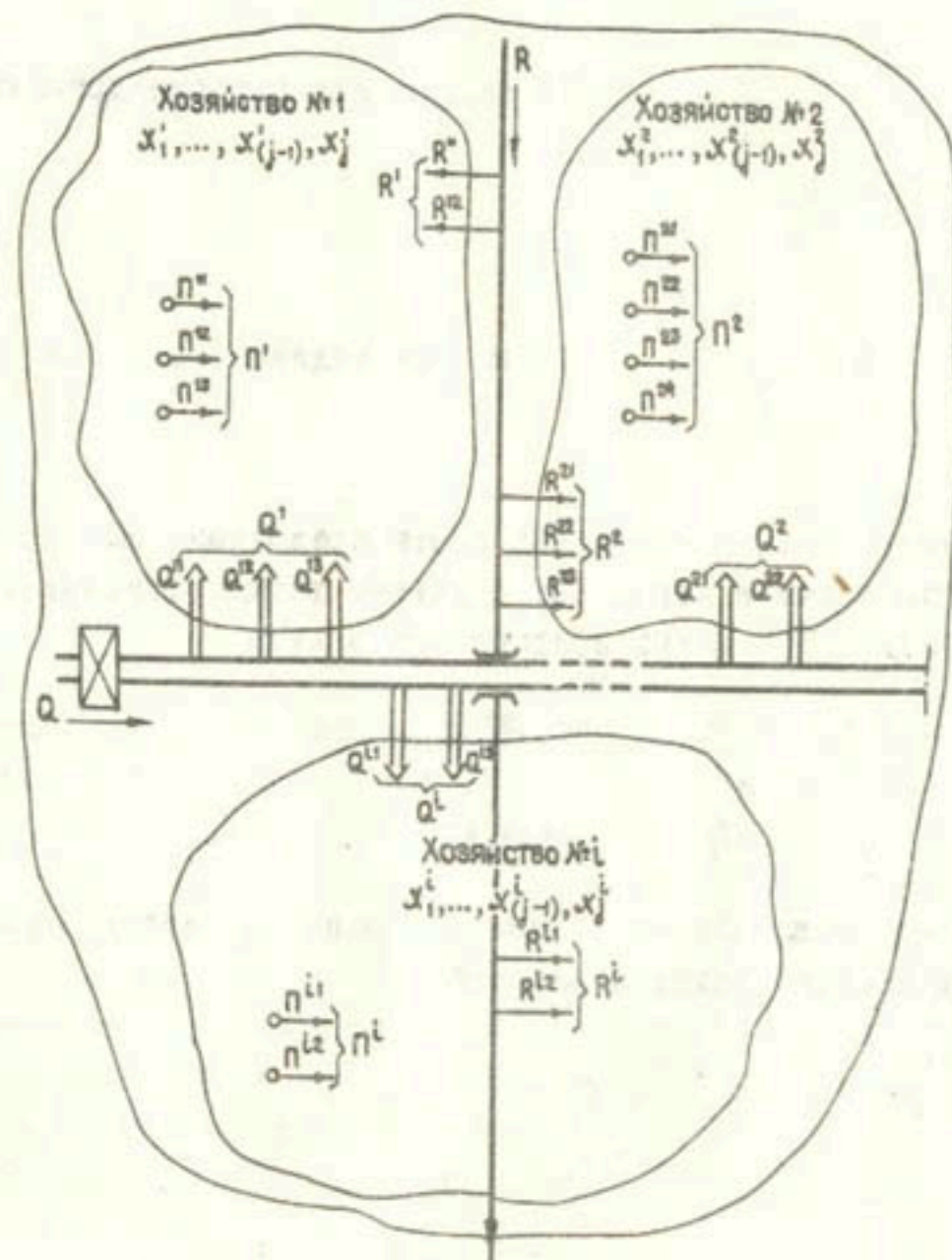
Таким образом, из-за различных технологий использования водных ресурсов каждое хозяйство по одному и тому же виду водных ресурсов будет иметь собственную расчетную цену, показывающую сравнительную ценность используемых оросительных вод в конкретных условиях сельскохозяйственного предприятия. Расчетные оценки ресурсов, соответствующие оптимальному плану производства продукции, впервые введены Л.В. Канторовичем и названы им объективно обусловленными оценками [5].

Расчетные оценки единицы ресурса могут выражаться в руб/м<sup>3</sup> или ц/м<sup>3</sup>, т.е. доход в рублях от использования 1 м<sup>3</sup> оросительной воды или производство сельхозпродукции (в центнерах) на 1 м<sup>3</sup> затраченных водных ресурсов.

Очевидно, понятие расчетной оценки водных ресурсов может быть введено не только для оптимального, но и для любого допустимого базисного плана водоподдачи.

Рассмотрим некоторый орошаемый массив, располагающий следующими видами водных ресурсов (см. рисунок):

- $Q_M$  - отпущенный лимит на водозабор естественного поверхностного стока;
- $R_M$  - допустимое количество используемых возвратных (коллекторно-дренажных) вод;
- $P_M$  - разрешенный к использованию объем подземных вод.



Расчетная схема распределения водных ресурсов на орошаемом массиве



Для упрощения объединим водозборы по составляющим водных ресурсов в одно хозяйство:

$$\left. \begin{aligned} Q'' + Q^{12} + Q^{13} &= Q^1, \\ Q^{21} + Q^{22} &= Q^2, \\ Q^{i1} + Q^{i2} + \dots + Q^{in} &= Q^i \end{aligned} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{водозбор из оросительного канала} \\ \text{в } 1, 2 \text{ и } i\text{-е хозяйства} \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} R'' + R^{12} &= R^1, \\ R^{21} + R^{22} + R^{23} &= R^2, \\ R^{i1} + R^{i2} + \dots + R^{in} &= R^i \end{aligned} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{То же, из коллекторно-дренажной} \\ \text{сети} \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} \Pi'' + \Pi^{12} + \Pi^{13} &= \Pi^1, \\ \Pi^{21} + \Pi^{22} + \Pi^{23} + \Pi^{24} &= \Pi^2, \\ \Pi^{i1} + \Pi^{i2} + \dots + \Pi^{in} &= \Pi^i \end{aligned} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{То же, из подземного стока} \end{array}$$

Предположим, что на основании опыта предыдущих лет составлен план водоподачи в хозяйства с учетом всех составляющих водных ресурсов. Его можно представить в виде

$$\begin{pmatrix} Q'' \\ R'' \\ \Pi'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q^1 \\ R^1 \\ \Pi^1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Q^2 \\ R^2 \\ \Pi^2 \end{pmatrix} + \dots + \begin{pmatrix} Q^i \\ R^i \\ \Pi^i \end{pmatrix}. \quad (I)$$

Для каждого хозяйства расход ресурсов на единицу продукции сельского хозяйства зададим матрицей

$$A_i = \begin{pmatrix} g_1^i, \dots, g_{(j-1)}^{(i-1)}, g_j^i \\ z_1^i, \dots, z_{(j-1)}^{(i-1)}, z_j^i \\ p_1^i, \dots, p_{(j-1)}^{(i-1)}, p_j^i \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $g_1^i, \dots, g_{(j-1)}^{(i-1)}, g_j^i$  - расход воды, забираемой из оросительного канала в  $i$ -е хозяйство для производства единицы  $j$ -й сельскохозяйственной продукции (хлопка, люцерны, кукурузы, винограда, бахчевых);  $z_1^i, \dots, z_{(j-1)}^{(i-1)}, z_j^i$  - то же, из коллекторно-дре-

нажной сети;  $p_1^i, \dots, p_{(j-1)}^{(i-1)}, p_j^i$  - то же, из подземных водозборов.

Зная прибыль хозяйства от реализации единицы каждого вида сельскохозяйственной продукции ( $C_1, \dots, C_{(j-1)}, C_j$ ), сформируем целевую функцию водораспределения следующим образом: достигнуть максимума дохода

$$Z = C_1 x_1^i + \dots + C_{(j-1)} x_{(j-1)}^{(i-1)} + C_j x_j^i \rightarrow \max \quad (3)$$

в условиях ограничения водных ресурсов

$$\left. \begin{aligned} g_1^i x_1^i + \dots + g_{(j-1)}^{(i-1)} x_{(j-1)}^{(i-1)} + g_j^i x_j^i &\leq Q^i, \\ z_1^i x_1^i + \dots + z_{(j-1)}^{(i-1)} x_{(j-1)}^{(i-1)} + z_j^i x_j^i &\leq R^i, \\ p_1^i x_1^i + \dots + p_{(j-1)}^{(i-1)} x_{(j-1)}^{(i-1)} + p_j^i x_j^i &\leq \Pi^i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

при

$$\left. \begin{aligned} x_1^i &\geq x_1^{n_i}, \\ x_{(j-1)}^{(i-1)} &\geq x_{(j-1)}^{n_{(j-1)}}, \\ x_j^i &\geq x_j^{n_j} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $x_1^{n_i}, \dots, x_{(j-1)}^{n_{(j-1)}}, x_j^{n_j}$  - плановые поставки сельскохозяйственной продукции (хлопка, люцерны, кукурузы, винограда, бахчевых)

$i$ -го хозяйства;  $x_1^i, \dots, x_{(j-1)}^{(i-1)}, x_j^i$  - оптимальное производство сельскохозяйственной продукции при имеющихся водных ресурсах.

Другими словами, задача сводится к отысканию такого распределения существующих водных ресурсов по хозяйствам массива (4), при котором был бы обеспечен установленный план заготовки всех видов сельскохозяйственной продукции в хозяйстве (5), а общий доход достигал бы максимума (3).

Оптимальное планирование водораспределения по вышеуказанной методике является задачей линейного программирования и решается сравнительно просто. Пользуясь рекомендуемой нами методикой, легко спланировать водораспределение в любом районе орошаемого массива.

Так, например, наметив границы орошаемого региона, можно рассчитать: для района план водораспределения по району между хозяйствами; для области - между районами; по массиву - между областями и т.д.



Однако представляется важным и необходимым оценить тот или иной план водораспределения. Для этого введем расчетные оценки, показывающие сравнительную ценность используемых водных ресурсов:  $y_1^i$ ;  $y_2^i$ ;  $y_p^i$ . Суммарная цена всех видов ресурсов, предназначенных на орошение, будет равна:

$$J = Q^i y_g^i + R^i y_z^i + \Pi^i y_p^i \rightarrow \min \quad (6)$$

при условии

[illegible]

для  $y_1^i \geq 0, y_2^i \geq 0, y_p^i \geq 0.$  (8)

Уравнения и системы неравенств (3)-(8) образуют взаимно двойственную симметричную пару задач линейного программирования (2).

Задача определения расчетных оценок водных ресурсов, соответствующих оптимальному плану производства сельскохозяйственной продукции (6)-(8), является двойственной задачей производственного планирования (3)-(5). Расчетные оценки ресурсов, соответствующие оптимальному плану производства, служат компонентами оптимального решения двойственной задачи. Компоненту  $u$  называют двойственной оценкой использования какого-либо вида ресурса (естественный поверхностный сток, возвратные воды, подземные воды), понимая под этим расчетную оценку единицы рассматриваемой составляющей ресурса.

В соответствии с основным неравенством теории двойственности для любых допустимых решений  $\bar{x}^i(x_1^i, \dots, x_{j-1}^i, x_j^i)$  и  $\bar{y}^i(y_1^i, y_2^i, y_p^i)$  прямой и двойственной задач справедливо неравенство

$$\sum_{j=1}^J c_j x_j \leq (Q^i y_1^i + R^i y_2^i + \Pi^i y_p^i). \quad (9)$$

Выражение (9) показывает, что для любого плана производства сельскохозяйственной продукции  $\bar{x}^i(x_1^i, \dots, x_{j-1}^i, x_j^i)$  и любого допустимого вектора оценок водных ресурсов  $\bar{y}^i(y_g^i, y_z^i, y_p^i)$

общая стоимость произведенного продукта не превышает суммарной оценки ресурсов.

Для того чтобы допустимые решения  $\bar{x}^0 (x_1^i, \dots, x_{j-1}^i, x_j^i)$  и  $\bar{y}^0 (y_1^i, y_2^i, y_p^i)$  являлись оптимальными решениями, необходимо и достаточно выполнение условий:

$$x_j^0 \left( \sum_{i=1}^j g_j^i y_g^i + \sum_{i=1}^j z_j^i y_z^i + \sum_{i=1}^j p_j^i y_p^i \right) - c_j = 0, \quad (10)$$

$$y_g^i \left( \sum_{j=1}^i g_j^i x_j^0 - Q^i \right) = 0, \quad (\text{II})$$

$$y_i^i \left( \sum_{j=1}^i z_j^i x_j^0 - R^i \right) = 0, \quad (I2)$$

$$y_p^i \left( \sum_{j=1}^J \rho_j^i x_j^0 - \pi^i \right) = 0. \quad (13)$$

Другими словами, если планируется производство  $j$ -й сельскохозяйственной культуры в  $i$ -м хозяйстве ( $x_j^i > 0$ ), то

$$\sum_{j=1}^i g_j^i y_g^i + \sum_{j=1}^i z_j^i y_z^i + \sum_{j=1}^i p_j^i y_p^i = c_j^i, \quad (14)$$

И ВСДИ

$$\sum_{j=1}^I g_j^i y_j^i + \sum_{j=1}^I v_j^i y_j^i + \sum_{j=1}^I p_j^i y_j^i > c_j^i, \quad (15)$$

то  $x_j^0 = 0$ , т.е. производство  $j$ -й сельскохозяйственной культуры не планируется. Или же, если оценка какой-либо составляющей водных ресурсов положительна ( $\bar{y}^0 > 0$ ), то

$$\sum_{j=1}^l g_j^i x_j^0 = Q^i, \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^d z_j^i x_j^0 = R^i, \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n p_j^i x_j^0 = \pi^i, \quad (18)$$

В ЕСДН

$$\sum_{j=1}^i g_j^i x_j^0 < Q^i, \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^k \tau_j^i x_j^0 < R^i, \quad (20)$$



$$\sum_{j=1}^J p_j^i x_j^o < \pi^i, \quad (21)$$

то  $\bar{y}^o = 0$ .

Поясним экономическое содержание утверждений (14)-(21).

Если в некотором оптимальном плане производства сельскохозяйственной продукции  $\bar{x}^o$  расход некоторых составляющих водных ресурсов (19), (20), (21) строго меньше их запасов (лимитов)  $Q^i, R^i, \pi^i$ , то в соответствующем оптимальном плане оценок оценка единицы этой составляющей ресурса равна нулю:  $\bar{y}^o = 0$ ; если же в оптимальном плане оценок оценка какой-либо составной части ресурса строго больше нуля ( $\bar{y}^o > 0$ ), то в оптимальном плане производства сельскохозяйственной продукции расход этого ресурса равен его запасу (16)-(18).

Таким образом, оценки оптимального плана выступают как мера дефицитности водных ресурсов. Дефицитные водные ресурсы, полностью используемые по оптимальному плану, имеют положительную оценку, а не дефицитные, не полностью используемые, водные ресурсы имеют нулевую оценку.

Условия (14) и (15) поясняются следующим образом.

Если в некотором плане оценок оценка  $\sum_{j=1}^J q_j^i y_j^i; \sum_{j=1}^J r_j^i y_j^i; \sum_{j=1}^J p_j^i y_j^i$  отдельных составляющих водных ресурсов, расходуемых на производство  $j$ -й культуры, строго больше цены планируемой сельскохозяйственной продукции, то  $j$ -я сельскохозяйственная культура не применяется в оптимальном плане  $i$ -го хозяйства ( $x_j^o = 0$ ), если же по некоторому оптимальному плану производства  $j$ -я сельскохозяйственная культура производится ( $x_j^o > 0$ ), то в соответствующем оптимальном плане оценок суммарная оценка водных ресурсов, расходуемых на производство  $j$ -й сельскохозяйственной культуры, равна цене произведенной этой же сельскохозяйственной культуры.

Таким образом, оценки оптимального плана выступают как инструмент определения эффективности производства сельскохозяйственных культур при использовании различных видов водных ресурсов.

Способ распределения водных ресурсов и производства сельскохозяйственных культур принимается в том и только в том случае, когда при его реализации оценка затраченных ресурсов и цена полученной продукции совпадают.

Необходимо отметить, что значения переменных  $y^o$  в оптимальном решении двойственной задачи представляют собой оценки влияния правых частей системы ограничений исходной задачи на величину максимума ее целевой функции:

$$\frac{\partial Z_{max}}{\partial (Q^i + R^i + \pi^i)} = y^o. \quad (22)$$

Указанные задачи являются задачами линейного программирования и решаются с помощью симплексного метода.

Остается добавить, что оценки оптимального плана выступают как мера влияния объемов отдельных составляющих водных ресурсов на величину максимума производства сельскохозяйственных культур и показывают прирост производства сельскохозяйственной продукции при увеличении какой-либо составляющей водных ресурсов на единицу.

Таким образом, оценки позволяют выявить направление мероприятий по оптимальному и комплексному использованию водных ресурсов, обеспечить наибольший экономический эффект сельскохозяйственного производства.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Игальник Л.М. Исследование и разработка методов рационального водораспределения в оросительных системах эридной зоны: Автореф. дис... канд. техн. наук. - Ташкент: НПО "Кибернетика" АН УзССР, 1981-20с.

2. Концабовский С.Я., Минкин Б.Л. Оценка эффективности совместного использования поверхностных и подземных вод для орошения. - Гидротехника и мелиорация, 1984, № 2, с.70-73.

3. Технический проект "Автоматизированная система управления водохозяйственным комплексом бассейна р.Сырдарья". Т.2, кн.4. Планирование работы ВХК. Отчет ин-та "Средэзгипроводхлопок". Арх. № 25091. - Ташкент, 1977.

4. Разработке рекомендаций по использованию минерализованных вод на орошение в различных условиях. Заключительный отчет ин-та "Средэзгипроводхлопок" за 1977-1979 гг. - МГР 77033768, инв. № 387980. - Ташкент, 1980.



5. Канторович Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. - М.: АН СССР, 1960.

6. Карандяев И.С., Саковский С.А. Теоретические основы кибернетики. Линейное программирование (теория двойственности, двойственный симплекс метод, транспортная задача, максимальный поток в сетях). - М.: МГИ, 1982.

УДК 556:556.3:626.812:626.811

С.Я. Концевоский, мл. науч. сотр.

Б.Л. Минкин, д-р геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр.

(Институт водных проблем АН СССР)

### МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Одна из серьезных проблем крупномасштабного использования подземных вод, в том числе в ирригации - недостаточная разработанность научно-методических основ оценки их эффективности как в качестве самостоятельного источника, так и при применении вместе с поверхностными водами.

В данной работе рассматривается алгоритм управления системой совместного использования подземных и поверхностных вод (СИПВ), предназначенный для имитационного моделирования с целью оценки надежности функционирования ВХС. При постановке задачи управления приняты допущения о приоритетном характере применения водных ресурсов, о гидравлической изолированности месторождений подземных вод (МПВ) друг от друга, об отсутствии ограничений на расходы в руслах, причем рассматриваются только количественные характеристики поверхностных и подземных вод.

Структура ВХС может быть схематизирована в виде ориентированного графа, называемого также линейно-узловой схемой, узлы (вершины) которой представляют собой выделенные створы на водотоках, дуги (ветви) - участки русел. Линейные схемы ВХС, где наряду с поверхностными используются подземные воды, дополняются узлами, изображающими МПВ, и ветвями, соединяющими их с остальными узлами системы. Влияние отбора подземных вод на поверхностный сток отображается специфическими структурными

ми элементами - псевдоветвями, соединяющими МПВ с теми ветвями системы, расход в которых изменяется в связи с отбором подземных вод по данному МПВ.

Для каждого узла, ветви и МПВ линейно-узловой схемы считаются заданными множества узлов, дуг и МПВ, находящихся выше данного элемента по схеме. Если через  $Y$  обозначено множество всех узлов ВХС, через  $B$  - множество всех ветвей и через  $G$  - множество всех МПВ, структура линейно-узловой схемы может быть задана с помощью следующих характеристических множеств. Для каждого узла  $i \in Y$  считаются заданными: множества узлов ( $Y_i$ ), ветвей ( $B_i$ ) и МПВ ( $G_i$ ), расположенных по схеме выше  $i$ -го узла.

После распределения поверхностных вод величины балансов водных ресурсов и водопотребления в узлах можно представить следующим образом:

$$\beta_i = \sum_{j \in B_i} q_j - \sum_{l \in Y_i} D_l - D_i + \sum_{m \in G_i} Q_{\Delta m} - \sum_{j \in B_i} W_j, \quad (I)$$

где  $\beta_i$  - баланс в узле  $i$  (при  $\beta_i > 0$  водопотребление меньше приходящих к узлу водных ресурсов всех видов, при  $\beta_i < 0$  ресурсы меньше водопотребления);  $q_j$  - естественная распределенная приточность по дуге  $j$ ;  $D_l$  - дефицит водопотребления в узле после распределения поверхностных водных ресурсов (может быть как больше, так и меньше нуля);  $Q_{\Delta m}$  - отбор подземных вод по  $m$ -му МПВ;  $W_j$  - изменение расхода в дуге  $j$  под влиянием эксплуатации всех МПВ системы. Если во всех узлах оказывается  $\beta_i \geq 0$ , необходимости в отборе подземных вод нет; если же хотя бы в одном узле  $\beta_i < 0$ , следует привлечь подземные воды. При отборе последних обязательно выполнение условия баланса:  $\beta_i \geq 0$ , причем, очевидно, должен существовать хотя бы один узел  $i_0 \in Y$ , для которого неравенство перейдет в равенство:  $\beta_{i_0} = 0$ , иначе задача заведомо не может иметь однозначного решения.

Бездефицитное функционирование ВХС возможно в том случае, когда в течение всего периода эксплуатации выполняются условия  $\beta_i \geq 0, i \in Y$ . Надежность работы системы представляет собой вероятность выполнения этого условия в течение расчетного срока эксплуатации. Однако оптимизация правил управления по критерию надежности функционирования ВХС в его чистом виде - весьма слож-



ная математическая задача. В этой ситуации есть два варианта методики преодоления трудностей анализа: численное моделирование на ЭВМ либо применение упрощенных правил управления с последующим анализом результатов по исходному критерию. Для управления ресурсами подземных вод в ВХС более перспективным представляется второй из вариантов, тем более что упрощенные правила управления в этом случае выглядят довольно естественно. Действительно, для достижения надежной работы ВХС с помощью привлечения подземных вод целесообразно резервировать их эксплуатационные ресурсы, т.е. отбирать подземные воды в возможно наименьших количествах. Мерой резерва эксплуатационных ресурсов подземных вод служит минимальная величина остаточного напора между динамическим уровнем подземных вод на МПВ системы и соответствующими предельными отметками, иными словами величина

$$\Delta S_{min} = \min_{m \in G} \{S_{gonm} - S_m\}, \quad (2)$$

где  $S_{gonm}$  - предельно допустимое понижение по  $m$ -му МПВ;

$S_m$  - его текущая величина. Показатель  $\Delta S_{min}$ , очевидно, следует поддерживать на возможно более высоком уровне, т.е. целью управления становится выполнение условия

$$\Delta S_{min} \Rightarrow \max. \quad (3)$$

Критерий (3), который может быть назван принципом максимального резервирования, близок к критерию максимальной надежности, но не эквивалентен ему. Использование критерия (3) дает определенный запас при расчетах надежности.

Для упрощения расчетных зависимостей целесообразно принять, что время изменяется дискретно, тогда значения параметров, определяющих водохозяйственные ситуации, можно относить к последовательным значениям времени и обозначать индексом  $(k)$  сверху:

$S_m^{(k)}$  (понижение уровня подземных вод на  $m$ -м МПВ);  $Q_{\Delta m}^{(k)}$  (величина отбора подземных вод по  $m$ -му МПВ в  $k$ -й момент времени);  $W_j^{(k)}$  (изменение расхода в  $j$ -й дуге линейной схемы за счет эксплуатации подземных вод на конец  $k$ -го временного интервала).

Величины понижений уровня подземных вод и изменений расходов в дугах с помощью варианта формулы для ступенчатого водо-

отбора [1,2] могут быть выражены через значения эксплуатационного отбора подземных вод следующим образом:

$$S_m^{(k)} = \tilde{S}_m^{(k)} + \frac{Q_{\Delta m}^{(k)}}{T_{*m}} R_m^{(k)}, \quad (4)$$

где

$$\tilde{S}_m^{(k)} = \sum_{l=1}^{k-1} \frac{Q_{\Delta m}^{(l)} - Q_{\Delta m}^{(l-1)}}{T_{*m}} R_m^{(k-l+1)}, \quad (5)$$

$T_{*m}$  - характерное значение водопроводимости  $m$ -го МПВ;  $R_m^{(k)}$  - величина гидравлического сопротивления, определенная на конец  $\alpha$ -го интервала времени.

В формуле (4) слагаемое  $\tilde{S}_m^{(k)}$  представляет собой компоненту понижения, которая не может быть изменена отбором подземных вод в текущем интервале времени. Это - составляющая, унаследованная от предыстории водосбора на  $m$ -м МПВ.

Изменение расхода в дуге  $j$ , обусловленное эксплуатацией  $m$ -го МПВ, может быть вычислено с помощью формулы

$$W_{j,m}^{(k)} = \tilde{W}_{j,m}^{(k)} + W_{j,m}^{(1)} Q_{\Delta m}^{(k)}, \quad (6)$$

где

$$\tilde{W}_{j,m}^{(k)} = \sum_{l=1}^{k-1} (Q_{\Delta m}^{(l)} - Q_{\Delta m}^{(l-1)}) W_{j,m}^{(k-l+1)}, \quad (7)$$

$W_{j,m}^{(k)}$  - значение функции редукции, определенное для дуги  $j$  и  $m$ -го МПВ на конец  $\alpha$ -го временного интервала. Изменение расхода в  $j$ -й дуге линейной схемы, вызванное эксплуатацией всех МПВ системы, равно сумме вкладов от влияния отдельных водозаборов на эту дугу.

После ряда алгебраических преобразований последнего слагаемого правой части формулы (1) получим выражение для определения величины баланса в  $i$ -м узле в виде:

$$\theta_i^{(k)} = \tilde{\theta}_i^{(k)} + \sum_{m \in G} R_{i,m} Q_{\Delta m}^{(k)}, \quad (8)$$



где

$$\tilde{b}_i^{(\kappa)} = \sum_{j \in B_i} q_j - D_i^{(\kappa)} - \sum_{l \in Y_i} D_l^{(\kappa)} - \sum_{j \in B_i} \sum_{m \in G} \tilde{W}_{j,m}^{(\kappa)} \quad (9)$$

слагаемое баланса в  $m$ -м узле, не зависящее от величин  $Q_{\Delta m}^{(\kappa)}$ ;

$$R_{i,m} = \begin{cases} 1 - \sum_{j \in B_i} W_{j,m}^{(1)}, & \text{если } m \in G_i, \\ - \sum_{j \in B_i} W_{j,m}^{(1)}, & \text{если } m \in \bar{G}_i, \end{cases} \quad (10)$$

коэффициент, который может быть назван регулирующим эффектом  $m$ -го МПВ на баланс в  $i$ -м узле.

С учетом формулы (4) принцип максимального резервирования эксплуатационных ресурсов подземных вод формулируется следующим соотношением:

$$\min_{m \in G} \left\{ S_{\text{гон}m} - \tilde{S}_m - \frac{R_m^{(1)}}{T_{*m}} Q_{\Delta m}^{(\kappa)} \right\} \Rightarrow \max. \quad (11)$$

Опуская верхний индекс  $(\kappa)$ , задачу определения оптимальных отборов по МПВ можно поставить как требование максимизации целевой функции  $\Delta S_{\min}$  следующего вида:

$$\Delta S_{\min} = \min_{m \in G} \left\{ S_{\text{гон}m} - \tilde{S}_m - \frac{R_m^{(1)}}{T_{*m}} Q_{\Delta m} \right\}, \quad (12)$$

при ограничениях, выражающих балансы в узлах:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{b}_i + \sum_{m \in G} R_{i,m} Q_{\Delta m} &\geq 0, \\ \exists i_0 \in Y: \tilde{b}_{i_0} + \sum_{m \in G} R_{i_0,m} Q_{\Delta m} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Кроме того, следует учесть требования, предъявляемые к предельно допустимым величинам понижений:

$$Q_{\Delta m} \leq Q_{\Delta m}^*, \quad (14)$$

где

$$Q_{\Delta m}^* = \frac{S_{\text{гон}m} - \tilde{S}_m}{R_m^{(1)}} T_{*m}. \quad (15)$$

В пространстве величин  $Q_{\Delta m}$  условия (14) совместно с очевидным условием  $Q_{\Delta m} \geq 0$  определяют многомерный параллелепипед; условие (13) означает, что точка пространства  $Q_{\Delta m}$ , отвечающая решению задачи, должна находиться на одной из границ области, определяемой неравенствами из формулы (13). Выпуклая область, соответствующая пересечению параллелепипеда (14) и области, определяемой условием (13), можно назвать допустимой областью решения задачи.

Само решение может быть получено двумя способами. Один из них, более наглядный (в чем можно убедиться, рассматривая случаи двух МПВ), сводится к изучению расположения в пространстве поверхностей  $\Delta S_{\min} = \text{const}$ ; второй — основан на аналогии с задачей отыскания оптимальной смешанной стратегии в теории матричных игр [3]. В первом варианте сначала отыскивается так называемая базисная точка, соответствующая условию равенства между собой всех величин  $\Delta S_m$  по МПВ:

$$S_{\text{гон}m} - \tilde{S}_m - \frac{R_m^{(1)}}{T_{*m}} Q_{\Delta m} = \Delta S_{\min}, \quad (16)$$

Условие (16), называемое принципом равенства понижений, имеет аналог в теории исследования операций — принцип уравнивания Ю.Гермейера [4]. Для распределения величин  $Q_{\Delta m}$  достаточно выразить  $Q_{\Delta m}$  через  $\Delta S_{\min}$  по (16) и подставить это выражение в (13). Можно показать, что при этом величина  $\Delta S_{\min}$  выбирается из условия

$$\Delta S_{\min} = \min_{i \in Y} \frac{\sum_{m \in G} R_{i,m} T_{*m} \frac{S_{\text{гон}m} - \tilde{S}_m}{R_m^{(1)}} - \tilde{b}_i}{\sum_{m \in G} R_{i,m} \frac{T_{*m}}{R_m^{(1)}}}. \quad (17)$$

Базисное решение (17) не всегда удовлетворяет требованиям поставленной задачи (11). Они различаются в случаях так называемого вырождения решения, анализ которых выходит за рамки настоящей работы. Однако замкнутость выражения (17) позволяет упрощенно решать некоторые задачи оперативного управления, что определяет теоретическое значение метода базисной точки.

С вычислительной точки зрения более перспективно привлечение методов линейного программирования. Задача максимизации функционала (11) при ограничениях (13), (14) аналогична по постав-



новке задаче нахождения оптимальной смешанной стратегии в теории матричных игр. Этот класс задач допускает сведение к стандартной транспортной задаче линейного программирования, решение которой в процессе моделирования на ЭВМ легко организовать с помощью обращения к одной из существующих стандартных подпрограмм.

Применительно к рассматриваемому в настоящей работе случаю эквивалентная задача линейного программирования будет формулироваться следующим образом:

максимизировать переменную  $\Delta S_{min}$  (18)  
при ограничениях:

$$\tilde{b}_k + \sum_{m \in G} R_{km} Q_{\Delta m} \geq 0, \quad (19)$$

$$0 \leq Q_{\Delta m} \leq Q_{\Delta m}^*, \quad (20)$$

$$S_{gen m} - \tilde{S}_m - \frac{R_m^{(1)}}{T_{*m}} Q_{\Delta m} - \Delta S_{min} \geq 0. \quad (21)$$

Переход к задаче линейного программирования связан с увеличением размерности пространства переменных на единицу (приводится переменная  $\Delta S_{min}$ ). Допустимая область задачи распределения нагрузок по МПВ есть проекция допустимой области задачи линейного программирования, поэтому некоторые свойства решения исходной задачи могут трактоваться в терминах геометрии допустимой области задачи линейного программирования. Как известно, решение задачи линейного программирования соответствует одной из вершин допустимой области. Если эти вершины обусловлены ограничениями (20), в допустимой области исходной задачи имеет место случай вырождения, если же вершины обусловлены только неравенствами (19), она соответствует базисному решению исходной задачи.

На основании изложенного алгоритма в ИВП АН СССР в настоящее время составляется программа для ЭВМ, с помощью которой предполагается решать прямые и обратные задачи оценки надежности ВХС в режиме совместного использования поверхностных и подземных вод для ряда бассейнов аридной зоны СССР.

## Использованная литература

1. Мирзаяев С.Ш. Формирование и размещение запасов подземных вод Узбекистана, вопросы методики их изучения и проблемы хозяйственного использования. - Ташкент: Фэн, 1974. - 221с.
2. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. - М.: Изд-во МГУ, 1979.
3. Суэн Г. Теория игр. - М.: Мир, 1971.
4. Давыдов Э.Г. Игры, графы, ресурсы. - М.: Радио и связь, 1981.

УДК 626.824:626.810

М.Р.Селихов, канд.техн.наук,  
зав.сектором АСУТП  
(САНИИРИ)

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВХС БАССЕЙНА РЕКИ И МЕТОД ИХ РЕШЕНИЯ

Значение совершенствования методов управления путем создания информационно-советующей автоматизированной системы управления водными ресурсами бассейна крупной среднеазиатской реки в свете требований развития орошаемого земледелия при дефиците воды чрезвычайно велико. Рассмотрим этот вопрос на примере АСУБ Сырдарьи.

Системой предусматриваются центральный диспетчерский пункт (ЦДП) с вычислительным центром (ВЦ) и пять территориальных управлений (ТУ) [1]. В вычислительном центре ЦДП на основе требований на воду и прогноза водных ресурсов, с учетом уровня дефицита воды на текущий год, формируются планы водораспределения по сезонам. Территориальные управления решают задачи, позволяющие реализовать в принятый период оперативного планирования заданный во времени и в пространстве намечаемый режим водораспределения в условиях большой рассредоточенности пунктов контроля и управления (ПКУ).

Оперативное управление водораспределением заключается в целенаправленном и методичном воздействии на объект с целью выработки своевременных решений по выполнению плана на основе



достоверной информации с объекта.

Подсистема "Оперативное управление" осуществляет:

- расчет и корректировку задающих воздействий локальным регулятором на базе оперативного внутридекадного плана водораспределения;
- оценку качества функционирования системы управления, адаптацию структуры и параметров алгоритма управления;
- диагностику аварийных ситуаций.

Своевременное обеспечение нужд водопользователей в системе зависит в большой степени от того, насколько своевременно и надежно выполняются операции по забору, транспортировке и распределению воды, в это, в свою очередь, определяется средствами и способами осуществления технологического процесса на системе.

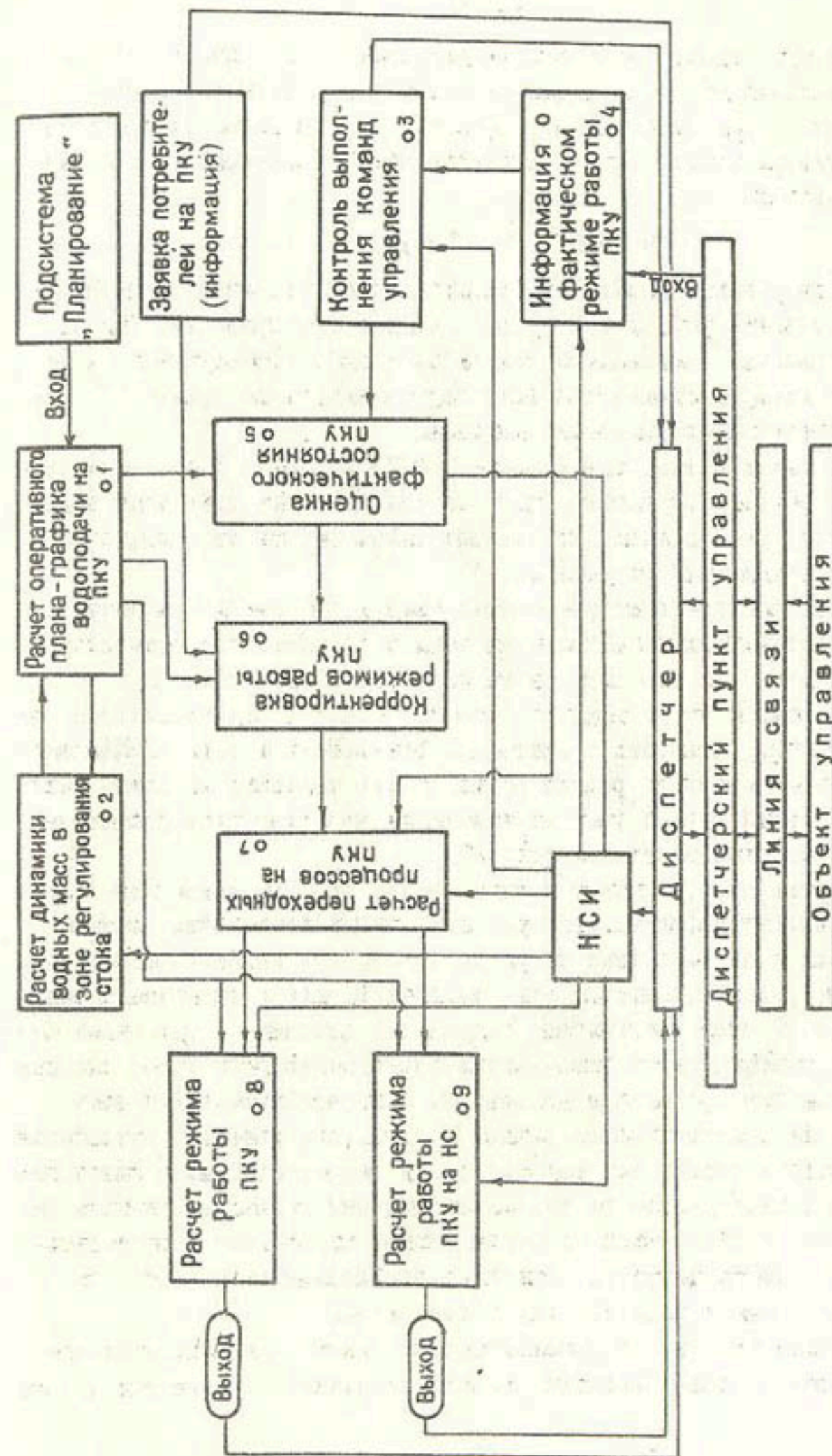
Проектом АСУБ Сырдарьи на каждом ТУ предусматривается прямое диспетчерское управление с помощью систем телемеханики, а на ПКУ - локальное автоматическое управление. Для расчета комплекса задач оперативного управления водораспределением на диспетчерском пункте ТУ запроектирована установка ЭВМ типа СМ-4, которая на первом этапе внедрения используется в режиме советчика.

Из приведенной схемы функционирования подсистемы оперативного управления водораспределением с перечнем комплекса задач видно, что постановка задач оперативного управления сводится к:

- расчету диспетчерского плана-графика на основе декадного плана водораспределения с суточной дискретизацией и учетом времени добегания расходов воды на ПКУ;
- расчету режимов работы ПКУ;
- контролю выполнения команд управления ПКУ;
- оценке фактического состояния ПКУ;
- корректировке режимов работы ПКУ.

Решение комплекса задач оперативного управления в начале декады начинается с расчета плана-графика водоподачи по ПКУ на основе декадного плана, спущенного из подсистемы "Планирование", с учетом времени добегания расхода воды.

Решение этих задач базируется на некотором критерии, минимизирующем отклонение переменных состояний расхода от заданных по плану.



Функциональная схема подсистемы "Оперативное управление БХ АСУБ Сырдарьи"



В подсистеме "Оперативное управление" для каждого ТУ на основе плана водораспределения и путем определения баланса входящих  $Q_{вх}$  и выходящих  $Q_{вых} + \sum q_i$  расходов формируется оперативный диспетчерский внутридекадный план-график по балансовой модели

$$\pm \Delta Q = Q_{вх} - (Q_{вых} + \sum q_i).$$

Для расчета модели необходимо определить время запаздывания изменений расходов и уровней воды в пространстве. При изменении расхода в начальном створе расходы в промежуточных и конечных створах изменяются лишь спустя некоторое время  $\tau$ , так называемое время добега расхода.

В связи с тем, что I очередь АСУБ Сырдарьи в основном охватывает речные сооружения, при расчете динамики добега воды по стволу реки должны учитываться динамические характеристики работы отдельных сооружений.

Многолетний опыт применения уравнения Сен-Венана к расчетам неустановившегося движения воды в естественных водотоках показывает, что точность таких расчетов в первую очередь определяется возможностью задания геометрических и гидравлических характеристик, входящих в уравнение Сен-Венана в виде коэффициентов. Характеристики речных русел обычно меняются по длине реки, и даже самый точный учет их изменения не может дать достаточно полной картины состояния реки [2].

Кроме того, следует иметь в виду, что уравнение Сен-Венана представляет собой одномерную идеализацию достаточно сложного процесса и не учитывает таких факторов, как извилистость русла, наличие рукавов, мертвых зон, взаимодействие с грунтовыми водами и др. В итоге физическое содержание входящих в уравнение Сен-Венана коэффициентов оказывается существенно шире того, которое им придается при выводе уравнений. В случае применения этих уравнений к естественным речным руслам, как правило, приходится производить подбор или корректировку геометрических и гидравлических характеристик по данным наблюдений за водным режимом реки. Такой подбор часто является весьма трудоемкой и недостаточно надежной процедурой; возникает необходимость сделать его универсальным и теоретически обоснованным.

В соответствии с вышеизложенным из-за невозможности использования точных методов расчета динамики в руслах рек и боль-

ших погрешностей при вероятностных подходах, вызванных отсутствием сведений о руслах рек, время добега при решении комплекса задач оперативного управления определяется путем построения эмпирических зависимостей от  $L$  и  $Q$  на основе многолетних данных эксплуатационников и наблюдений при управлении водозаборными сооружениями.

Следует отметить, что в проекте учтена и отражена возможность автономного автоматического управления отдельными сооружениями с помощью авторегуляторов для решения комплекса задач оперативного управления водораспределением.

Назначение авторегулятора - поддержание заданного уровня воды в верхнем бьефе гидроузла, исходя из особенностей руслового потока и режима работы сооружения, для обеспечения планового водозабора в отводы. При возникновении возмущений регулятор срабатывает и восстанавливает прежний, заданный уровень воды; при пуске транзитного расхода регулятор по мере подхода дополнительного объема воды, автоматически управляя затворами плотины, попускает расход через данное сооружение.

Учитывая, что имеется автономное управление затворами на гидроузле с помощью авторегуляторов, мы, используя данные эксплуатационников о времени добега расхода от одного створа к другому, занесенные в память машины как нормативно-справочная информация (НСИ), решаем комплекс задач оперативного управления.

Определив время добега воды из решения задачи 02 или из НСИ, рассчитываем оперативный декадный план-график водоподачи на ПКУ по расходу.

Задача расчета этого плана-графика формулируется следующим образом: на основе заданного декадного плана водораспределения по ПКУ на ТУ в начале текущей декады, соблюдая баланс поступающих  $Q_{вх}$  и выходящих  $Q_{вых} + \sum q_i$  расходов, рассчитать оперативный декадный план-график водоподачи на ПКУ по ТУ с суточной дискретизацией и учетом времени добега, чтобы объем воды, получаемый на ПКУ ( $W_j^{**}$ ), по данному оперативному плану-графику водоподачи за декаду был равен декадному объему ( $W_j^n$ ) по водораспределению, спущенному из подсистемы "Планирование" в начале текущей декады.

Алгоритм расчета оперативного плана-графика водоподачи  $j$ -ой декады основывается на замещении недодаваемого (или переданного)



объема воды ( $W_{ij}$ ) за время добегания ( $\tau_j$ ) путем передачи (или недодачи) равномерной по расходу за время  $T_j - \tau_j$  [3].

Как свидетельствует практика эксплуатации оросительных систем иногда невозможно установить в начальном створе ТУ новый расход воды согласно расчетам. Тогда в оперативном плане-графике с суточной дискретизацией указывается, что новое значение расхода воды на ПКУ установлено в текущей декаде.

Чтобы составленный оперативный декадный план по расходу стал руководящим эксплуатационным документом для диспетчера ТУ, необходимо учесть гидрометрические аспекты гидротехнических сооружений (ГТС) на ПКУ. Известно, что для получения графика  $Q_{ji} - f(t)$  (где "а" - положение  $i$ -го шлюза и  $j$ -го сооружения;  $t$  - время), соответствующего плану-графику  $Q = f(t)$ , заданному в единицах расхода воды, необходимы эксплуатационные аналитические зависимости основных гидравлических параметров на участке рассматриваемого ГТС.

В настоящее время эти зависимости установлены более чем для 5% однопролетных регуляторов в бассейне. Большинство основных сооружений обеспечено проектными зависимостями  $Q = f(H)$ .

С целью выработки команд управления для каждого конкретного ПКУ в соответствии с контролируемым параметром предусмотрено решение задач "Расчет режима работы ПКУ" (08 и 09).

Назначение задачи 08 - преобразования заданного расхода воды по ПКУ на контролируемые параметры уровня воды, открытие затвора, уставка регулятора, в зависимости от типа сооружений и измерительных устройств, с использованием эмпирических равенств (отношений)  $Q = f(H)$   $Q = f(a)$ , занесенных в НСИ в виде таблицы.

Решая эти задачи, определяем команды управления:  $H = f(t)$  - для ГТС с водомерными устройствами в нижнем бьефе и  $a = f(t)$  - для ГТС с градуированными затворами, получаем диспетчерский оперативный план-график расхода, соответствующего уровню воды на гидропосту или открытию затвора.

Задача 09 призвана рассчитать команду управления на насосных станциях (НС).

Для удобства непосредственного управления режимом работы насосной станции в НСИ вводятся справочная информация о производительности каждого агрегата и графики работы агрегатов НС.

Решение задачи 09 сводится к расчету числа работающих по

времени агрегатов насосных станций, способных обеспечить планируемый водозабор.

Итак, при решении задач 01, 02, 08, 09 в начале декады формируются руководящий документ и диспетчерский план-график водораспределения по ТУ на текущую декаду. Данный документ может корректироваться ежесуточно (особенно в вегетацию) по указанию вышестоящей организации или по заявке потребителей в пределах лимита водозабора внутри данного ТУ. Корректировка выражается в переброске определенного расхода с одного ПКУ на другой.

Работа диспетчера, осуществляющего управление режимом функционирования объектов вверенного ему ТУ, ежедневно начинается с контроля фактического состояния расходов воды на ПКУ. При этом ЭВМ, работая в режиме диалога, обеспечивает получение информации о фактическом режиме ПКУ, т.е. решается в первую очередь задача 04 - "Информация о фактическом режиме работы ПКУ".

Из вышеизложенного следует, что информация о фактическом расходе воды, получаемая с объектов, может быть выражена разными способами:

- уровнем воды на гидропостах;
- фактическим положением затворов;
- производительностью насосных агрегатов.

Поэтому для оценки фактического расхода возникает необходимость в преобразовании полученной информации в вышеуказанных величинах через датчики по линиям телемеханики в расходы воды:

$$Q^P = f(a), \quad Q^P = f(H), \quad Q^P = f(g_1, g_2, \dots, g_n).$$

Цель задачи 04 - "Информация о фактическом режиме работы ПКУ" - выдача оперативной информации о расходе воды по ПКУ для решения задачи 05 - "Оценка фактического состояния ПКУ".

Задача 03 - "Контроль выполнения команд управления" - призвана своевременно выявлять аварийные ситуации на том или ином участке ТУ и отображать отклонения фактического режима от заданных значений расхода. Результаты решения задачи 03 позволяют однозначно определить, имела ли место аварийная ситуация на ПКУ.

Если фактический расход воды заметно отличается от допустимого:

$$Q^P < Q_{min}^m, \quad Q^P > Q_{max}$$



и может возникнуть аварийная ситуация, управление подсистемой передается диспетчеру, который, не дожидаясь точного расчета отклонений в расходе, осуществляет корректировку режима работы ПКУ для предотвращения аварийной ситуации.

В случае, когда отклонение в расходе воды по ПКУ существует, но не возникает аварийной ситуации, решается задача 05- "Оценке фактического состояния ПКУ". Цель ее - определение отклонения фактического режима работы ПКУ от заданного по плану и оценка его путем сравнения величин фактического и допустимого отклонений. Размер допустимого отклонения для каждого ПКУ читается из массива НСИ.

#### Порядок расчета

Определяются отклонения фактического расхода от заданного по плану для каждого замера:

$$\Delta Q_i = Q_{\text{задан}} - Q_{\text{факт}}, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

где  $N$  - число замеров за сутки.

Вычисляются среднесуточное отклонение расхода:

$$\pm \Delta Q_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta Q_i}{N}.$$

Устанавливается отклонение стока за сутки:

$$\Delta W = (\pm \Delta Q_{\text{ср}}) \cdot 3600 \cdot 24.$$

Находится относительное отклонение стока (%):

$$\Delta W \% = \frac{\Delta W \cdot 100}{W_{\text{задан}}}.$$

Определяется разница между относительным и допустимым отклонением:

$$\gamma \% = \Delta W \% - \Delta W \%_{\text{НСИ}}.$$

При  $\gamma \% > M$  отклонение от заданного режима считается существенным и необходима корректировка режима работы ПКУ. В случае  $\gamma \leq M$  отклонение допустимое и фактический режим работы ПКУ не нуждается в корректировке ( $M$  - заданная константа, связанная с погрешностью измерений).

На объект управления действуют многие внешние факторы, вызванные погодными и другими условиями, которые изменяют режим

работы ПКУ. Кроме того, рассчитанные режимы ПКУ бывают неточны из-за существенного расхождения расчетных гидравлических параметров гидротехнических и гидрометрических сооружений и реальных, в условиях эксплуатации.

Поэтому в АСУ необходимо оперативно контролировать режимы работы ПКУ и корректировать их в случае изменения.

Задача 06 - "Корректировка режимов работы ПКУ" - формулируется так: при заданных отклонении осредненного фактического расхода и объема воды от усредненного оперативного планового расхода и объема воды  $\Delta Q_i[(K-1)T_r]$  и  $\Delta W_i[(K-1)T_r]$  за предыдущие сутки декады и оперативном плане-графике расхода воды  $Q_i^*[(K-1)T_r + t]$ ,  $t_0 \leq t \leq t_0 + T_r$ , на текущие сутки декады рассчитать откорректированный график изменения расхода воды  $Q_i^*[(K-1)T_r + t]$ ,  $t_0 \leq t \leq t_0 + T_r$ , на текущие сутки декады из условий компенсации недополученного (или полученного сверх) фактического объема воды в сравнении с оперативно-плановым значением за предыдущий период декады путем передачи (или недодачи) равномерному по расходу на оперативно-плановый период (текущие сутки декады)

$$Q_i^*[(K-1)T_r + t], \quad t_0 \leq t \leq t_0 + T_r,$$

где  $i$  - номер ПКУ;  $K$  - номер текущих суток декады;  $t_0$  - принятое начало времени текущих суток  $T_r = 24 \text{ ч} = 24 \cdot 3600 \text{ с}$  - длительность суток;  $t$  - время (текущие сутки).

Для удовлетворения ограничения на скорость изменения расхода при переходе от одного режима к другому на ПКУ в подсистеме "Оперативное управление" введена задача "Расчет переходных процессов на ПКУ".

Задача формулируется следующим образом: при известных значениях допустимой скорости изменения расхода воды, откорректированных и фактических расходов воды по ПКУ рассчитать переходный процесс от фактического расхода к откорректированному для каждого ПКУ, привязанному времени. При этом выдерживается условие минимального отклонения расчетного стока от откорректированного при переходном процессе согласно информации НСИ о допустимой скорости изменения расходов воды для объектов ВХК.

После задачи 07 решаются 08 и 09 по значениям откорректированного расхода воды, определяется управляющее воздействие на ПКУ.



1. Духовный В.А. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения. Формирование, развитие. - М.: Колос, 1984. - 255с.
2. Кучмент Л.С. Модели процессов формирования речного стока. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 144с.
3. Салихов М.Р., Бегимов И. Расчет оперативного плана-графика водоподдачи на ПКУ. - Тр.САНИИРИ. Ташкент, 1983, вып. 170, с.42-45.

УДК 626.8:631.4:001.18:631.55  
Ф.В.Серебрянников, канд.техн.  
наук,нач.отд.  
(Среднегипроводхлопок)

#### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ МЕДИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ

В системе моделей прогнозирования урожая важное место отводится модели медиоративного состояния земель, предназначенной для подготовки данных о медиоративном состоянии орошаемого участка (массива) с целью обоснования управляющих решений, связанных в первую очередь с составлением плана водопользования на предстоящий оросительный период и последующей его корректировкой. Тем самым модель медиоративного состояния должна с той или иной степенью детализации отражать реальные процессы, которые происходят в природной среде под влиянием хозяйственной деятельности человека. При этом ведущая роль в формировании медиоративного состояния земель по праву принадлежит водному фактору.

Согласно современным представлениям процессы энерго- и массообмена, происходящие в почвах и грунтах на орошаемых массивах, с приемлемой для практических расчетов точностью могут быть описаны с помощью известных уравнений термодинамики необратимых процессов. В общем случае математические модели тепло-массо-переноса представлены системой дифференциальных уравнений, учитывающих перенос влаги, солей и тепла. Как правило, при моделировании указанные три компонента одновременно не рассматриваются из-за сложности математического характера.

При разработке моделей обычно принимается ряд упрощающих допущений о недеформируемости и изотропности пористой среды, равенстве атмосферного давления давлению газовой фазы и др.

В последнее время получили распространение модели, описывающие совместный влаго- и солеперенос или движение влаги с учетом действия тепла (МГМИ, ВНИИГМ, АФИ, САНИИРИ, ТуркменНИИГМ, ВСЕГИНГЕО и др.). При этом рассматриваются одномерные или двумерные случаи потоков влаги, солей и тепла, а также учитываются во взаимосвязи зоны полного и неполного насыщения (зона аэрации).

Главные трудности при практическом использовании моделей заключаются в идентификации параметров по экспериментальным данным. В связи с этим возрастает роль достоверности получаемого экспериментального материала. Следует указать также на необходимость согласования постановки эксперимента с индивидуальными особенностями используемой математической модели.

Отдельного рассмотрения требует вопрос выбора модели в зависимости от своеобразия природных условий объекта. С этой точки зрения заслуживают внимания рекомендации МГМИ, ВНИИГМа, ВолжНИИГМа, позволяющие, в частности, обоснованно выбрать соответствующую природным условиям объекта модель солепереноса.

На данном этапе разработки модели медиоративного состояния земель было признано целесообразным ограничиться прогнозированием водного и солевого режимов.

При составлении прогноза водного и солевого режимов достоверность получаемых результатов главным образом определяются двумя факторами:

- 1) соответствием принятой математической модели природе изучаемого явления;
- 2) точностью получения расчетных значений физико-химических параметров по экспериментальным данным.

В первом случае возможны погрешности из-за проводимой на стадии моделирования схематизации изучаемого явления, так как модель должна воспроизводить лишь наиболее существенные стороны исследуемого объекта. При разработке модели всегда возникает известное противоречие: учет небольшого числа факторов приводит к "огрублению" модели, что связано с возможным снижением уровня ее информативности; с другой стороны, стремление учесть как можно большее число факторов делает модель громоздкой, что сущест-



венно затрудняет, а иногда и полностью исключает анализ полученных результатов. В этой связи уместно привести ряд замечаний, высказанных Н.Н.Моисеевым по поводу математического моделирования процессов сельскохозяйственного производства. Говоря о моделях различной степени детализации, Н.Н.Моисеев [1, с.16] отмечает, что "... лучшими прогностическими свойствами обладают те модели, которые описывают процесс достаточно агрегированно", и далее добавляет: "... грубые модели часто оказываются лучше приспособленными для задач практики, лучше схватывают целостные, холистические свойства системы, чем модели высокой степени детализации".

Возвращаясь к моделям движения влаги и солей в пористой среде, небезынтересно отметить, что, например, общая система уравнений гидродинамики, диффузии и массообмена содержит 12 уравнений, в которые входят восемь неизвестных [2, с.239]. Есть основания полагать, что решение задачи солепереноса с такой степенью детализации едва ли осуществимо. Поэтому при моделировании процессов влаго- и солепереноса целесообразно стремиться к учету всего многообразия факторов, влияющих на массоперенос. Это обстоятельство заставляет пользоваться обобщенными параметрами, которые интегрально учитывают влияние различных факторов. Такие параметры представляют собой коэффициенты или комбинации коэффициентов дифференциальных уравнений, описывающих процессы влаго- и солепереноса.

Прогноз водного режима с достаточной степенью приближения к естественным условиям можно получить при использовании уравнений влагопереноса, что, в свою очередь, повысит достоверность прогноза солевого режима. Обстоятельный обзор современного состояния теории движения влаги в ненасыщенных пористых средах приведен в работе [3]. В настоящее время методами прогноза водного режима в зоне аэрации занимаются многие исследователи. Представляется, что наиболее разработанной для целей обоснования мелиоративных мероприятий в системе программирования урожая является методика А.И.Голованова, созданная под руководством и при участии С.Ф.Аверьянова [4-7].

Эта методика разработана в основном для составления прогнозов водного и солевого режимов в условиях близкого залегания грунтовых вод и предназначена для проверки проектных решений в

отношении размеров норм капитальных промывок, режима орошения, параметров дренажа.

Основное уравнение влагопереноса имеет следующий вид:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_w \frac{\partial H}{\partial x} \right) - \bar{e}, \quad (1)$$

где  $K_w$  - коэффициент влагопроводности;  $\bar{e}$  - интенсивность отбора влаги корнями растений;  $H$  - напор, или потенциал влаги (гравитационный и капиллярный), определяемый равенством

$$H = -x - \psi,$$

где  $x$  - гравитационная составляющая потенциала, равная координате, отсчитываемой от поверхности земли;  $\psi$  - капиллярный потенциал, зависящий от влажности почвы (в зоне неполного насыщения  $\psi > 0$ , на поверхности грунтовых вод  $\psi = 0$ , под уравнем грунтовых вод  $\psi = h_r - x$ , где  $h_r$  - глубина грунтовых вод).

В уравнении (1) через  $\mu$  обозначен коэффициент влагоемкости, зависящий от влажности почвы:

$$\mu = \frac{\partial W}{\partial H} = - \frac{\partial W}{\partial \psi}, \quad (2)$$

где  $W$  - объемная влажность (при полном насыщении  $\mu = 0$ ).

Для решения уравнения влагопереноса необходимо знать связь между влажностью почвы, капиллярным давлением (потенциалом) и коэффициентом влагопроводности.

При определении коэффициента влагопроводности была использована известная формула С.Ф.Аверьянова, записанная в виде

$$K_w = K_\phi \left( \frac{W - W_{mr}}{m - W_{mr}} \right)^n, \quad (3)$$

где  $K_\phi$  - коэффициент фильтрации;  $m$  - пористость за вычетом заземленного воздуха;  $W_{mr}$  - максимальная гигроскопичность;  $n$  - степень, меняющаяся с видом грунта от 3,5 до 5.

Для описания связи между влажностью почвы и капиллярным потенциалом нами была предложена следующая зависимость:

$$\bar{\psi} = \sqrt{\frac{1}{a}} \ln \frac{(m-W)(W_{nwb}-W_{mr}) \exp a + (W-W_{mwb})(m-W_{mr})}{(W-W_{mr})(m-W_{mwb})}, \quad (4)$$



где  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты, определяемые по экспериментальным данным, на основании которых строятся  $\rho F$  — кривые; на параметр  $\alpha$  налагается ограничение:  $\alpha > 0$ .

Зависимость (4) обладает следующими свойствами: при влажности равной полному насыщению  $\bar{\psi} = 0$ , при  $W = W_{\text{ммв}}$   $\psi = 1$ , а при  $W \rightarrow W_{\text{мг}}$   $\bar{\psi} \rightarrow \infty$  ( $\bar{\psi} = \psi/H_k$ ), где  $H_k$  — высота капиллярного поднятия.

Приведенные выше выражения легли в основу программы для ЭВМ, которая была составлена совместно с Н.Н.Карповым в развитие разработанной ранее А.И.Головановым и О.С.Новиковым программы, предназначенной для прогнозирования влаго- и солепереноса в зоне аэрации [7].

Данные прогноза водного режима служат основой для составления прогнозов солевого режима. Следует заметить, что уравнения солевого баланса не могут быть использованы для оценки содержания в верхних горизонтах почвогрунтов зоны аэрации, так как с их помощью можно охарактеризовать изменение лишь общих запасов солей в расчетном слое. Тем более они неприменимы для прогнозирования солевого режима. Вот почему в последнее время в практику инженерных расчетов все шире входят методы составления таких прогнозов на основе решения дифференциальных уравнений конвективной диффузии и массообмена.

В программе для ЭВМ, предназначенной для расчета водного режима на основе решения уравнения влагопереноса (I), предусмотрена возможность одновременного расчета солевого режима по уравнению конвективной диффузии, записанному в следующем виде:

$$W_x \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D^* W_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - C \bar{e}_x, \quad (5)$$

где  $V_x(x, t) = k_w \frac{\partial H}{\partial x}$  — интенсивность потока влаги, м/сут;  
 $W_x(x, t)$  — объемная влажность.

Следует отметить, что такая запись правой части уравнения конвективной диффузии отвечает случаю, когда в пределах корнеобитаемого слоя происходит отбор влаги корнями растений, но одновременное поступление солей в корни не имеет места [8].

С помощью рассмотренного метода прогноза можно описать осредненную ситуацию для отдельных характерных участков земельного массива (например при близком залегании УГВ — для сарадины междурья). Это позволяет использовать его при составлении мно-

голетних прогнозов мелиоративного состояния земель для случая, когда последние представлены отдельными однородными контурами (участками, массивами).

Для лучшего понимания особенностей функционирования модели мелиоративного состояния орошаемых земель на рис. I приводится ее структурная схема. Там же даны основные результаты прогнозов, на основании которых производится оценка мелиоративного состояния земель на расчетный период.

Согласно рис. I в общем случае модель мелиоративного состояния должна содержать II блоков, между которыми осуществляется прямая и обратная связь. Блоки I, 2, 3, 4 и 5 предназначены для сбора, переработки и хранения информации. Блоки 6 и 8 имеют вспомогательное значение: в блоке 6 хранятся результаты промежуточных расчетов, блок 8 предназначен для осуществления контроля за результатами прогнозных расчетов. Основные прогнозные расчеты проводятся в блоке 7. Результаты прогноза сосредотачиваются в блоке 9. Сравнение расчетных и фактических данных проводится в блоке 10, при их несогласованности откорректированные данные передаются в блок 4, а при удовлетворительной сходимости — в блок II, с помощью которого осуществляется обратная связь с другими подсистемами модели прогнозирования урожайности.

Для нормального функционирования блока прогноза водного и солевого режимов очень важно соответствие расчетных показателей фактическим. Поэтому в институте "Среднеазиатский гидрохлор" неоднократно выполнялась проверка соответствия фактических и рассчитанных показателей водного и солевого режимов по данным натурных наблюдений на опытно-производственных участках. Обычно для этих целей использовался экспериментальный материал, собранный на отдельных опытных площадках (точках), где выполнялся весь комплекс работ, и позволяющий получить необходимые сведения о фактическом водном и солевом режимах. Так, на момент измерений определению подлежали глубина и минерализация грунтовых вод, послойное содержание влаги и солей в почвогрунтах зоны аэрации. Кроме этого, вычислялось тепловодобалансовым методом суммарное испарение с выделением физического испарения с поверхности почвы и транспирации. Наблюдения за водным и солевым режимами проводились регулярно один раз в пять или десять





Рис. 1. Структурная схема модели мелиоративного состояния земель

дней в период вегетации и один раз в месяц в остальное время. Дополнительные наблюдения определялись числом и сроками поливов и обязательно выполнялись в начале и конце очередного полива.

В качестве исходных данных, кроме того, служили материалы наблюдений за водоподачей на опытно-производственный участок и ее распределением по отдельным полям (карты поливов), а также за дренажным стоком, сведения о минерализации оросительной и дренажной воды. В число исходных данных входили найденные в лабораторных условиях значения почвенно-гидрологических констант и результаты определения основной гидрофизической характеристики (ОГХ).

Следует отметить, что проверка расчетных моделей влаго- и солепереноса предшествовало решению обратных задач с целью получения значений соответствующих параметров влаго- и солепереноса. При этом сама проверка выполнялась не путем сравнения результатов прогноза водного и солевого режимов по материалам, ранее использованным в решении обратных задач, а по экспериментальным данным, собранным за весь период наблюдений на опытно-производственном участке. Как правило, отмечалась вполне удовлетворительная сходимость фактических и рассчитанных показателей водного и солевого режимов. Имевшие место отдельные исключения обычно были связаны с ошибками методического характера.

Ниже приводится характерный пример сравнения данных натурных наблюдений с результатами прогноза водного и солевого режимов. Наблюдения проводились институтом "Средазгипроводхлопок" на воднобалансовом участке в совхозе № 18 Голодной степи (Центральный массив) в вегетацию 1982 г.

Оценке сходимости фактических и рассчитанных показателей водного и солевого режимов была выполнена на основании данных, собранных на опытной точке № 3 (всего на воднобалансовом участке замеры производились на 12 точках). В ходе обработки материалов наблюдений путем решения обратных задач были идентифицированы соответствующие параметры влаго- и солепереноса. Далее были рассчитаны водный и солевой режимы на апрель-сентябрь 1982 г. Часть полученных результатов помещена на рис. 2, где приводятся совмещенные кривые распределения влаги и катиона нат-



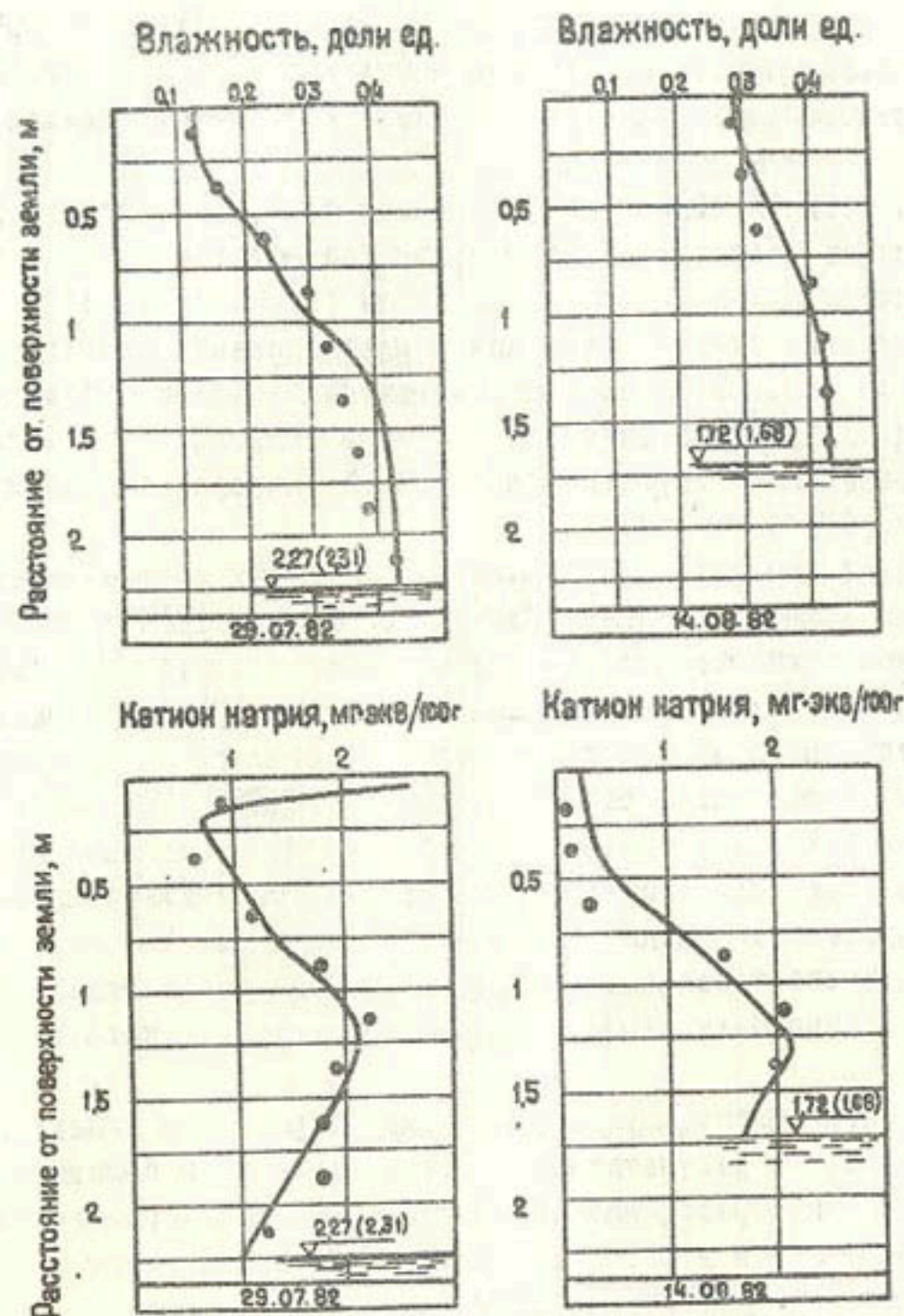


Рис. 2. Данные натурных наблюдений и результаты прогноза водного и солевого режимов (совхоз № 18 Голодной степи):  
○ опытные данные; — данные прогноза

рия на отдельные даты вегетационного периода. Из рисунка видно, что имеет место вполне удовлетворительная сходимость рассчитанных значений содержания влаги и солей (в данном случае катиона натрия) с фактическими данными.

Как показал накопленный опыт проверки моделей влаго- и солепереноса по экспериментальным данным, на этом этапе основное внимание следует уделять повышению точности и достоверности материалов натурных наблюдений. С другой стороны, необходимо и впредь продолжать работы по совершенствованию методов идентификации параметров влаго- и солепереноса.

Оба эти вопроса взаимосвязаны, так как использование моделей влаго- и солепереноса требует разработки определенной методики полевого эксперимента.

В целом же следует заметить, что применяемая нами модель влаго- и солепереноса в достаточной мере учитывает основные закономерности движения влаги и солей в реальных пористых средах и с полным основанием может быть использована в системе моделей программирования урожая.

#### Использованная литература

1. Моисеев Н.Н. О методологии математического моделирования процессов сельскохозяйственного производства. - Вестник сельскохозяйственной науки, 1984, № 1, с. 14-20.
2. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917-1967) (под ред. П.Я. Полубариновой-Кочиной). - М.: Наука, 1969. - 546 с.
3. Гусев Е.М. Проблемы теории переноса жидкости в ненасыщенных пористых средах. - В кн.: Физика почвенных вод. - М.: Наука, 1981, с. 123-143.
4. Аверьянов С.Ф., Голованов А.И., Никольский Ю.Н. Расчет водного режима мелиорируемых земель. - Гидротехника и мелиорация, 1974, № 3, с. 34-41.
5. Айдаров И.П. Прогноз водного и солевого режимов орошаемых земель. - В кн.: Борьба с засолением земель. - М.: Колос, 1981, с. 41-58.
6. Голованов А.И. Прогноз водно-солевого режима и расчет дренажа на орошаемых землях. - Дис. на соиск. уч. ст. д.т.н. - М.: МГМИ, 1975. - 307 с.



7. Голованов А.И., Новиков О.С. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях. - В кн.: Сельскохозяйственная мелиорация. Тр. МГМИ, т. 36. - М., 1974, с. 87-95.

8. Веригин Н.Н. и др. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. - М.: Колос, 1979. - 336 с.

УДК 626.84:63:626.8:65.012.011.56  
Т.А. Трунов, канд. с.-х. наук, гл. спец.  
(Среднегипроводхлопок)

### О ПРИНЦИПЕ РАСЧЕТА ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В БАСЕЙНАХ КРУПНЫХ РЕК

В условиях поливного земледелия водохозяйственные системы управления водными ресурсами призваны обеспечивать рациональное их использование, охрану окружающей среды и благополучную мелиоративную обстановку в регионе. При решении данных вопросов на первый план выдвигается задача определения оросительных норм для возделываемых сельскохозяйственных культур.

Комплексный характер разработок по созданию систем управления водными ресурсами и разнообразие природной обстановки в бассейнах крупных рек обуславливают необходимость неразрывной связи расчета оросительных норм с почвенно-мелиоративным районированием территории. Это позволяет осуществлять типизацию факторов, влияющих на размер оросительных норм, оценивать и регулировать мелиоративное состояние земель.

В предлагаемой работе рассматриваются как единое целое районирование и расчет оросительных норм в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи с целью реализации результатов расчета в системе управления водными ресурсами.

Районирование территории осуществляется по следующим показателям: климатическим - дефициту влаги (испаряемость минус осадки); гидрогеологическим - притоку-оттоку грунтовых вод, зависящим от рельефа и уклона местности и определяющим минерализацию грунтовых вод; литологическому строению почвогрунтов, обуславливающему закономерности передвижения воды и солей [1, 2].

Сочетания гидрогеологических и почвенных условий предопределяет глубину залегания грунтовых вод и ее регулирование, обеспечивающее в комплексе с расчетным режимом орошения благоприятный солевой режим [2, 3].

Характеристика гидромодульных районов, выделяемых в пределах почвенно-климатических зон и поясов, представлена в таблице, где индексами обозначены области со следующими гидрогеологическими условиями притока и оттока грунтовых вод: "а" - область обеспеченного оттока грунтовых вод; "а<sub>I</sub>" - обеспеченного местного оттока грунтовых вод; "б" - подпора и выклинивания в условиях интенсивного водообмена; "б<sub>I</sub>" - подпора и выклинивания в различных условиях водообмена; "в" - затрудненного притока и оттока грунтовых вод с глубиной и режимом, зависящими от местных условий; "в<sub>I</sub>" - крайне затрудненного притока и оттока грунтовых вод [4].

Характеристика гидромодульных районов

| Гидро-модульный район | Литологическое строение почвогрунтов                                                         | Уровень грунтовых вод по почвенно-мелиоративным областям, м |                                                       |                                               |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                       |                                                                                              | "а"<br>"а <sub>I</sub> "                                    | "б"                                                   | "б <sub>I</sub> ", "в"<br>и "в <sub>I</sub> " |
| I                     | Мощные песчаные; маломощные суглинистые на песчано-гале-чниковых отложениях и на гипсах      | >3                                                          | Во всех районах допуска-ется вре-менный подьем до 1 м | 1,8-2                                         |
| II                    | Мощные супесчаные; средне-мощные суглинистые на песчано-гале-чниковых отложениях и на гипсах | >3                                                          |                                                       | 2,2-2,4                                       |
| III                   | Легкие и среднесуглинистые (пылеватые); суглинистые, облагораживающиеся книзу                | >3                                                          |                                                       | 2,6-2,8                                       |
| IV                    | Среднесуглинистые (плотные) и тяжелосуглинистые; суглинистые, утяжеляющиеся книзу            | >3                                                          |                                                       | 2,2-2,4                                       |
| V                     | Глинистые; разкослоистые с преобладанием глин                                                | >3                                                          |                                                       | 1,8-2                                         |



При определении требования на воду в пределах рассматриваемой территории, как правило, оперируют следующими понятиями оросительной нормы [4]:

- биологически оптимальная - норма, обеспечивающая оптимальный водно-воздушный, солевой и тепловой режимы почвы для получения при соответствующем агрофоне максимально возможной урожайности сельскохозяйственных культур в определенных природных условиях;

- групповая - средневзвешенное значение нормы для группы культур, входящих в структурный гектар;

- экономически оптимальная - обеспечивающая получение максимума продукции на единицу воды.

Применительно к районированию, представленному в таблице, расчет биологически оптимальной оросительной нормы ( $M$ ) осуществляется по методике, разработанной в институте "Среднеазиатского хлопководства" и содержащейся в Методических указаниях [4]. Согласно ей

$$M = 10K_1 K_2 K_3 E + P_c - K - O,$$

где  $K_1$  - коэффициент, учитывающий влияние литологического строения почвогрунтов на величину суммарного испарения;  $K_2$  - коэффициент, учитывающий глубинную фильтрацию (почвенно-мелиоративные области "а", "а<sub>1</sub>") или долю дренажного стока за счет оросительной нормы ("б", "б<sub>1</sub>", "в", "в<sub>1</sub>");  $K_3$  - коэффициент, учитывающий вид возделываемой культуры;  $E$  - суммарное испарение, мм;  $P_c$  - поверхностный сброс, м<sup>3</sup>/га;  $K$  - участие грунтовых вод ("б"), м<sup>3</sup>/га;  $O$  - осадки, м<sup>3</sup>/га.

Принцип расчета каждой составной части уравнения изложен в [2-4]. Поэтому данный вопрос в настоящей работе не освещается. Мы ограничиваемся рассмотрением применения ЭВМ при определении всех составных частей оросительной нормы в соответствии с названной методикой и использования результатов расчета при эксплуатации АСУ бассейнов крупных рек.

Согласно рекомендациям, изложенным в [2-4], величина суммарного испарения зависит от климатических (температуры ( $t$ ), относительной влажности ( $\varphi$ ), осадков ( $O$ )) и почвенных условий; глубинная фильтрация ( $q_2$ ), выражаемая через коэффициент  $K_2$ , - от литологического строения почвогрунтов и уклонов местности; доля дренажного стока ( $q_g$ ) - от исходного солево-

го профиля, нормы понижения уровня грунтовых вод и их минерализации ( $C_p$ ), почвенных характеристик и качества поливной воды  $C_n$ ; поверхностный сброс - от водно-физических свойств почвы и уклонов местности; участие грунтовых вод - от условий притока, глубины залегания грунтовых вод и их минерализации, литологического строения почвогрунтов.

На основе аналитических зависимостей, описывающих закономерности формирования и изменения слезающих оросительной нормы, составлены алгоритм и программа расчета на ЭВМ системы ЕС. Блок-схема расчета биологически оптимальной оросительной нормы для конкретного варианта районирования ( $i$ ) представлена на рис. 1 (индекс  $i$  - принадлежность к определенному варианту районирования).

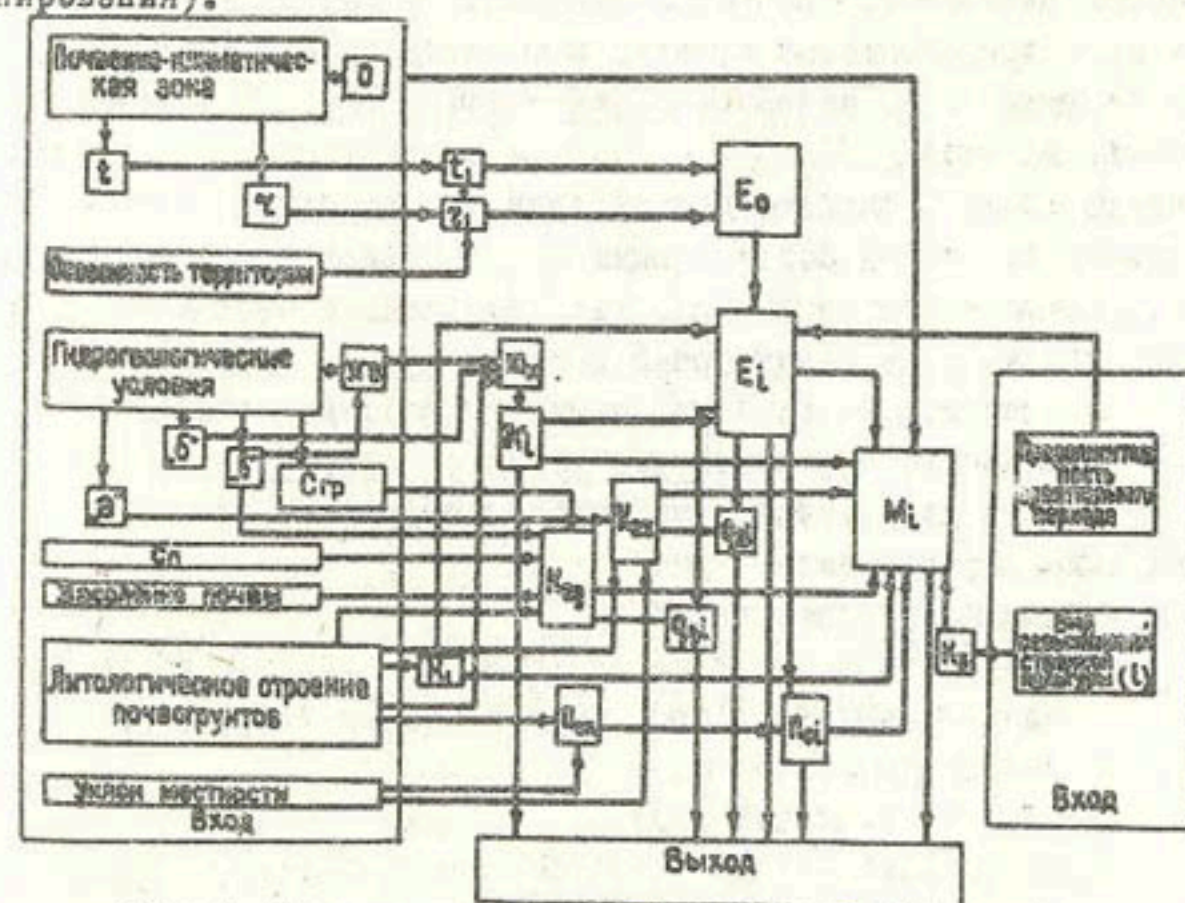


Рис. 1. Блок-схема расчета оросительной нормы

Бассейны крупных рек, как правило, характеризуются широким разнообразием природной обстановки - на их территории выделяются десятки вариантов районирования по климатическим, гидрогеологическим, почвенным условиям, степени освоенности территории и составу возделываемых культур.

Разработанная программа позволяет выполнять расчеты в пределах любого массива, региона по вариантам районирования с уче-



том особенностей их природных условий и направленности сельскохозяйственного производства.

Расчет по разработанной программе сопровождается выполнением следующих подготовительных работ:

- определение границ и площади рассматриваемого региона ( $R$ );
- выделение в его пределах массивов ( $m_i$ ), гидромелиоративных систем, пунктов управления, по которым следует выполнить расчеты;
- районирование территории в границах массивов по факторам, влияющим на размер оросительной нормы, -  $V_i$ .

Расчет ведется в такой последовательности:

- для каждого варианта районирования определяются биологически оптимальная оросительная норма ( $M_i$ ), ее составляющие для всех возделываемых культур и на структурный гектар с учетом площади ( $\omega$ ), занимаемой культурой ( $M_{rvi}$ ), а также требование на воду ( $T_{vi}$ ). Блок-схема расчета групповой оросительной нормы с требованием на воду для вариантов районирования показана на рис. 2. Составляющие оросительной нормы определяются по аналогичному принципу, т.е. для каждой сельскохозяйственной культуры и на структурный гектар;

- находятся те же показатели для массива (рис. 3);
- выполняются расчеты для региона (рис. 4).

Расчеты для региона, массива, варианта осуществляются по следующим параметрам:

- суммарное испарение;
- доля дренажного стока за счет оросительной нормы;
- доля глубинного сброса (при глубоком УГВ);
- поверхностный сброс;
- участие грунтовых вод;
- оросительная норма нетто без поверхностного сброса;
- оросительная норма нетто с учетом поверхностного сброса;
- оросительная норма брутто (с учетом КПД системы);
- требование на воду без поверхностного сброса;
- требование на воду с учетом поверхностного сброса;
- ордината гидромодуля.

Все показатели определяются и выводятся на печать по месяцам, за вегетацию (с учетом продолжительности оросительного периода каждой культуры), не вегетацию, год.

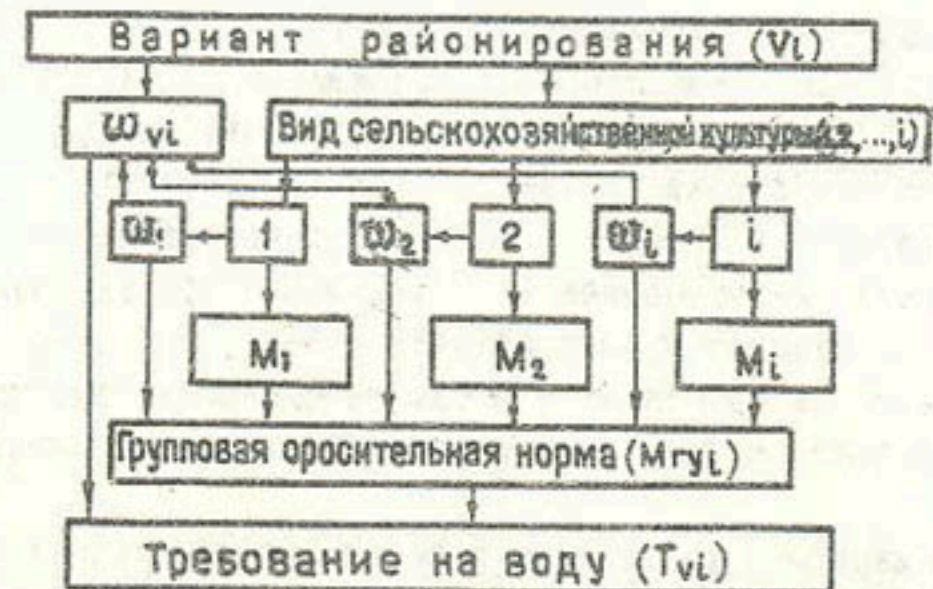


Рис. 2. Блок-схема расчета групповой оросительной нормы и требования на воду для вариантов районирования территории

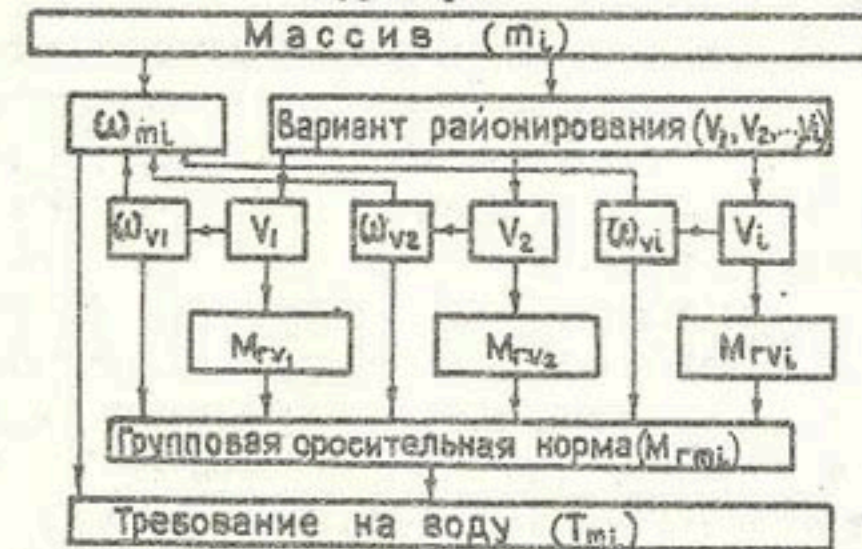


Рис. 3. Блок-схема расчета групповой оросительной нормы и требования на воду для массивов

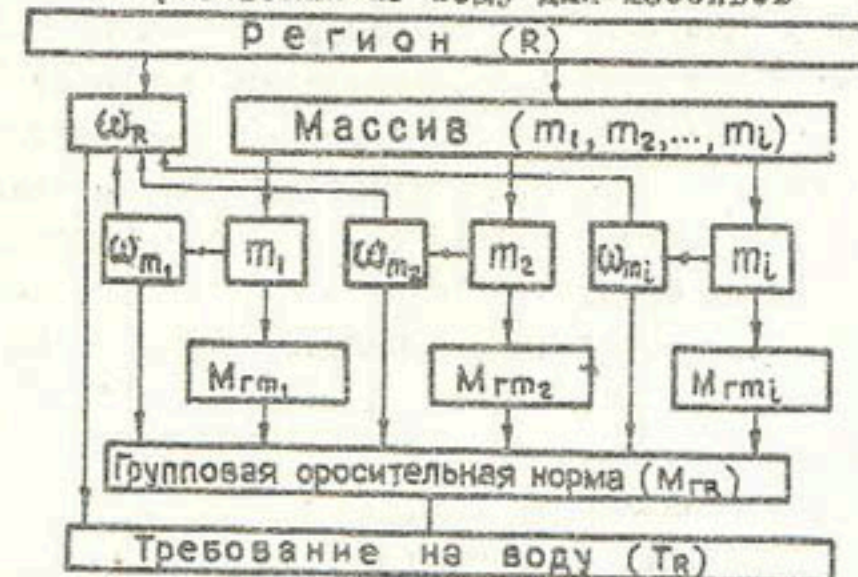


Рис. 4. Блок-схема расчета групповой оросительной нормы и требования на воду для региона



При планировании использования водных ресурсов в условиях их дефицита наиболее целесообразно применение оросительных норм, обеспечивающих получение максимума продукции на единицу воды,

- *M<sub>опт</sub>*. Для территории Средней Азии теоретический аспект их реализации разработан в институте "Средвзгипроводхлопок". Согласно [5] внедрение экономически оптимальных оросительных норм сопряжено с решением следующих задач:

- установление зависимости между урожайностью культуры и объемом подаваемой на поле воды в разные периоды развития растений;

- выбор наиболее оптимального распределения заданного объема воды в течение вегетационного периода с точки зрения минимального ущерба урожайности;

- технико-экономическое обоснование величины снижения оросительной нормы;

- определение зоны применения сниженных оросительных норм.

В соответствии с [5] аналитические зависимости урожайности хлопчатника, ведущей сельскохозяйственной культуры региона, от водоснабженности носят параболический характер и выражены в относительных единицах. Полученные уравнения связи свидетельствуют о том, что сокращение подачи воды (против потребной при максимальной урожайности) в период после наступления фазы массового цветения хлопчатника вызывает наименьший ущерб урожайности. Так, при снижении оросительной нормы на 10-15% урожайность падает соответственно на 4-6%. При аналогичном снижении нормы до наступления фазы массового цветения - на 7-11%.

По результатам технико-экономических расчетов наивысшая эффективность использования водных ресурсов, выделяемых на орошение, имеет место при снижении оросительной нормы на 10-15% в период после наступления массового цветения хлопчатника.

Сниженные оросительные нормы могут быть реализованы лишь на территории, гидрогеологические условия которой обеспечивают благоприятное мелиоративное состояние земель. Применительно к районированию, представленному в таблице, внедрение их следует осуществлять в почвенно-мелиоративных областях "а", "а<sub>1</sub>" и "б".

Разработанная программа расчета оросительных норм и требований на воду, основанная на детальном учете природных условий, позволяет в пределах рассматриваемого региона перераспределять заданный объем воды между массивами (гидромелиоративными

системами, пунктами управления) в тесной увязке с изложенными выше положениями, обеспечивая минимальный ущерб урожайности и благоприятную мелиоративную обстановку.

Комплексный характер разработок вопросов районирования территории и расчета оросительных норм сельскохозяйственных культур дает возможность с достаточной достоверностью решать задачи планирования использования водных ресурсов на ирригацию.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Шредер В.Р. и др. Расчетные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи. Ташкент: Средвзгипроводхлопок, 1970. - 292с.

2. Шредер В.Р., Васильев И.К., Трунова Т.А. Гидроמודульное районирование и расчет оросительных норм для хлопчатника в условиях аридной зоны. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1977, вып. 7, с.28-41.

3. Решетов Г.Г., Шредер В.Р., Трунова Т.А. Расчет оросительных норм хлопчатника. - Гидротехника и мелиорация, 1978, № 4, с.64-69.

4. Методические указания по созданию системы норм водопотребности и водоотведения в орошаемом земледелии. - Минск: Минводхоз СССР, 1984. - 129с.

5. Трунова Т.А., Хасанханова Г.М. Оптимизация оросительных норм для сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1982. Обоснование проектных решений современных мелиоративных систем Средней Азии, с.13-18.

УДК 626.810:001.18

Н.И.Прохоренко, канд.техн. наук, ст.науч.сотр.

В.И.Соколов, аспирант

(САНИИРИ имени В.Д.Журина)

#### ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ СЫРДАРЬИ

Естественные водные ресурсы бассейна Сырдарьи складываются из поверхностных и подземных вод, а также инфильтрации атмосфер-



ных осадков. В свою очередь, поверхностный сток составляют учтенный речной приток и сток местных источников. Первый определяется по данным опорных гидрометрических постов республиканских Управлений по гидрометеорологии и контролю природной среды (УГКС), расположенных близ выхода рек с гор. Сток местных источников формируется слиянием водотоками, периодически действующими ниже указанных постов, в зоне предгорий.

Основным источником питания рек бассейна являются талые воды сезонного снежного покрова. Меньший удельный вес имеют воды вечных снегов, ледников и дождевые. Вследствие этого наиболее крупные реки бассейна: Нарын, Кэредарья, Сырдарья (после их слияния), Чирчик и ряд других — снеговоландникового питания. Пик водности их приходится на май-июнь, что не удовлетворяет условиям возделывания основных сельскохозяйственных культур.

Существенное влияние на режим поверхностного стока оказывают: строительство водохранилищ; забор из рек большого количества воды в оросительные каналы; сброс в реки ирригационных и дренажных вод по коллекторам — и другие антропогенные факторы.

Гидрологические прогнозы формирования естественного поверхностного стока в пределах стокообразующей зоны по бассейну Сырдарьи и ряду местных источников, а также прогнозы боковой приточности поступают из лаборатории гидрологических прогнозов САННИИ имени В.А.Бугаева. Эти прогнозы охватывают около 70-80% ресурсного стока Сырдарьи; 20-30% (главным образом сток малых рек и сев, не доносящих свои воды до основного ствола, — местные ресурсы) прогнозами не охватываются. САННИИ имени В.А.Бугаева выпускает документы с прогнозами средних расходов воды на предстоящие декаду, месяц, каждый квартал года и вегетационный период (апрель-сентябрь).

Естественные запасы подземных вод представляют собой грави-тационные воды, содержащиеся в порах и трещинах пород водоносных горизонтов в природных условиях. Областями питания подземных вод являются горные хребты с окаймляющими их предгорными шлейфами. Реки, прорезающие впадины и межгорные равнины, служат приемником грунтовых вод.

Информацию об эксплуатационных запасах подземных вод: данные об их региональной оценке, о запасах, утвержденных Государственной комиссией по запасам (ГКЗ СССР), об использовании под-

земных вод в народном хозяйстве — получают из НПО "Узбекгидрогеология".

Инфильтрация атмосферных осадков поступает в русла рек и коллекторно-дренажную сеть. Поскольку составляющие возвратного стока косвенно учитывают эту воду, нет необходимости ее особо выделять.

В связи с неравномерным распределением водных ресурсов во времени и по территории бассейна, а также из-за интенсивной хозяйственной деятельности возникает необходимость в управлении распределением стока. Эту задачу призваны решить автоматизированная система управления водохозяйственным комплексом бассейна Сырдарьи (АСУБ Сырдарьи).

Одна из подсистем АСУБ Сырдарьи — "Водные ресурсы" — предназначена для формирования различного рода гидрологической информации и прогнозов, необходимых при решении задач других подсистем: для целей оперативного управления (подсистема "Управление") выполняются задачи информационного характера, для целей планирования (подсистема "Планирование") — прогнозные. Подсистема "Водные ресурсы" включает 12 задач, из которых пять — информационные, остальные — прогнозные. К информационным задачам относятся: получение информации о притоке поверхностных вод; о местных ресурсах, о возвратных от ирригации водах, о водозаборе из скважин, об объемах воды в водохранилищах. Прогнозные задачи: прогноз притока поверхностных вод, стока местных источников, боковой приточности, возвратных от ирригации вод, подруслового стока, эксплуатационных запасов подземных вод, располагаемых водных ресурсов.

Каждая задача охватывает площади, подкомандные территориальным управлениям АСУБ.

Основные функции информационных задач — получение оперативной информации о водных ресурсах из организаций, которые ведут учет воды, и преобразование полученной информации в вид, удобный для АСУБ; создание ретроспективных рядов этой информации; обеспечение контроля прогнозных задач.

В настоящей работе остановимся на прогнозных задачах. Их решение представляет немалую трудность из-за отсутствия единой методики прогнозирования располагаемых водных ресурсов по генетическим составляющим. Кроме того, выполнение задач АСУБ включает необходимость планирования на предстоящий год, что требует



методики долгосрочного прогнозирования. Такая методика в нашей стране не разработана. Нет практики долгосрочного прогнозирования и за рубежом.

В силу сказанного и с учетом требований практики АСУБ в лаборатории прогноза научно-технического прогресса в мелиорации САНИИРИ разработана методика прогнозирования располагаемых водных ресурсов бассейна Сырдарьи по составляющим на предстоящий год.

Прогноз притока поверхностных вод выдается в привязке к гидропостам УГИС на основании прогноза САНИИ имени В.А.Бугаева о средних расходах воды за вегетационный период. Алгоритм прогноза представляет собой корреляционные зависимости между средними расходами воды за вегетацию и год.

Сток местных источников, по которым поступает прогноз на вегетационный период из САНИИ имени В.А.Бугаева, прогнозируется также по корреляционным зависимостям. Необходимо отметить, что прогноз получают только по 14 из 35 источников, учтенных в АСУБ. Для остальных произведен выбор рек-аналогов, по которым САНИИ имени В.А.Бугаева выдает прогноз.

Прогноз боковой приточности также составляется по корреляционным зависимостям. Поскольку границы территориальных управлений АСУБ не совпадают с границами участков, для которых разработаны прогнозы боковой приточности в САНИИ имени В.А.Бугаева, эти участки разбиты на несколько подучастков.

Прогноз возвратных вод решается по методике, разработанной в САНИИРИ [1-4]. Суть ее состоит в расчленении возвратных вод на естественные, образуемые подземным притоком в реки как в естественные дрены из зоны их влияния (подрусловый сток - П), и на антропогенные, появляющиеся в результате стока дренажных (Д) и сбросных (С) вод с орошаемых земель, т.е.:

$$W_{вз} = П + Д + С. \quad (1)$$

Прогноз дренажно-сбросного стока (возвратных от ирригации вод) решается по уравнению баланса вод на 1 га орошаемых земель:

$$Д + С = O_p \left\{ 0,9 \left[ \left( \frac{1 - \gamma_c}{\gamma_c} \right) + (1 - \gamma_{т.п}) \right] + \frac{\beta}{\gamma_c} \right\} + (\Pi - Q) + O_c \alpha - (E_r + U)_{гр} - W_{рас}, \quad (2)$$

где  $O_p$  - оросительная норма брутто, тыс.м<sup>3</sup>/га;  $\gamma_c, \gamma_{т.п}$  - соответственно КПД сети и техники полива, в долях единицы;  $\beta$  - отношение промывной доли к оросительной норме;  $(\Pi - Q)$  - подземный приток-отток грунтовых вод, тыс.м<sup>3</sup>/га;  $O_c \alpha$  - доля осадков, попадающих в грунтовые воды, тыс.м<sup>3</sup>/га;  $(E_r + U)_{гр}$  - испарение грунтовых вод, тыс.м<sup>3</sup>/га;  $W_{рас}$  - объем растекания, тыс.м<sup>3</sup>/га.

Суммарный объем стока дренажно-сбросных вод в пределах расчетного контура вычисляется перемножением удельной величины дренажно-сбросных вод, полученной по уравнению (2), и орошаемой площади.

Для уточнения годового прогноза будут выдаваться прогнозы стока дренажно-сбросных вод на вегетационный и невегетационный периоды по мере поступления сведений о плановой величине водозабора на орошение в соответствующий период из подсистемы "Требования на воду". Алгоритмы этих прогнозов имеют вид уравнений многофакторной регрессии:

$$(Д + С)_{вег.п} = f[(Д + С)_{год}, (Д + С)_{нев.п-1}, Q_{ор.вег.п}], \quad (3)$$

$$(Д + С)_{нев.п} = f[(Д + С)_{год}, (Д + С)_{вег.п}, Q_{ор.нев.п}]. \quad (4)$$

Подрусловый сток формируется за счет выклинивания в русло рек части поверхностного стока, потерянного на фильтрацию в выше-расположенных районах, и за счет инфильтрации атмосферных осадков. Его величина определяется в основном естественными факторами. К их числу относится приток поверхностных вод в расчетный контур в текущем ( $Q_n$ ) и предшествующем текущему ( $Q_{n-1}$ ) годах. На его объем влияет и антропогенный фактор: подрусловый сток уменьшается вследствие использования подземных вод ( $Q_{исп}$ ).

В силу сказанного алгоритм прогноза подрусловый приточности в пределах территориальных управлений АСУБ имеет вид уравнения многофакторной регрессии:

$$\begin{aligned} П = & A_1 Q_n + B_1 Q_{n-1} - C_1 Q_{исп} - A_2 Q_n^2 - B_2 Q_{n-1}^2 - C_2 Q_{исп}^2 + \\ & + D_1 Q_n Q_{n-1} - D_2 Q_n Q_{исп} + D_3 Q_{n-1} Q_{исп} + E. \end{aligned} \quad (5)$$

В связи с тем, что подрусловый сток в естественных условиях не измеряется, прогнозные его величины контролируются расче-



том по известному уравнению руслового баланса:

$$P = Q_2 - Q_1 + Q_{op} - (D + C) - Q_{м.сброс}, \quad (6)$$

где  $Q_1, Q_2$  - соответственно приток и отток поверхностных вод в расчетном контуре;  $Q_{op}$  - фактический водозабор на орошение в пределах расчетного контура, по данным минводхозов республик;  $(D + C)$  - сток дренажно-сбросных вод;  $Q_{м.сброс}$  - устьевые сбросы местных источников.

При решении задач подсистемы "Планирование" не обходимы сведения об эксплуатационных запасах подземных вод, технически возможных к изъятию. Прогноз объема этих вод на предстоящий год дается по фактическому водозабору из скважин, имевшему место в предшествующем году, с учетом возможного маловодья.

Прогноз располагаемых водных ресурсов формируется в двух видах: 1) в пределах территориальных управлений и 2) основного ствола.

Первая задача решается суммированием всех составляющих. Вторая в целях совершенствования методики прогнозирования выполняется двумя способами. По первому методу располагаемые ресурсы ствола рассчитываются через боковую приточность, по второму - через возвратные воды. Оба способа расчета должны дать близкие по значению результаты. Если же отклонение будет велико, необходимо ввести корректировку в методику расчета отдельных составляющих располагаемых ресурсов.

Для дальнейшего совершенствования методики прогнозирования предусмотрен контроль прогнозных задач оперативной информацией.

В I очереди АСУБ Сырдарьи решаются лишь задачи определения водных ресурсов бассейна и управления ими. Задачи управления качеством воды будут рассмотрены на стадии II очереди.

#### Использованная литература

1. Духовный В.А., Литвак Л.С. Рационализация использования водных ресурсов в бассейне Аральского моря. - Хлопководство, 1975, № 10, с.31-33; № 11, с.32-35.

2. Духовный В.А. Возвратные воды и их формирование в связи с развитием орошения и техническим совершенствованием оросительных систем. - Водные ресурсы, 1981, № 3, с.5-13.

3. Духовный В.А., Прохоренко Н.И., Соколов В.И. Возвратный сток в бассейне Сырдарьи. - Гидротехника и мелиорация, 1983, № 3, с.76-79.

4. Соколов В.И. Прогнозная оценка подруслового стока в бассейне Сырдарьи (на примере Ферганской долины). - Изв. АН УзССР. Сер. техн. наук, 1985, № 2, с.43-45.

УДК 626.1-519

С.Ю.Курганбаев, канд.техн. наук, доц.

(ТашПИ)

В.Д.Бибики, вед.инж.

(Среднеазиатский хлопководство)

#### МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛЕ

Оросительные системы (ОС) характеризуются объектами с определенными параметрами и регулируемыми величинами (уровни и расходы воды в каналах), которые связаны между собой зависимостями.

Процессы, происходящие в ОС, описываются нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, поэтому аналитические методы исследования замкнутых систем автоматического регулирования уровней и расходов воды в каналах трудоемки и зачастую неразрешимы.

В связи с этим значительный интерес представляет переход от уравнений в частных производных к приближенным уравнениям в изображениях, которые учитывают все основные свойства как объекта (наличие волновых явлений, запаздывания), так и регулирующей аппаратуры. Последнее позволяет производить исследование устойчивости системы и качества регулирования на электронно-моделирующих установках непрерывного действия и цифровых вычислительных машинах.

Рассмотрим такую возможность на примере ирригационной системы как типового объекта регулирования, представленного на рис. 1.

Необходимо отметить, что оросительная система любой конфигурации может быть получена из совокупности типовых звеньев



при различном их сочетании.

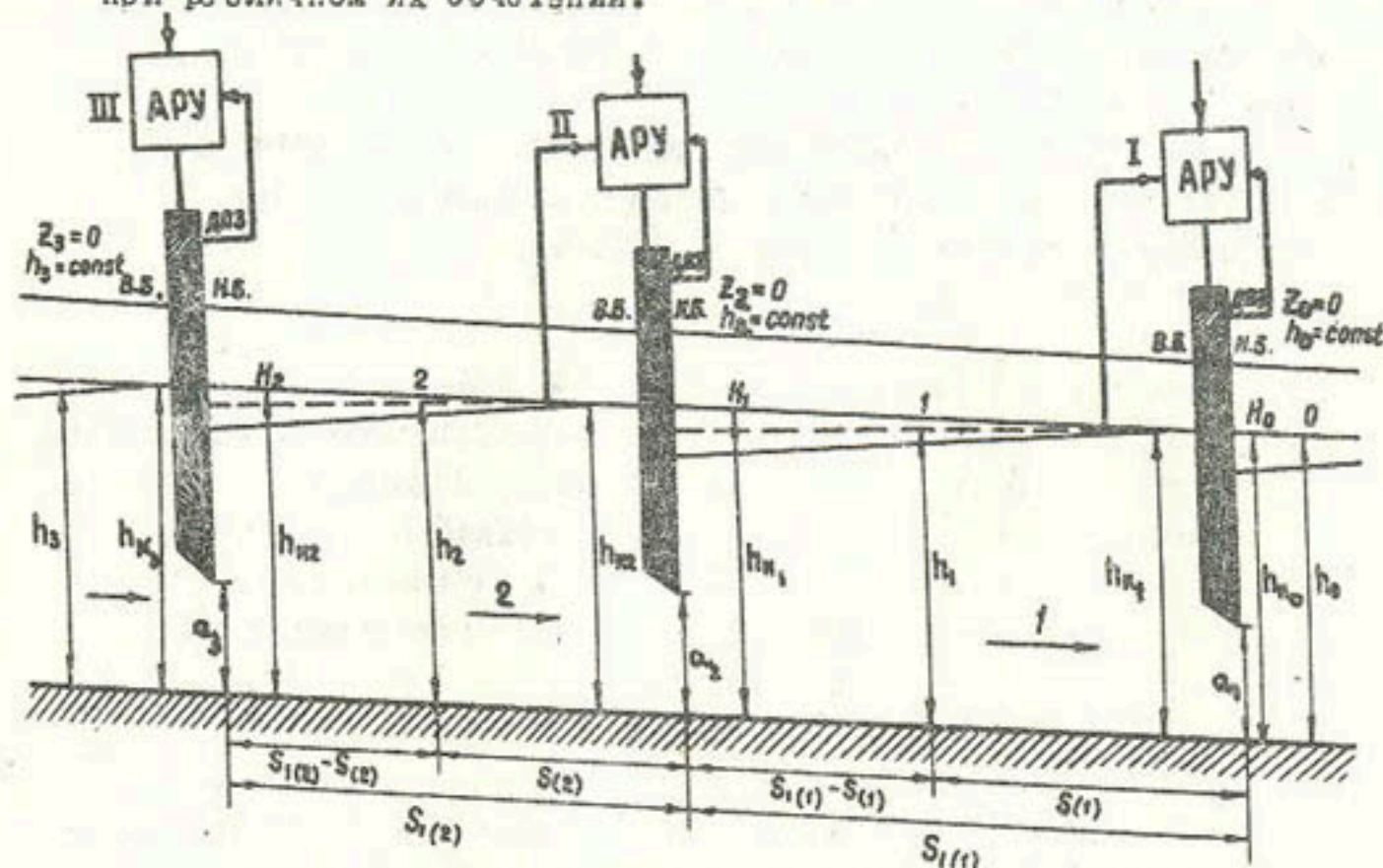


Рис. I. Типовой объект регулирования

Изучив структуру объекта, учтя особенности водораспределения на канале и выделив на нем типовые участки, можно подойти к понятию объекта регулирования с позиции математического описания процесса водораспределения.

Большинство задач автоматического управления описывается нелинейными дифференциальными уравнениями, которые часто для упрощения расчетов приводят к линейным, приближенно отображающим физические процессы, происходящие в реальной, нелинейной системе или ее отдельной части.

С помощью системы дифференциальных уравнений описываются динамические свойства объектов управления, регуляторов и их элементов. Она и является математической моделью исходной физической системы.

Наиболее сложную проблему при расчетах динамики ОС представляет расчет динамических процессов в объектах управления с привлечением теории волн малой амплитуды.

Для решения данной задачи известные нелинейные уравнения Сен-Венана преобразованы в линейные. Последние рассмотрены в работах [1, 2].

В общем случае уравнение, описывающее динамику неустоявшегося движения в любом створе канала, имеет вид:

$$Z = \left\{ W_1(p) W_3(p) \frac{\gamma_1}{x_2} \exp[-(\tau'_{10} + \tau'_2)p] - W_1(p) \frac{\gamma_1}{x_2} \exp(-\tau'_1 p) \right\} (N_H A_H + R_H Z_{H2}) + (I) \\ + \left\{ W_4(p) W_2(p) \frac{\gamma_2}{x_1} \exp[-(\tau'_{20} + \tau'_1)p] - W_4(p) \frac{\gamma_2}{x_1} \exp(-\tau'_2 p) \right\} \left[ \sum_{i=1}^n (N_{Ki} A_{Ki} + R_{Ki} Z_{Ki}) \right].$$

Обозначения, принятые в формуле (I), приведены в работе [2].

Передаточные функции (I) имеют вид:

$$W_i = \frac{L_i p + K_i}{T_i p + 1}, \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (2)$$

Формулы для расчета коэффициентов  $L_i, K_i, T_i, \gamma_i, x_i$  также приведены в [2] и учитывают начальные и граничные условия.

Для построения математической модели необходимо уравнение (I), отображающее решение задачи определения динамики, расписать для каждого створа, где будут производиться замеры. Совокупность этих уравнений и будет отражать динамику всей оросительной системы. Чтобы получить математическую модель процесса водораспределения в окончательном виде, в данную систему уравнений следует ввести уравнения, описывающие работу автоматических регуляторов (АРУ). Причем необходимо отметить, что уравнение, которое характеризует работу АРУ, входящих в математическую модель, зависит от их типа. Каждый тип АРУ имеет свою передаточную функцию  $W(p)$  и соответствующую ей переходную характеристику.

Прежде чем перейти к исследованию модели ОС на ЭВМ определим последовательность основных этапов расчета систем автоматического управления (САУ) ОС:

- формулирование задачи и разработка математической модели системы;
- анализ исходной системы уравнений и приведение их к виду, удобному для моделирования;
- переход к машинным уравнениям и выбор масштабных коэффициентов;
- составление и расчет машинных передаточных функций всех динамических звеньев, входящих в систему;
- составление структурной схемы объекта управления и схем



регулирования всей системы;

- разработка схем набора решения задачи с минимально возможным количеством операционных усилителей в соответствии с конструктивными особенностями ЭВМ и ее ретрансляционных блоков;

- разработка спецификаций структуры;

- набор задачи на ЭВМ (ввод структуры по наборной схеме, ввод параметров);

- пробное решение задачи;

- выполнение комплекса расчетов с целью анализа и синтеза САУ ОС.

Для использования структурного моделирования динамических систем необходимо привести передаточные функции  $W_i(p)$  к виду, соответствующему передаточным функциям типовых звеньев систем автоматического регулирования, т.е. инерционно-форсирующему звену:  $W_i^*(p) = K_i \frac{T_{1i}p + 1}{T_{2i}p + 2}$ ,  $i=1,2,3,4$ . С этой целью необходимо сгруппировать рассчитанные коэффициенты и свести их в таблицу.

|             | $K$    | $T_1$ | $T_2$ | $\tau$ | $R$     | $N$   |
|-------------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|
| Точка $H_2$ |        |       |       |        |         |       |
| от начала   |        |       |       |        |         |       |
| $W_1(p)$    | -0,192 | 4076  | 10301 | 0      | 3583    | 1,393 |
| $W_3(p)$    | 0,492  | 659   | 20104 | 4250   |         |       |
| от конца    |        |       |       |        |         |       |
| $W_4(p)$    | 0,042  | 3299  | 12798 | 2477   | -13,319 | 2     |
| $W_3(p)$    | 0,642  | -5091 | 10879 | 2477   |         |       |
| Точка $K_2$ |        |       |       |        |         |       |
| от начала   |        |       |       |        |         |       |
| $W_1(p)$    | -0,192 | 2454  | 15877 | 1772   | 3,583   | 1,393 |
| $W_3(p)$    | 0,858  | 1382  | 6432  | 1772   |         |       |
| от конца    |        |       |       |        |         |       |
| $W_4(p)$    | 0,073  | 4464  | 6766  | 0      |         | 2     |
| $W_2(p)$    | 0,358  | -2024 | 28340 | 4250   | -13,319 |       |

После подстановки коэффициентов в каждую передаточную функцию будем иметь:

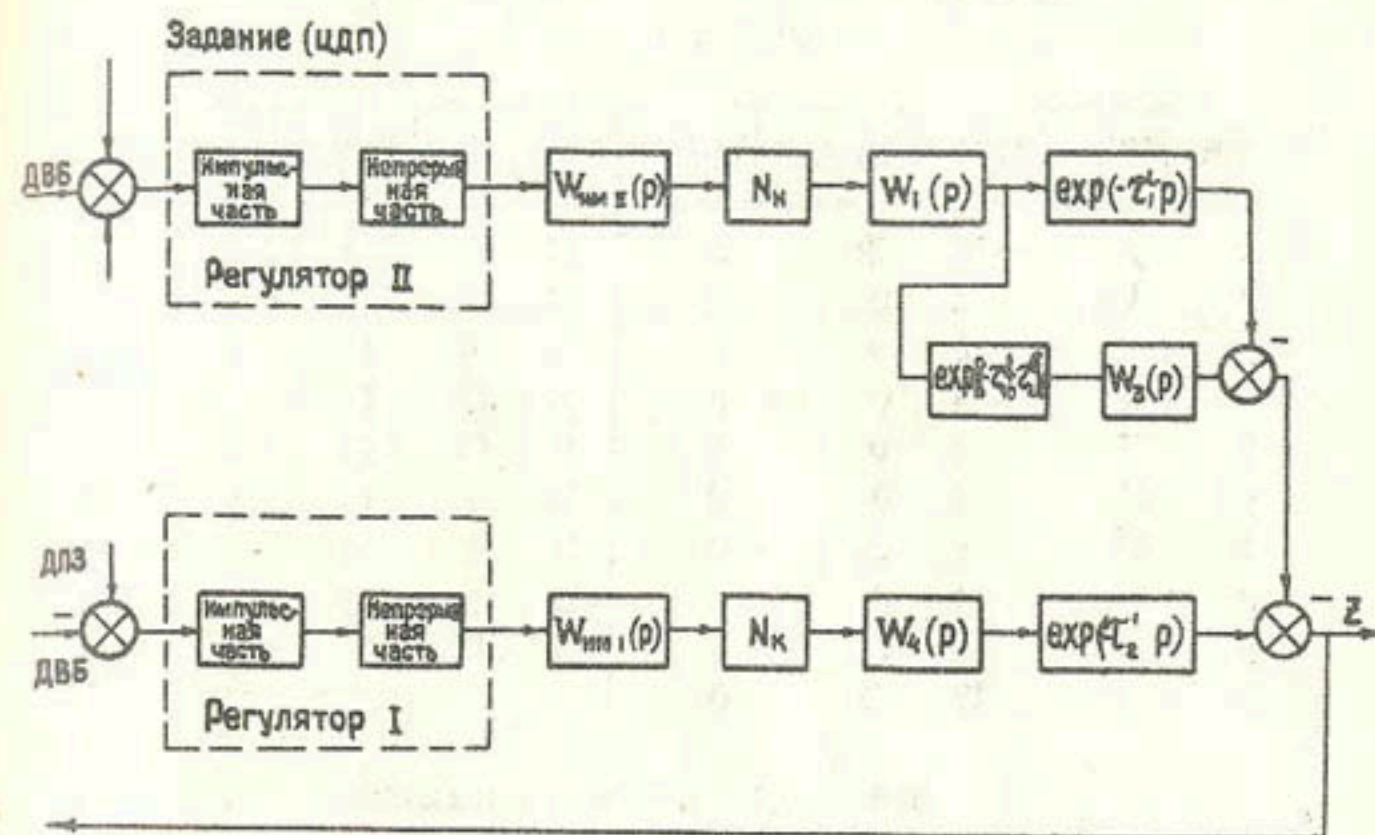


Рис.2. Структурная схема САУ объекта управления

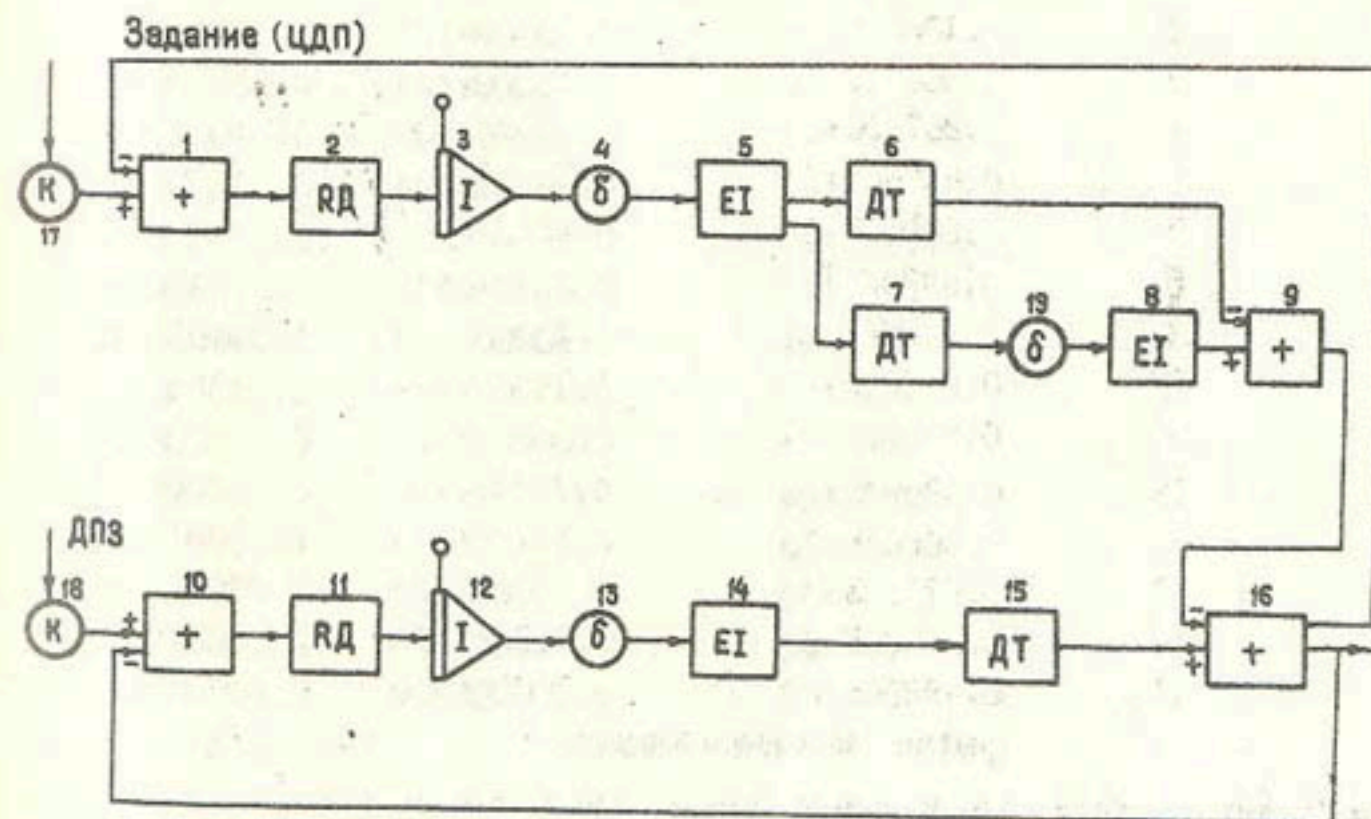


Рис.3. Схема набора модели



| БЛОК | ТИП | ВХОД 1 | ВХОД 2 | ВХОД 3 | БЛОК | ТИП | ВХОД 1 | ВХОД 2 | ВХОД 3 |
|------|-----|--------|--------|--------|------|-----|--------|--------|--------|
| I    | +   | -I6    | I7     | 0      | II   | RD  | IO     | 0      | 0      |
| 2    | RD  | I      | 0      | 0      | I2   | I   | II     | 0      | 0      |
| 3    | I   | 2      | 0      | 0      | I3   | G   | I2     | 0      | 0      |
| 4    | G   | 3      | 0      | 0      | I4   | TF  | I3     | 0      | 0      |
| 5    | TF  | 4      | 0      | 0      | I5   | DT  | I4     | 0      | 0      |
| 6    | DT  | 5      | 0      | 0      | I6   | +   | I5     | -9     | 0      |
| 7    | DT  | 5      | 0      | 0      | I7   | K   | 0      | 0      | 0      |
| 8    | TF  | I9     | 0      | 0      | I8   | K   | 0      | 0      | 0      |
| 9    | +   | -6     | 8      | 0      | I9   | G   | 7      | 0      | 0      |
| IO   | +   | I8     | -I6    | 0      |      |     |        |        |        |

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

| БЛОК | НУ / ПАР I  | ПАР2         | ПАР3        |
|------|-------------|--------------|-------------|
| 2    | 0.10000E+01 | -0.10000E+01 | 0.00000E+00 |
| 3    | 0.00000E+00 | 0.15000E+01  | 0.00000E+00 |
| 4    | 0.26700E+00 | 0.00000E+00  | 0.00000E+00 |
| 5    | 0.40760E+04 | 0.10301E+05  | 0.00000E+00 |
| 7    | 0.00000E+00 | 0.42500E+04  | 0.00000E+00 |
| 8    | 0.65900E+03 | 0.20104E+05  | 0.00000E+00 |
| II   | 0.10000E+01 | -0.10000E+01 | 0.00000E+00 |
| I2   | 0.00000E+00 | 0.15000E+01  | 0.00000E+00 |
| I3   | 0.84000E-01 | 0.00000E+00  | 0.00000E+00 |
| I4   | 0.32990E+04 | 0.12798E+05  | 0.00000E+00 |
| I5   | 0.00000E+00 | 0.24770E+04  | 0.00000E+00 |
| I7   | 0.62500E+00 | 0.00000E+00  | 0.00000E+00 |
| I8   | 0.57500E+00 | 0.00000E+00  | 0.00000E+00 |
| I9   | 0.49200E+00 | 0.00000E+00  | 0.00000E+00 |

График переходного процесса

Блок I6

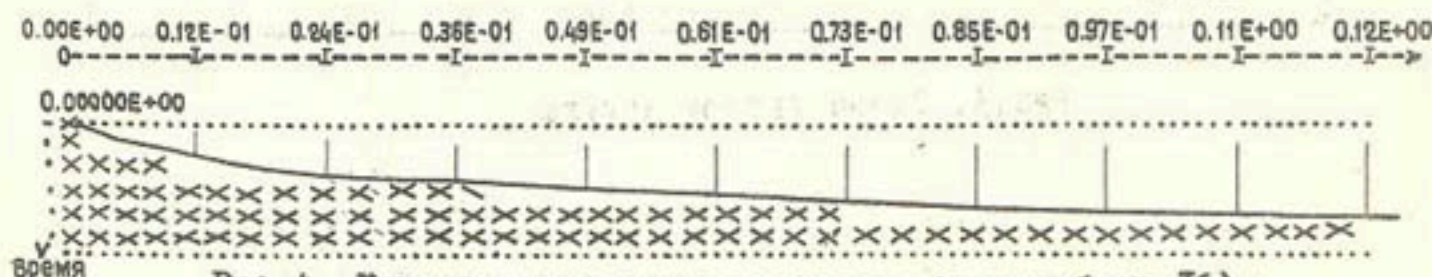


Рис. 4. Кривые переходных процессов (выход-блок I6)

$$W_1^*(p) = \frac{K_1 X_1}{X_2} \frac{\frac{L_1}{K_1} p + 1}{T_1 p + 1};$$

$$W_1(p) W_3(p) = \frac{K_1 X_1}{X_2} \frac{\frac{L_1}{K_1} p + 1}{T_1 p + 1} K \frac{\frac{L_3}{K_3} p + 1}{T_3 p + 1};$$

$$W_4(p) = \frac{K_4 X_2}{X_1} \frac{\frac{L_4}{K_4} p + 1}{T_4 p + 1}.$$

Для расчетного участка канала уравнения (I) примет вид:

$$Z_{K2} = \left[ \frac{-\frac{K_1 K_3}{1 X_2} \left(1 + \frac{L_1}{K_1} p\right)}{(1 + T_1 p)} \frac{K_3 \left(1 + \frac{L_3}{K_3} p\right)}{(1 + T_3 p)} - \frac{-\frac{K_1 K_3}{1 X_2} \left(1 + \frac{L_1}{K_1} p\right)}{(1 + T_1 p)} \right] \times$$

$$\times N_{K2} A_{K2} \exp(-T_{10} p) - \frac{\frac{K_4 K_4}{X_1} \left(1 + \frac{L_4}{K_4} p\right)}{(1 + T_4 p)} N_{K2} A_{K2}.$$

После подстановки численных значений и приведения к удобному для ввода в ЦВМ виду это уравнение запишется так:

$$Z_{K2} = \left[ \frac{-0.1924(1+2454.25p) 0.8576(1+1382p)}{(1+15877p)(1+6432p)} + \frac{0.1924(1+2454.25p)}{(1+15877p)} \right] \times$$

$$\times 1.39 A_{K2} \exp(-1772p) - \frac{0.078(1+4464p)}{(1+6766p)} 1.996 A_{K2}.$$

В данной работе для расчетного участка канала был выбран способ регулирования по верхнему бьефу.

На основании динамического уравнения объекта управления составляем структурную схему объекта из звеньев направленного действия, математически описывающих динамические свойства системы при ступенчатом воздействии на ее входе. Звенья объекта, регулятора, исполнительного механизма и линии связи между ними, характеризующие их взаимодействие, образуют структурную схему регулирования ОС участка канала. На рис. 2 приведена структурная схема САР объекта управления, на базе которой была выполнена схема набора модели из функциональных блоков пакета прикладных программ - ППП - (рис. 3) для машинного анализа и синтеза динамических систем (МАСС).

Введя в ЭВМ спецификацию структуры модели, начальные условия и параметры блоков ППП МАСС, выбрав соответствующий шаг интегрирования, можно получить рассчитанные графики переходных процессов в системе формирования регулирующего воздействия по нагрузке и по заданию, фрагмент одного из которых представлен на рис. 4. Снятие кривых переходных процессов проводилось на ЭВМ СМ-4.



## Использованная литература

1. Маковский Э.Э. Граничные условия объектов регулирования оросительных систем. - В сб.: Автоматизация объектов ирригационных систем. - Фрунзе: Илим, 1974.

2. Маковский Э.Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды. - Фрунзе: Илим, 1972. - 304 с.

УДК 626.1-519:626.83

Р.М.Тюменев, руковод. группы  
(Среднегипроводхлопок)

# УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ КАНАЛОВ С ПЕРЕГОРАЖИВАЮЩИМИ СООРУЖЕНИЯМИ В КАСКАДЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Для каналов с насосными станциями характерны внезапные возмущения большой величины, вызывающие нарушение баланса водоподдачи и водопотребления, в результате чего резко и значительно изменяются уровни по всему каналу и нарушается режим подачи воды потребителям. В таких условиях необходима эффективная автоматическая система регулирования с высоким быстродействием и большим запасом устойчивости, обеспечивающая быструю передачу управляющих воздействий от створа возмущения последовательно через все перегораживающие сооружения до головы канала и до насосной станции. Кроме указанных требований, система регулирования при больших возмущениях должна обеспечить значительное уменьшение динамических отклонений уровня с целью удовлетворения требованиям стабильности водоподдачи и экономичности строительства канала. Однако для реализации такой системы необходимо решить задачу устранения влияния запаздывания добегания расхо-

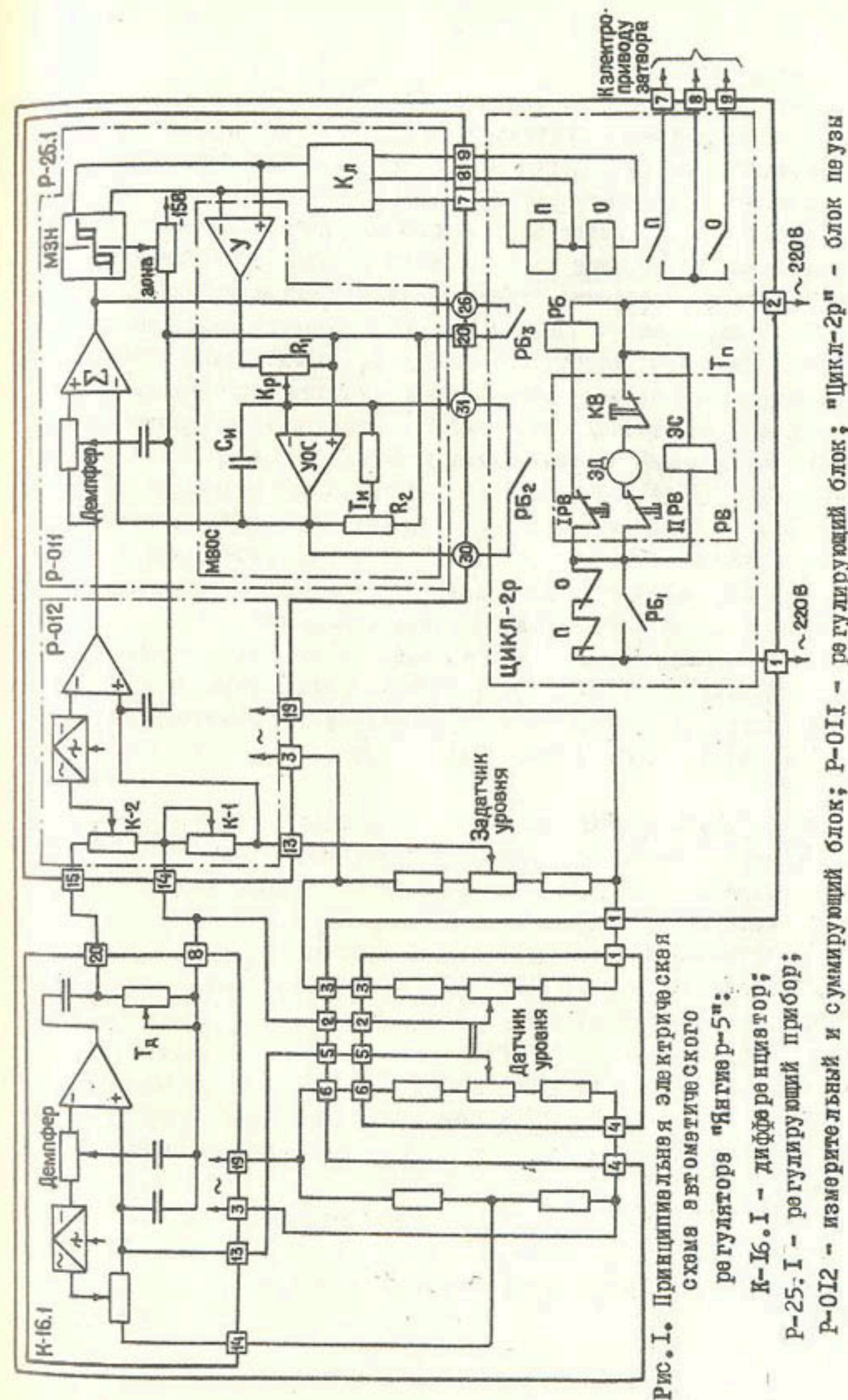


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема автоматического регулятора "Янгир-5".

К-16.1 - дифференциатор;

Р-25.1 - регулируемый прибор;

Р-012 - измерительный и суммирующий блок; "Цикл-2р" - блок паузы



да по длине канала.

Одним из эффективных способов устранения отрицательного влияния запаздывания в системе регулирования водоподачи по уровню нижнего бьефа с датчиком в конце участка канала является применение авторегулятора с коррекцией по скорости отклонения уровня воды. Однако этот способ не находит широкого применения из-за отсутствия до последнего времени пропорционально-импульсного устройства автоматического регулирования с коррекцией по скорости отклонения и недостаточности результатов аналитических или натурных исследований, определяющих условия функционирования системы для получения устойчивого режима регулирования при высокой точности. В настоящее время разрешен первый сдерживающий использование указанного способа фактор: разработано [1] устройство автоматического регулирования с коррекцией по скорости отклонения уровня "Янгир-5", выполненное из серийных приборов (рис. 1). Результаты проведенных натурных исследований позволили доказать эффективность предложенных способа и устройства, а расчеты режимов системы регулирования на ЭВМ дают возможность выбрать близкие к оптимальным переходные процессы и соответствующие им параметры динамической настройки регулятора и еще в стадии проектирования прогнозировать качество стабилизации уровня и расхода в канале.

Исследуем динамику канала с перегораживающими сооружениями в условиях изменения водоподачи и водопотребления с начала при неавтоматизированных перегораживающих сооружениях, а затем при автоматизированных.

На примере неавтоматизированной каскадной части Джизакского магистрального канала (ДМ-1) рассмотрим основные режимы его работы при возмущениях, характерных для канала с перегораживающими сооружениями в каскаде насосных станций. Переходный неустановившийся процесс на участке канала с насосными станциями возникает при включении или отключении агрегата на одной из них, например на НС-1. Чтобы вернуть установившийся режим, необходимо через некоторый интервал времени ( $\Delta t$ ), учитывающий время добега расхода до НС-2, соответственно включить или отключить агрегат НС-2. На рис. 2 приведены графики переходных процессов для характерного неустановившегося режима при включении одного агрегата НС-1 и спустя 2,5 ч одного агрегата НС-2.

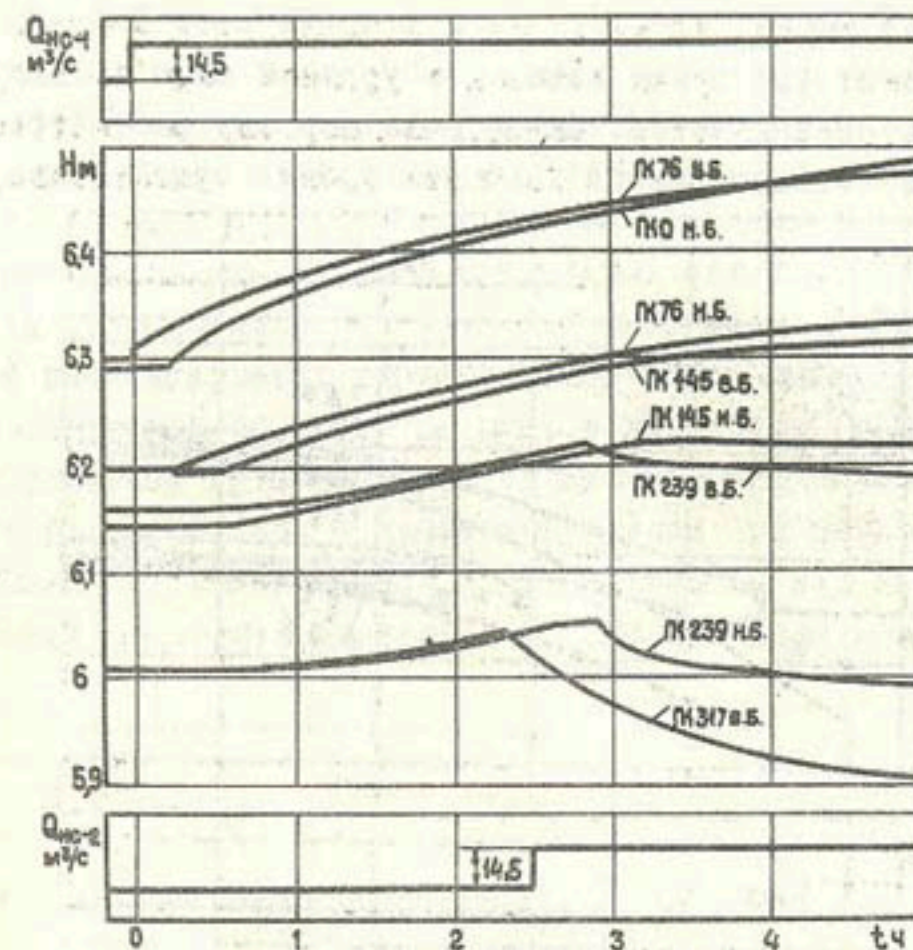


Рис. 2. Переходные режимы в верхнем и нижнем бьефах перегораживающих сооружений канала ДМ-1 при увеличении водоподачи НС-1 ( $\Delta Q_H = 14,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и увеличении водозабора НС-2 ( $\Delta Q_K = 14,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ) через 2,5 ч

В данном расчете принято, что положения затворов перегораживающих сооружений не изменяются. Из рис. 2 следует, что уровни воды в створах канала переходят в установившееся состояние, но при новых значениях, отличающихся от начальных. В результате ухудшаются условия эксплуатации канала и нарушается режим подачи воды потребителям — происходит недолив орошаемой площади или сброс излишков воды. Для устранения указанного недостатка при изменении водоподачи НС-1 необходимо вернуть уровни воды в канале к начальным значениям путем последовательного изменения положений затворов перегораживающих сооружений с помощью централизованного управления или автоматических регуляторов.

Другой характерный неустановившийся режим работы канала и смежных насосных станций возникает при изменении водозабора НС-2 в связи с отключением одного агрегата и соответствующем изменении водоподачи НС-1 через  $\Delta t$ . На рис. 3 показаны графики переходного процесса в характерных створах канала при отключении одного агрегата НС-2 и последующем отключении одного



агрегата НС-1 через  $\Delta t = 1,5; 2; 2,5$  ч. Из рис. 3 следует, что через некоторое время изменение уровней воды в створах канала приостанавливается. Аналогично первому рассмотренному режиму новые установившиеся значения уровня существенно, на

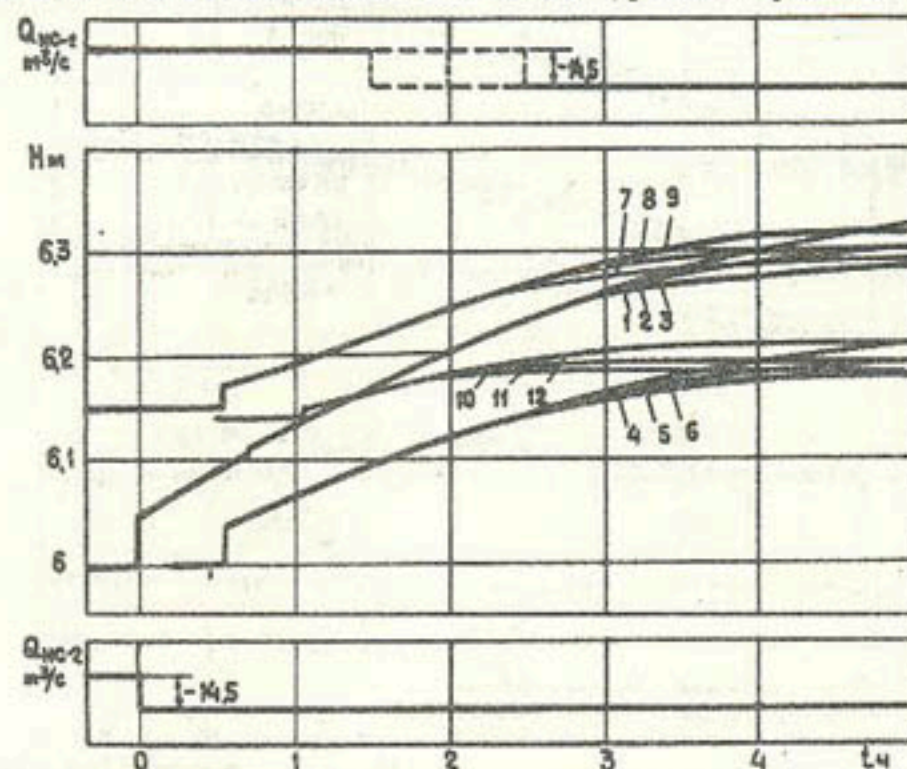


Рис. 3. Переходные режимы в верхнем и нижнем бьефах перегораживающих сооружений канале ДМ-1 при сокращении водозабора НС-2 ( $\Delta Q_{\text{НС-2}} = -14,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и соответствующем уменьшении водоподдачи НС-1 ( $\Delta Q_{\text{НС-1}} = -14,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ) через  $\Delta t = 1,5; 2; 2,5$  ч: 1, 2, 3 - в в.б.-пк 317; 4, 5, 6 - в н.б.-пк 239; 7, 8, 9 - в в.б.-пк 239; 10, 11, 12 - в н.б.-пк 145

0, 15-0,2 м, отличаются от начальных. Если в процессе эксплуатации производить последовательное отключение следующих агрегатов НС-2, а затем агрегатов НС-1, то произойдет суммирование отклонений уровня, в результате чего существенно нарушится режим работы канала и водопотребителей.

Из сказанного следует, что одного лишь восстановления баланса водоподдачи и водопотребления после его нарушения недостаточно для приведения уровней в створах канала к нормальному. Нормализация режима работы канала в рассмотренных характерных условиях эксплуатации НС может быть достигнута соответствующим и своевременным изменением открытий затворов перегораживающих сооружений с помощью автоматических регуляторов с коррекцией по скорости отклонения уровня.

Исследуем динамику автоматизированного канала и проанализи-

руем процесс стабилизации баланса водоподдачи и водопотребления при действии скорректированной системы регулирования. Для формирования коррекции используем динамические свойства дифференциатора, который образует выходной сигнал, опережающий отклонение уровня по фазе до  $90^\circ$ . Этот сигнал определяет скорость и направления изменения уровня. Применения сигнала скорости в сумме с сигналом отклонения уровня в системе регулирования позволяет компенсировать отставание по фазе, вызванное запаздыванием добегания расхода. На рис. 4 приведены графоаналитически построенные кривые, характеризующие переходные процессы в системе регулирования с дифференциатором при воздействии на ее вход изменяющегося сигнала  $\Delta H$  (кривая I, а). Характерные точки кривой обозначены цифрами 0, 1, 2, 3, 4. Дифференциатор фор-

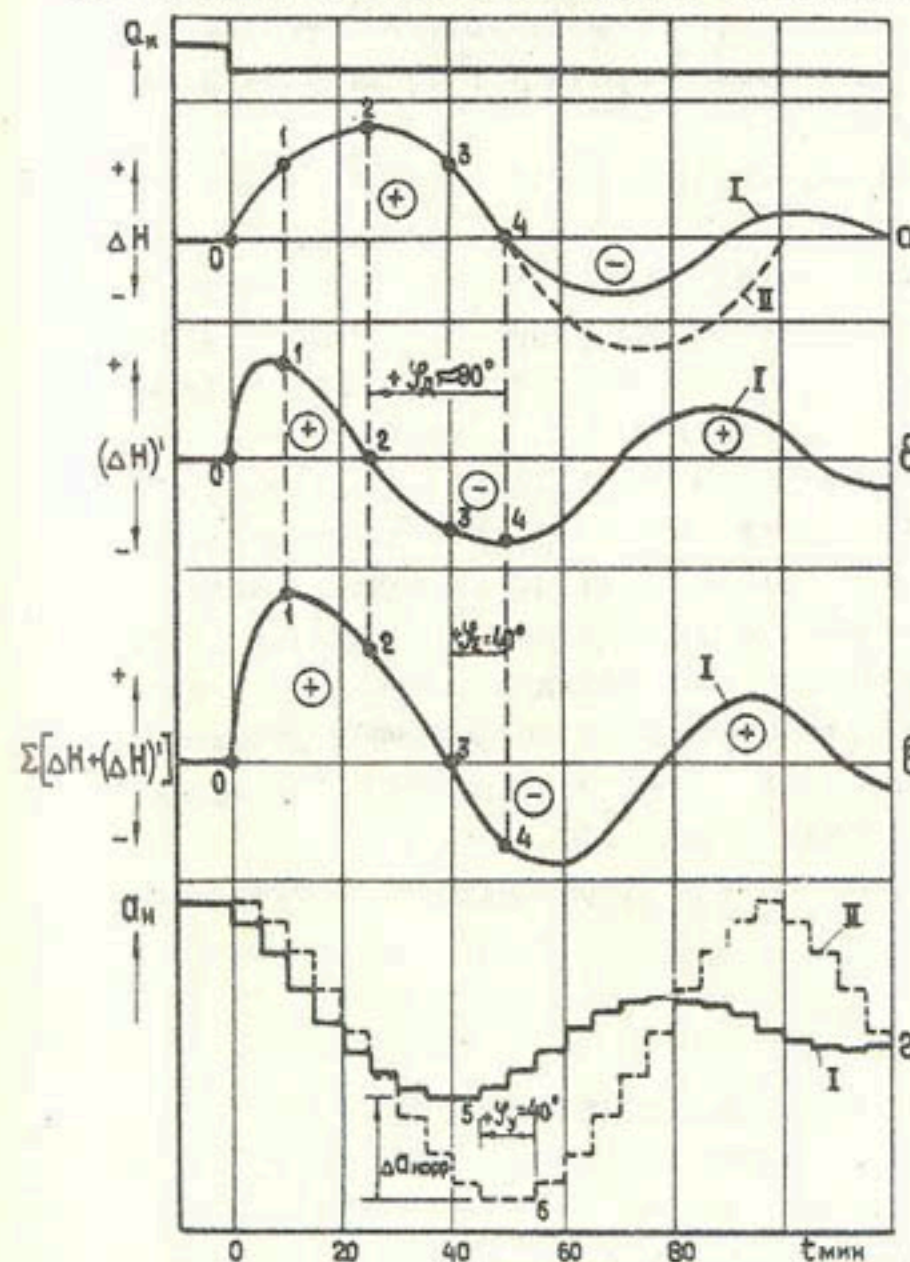


Рис. 4. Графоаналитически построенные переходные процессы в системе автоматического регулирования водоподдачи по уровню нижнего бьефа: I - с коррекцией по скорости отклонения; II - без коррекции



мирует сигнал  $(\Delta H)'$  (кривая I,б), пропорциональный скорости отклонения уровня. Из сравнения кривых I,а и I,б видно, что в пределах одной полярности сигнала отклонения уровня дифференциатор формирует выходной сигнал скорости изменения уровня с изменяющейся во времени полярностью. При этом полярность кривой I,б в точке 2 изменяется с опережением на  $\varphi \approx 90^\circ$  относительно момента изменения полярности кривой I,а (точка 4).

При суммировании изменения уровня  $\Delta H$  и скорости его изменения  $(\Delta H)'$  на выходе автоматического регулятора образуется сигнал (кривая I,в), у которого изменение полярности происходит в точке 3 с опережением на  $\varphi \approx 40^\circ$  относительно кривой I,а. Это свойство автоматического регулятора с коррекцией позволяет на участке 0-1-2 кривой отклонения уровня увеличить сумму сигналов, а на участке 2-3-4, когда отклонение уменьшается, с опережением на  $\varphi \approx 40^\circ$  изменить направление сигнала на входе регулятора на противоположное.

Перемещение затвора перегораживающего сооружения при воздействии на него авторегулятора с коррекцией по скорости отражает кривая I,г. Для сравнения приведена кривая II,г перемещения затвора при работе авторегулятора без коррекции. Кривая I,г опережает по фазе кривую II,г на  $\varphi \approx 40^\circ$  (точки 5 и 6) и характеризуется уменьшенным на величину  $\Delta \alpha_{\text{корр}}$  перемещением затвора. За счет опережения  $\varphi \approx 40^\circ$  компенсируется отрицательное влияние запаздывания на систему. В ней быстрее восстанавливается баланс расходов при меньших перемещениях затвора и длительности процесса, а регулирование приобретает необходимые устойчивость и точность. При больших значениях запаздывания и инерционности процессов в канале основным требованием к дифференциатору является получение опережения по фазе  $\varphi \approx 90^\circ$  и динамического коэффициента усиления  $K_d = 1 \dots 10$ .

Динамические характеристики дифференциатора описываются уравнением [1]

$$W_d = \frac{K_d T_d p}{T_d p + 1}, \quad (I)$$

где  $W_d$  - передаточная функция дифференциатора;  $K_d$  - динамический коэффициент усиления дифференциатора;  $T_d$  - постоянная времени дифференциатора.

Для сглаживания волновых колебаний уровня на входе диффе-

ренциатора включен демпфер, динамические характеристики которого описываются уравнением

$$W_{\text{ам}} = \frac{K_{\text{ам}}}{T_{\text{ам}} p + 1}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{ам}}$  - передаточная функция демпфера;  $K_{\text{ам}}$  - динамический коэффициент усиления демпфера;  $T_{\text{ам}}$  - постоянная времени демпфера.

При последовательном включении дифференциатора и демпфера, преобразующих отклонение уровня, уравнение преобразователя  $W_n$  примет вид

$$W_n = W_{\text{ам}} W_d = \frac{K_{\text{ам}}}{T_{\text{ам}} p + 1} \frac{K_d T_d p}{T_d p + 1}. \quad (3)$$

Система регулирования состоит из участка канала и автоматического регулятора пропорционально-импульсного типа, на суммирующий вход которого включены датчик уровня и дифференциатор с демпфером (рис. 5). В операторной форме уравнение динамики

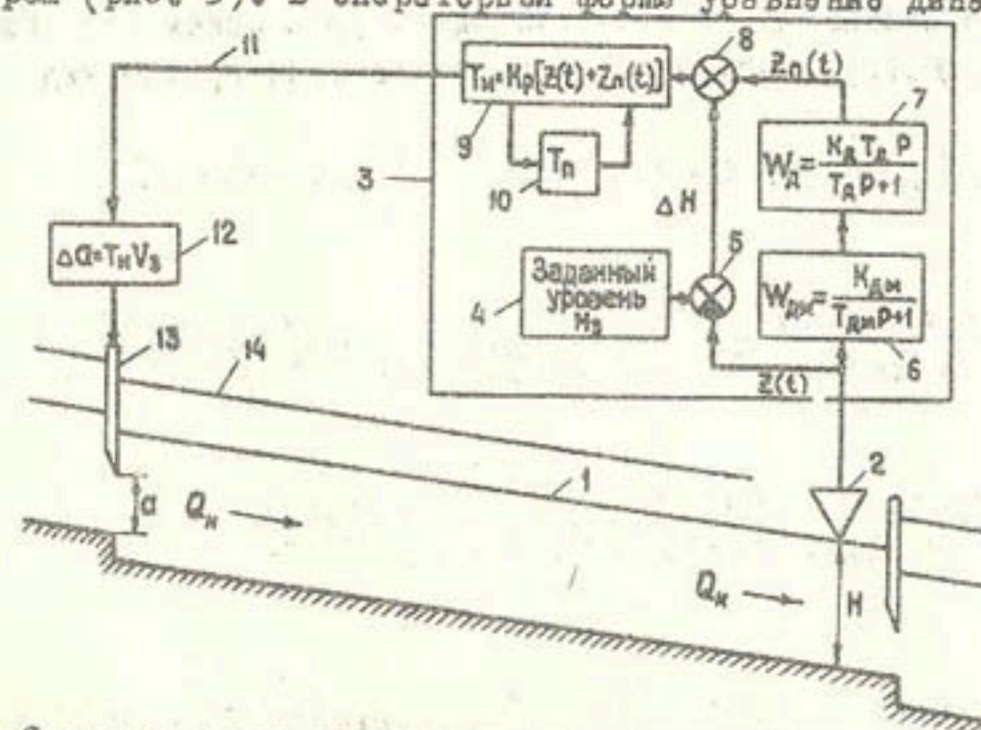


Рис. 5. Схема системы автоматического регулирования водоподдачи по уровню нижнего бьефа с коррекцией по скорости отклонения:

- 1 - регулируемый участок канала; 2 - датчик уровня;
- 3 - автоматический регулятор "Янгир-5"; 4 - задатчик уровня;
- 5 - первый сумматор; 6 - демпфер; 7 - дифференциатор;
- 8 - второй сумматор; 9 - блок формирования команд управления;
- 10 - блок паузы; 11 - линия передачи команд управления;
- 12 - электропривод затвора; 13 - затвор; 14 - дамба канала



переходных процессов в изображениях для участка канала с отраженными волнами имеет вид [2]

$$Z = \left\{ W_1 W_3 \exp[-(\tau'_{10} + \tau'_2) \rho] \frac{\delta_{10} \delta_2}{x_2} - W_1 \exp(-\tau'_1 \rho) \frac{\delta_1}{x_2} \right\} (N_H A_H + R_H Z_2) + \left\{ W_2 W_4 \exp[-(\tau'_1 + \tau'_{20}) \rho] \frac{\delta_1 \delta_{20}}{x_1} - W_4 \exp(-\tau'_2 \rho) \frac{\delta_2}{x_1} \right\} (N_K A_K + R_K Z_1). \quad (4)$$

Обозначим

$$F_{13} = W_1 W_3 \exp[-(\tau'_{10} + \tau'_2) \rho] \frac{\delta_{10} \delta_2}{x_2}; \quad (5)$$

$$F_1 = -W_1 \exp(-\tau'_1 \rho) \frac{\delta_1}{x_2}; \quad (6)$$

$$F_{24} = W_2 W_4 \exp[-(\tau'_1 + \tau'_{20}) \rho] \frac{\delta_1 \delta_{20}}{x_1}; \quad (7)$$

$$F_4 = -W_4 \exp(-\tau'_2 \rho) \frac{\delta_2}{x_1}. \quad (8)$$

С учетом (5)-(8) уравнение (4) примет вид

$$Z = (F_{13} - F_1)(N_H A_H + R_H Z_2) + (F_{24} - F_4)(N_K A_K + R_K Z_1). \quad (9)$$

На вход дифференциатора с демпфером поступают изменения уровня в канале  $Z$  в соответствии с уравнением (9). На выходе дифференциатора сигнал скорости отклонения примет вид

$$Z_n = Z W_n = (F_{13} - F_{1n})(N_H A_H + R_H Z_2) + (F_{24n} - F_{4n})(N_K A_K + R_K Z_1), \quad (10)$$

где

$$F_{13n} = \frac{L_1 L_3 K_{AM} K_A}{T_1 T_3 T_{AM}} \frac{(\frac{K_1}{L_1} + \rho)(\frac{K_3}{L_3} + \rho) \rho}{(\rho + T_1^{-1})(\rho + T_3^{-1})(\rho + T_{AM}^{-1})(\rho + T_A^{-1})} \exp[-(\tau'_{10} + \tau'_2) \rho] \frac{\delta_{10} \delta_2}{x_2}; \quad (11)$$

$$F_{1n} = -\frac{L_1 K_{AM} K_A}{T_1 T_{AM}} \frac{(\frac{K_1}{L_1} + \rho) \rho}{(\rho + T_1^{-1})(\rho + T_{AM}^{-1})(\rho + T_A^{-1})} \exp(-\tau'_1 \rho) \frac{\delta_1}{x_2}; \quad (12)$$

$$F_{24n} = \frac{L_2 L_4 K_{AM} K_A}{T_2 T_4 T_{AM}} \frac{(\frac{K_2}{L_2} + \rho)(\frac{K_4}{L_4} + \rho) \rho}{(\rho + T_2^{-1})(\rho + T_4^{-1})(\rho + T_{AM}^{-1})(\rho + T_A^{-1})} \exp[-(\tau'_1 + \tau'_{20}) \rho] \frac{\delta_1 \delta_{20}}{x_1}; \quad (13)$$

$$F_{4n} = -\frac{L_4 K_{AM} K_A}{T_4 T_{AM}} \frac{(\frac{K_4}{L_4} + \rho) \rho}{(\rho + T_4^{-1})(\rho + T_{AM}^{-1})(\rho + T_A^{-1})} \exp[-\tau'_2 \rho] \frac{\delta_2}{x_1}. \quad (14)$$

Чтобы решить уравнения (11)-(14), представленные в изображениях, необходимо преобразовать их в форму оригиналов в функции  $f(t)$ . Для этого используем справочные таблицы преобразования Лапласа-Карсона [3]. После преобразования уравнения (11)-(14) примут вид

$$f_{13n} = \frac{L_1 L_3 K_{AM} K_A}{T_1 T_3 T_{AM}} \left[ \frac{(\frac{K_1}{L_1} - T_1^{-1})(\frac{K_3}{L_3} - T_3^{-1})}{(T_1^{-1} - T_1^{-1})(T_{AM}^{-1} - T_1^{-1})(T_A^{-1} - T_1^{-1})} e^{-\frac{t - (\tau'_{10} + \tau'_2)}{T_1}} + \frac{(\frac{K_1}{L_1} - T_3^{-1})(\frac{K_3}{L_3} - T_3^{-1})}{(T_1^{-1} - T_3^{-1})(T_{AM}^{-1} - T_3^{-1})(T_A^{-1} - T_3^{-1})} e^{-\frac{t - (\tau'_{10} + \tau'_2)}{T_3}} + \right. \\ \left. + \frac{(\frac{K_1}{L_1} - T_A^{-1})(\frac{K_3}{L_3} - T_A^{-1})}{(T_1^{-1} - T_A^{-1})(T_3^{-1} - T_A^{-1})(T_{AM}^{-1} - T_A^{-1})} e^{-\frac{t - (\tau'_{10} + \tau'_2)}{T_A}} + \frac{(\frac{K_1}{L_1} - T_{AM}^{-1})(\frac{K_3}{L_3} - T_{AM}^{-1})}{(T_1^{-1} - T_{AM}^{-1})(T_3^{-1} - T_{AM}^{-1})(T_A^{-1} - T_{AM}^{-1})} e^{-\frac{t - (\tau'_{10} + \tau'_2)}{T_{AM}}} \right] \frac{\delta_{10} \delta_2}{x_2}, \quad (15)$$

$$f_{1n} = -\frac{L_1 K_{AM} K_A}{T_1 T_{AM}} \left[ \frac{(\frac{K_1}{L_1} - T_1^{-1})}{(T_{AM}^{-1} - T_1^{-1})(T_A^{-1} - T_1^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_1}{T_1}} + \frac{(\frac{K_1}{L_1} - T_{AM}^{-1})}{(T_1^{-1} - T_{AM}^{-1})(T_A^{-1} - T_{AM}^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_1}{T_{AM}}} + \frac{(\frac{K_1}{L_1} - T_A^{-1})}{(T_1^{-1} - T_A^{-1})(T_{AM}^{-1} - T_A^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_1}{T_A}} \right] \frac{\delta_1}{x_2}, \quad (16)$$

$$f_{24n} = \frac{L_2 L_4 K_{AM} K_A}{T_2 T_4 T_{AM}} \left[ \frac{(\frac{K_2}{L_2} - T_2^{-1})(\frac{K_4}{L_4} - T_4^{-1})}{(T_{AM}^{-1} - T_2^{-1})(T_A^{-1} - T_2^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_2}{T_2}} + \frac{(\frac{K_2}{L_2} - T_{AM}^{-1})(\frac{K_4}{L_4} - T_{AM}^{-1})}{(T_2^{-1} - T_{AM}^{-1})(T_A^{-1} - T_{AM}^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_2}{T_{AM}}} + \frac{(\frac{K_2}{L_2} - T_A^{-1})(\frac{K_4}{L_4} - T_A^{-1})}{(T_2^{-1} - T_A^{-1})(T_{AM}^{-1} - T_A^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_2}{T_A}} \right] \frac{\delta_1 \delta_{20}}{x_1}, \quad (17)$$

$$f_{4n} = -\frac{L_4 K_{AM} K_A}{T_4 T_{AM}} \left[ \frac{(\frac{K_4}{L_4} - T_4^{-1})}{(T_{AM}^{-1} - T_4^{-1})(T_A^{-1} - T_4^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_2}{T_4}} + \frac{(\frac{K_4}{L_4} - T_{AM}^{-1})}{(T_4^{-1} - T_{AM}^{-1})(T_A^{-1} - T_{AM}^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_2}{T_{AM}}} + \frac{(\frac{K_4}{L_4} - T_A^{-1})}{(T_4^{-1} - T_A^{-1})(T_{AM}^{-1} - T_A^{-1})} e^{-\frac{t - \tau'_2}{T_A}} \right] \frac{\delta_2}{x_1}. \quad (18)$$

По уравнениям (4)-(18) в институте "Среднегипроводхлопок" отделом механизации инженерно-технических расчетов при участии автора данного исследования разработана программа ЭВМ, позволяющая рассчитать переходные процессы в оросительном канале при регулировании уровня.



В соответствии со схемой системы автоматического регулирования (рис. 5) на вход блока формирования команд управления (БФКУ) поступает сигнал отклонения уровня  $z(t)$ , определяемый уравнением (4), и сигнал скорости отклонения уровня  $z_n(t)$ , определяемый уравнением (10). На выходе БФКУ образуется управляющий импульс  $T_n$ , по длительности пропорциональный сумме сигналов  $z(t)$  и  $z_n(t)$ :

$$T_n = K_p [z(t) + z_n(t)], \quad (19)$$

где  $K_p$  — коэффициент пропорциональности авторегулятора.

Управляющий импульс подается на привод затвора и перемещает его на величину  $\Delta\alpha = T_n V_z$ , где  $V_z$  — скорость перемещения затвора. После окончания управляющего импульса регулятор формирует паузу  $T_p$ , которая также является параметром его динамической настройки. Далее цикл регулирования, состоящий из  $T_n$  и  $T_p$ , повторяется до возвращения уровня к заданному значению.

Исследуем качество работы предлагаемой системы регулирования, но прежде обоснуем величину возмущения (изменения расхода насосной станции), при которой следует определять ее качество. Известно, что большинство систем регулирования в каналах работает устойчиво при небольших возмущениях (5–10%) и не всегда устойчиво при больших (15–30%). Для каналов с насосными станциями, характеризующихся большими возмущениями, необходимо проводить исследование качества работы системы регулирования при возмущениях 15–30%. Устойчивая в таких условиях система будет хорошо функционировать и при меньших возмущениях. Рассмотрим работу системы регулирования водоподдачи в канале ДМ-1 на участке перед НС-2, воспринимающем наибольшую нагрузку от изменения водозабора НС-2. Величину возмущения определим из условия срабатывания защиты одной секции трансформатора электроподстанции, когда одновременно отключаются три агрегата НС-2. При этом сокращение расхода НС-2 составит  $46,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , или 32,9%.

Определим эффективность предложенной системы регулирования с коррекцией по скорости отклонения применительно к требованиям устойчивости и качества регулирования в сравнении с аналогичной системой без коррекции.

На рис. 6 приведены результаты расчета на ЭВМ переходного процесса регулирования водоподдачи по уровню нижнего бьефа без

сигнала скорости отклонения (кривые П) и с сигналом скорости отклонения (кривые I). Из сравнения кривых I, б и П, а видно,

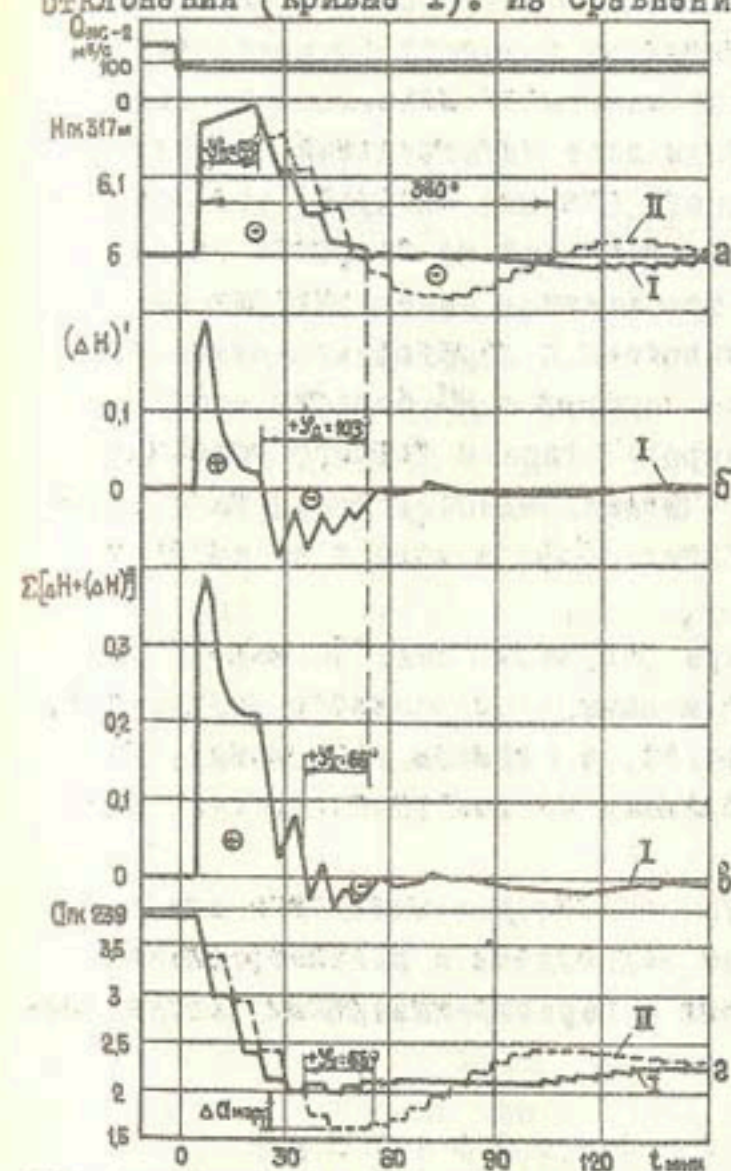


Рис. 6. Расчетные переходные режимы в системе автоматического регулирования водоподдачи по уровню нижнего бьефа при отключении трех агрегатов НС-2 ( $\Delta Q_k = -46,4 \text{ м}^3/\text{с}$ ): I — с коррекцией по скорости отклонения ( $K_p = 1000 \text{ с/м}$ ;  $T_p = 300 \text{ с}$ ;  $K_{дм} = 1$ ;  $T_{дм} = 180 \text{ с}$ ;  $K_d = 5,8$ ;  $T_d = 101 \text{ с}$ ); П — без коррекции ( $K_p = 1000 \text{ с/м}$ ;  $T_p = 300 \text{ с}$ )

что кривая скорости отклонения I, б опережает по фазе на  $\psi_d = 103^\circ$  кривую отклонения уровня П, а, а кривая перемещения затвора I, г скорректированной системы опережает по фазе на  $\psi_y = 65^\circ$  аналогичную кривую П, г системы без коррекции. Система регулирования без коррекции характеризуется длительным (более 2 ч) переходным процессом с -27%-ным перерегулированием (кривые П), т.е. имеет недостаточную устойчивость, и поэтому не может быть рекомендована для автоматизации каналов с насосными станциями. Интегральная оценка качества переходного процесса  $F = \int \Delta H dt = 501,6 \text{ м} \cdot \text{с}$ . В системе регулирования с коррекцией по скорости отклонения переходный процесс закончился за 43 мин (кривые I). Он характеризуется отсутствием перерегулирования, имеет хорошую устойчивость и удовлетворяет требованиям качества переходного процесса. Интегральная оценка качества процесса  $F = 338,7 \text{ м} \cdot \text{с}$ .



Сравнение системы с сигналом скорости отклонения и без него показало, что введение коррекции по скорости отклонения в рекомендованной системе значительно повышает точность регулирования водоподдачи, в 2,7 раза сокращает длительность переходного процесса, в 1,5 раза уменьшает интегральный показатель отклонения уровня. Из проведенного анализа следует, что предложенная система регулирования с коррекцией по скорости отклонения полностью удовлетворяет требованиям автоматизации водоподдачи в каналах с насосными станциями и перегораживающими сооружениями: при характерных для каналов с НС больших возмущениях система имеет высокое быстродействие и хорошую устойчивость работы, эффективно обеспечивает баланс водоподдачи и водопотребления без непроизводительных сбросов воды и не требует повышения дамб канала.

В данной системе аппаратура регулирования "Янгир-5" помещается вблизи датчика уровня и нижерасположенного сооружения, поэтому упрощается ее обслуживание, а сигналы управления, не чувствительные к помехам, передаются на вышерасположенное сооружение по линии связи.

Предложенная система регулирования рекомендуется для автоматического управления балансом водоподдачи и водопотребления на каналах с насосными станциями и перегораживающими сооружениями.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Рожнов В.А., Тюменев Р.М. Электрические системы стабилизации уровней в каналах. - Фрунзе: Илим, 1982. - 200с.
2. Маковский Э.Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды. - Фрунзе: Илим, 1972. - 304с.
3. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. - М.: Высшая школа, 1965. - 468с.

УДК 626.8:528.7

В.А.Леонидов, канд.техн.наук,  
зав.лзб.

(ВНИИГМ)

#### ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Интенсивное развитие отрасли требует совершенствования процесса получения оперативной и достоверной информации о мелиоративных и водохозяйственных объектах и системах. Для этих целей в Минводхозе функционируют:

- изыскательские экспедиции исследовательских и проектных институтов;
- гидрогеолого-мелиоративные партии, экспедиции и другие службы эксплуатации;
- водные инспекции Главводохран.

Одним из эффективных путей совершенствования деятельности этих подразделений является снабжение их аэрокосмической информацией, отвечающей поставленным требованиям.

Как показывает анализ, многие отраслевые задачи Минводхоза могут быть решены с помощью материалов аэрокосмической съемки. С другой стороны, расширение площадей мелиорированных земель и совершенствование их контроля старыми методами возможно лишь при резком увеличении численности персонала соответствующих экспедиций и партий, а также оснащении их технологически морально устаревшими средствами (в связи с отсутствием современных).

Отечественными и зарубежными научными организациями на протяжении многих лет разрабатываются методы и технические средства, обеспечивающие получение различных данных о природных и хозяйственных объектах с помощью аэрокосмических систем. Некоторые из этих технологий адаптированы для решения отраслевых задач Минводхоза СССР.

В настоящее время проводятся производственные работы по решению задач, приведенных в табл. 1. В стадии испытаний находятся технологии и аппаратура, обеспечивающие получение параметров, приведенных в табл. 2.

Результаты внедрения позволяют признать высокую эффективность использования аэрокосмической информации организациями



Таблица I

Тематическая интерпретация, находящаяся в производстве

| Параметр                                                      | 2                                                                                | 3                                | 4                       | 5                                    | 6                          | 7  | 8      | 9     | 10   |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----|--------|-------|------|
|                                                               |                                                                                  |                                  |                         |                                      |                            |    |        |       |      |
| Вид культуры                                                  | Корректиров-<br>ка плана                                                         | Сель-<br>скохо-<br>зяйст-<br>ный | Веге-<br>тацион-<br>ный | I раз                                |                            | I  | I      |       | 5-10 |
| Площадь под<br>культурой                                      | распреде-<br>ния водных<br>ресурсов бас-<br>сейнов рек<br>в течение<br>вегетации | То же                            | То же                   | 5-10<br>дней                         |                            | I  | I      |       | 5-10 |
| Фазы развития<br>культуры                                     | То же, и в<br>навегета-<br>цию                                                   | То же                            | 2 раза<br>в год         | I раз<br>(сен-<br>тябрь-<br>октябрь) | I раз<br>(март-<br>апрель) | IO | IO-100 | 0-1,5 | 5-10 |
| Площадь, имеющая<br>определенную<br>степень засолен-<br>ности |                                                                                  |                                  |                         |                                      |                            |    |        |       |      |

82

Продолжение табл. I

| I                                                                         | 2                                                                                                                 | 3                                                     | 4                       | 5                | 6                   | 7                                                                      | 8       | 9   | 10    |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------|---------|-----|-------|
|                                                                           |                                                                                                                   |                                                       |                         |                  |                     |                                                                        |         |     |       |
| Степень эрозии<br>почвогрунтов                                            | Проведение<br>агротехни-<br>ческих ме-<br>роприятий с<br>целью улуч-<br>шения струк-<br>туры почво-<br>грунтов    | Сель-<br>скохо-<br>зяйст-<br>венные<br>районы<br>СССР | В неза-<br>геза-<br>цию | -                | 3-5 лет             | 30-60                                                                  | 100-200 | 0-1 | 10-20 |
| Площадь, имеющая<br>определенную<br>степень эрозии<br>почвогрунтов        |                                                                                                                   |                                                       |                         |                  |                     |                                                                        |         |     |       |
| Объем водохрани-<br>лищ                                                   |                                                                                                                   |                                                       |                         |                  |                     |                                                                        |         |     |       |
| Уровень влажности<br>почвы                                                | Корректи-<br>ровка плане<br>распреде-<br>ния водных<br>ресурсов<br>бассейнов<br>рек в тече-<br>ние веге-<br>тации | То же                                                 | Кругло-<br>году         | 5 дней           | 10 дней             | I день                                                                 | 0,1-1   |     | 3-5   |
| Площадь, имеющая<br>определенный уро-<br>вень влажности                   |                                                                                                                   |                                                       |                         |                  |                     |                                                                        |         |     |       |
| Уровень увлажне-<br>ния грунтовых<br>вод                                  |                                                                                                                   |                                                       |                         |                  |                     |                                                                        |         |     |       |
| Площадь, имеющая<br>определенный<br>уровень увлажне-<br>ния грунтовых вод | То же                                                                                                             | То же                                                 | То же                   | I раз<br>в месяц | I раз<br>в 2 месяца | I- в те-<br>чение ве-<br>гетации,<br>10- в те-<br>чение ве-<br>гетации | 10-100  | 0-1 | 5-10  |
| Техническое состоя-<br>ние ирригационной<br>сети                          | Опреде-<br>ление КПД<br>иригацион-<br>ной сети                                                                    | Мелкор-<br>ривные в<br>год                            | I раз                   | I раз            | I раз               | IO                                                                     | 0,5-1   |     | 10-20 |

Примечания: 1. Надежность решения задачи 0,9. 2. Параметры по определенным влажностям почвы, уровня грунтовых вод устанавливаются с помощью радиовысотур, а все остальные - с помощью фото, сканеров и т.д.



Тематическая интерпретация, находящаяся в стадии испытаний

| Параметр                                           | Об-<br>лать<br>исполь-<br>зова-<br>ния па-<br>рамет-<br>ра    | Время<br>прово-<br>дения<br>изме-<br>рения<br>пара-<br>метра | Периодичность<br>измерения па-<br>раметра<br>в не-<br>де-<br>лю | Допустимое<br>отклонение<br>в по-<br>луче-<br>нии по-<br>казате-<br>лей<br>(в днях) | Требования                                           |                                       |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                    |                                                               |                                                              |                                                                 |                                                                                     | разре-<br>шение<br>по по-<br>казате-<br>лям<br>(в м) | диапа-<br>зон<br>изме-<br>рений,<br>м |
| Степень засоленности почвогрунтов                  | Хлопко-<br>сеющие<br>районы<br>СССР                           | I раз<br>в год<br>(сентябрь-<br>октябрь)                     | I раз<br>(март-<br>апрель)                                      | 10                                                                                  | 10-100<br>0-0,2                                      | 5-10                                  |
| Площадь, имеющая определенную степень засоленности | То же                                                         | "                                                            | "                                                               | "                                                                                   | "                                                    | "                                     |
| Минерализация водоемов                             | Сельско-Кругло-<br>хозяйст-голич-<br>венные<br>районы<br>СССР | I раз<br>в I раз<br>в месяц                                  | I раз<br>в I раз<br>в месяц                                     | 10                                                                                  | 10-100<br>0-20                                       | 5-10                                  |
| Уровень грунто-<br>вых вод                         | То же                                                         | "                                                            | "                                                               | "                                                                                   | "                                                    | "                                     |
| Минерализация почв                                 | То же                                                         | "                                                            | "                                                               | "                                                                                   | "                                                    | "                                     |

Примечания: 1. Надежность определения засоленности почвогрунтов 0,9, минерализации водоемов 0,8.  
2. Параметры по определению засоленности почвогрунтов устанавливаются с помощью фото-, сканеров и т.д., а все остальные - с помощью радиолокаторов.

- с малым объемом научных и производственных работ, выполняемых с использованием аэрокосмической информации; малочисленностью и разобщенностью коллективов, ведущих эти работы; отсутствием координации работ;

- слабой оснащённостью отраслевых организаций специализированной техникой, крайне неэффективным ее использованием.

Практическим применением радиометрической аппаратуры для получения информации о влажности почв заняты гидрогеологомелиоративные партии (ГГМП) МССР, ГССР, Саратовской и Днепропетровской областей. Получена аппаратура и организуется ее использование в других областных ГГМП.

Оснащение специализированной техникой для обработки аэрокосмической информации в отраслевых организациях крайне скудное. Так, прибор для автоматизированного построения карт по стереоснимкам "Трастер" (Франция) и микро-ЭВМ "Интел" имеются только в Союзгипродрозо. На их основе специалисты отдела, проявив высокую изобретательность, сконструировали систему, позволяющую вести автоматизированную обработку многоспектральных снимков природных объектов для построения геоботанических, почвенных и геологических карт. Однако производительность системы низка.

Во ВНИИГиме из-за отсутствия специализированной техники используются ручные визуально-инструментальные методы построения карт засоленности земель. Эти методы не поддаются метрологической аттестации и имеют крайне низкую производительность.

Организация проведения работ по использованию  
аэрокосмической информации в смежных отраслях

Мингео СССР имеет небольшой опыт использования аэрокосмической информации. Приказом министра запрещено проведение исследований без материалов аэрокосмических съемок. Выполнение съемочных работ возложено на специализированное НПО "Аэрогеология", хорошо оснащенное импортным и отечественным оборудованием, в первую очередь специализированным фотографическим и



картопроизводственным. Кроме того, фотографирование местности с помощью отечественной фотоаппаратуры и радиолокационных станций бокового обзора производится на договорных началах производственными предприятиями, подчиненными Управлению применения авиации в народном хозяйстве (ПАНХ) Министерства гражданской авиации.

Некоторый центр, оснащенный импортным и отечественным оборудованием, с филиалами должен обеспечить решение региональных отраслевых задач.

Головной центр приступил к опытной эксплуатации оборудования. С целью обеспечения получения информации дистанционными методами МГА проводит модификацию аппаратуры специально для нужд агропромышленного комплекса, оснащая ее отечественным и французским оборудованием фирмы "Метра". Эксплуатацию средств получения информации дистанционным способом и аренду их заинтересованными организациями будут осуществлять подразделения МГА.

Государственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов (ГосНИИЦПР) проводит научные исследования и координирует разработку межотраслевой системы, обеспечивающей сбор, предварительную межотраслевую обработку оперативной информации, передачу ее заинтересованным отраслям и решение на ее основе задач. Исследования по дистанционным методам решения отдельных задач ведутся также в региональных центрах.

Гослесхоз, Минрыбхоз располагают отраслевыми центрами обработки аэрокосмической информации, оборудованными импортной и отечественной техникой.

Рациональная структура отраслевой системы получения, обработки и снабжения потребителей информацией

В целях скорейшего внедрения получаемых разработок целесообразно максимальное сближение научных, проектных и производственных подразделений Минводхоза СССР и других ведомств, занимающихся вопросами обеспечения информацией соответствующих мелкотоварных и водохозяйственных потребителей.

Рациональной представляется трехуровневая структура подразделений (центров) обработки аэрокосмической информации.

#### I уровень

Головной отраслевой центр - Москва, ВНИИГМ.

Задачи центра:

- обеспечение Минводхоза СССР оперативной информацией, получаемой с помощью аэрокосмических систем;
- получение, систематизация и доведение до региональных подразделений централизованно распространяемой информации;
- обработка аэрокосмической информации в интересах отраслевых потребителей центрального региона;
- разработка и реализация единой технической политики в отрасли по оснащению специальным оборудованием и его использованию отраслевыми организациями;
- руководство научной деятельностью отраслевых региональных центров, научных и проектных организаций и координация внедрения результатов соответствующих НИР в отрасли;
- организация производства, технического обслуживания и ремонта аэрокосмических средств в интересах отрасли;
- организация централизованных летно-съёмочных работ;
- организация подготовки кадров.

#### II уровень

Региональные центры получения и использования аэрокосмической информации.

Задачи центров:

- получение, систематизация и обработка региональной аэрокосмической информации;
- обеспечение региональных организаций информацией, получаемой на основе аэрокосмических измерений;
- представление в Головной отраслевой центр региональной информации для ее обобщения в целом по отрасли и представления в Минводхоз СССР;
- разработка технологий обработки аэрокосмической информации в интересах региональных организаций и их внедрение;
- организация региональных летно-съёмочных работ;
- организация подготовки кадров для региональных отраслевых организаций;



- координация деятельности с соответствующими организациями смежных отраслей.

### III уровень

Третьим уровнем системы являются подразделения гидрогеолого-мелиоративных экспедиций, эксплуатационных, проектных и исследовательских организаций, ведущие самолетные измерения различных мелиоративных и водохозяйственных параметров и обработку аэрокосмической информации в интересах своей и смежных организаций.

Задачи подразделений:

- проведение лётно-съёмочных работ;
- обработка результатов аэрокосмических измерений, их систематизация;
- обобщение информации, полученной по результатам аэрокосмических измерений, представление ее заинтересованным потребителям и в региональный центр;
- обслуживание соответствующих технических средств.

УДК 502.7:551.493:556.388:631.6

А.С. Асланин, гл. спец.

(Среднеазиатский филиал)

### О ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ В ПРОЕКТАХ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Острота проблемы взаимодействия человека с окружающей природой особенно возросла в результате интенсивного развития промышленности и сельского хозяйства, в связи с чем возникла необходимость в неотложных мерах по охране природных систем и оздоровлению окружающей среды. Вопрос защиты атмосферы и гидросферы от загрязнения все в большей степени приобретает международный характер. Это объясняется общностью интересов в поисках эффективных путей предотвращения негативных последствий деятельности человека и отсутствием государственных границ для воздушных и водных течений, переносящих вредные примеси.

В условиях научно-технической революции охрана окружающей среды стала одной из самых острых и актуальных проблем современности. Благодаря достижениям науки и технического прогресса человек получил мощные орудия воздействия на природу. Направляя свою деятельность прежде всего на осуществление рационального

ее преобразования для экономического развития общества, человек достиг впечатляющих успехов. Пример тому - освоение колоссальных массивов бесплодных засушливых земель.

Но, вторгаясь весьма активно в природные процессы, человек нередко нарушает закономерности их протекания, вызывая своей деятельностью нежелательные для него же самого изменения в природе: значительное сокращение площади лесов, исчезновение многих видов животных, увеличение территории эродированных земель, антропогенное загрязнение воды, воздуха и т.д.

В нашей стране охране окружающей среды уделяется большое внимание. Так, в Конституции СССР записано, что граждане Советского Союза обязаны беречь природу, охранять ее богатства. В стране принимаются меры для охраны и научного обоснования рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды.

Для определения комплекса мероприятий по охране природы, предупреждения загрязнения и деградации окружающей природной среды, обеспечения наиболее эффективного применения в хозяйстве природных ресурсов необходимы территориальные комплексные схемы охраны природы.

В связи с этим в проектах мелиорации разрабатывается специальный раздел "Охрана окружающей природной среды", где даются четкие рекомендации в части водоземельных ресурсов и технические мероприятия, а также прогнозы качества вод.

В условиях интенсивного развития ирригации и орошаемого земледелия в Средней Азии вопросы рационального использования и охраны водных ресурсов приобретают большую важность и актуальность и природоохранные меры должны в значительной степени определять основную направленность планируемых водохозяйственных решений. Природоохранный комплекс разрабатывается в строгом соответствии с утвержденными бассейновыми схемами и включает: охрану водных ресурсов, земель и почв, недр, рыбохозяйственных объектов, памятников истории и культуры, рекреацию.

Одним из важных аспектов раздела является прогнозная оценка состояния компонентов природной среды при проведении намечаемых мелиоративных мероприятий и в особенности при применении минеральных удобрений, ядохимикатов, пестицидов и других хи-



мических препаратов. Внесение удобрений может вызвать загрязнение окружающей среды и ухудшения качества продукции вследствие водной эрозии почвы, попадания остатков химических средств с коллекторно-сбросными стоками в реки, каналы, водоемы, грунтовые и подземные воды.

Помимо увеличения концентрации вредных элементов в грунтовых и поверхностных водах, применение высоких доз минеральных удобрений может привести к образованию накоплений токсических веществ в продуктивных органах растений, что станет причиной отравления людей и животных.

Чрезмерное применение хлор- и фосфорорганических соединений может повлечь нарушение биологического равновесия в природе.

Таким образом, в борьбе с загрязнением окружающей среды при интенсивном использовании минеральных и органических удобрений основное значение имеет рациональная система их внесения. Исследования показали, что уменьшить загрязнение водоемов химическими препаратами можно путем рациональной химизации сельского хозяйства, внедрения наиболее эффективных способов орошения и т.д.

Следует уделить должное внимание изысканию путей ограничения использования особо стойких во внешней среде и высокотоксичных препаратов, замены их малотоксичными и нестабильными соединениями. Обязателен строгий контроль за осуществлением намеченных решений.

Охрана природы — это система государственных и общественных мероприятий, обеспечивающих сохранение природной среды, пригодной для жизнедеятельности нынешнего и будущих поколений людей.

Охрана и рациональное использование природных ресурсов осуществляются с привлечением всего арсенала средств, которыми располагает наше общество для целенаправленного решения социально-экономических задач. Ведущую роль в системе мер по улучшению природопользования играет целенаправленное планирование природоохранной деятельности как важный элемент единого государственного плана экономического и социального развития.

Итак, природоохранные мероприятия — это комплекс взаимосвязанных природных явлений и воздействия на них человеческой деятельности. Огромный объем информации и сложность зависимости

многосвязных факторов вызывают необходимость создания экономико-математической модели, с помощью которой станет возможным не только прогнозирование изменения природной среды, но и выработка наиболее рациональных решений по взаимодействию с природой.

Осуществление комплекса технических мер обеспечит инженерную защиту окружающей природной среды и самих мелиорируемых объектов, а также предотвратит нежелательное нарушение равновесия в природе.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Методические указания по определению выноса ядохимикатов с хлопковых полей коллекторно-дренажным стоком (временные отраслевые). — Ташкент: САНИИРИ, 1980. — 46с.

2. Якубов Р.А. Природные воды Узбекистана и охрана их от загрязнения пестицидами. — Ташкент: Изд-во "Фан" УзССР, 1977. — 112с.

3. Временные положения по разработке разделов "Охрана окружающей среды" в проектах мелиоративных систем. — Ташкент, 1978. Минводхоз СССР, Главсредизирсовхозстрой, Средазгипроводхлопок.

УДК 556.324+626.862:556.16:001.18

Ю.Я.Гольцов, руковод. группы  
(Средазгипроводхлопок)

#### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГРУНТОВЫХ ВОД И ДРЕНАЖНОГО СТОКА С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

В Средней Азии с нарастанием дефицита водных ресурсов увеличиваются объемы использования возвратных вод на орошение, в связи с чем особую остроту приобретают вопросы прогнозирования минерализации грунтовых вод и дренажного стока с привлечением количественных методов. Отмеченное особенно актуально для земель нового орошения в предгорных районах Джизакской и Кержинской степей, которые характеризуются локальной дренажностью отдельных участков за счет местных понижений, логов и т.д. на фо-



на недостаточной естественной дренированности территории в целом. Для таких условий напромерно применение общепринятых методов расчета коллекторно-дренажной сети и связанных с ними методов прогнозирования минерализации грунтовых вод и дренажного стока, предполагающих горизонтальность поверхности земли, одинаковую глубину заложения дрен и систематический дренаж.

В последние годы выполнен ряд исследований, позволяющих рассчитывать размещение элементов коллекторно-дренажной сети с учетом их разновысотного положения из-за различной глубины заложения и рельефа местности [1-4]. Первые две работы основаны на методе фильтрационных сопротивлений и требуют выполнения условия  $B > 2m$  ( $B$  - расстояние между дренами,  $m$  - общая мощность слоистой толщи), что существенно снижает их практическую ценность. Метод, предложенный в [3, 4] и базирующийся на гидродинамической модели фильтрации, лишен этого ограничения и позволяют рассматривать не только вопросы размещения коллекторно-дренажной сети, но и динамику ее работы [5]. При этом в условиях неустановившегося режима фильтрации есть возможность проверить правильность размещения коллекторно-дренажной сети и рассчитать объемы дренажного стока каждого дренажного устройства.

Для количественной оценки динамики минерализации грунтовых вод и дренажного стока на орошаемом массиве при разновысотном положении элементов коллекторно-дренажной сети необходимо ясно представить структуру формирования фильтрационных потоков к каждому дренажному устройству. Здесь целесообразно воспользоваться математической моделью [6], лежащей в основе метода размещения коллекторно-дренажной сети и оценки динамики ее работы в неустановившемся режиме с учетом рельефа местности [3-5]. Уже показано, как, применяя эту математическую модель, были получены аналитические выражения для функции тока, с помощью которых в общем фильтрационном потоке выделяются ленты тока движения грунтовых вод к дренажным устройствам, причем каждую из них характеризует определенное число линий тока, возможно и одна, с рассчитанными вдоль них скоростями фильтрации грунтовых вод. Считая движение грунтовых вод по лентам тока одномерным и пренебрегая диффузионным обменом солей между соседними лентами, используем одномерное уравнение конвективной диффузии для расчета минерализации грунтовых вод и дренажного стока [7]. Такой подход

позволяет производить оценку во времени минерализации грунтовых вод и дренажного стока каждого дренажного устройства при разновысотном положении элементов коллекторно-дренажной сети, в частности, в условиях расчлененного рельефа местности при установившемся режиме фильтрации.

И. В [6] получены аналитические выражения для расчета напоров грунтовых вод  $H^{(l)}(x, z)$  в слоях двухслойного пласта ограниченной мощности и протяженности при работе конечного числа дренажных устройств разновысотного положения ( $l = 1, 2$ ). Верхний индекс "1" (здесь и далее) говорит о принадлежности данного параметра к верхнему слою, индекс "2" - к нижнему слою. Знание распределения напоров грунтовых вод, в следовательно, и потенциалов скорости  $\varphi^{(l)}(x, z) = -k^{(l)} H^{(l)}(x, z)$  в слоях, позволяя, используя известные соотношения Коши-Римана, найти выражения для функций тока:

$$\psi^{(l)}(x, z) = \int_{x_0, z_0}^{x, z} (V_x^{(l)} dz - V_z^{(l)} dx) + const. \quad (1)$$

Здесь  $k^{(l)}$  - коэффициенты фильтрации в слоях, м/сут;

$V_x^{(l)}(x, z) = -k^{(l)} \frac{\partial H^{(l)}}{\partial x}$ ,  $V_z^{(l)}(x, z) = -k^{(l)} \frac{\partial H^{(l)}}{\partial z}$  - скорости фильтрации в направлении координатных осей, соответственно  $x$  и  $z$ , м/сут; точка  $(x_0, z_0)$  принадлежит рассматриваемой области фильтрации.

Опуская промежуточные выкладки, запишем выражения для функции тока в слоях двухслойного пласта, подстилаемого водоупором, при работе  $N_k$  коллекторов и  $N_d$  закрытых горизонтальных дрен в условиях установившегося режима фильтрации. Коллекторы моделируются линейными стоками  $\Delta x_k^{(1)} = x_{2k}^{(1)} - x_{2k-1}^{(1)}$  с расходами  $q_k^{(1)}$  ( $k = 1, N_k$ ), дренажи - точечными стоками с расходами  $q_i^{(2)}$  ( $i = 1, N_d$ ); коллекторы и дренажи расположены в верхнем слое, причем коллекторы могут находиться и на границах пласта.

$$\begin{aligned} \psi^{(1)}(x, z) = & \frac{z}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \sin(x \omega_n) \left\{ \frac{W_n(M)}{\omega_n E_n(h^*, m)} \left[ \operatorname{Sh}((z-m)\omega_n) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \rho \operatorname{th}(m \omega_n) \operatorname{ch}((z-m)\omega_n) \right] - \sum_{k=1}^{N_k} \frac{q_k^{(1)} \cos(x_k^{(1)} \omega_n) \sin\left(\frac{\Delta x_k^{(1)} \omega_n}{2}\right)}{\Delta x_k^{(1)} \omega_n E_n(h_k^*, m)} F_n(h_k^*, z, z_k^{(1)}, m) - \right. \\ & \left. - \sum_{i=1}^{N_d} \frac{q_i^{(2)} \cos(x_i \omega_n)}{E_n(h_i^*, m)} F_n(h_i^*, z, z_i^{(2)}, m) \right\}, \quad (2) \end{aligned}$$



$$\psi^{(2)}(x, z) = \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(x\omega_n) \operatorname{sh}(z\omega_n)}{\operatorname{ch}(m\omega_n)} \left\{ \frac{W_n(M)}{\omega_n E_n(h^0, m)} - \sum_{k=1}^{N_k} \frac{q_k^{(1)} \cos(x_k^{(1)} \omega_n) \sin(\frac{\Delta x_k^{(1)} \omega_n}{2})}{\Delta x_k^{(1)} \omega_n E_n(h_k^0, m)} \operatorname{ch}[(h_k^0 - z_k^{(1)}) \omega_n] - \sum_{i=1}^{N_i} \frac{q_i^{(1)} \cos(x_i \omega_n)}{E_n(h_i^0, m)} \operatorname{ch}[(h_i^0 - z_i^{(1)}) \omega_n] \right\}. \quad (3)$$

где  $L$  — протяженность пласта, м;  $\omega_n = \frac{\pi}{2L} (2n-1)$ ;  $\bar{x}_k^{(1)} = \frac{x_{2k-1}^{(1)} + x_{2k}^{(1)}}{2}$  — координаты оси коллекторов при глубине заложения  $z_k^{(1)}$ , м;  $x_i^{(1)}, z_i^{(1)}$  — координаты оси дрена, м;  $m$  — мощность нижнего слоя, м;  $\rho = k^{(2)}/k^{(1)}$ ;  $W_n(M) = \sum_{j=1}^M W_j [\sin(x_{2j} \omega_n) - \sin(x_{2j-1} \omega_n)]$ ,  $W_j$  — интенсивность инфильтрационного питания на полосе от  $x_{2j-1}$  до  $x_{2j}$ , ( $j = \overline{1, M}$ ), м/сут;

$$E_n(h^0, m) = \omega_n \{ \operatorname{sh}[(h^0 - m) \omega_n] + \rho \operatorname{th}(m \omega_n) \operatorname{ch}[(h^0 - m) \omega_n] \},$$

$$F_n(h_i^0, z, z_i^{(1)}, m) = \operatorname{sign}(z_i^{(1)} - z) \operatorname{sh}[(h_i^0 - m - |z - z_i^{(1)}|) \omega_n] -$$

$$- \operatorname{sh}[(h_i^0 + m - z - z_i^{(1)}) \omega_n] + \rho \operatorname{th}(m \omega_n) \{ \operatorname{sign}(z_i^{(1)} - z) \operatorname{ch}[(h_i^0 - m - |z - z_i^{(1)}|) \omega_n] +$$

$$+ \operatorname{ch}[(h_i^0 + m - z - z_i^{(1)}) \omega_n] \},$$

$h^0$  — осредненный уровень грунтовых вод, на который по аналогии с [8] переносится влияние инфильтрационного питания. Такое осреднение, согласно [9], обеспечивает достаточную точность вычисления основных фильтрационных характеристик потока грунтовых вод. Для определения  $h^0$  рекомендуется зависимость

$$h^0 = \sum_{i=1}^{N_i} h_i^0 [G(x - x_{i-1}) - G(x - x_i)]. \quad (4)$$

Значения  $h_i^0$  для участков от  $x_{i-1}$  до  $x_i$  находим из выражения

$$h_i^0 = \frac{1}{2} [R(x_{i-1}) + R(x_i)] - h_{np}, \quad (5)$$

где  $R(x)$  — функция, аппроксимирующая поверхность земли, м;  $x_0 = 0, x_{N_i} = L$ ;  $h_{np}$  — проектный УГВ, м.

Приравняв  $\psi^{(2)}(x, z)$  постоянной величине, получим уравнения семейства линий тока, которые используются при анализе структуры фильтрационных потоков, прогнозе минерализации грунтовых вод и дренажного стока. Для этого также будет необходимо знание скоростей фильтрации вдоль линий тока:

$$V^{(2)}(S) = \sqrt{V_x^{(2)2}(S) + V_z^{(2)2}(S)}, \quad (6)$$

где  $S(x, z)$  — криволинейная координата вдоль линии тока с началом на свободной поверхности грунтовых вод и концом на контуре дрена, м;  $S(x, z) \in [0, S]$ ,  $S$  — длина линий тока. Значения составляющих скоростей фильтрации в направлении координатных осей вычисляем через напор грунтовых вод, как в выражении (1), или же используя (2) и (3):

$$V_x^{(2)} = \frac{\partial \psi^{(2)}}{\partial z}, \quad V_z^{(2)} = -\frac{\partial \psi^{(2)}}{\partial x}. \quad (7)$$

2. Процесс миграции солей (диссоциированных ионов) рассматривается по выделенным к каждому дренажному устройству лантам тока, пренебрегая при этом диффузионными явлениями между ними. Расчет солевого режима, без учета твердой фазы, производится с помощью одномерного уравнения конвективной диффузии [7] по характерным линиям лант тока:

$$m_0 \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial S} (D(V) \frac{\partial c}{\partial S} - Vc), \quad (8)$$

где  $m_0$  — пористость;  $C(S, t)$  — концентрация солей, г/л;  $D(V) = D_0 + \lambda V(S)$  — коэффициент гидродинамической дисперсии, м<sup>2</sup>/сут ( $D_0$  — коэффициент молекулярной диффузии, м<sup>2</sup>/сут;  $\lambda$  — параметр гидродисперсии, м). Остальные параметры определены выше.

Начальное условие для (8) задается выражением  $C(S, t)|_{t=0} = C^0(S)$ . На свободной поверхности принимается условие [10]:

$$D \frac{\partial c}{\partial S} = V_n (c - c_{инф}),$$

где  $c_{инф}$  — концентрация инфильтрационных вод, поступающих на свободную поверхность грунтовых вод, г/л;  $V_n$  — величина инфильтрации на единицу длины свободной поверхности, м/сут. На контуре дрена принимается  $\frac{\partial c}{\partial S} = 0$ . Для решения уравнения (8) при указанных краевых условиях применяется неявная разностная схема [11].

На произвольный момент времени  $t > 0$  в результате решения уравнения (8) получаем распределение концентрации  $C(S, t)$  грунтовых вод по  $\rho$ -той линии тока ( $\rho = \overline{1, P}$ ) к  $i$ -тому дренажному устройству и выделяем значения  $C_{\rho, i, \rho}(t)$  на его контуре. Как отмечено выше, линия тока характеризует  $\rho$ -тую ланту тока с расходом  $q_{\rho}$  к  $i$ -тому дренажному устройству. Расчет минерализации стока  $i$ -того дренажного устройства основывается на известной зависимости



$$C_{др,i}(t) = \frac{\sum_{p=1}^P q_{i,p} C_{др,i,p}(t)}{q_i}, \quad (9)$$

где  $C_{др,i}(t)$  - минерализация дренажного стока  $i$ -того дренажного устройства, работающего с расходом  $q_i$  на момент времени  $t$ .

С использованием полученных результатов были разработаны алгоритмы и программы для ЭВМ ЕС-1033, позволяющие выполнять фильтрационные расчеты и прогнозы минерализации грунтовых вод и коллекторно-дренажного стока.

3. Для иллюстрации предложенного метода расчета минерализации грунтовых вод и дренажного стока рассмотрим пример. Область фильтрации, представленная двухслойным пластом на водопоре, ограничена слева и справа открытыми коллекторами, размещенными в верхнем слое, на расстоянии 1520 м. Отметки поверхности земли заданы относительно водопора (рис. 1). Проектная глубина залегания уровня грунтовых вод 2,6 м, расчетная нагрузка на дренаж 0,001 м/сут, причем на расстоянии до 20 м от оси коллекторов нагрузка принимается равной нулю. Глубина заложения закрытых дрен 3,25 м, коллекторов 4,5 м, ширина по дну 1 м, наполнение 0,5 м. Коэффициент фильтрации верхнего слоя  $k^{(1)} = 0,25$  м/сут, коэффициент фильтрации и мощность нижнего слоя соответственно  $k^{(2)} = 10$  м/сут,  $m = 5$  м. В работе [4] по данному профилю осуществлено размещение горизонтального дренажа (рис. 1). Кроме удельных расходов закрытых дрен, приведены значения односторонних притоков в открытые коллекторы, расположенные, как уже говорилось, по границам рассматриваемого профиля.

Используя выражения для напоров грунтовых вод [6] и функции тока (2), (3), вычисляют горизонтальные координаты максимальных значений УГВ и соответствующие им значения функций тока и скорости по каждому междренью (табл. 1).

Максимальное значение УГВ по профилю равно 29,21 м и находится на междренье 4, в точке с горизонтальной координатой  $x = 855,86$  м, которая, таким образом, является точкой водораздела влияния коллекторов I и II. Ограничимся рассмотрением области влияния коллектора I и покажем, как формируются потоки грунтовых вод к нему и дренам 1, 2, 3, расположенным в его области.

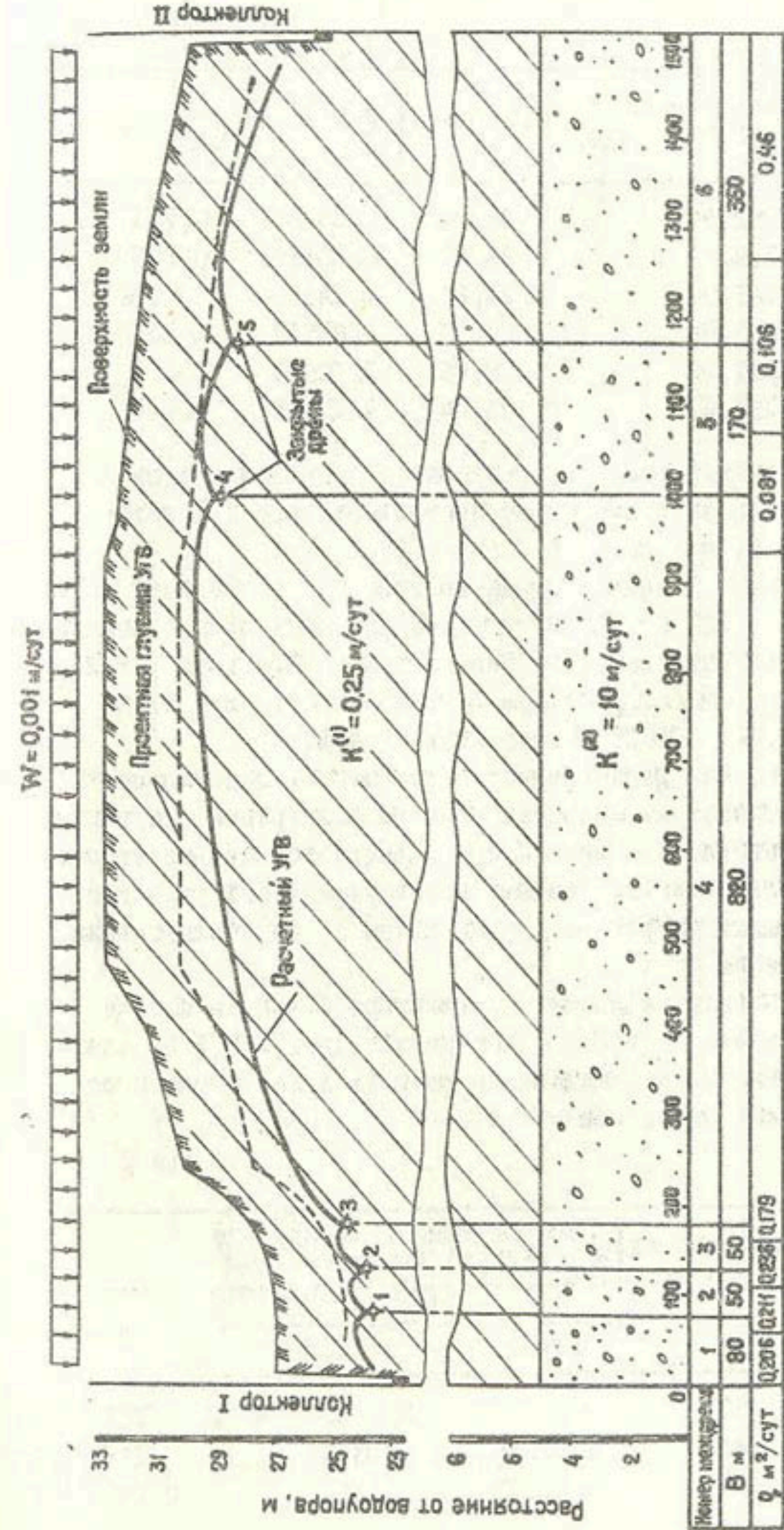


Рис. 1. Результаты расчета системы горизонтальных дрен при двухслойном строении водоносной толщи:  
В - расстояние между дренами;  $q$  - удельный расход







Следовательно, формирование расходов коллектора I и дрена 1,2 происходит из зон  $\alpha$  и  $\beta$ , которые образуют как бы два самостоятельных и одновременно взаимосвязанных фильтрационных потока. На рис. 2 представлена структура движения грунтовых вод в области коллектора I, причем в потоке грунтовых вод к дрена 3 выделена лента тока, проходящая только через верхний слой с меньшей проницаемостью. Следует отметить, что для большей наглядности вместо линий тока  $\psi_r$ , разграничивающих потоки, направленные к отдельным дренажным устройствам, в непосредственной от них близости, на рис. 2 выделены зоны контакта потоков, полученные из  $\tilde{\psi} = \psi_r \pm \varepsilon$ , где  $0 < \varepsilon \ll 1$ ,  $\varepsilon = 0,001 \text{ м}^2/\text{сут}$ .

По выделенным лентам тока был выполнен расчет солевого режима грунтовых вод. Для этого по лентам тока зоны  $\beta$  к коллектору I и дренам 1,2, а также по ленте тока к дрена 3, проходящей через нижний слой, были проведены осевые линии тока длиной  $S$ , динамика изменения расчетных скоростей фильтрации вдоль которых представлена на рис. 3. Аналогичны изменения расчетных скоростей фильтрации вдоль линий тока  $\tilde{\psi}$  из зоны  $\alpha$  к дренажным устройствам показаны на рис. 4. Для обеспечения требуемой точности поток грунтовых вод к дрена 3 справа, проходящий через верхний слой, разделен на три равные по расходу ленты тока, в которых проведены осевые линии тока. Расчет солевого режима выполнен для периода 25 лет. Исходное засоление грунтовых вод взято равным 30 г/л, а минерализация воды, профильтровавшейся через зону аэрации на свободную поверхность грунтовых вод, составляет 5 г/л ( $D_0 = 0,001 \text{ м}^2/\text{сут}$ ,  $\lambda = 1 \text{ м}$ ). На рис. 5 приведены результаты расчета солевого режима грунтовых вод в виде линий равной минерализации (10 и 20 г/л) на моменты времени 5, 10, 15, 20, 25 лет. Анализ результатов говорит об определяющем влиянии работы дренажных устройств и инфильтрационного питания на солевой режим грунтовых вод, формирование которого носит многолетний характер. Поэтому даже через 25 лет минерализация в зоне под коллектором I и дренами I и 2 практически не изменилась.

Постепенное опреснение дренажного стока при совместном действии дренажа и промывного режима орошения отражено на рис. 6. Расчеты построены на предположении, что в формировании коллекторного стока не участвуют сбросные воды столь частые в условиях фактического хозяйствования.

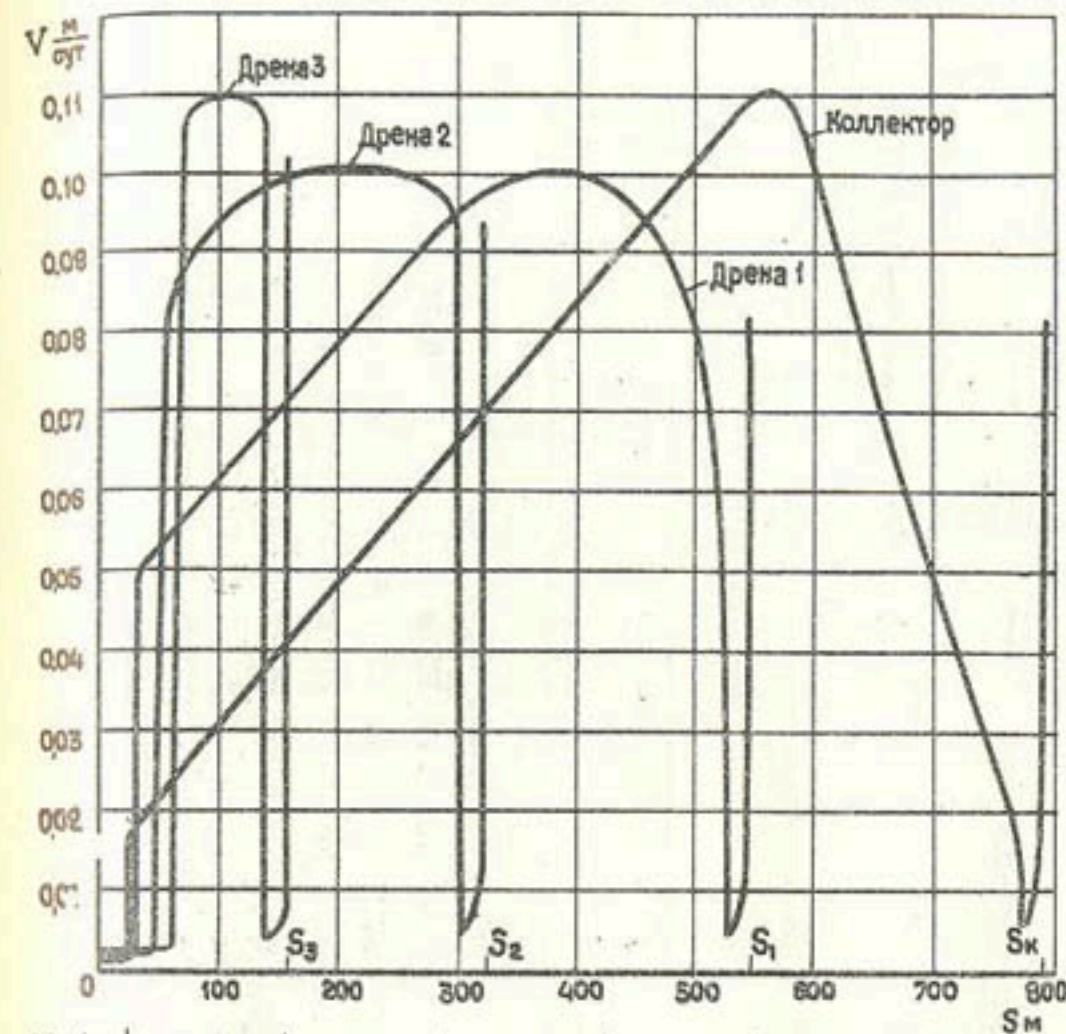


Рис. 3. Изменение скоростей фильтрации грунтовых вод зоны  $\beta$  к дренажным устройствам по осевым линиям тока

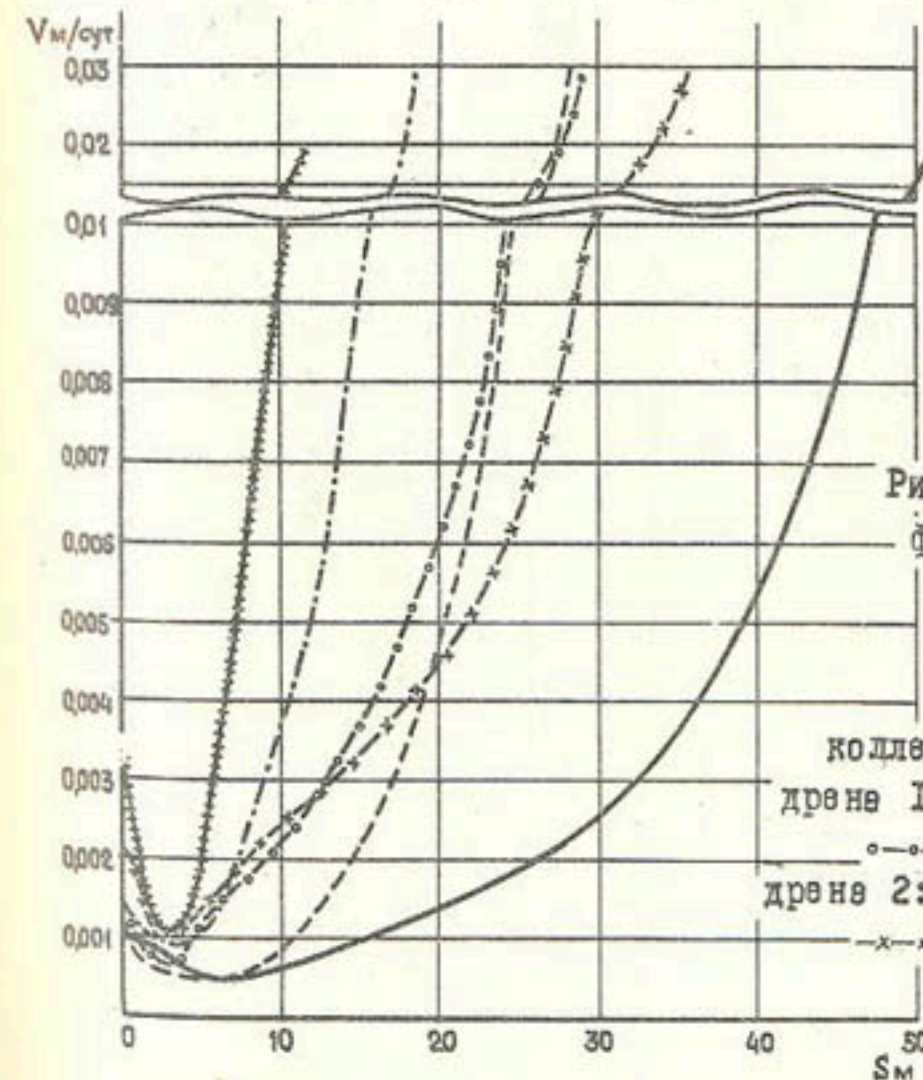


Рис. 4. Изменение скоростей фильтрации грунтовых вод зоны  $\alpha$  к дренажным устройствам по линиям тока  $\tilde{\psi}$ :

коллектор —————,  $S = 51,6 \text{ м}$ ;  
дрена I : --- слева,  $S = 28,1 \text{ м}$ ,  
          - - - справа,  $S = 28,95 \text{ м}$ ;  
дрена 2: --- слева,  $S = 18,64 \text{ м}$ ,  
          - - - справа,  $S = 35,18 \text{ м}$ ;  
дрена 3: ..... слева,  
           $S = 11,86 \text{ м}$



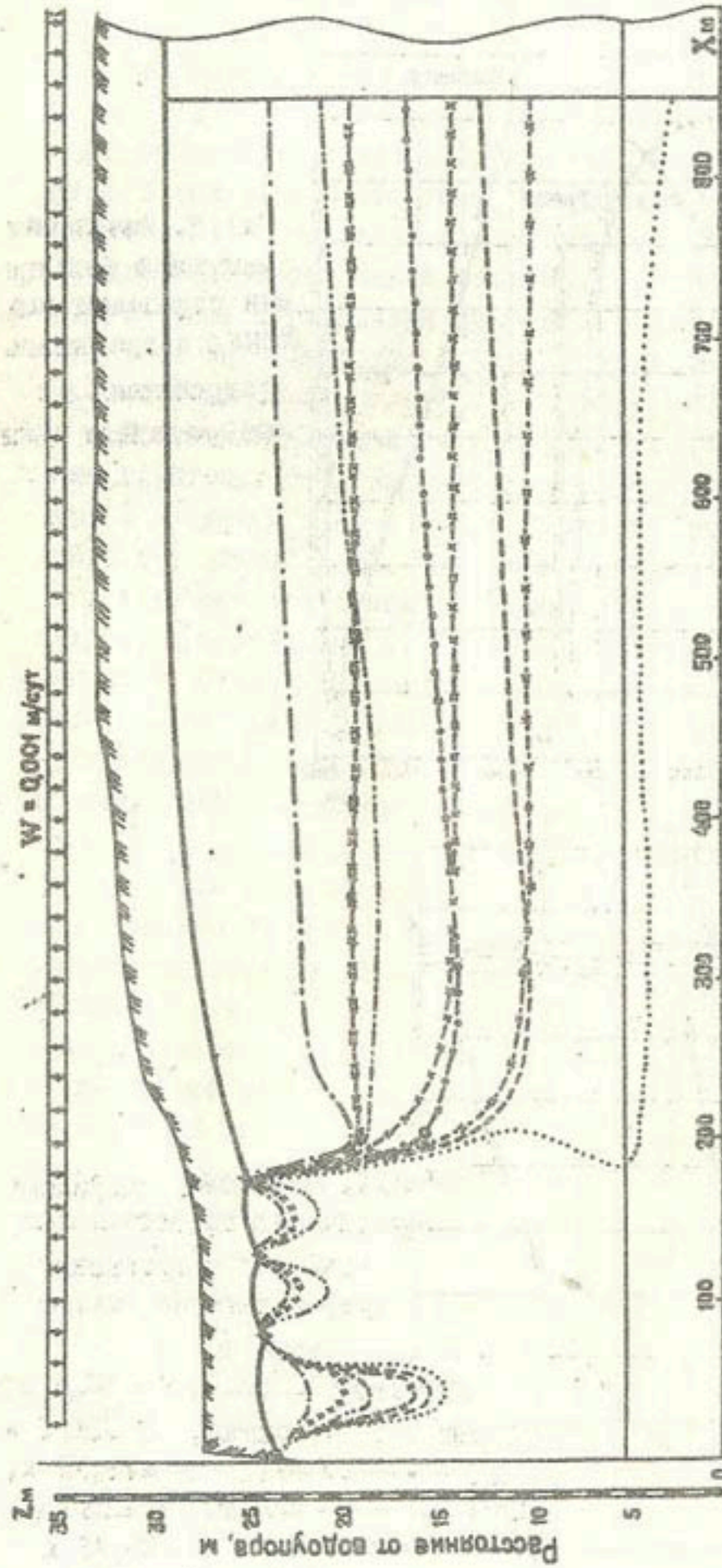


Рис. 5. Результаты расчета солевого режима грунтовых вод: изолинии минерализации 10 г/л на моменты времени: I период, II период, III период, IV период, V период; изолинии минерализации 20 г/л на моменты времени: I период, II период, III период, IV период, V период.

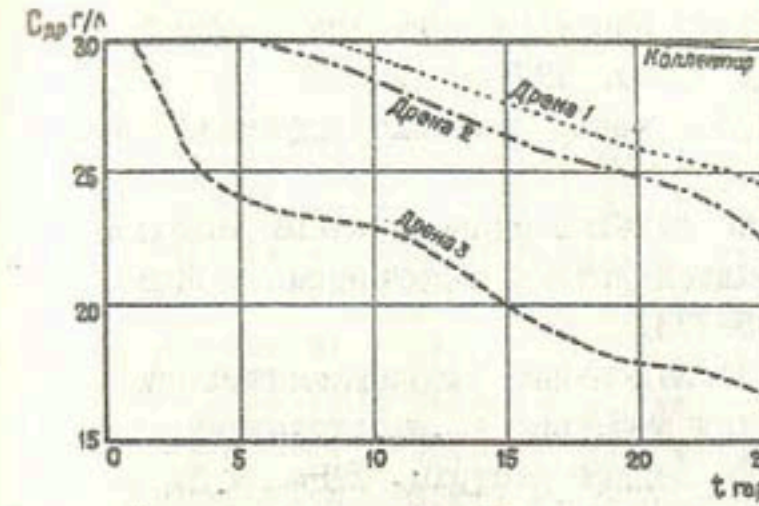


Рис. 6. Динамика минерализации стока дренажных устройств за расчетный период при промывном режиме орошения

Итак, предложенный метод позволяет выполнить анализ структуры фильтрационных потоков грунтовых вод к коллекторно-дренажной сети, проследить за динамикой минерализации грунтовых вод и дренажного стока в условиях расчлененного рельефа и прогнозировать ее.

#### Использованная литература

1. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. - Киев: Наукова думка, 1981. - 284с.
2. Насонов В.Г., Закс И.А. Регулирование уровня грунтовых вод горизонтальным дренажем в условиях расчлененного рельефа. - Науч. тр. САНИИРИ, Ташкент, 1981, вып. 166, с.74-86.
3. Гольцов Ю.Я., Пылев Н.П., Сарабренников Ф.В. Учет дренающего действия расчлененного рельефа при расчете параметров горизонтального дренажа. - В кн.: Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции по проектированию, строительству и эксплуатации закрытых дренажных систем в зоне орошения. Ташкент, 1981, с.47-48.
4. Гольцов Ю.Я., Пылев Н.П., Сарабренников Ф.В. Расчет параметров горизонтального дренажа. - Гидротехника и мелиорация, 1985, № 6, с.44-47.
5. Гольцов Ю.Я. Прогноз динамики работы дренажных устройств в период вегетации с учетом рельефа местности. - Науч. тр. Ин-т "Среднеазиатгидропроект", Ташкент, 1984. Основания параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов, с.3-10.
6. Гольцов Ю.Я. К расчету неустановившейся фильтрации грунтовых вод со свободной поверхностью. - Науч.тр. ТашГУ, Ташкент, 1979, вып.590, с.41-47.



7. Веригин Н.Н. и др. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. - М.: Колос, 1979. - 336с.
8. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. - М.: Наука, 1977. - 664с.
9. Эмих В.Н. Сопоставление приближенной и точной моделей фильтрации при дренажных промывках почв с водоупором. - Изв. АН СССР. МЖГ, № 3, 1982, с. 168-173.
10. Хублярян М.Г. и др. Исследование гидродинамической задачи фильтрации и конвективной диффузии в неоднородных и анизотропных пористых средах. - Водные ресурсы, 1984, № 3, с. 23-29.
11. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. - М.: Наука, 1971. - 552с.

УДК 631.67:626.810.3

В.А.Злотник, канд. техн. наук,  
ст. науч. сотр. (ЦНИИКИВР)  
А.Н.Морозов, гл. спец.  
(Среднегипроводхозпек)

# НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ВОДАМИ

Анализ стоимостных характеристик подачи оросительной воды и организации орошения позволяет сделать вывод о том, что стремление к достижению максимального урожая в условиях дефицита воды и повышенной минерализации приводит к неоправданному расходованию водных, денежных и других ресурсов. Неоправданное увеличение оросительных норм вызывает увеличение безвозвратного потребления, рост объемов возвратного стока и ухудшение качества воды источника орошения. Ниже излагается методика выбора режимов орошения в этих условиях, целью которой является получение максимального чистого дохода. В ее состав входят модели водно-солевого режима орошаемого массива и формирования урожая, критерий оптимальности по чистому доходу, а также оптимизационный алгоритм для ЭВМ. Показаны результаты применения методики для выбора режимов орошения и анализа целесообразности промывок на конкретном примере.

Чистый доход от растениеводства вычисляется по формуле

$$D = P_Y Y - P_B \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

где  $P_Y$  - чистая прибыль от выращивания единицы продукции без учета затрат на орошение, руб/ц;  $Y$  - собранный урожай, ц/га;  $P_B$  - затраты на орошение, приведенные к единице объема поданной воды, руб/м<sup>3</sup>;  $Q$  - величина поливной нормы, м<sup>3</sup>/га;  $n$  - число поливов за сезон.

Модель водно-солевого режима корнеобитаемого слоя позволяет выполнить его прогноз для различных режимов орошения. Модель формирования урожая на основе прогноза водно-солевого режима дает исходные величины для оценки режима орошения с точки зрения определения возможных потерь урожая по чистому доходу в денежном выражении. Применение оптимизирующих алгоритмов обеспечивает выбор режима орошения, оптимального из всех возможных по чистому доходу. При этом варьируются даты и нормы поливов.

Дискретная модель водно-солевого режима корнеобитаемого слоя позволяет по влажности  $W_t$  и минерализации почвы  $C_t$  в  $t$ -е сутки методом баланса вычислить соответствующие величины на  $(t+1)$ -е сутки. (Влажность определяется влагозапасами корнеобитаемой зоны, мм; минерализация почвы - содержанием солей в пасте, получаемой полным насыщением почвенного образца корнеобитаемого слоя водой, мг.экв/л) Уравнения из [1,2,3] имеют вид:

$$W_{t+1} = W_t + P_t - \Delta_t, \quad \Delta_t = \begin{cases} P_t - \delta_t, & P_t > \delta_t, \\ 0, & P_t \leq \delta_t; \end{cases} \quad (2)$$

$C_{t+1} = [C_t(PB - 0,5\Delta_t) + S_t + Q_t^k M_t] / (PB + 0,5\Delta_t)$ ,  
где  $P_t = Q_t - E_t + I_t + Q_t^k$  ( $\delta_t = NB - W_t$ ) ( $Q_t$  - осадки;  $E_t$  - испарение;  $I_t$  - влагообмен с нижележащими слоями;  $Q_t^k$  -  $k$ -я поливная норма из определенного набора  $K$  возможных поливных норм,  $k=1,2,\dots,K$ ;  $\delta_t$  - дефицит влажности;  $NB$  и  $PB$  - наименьшая и полная влагоемкость;  $S_t$  - солеобмен с нижележащими почвенными горизонтами;  $M_t$  - минерализация оросительной воды (мг.экв/л).

Дискретная модель формирования урожая дана зависимостью

$$Y = Y_m \prod_{j=1}^T f_j, \quad f_j = \begin{cases} 1, & P_j \leq P_{cj}, \\ F_j, & P_j > P_{cj}, \end{cases} \quad t_j < t \leq t_{j+1}, \quad (3)$$

где  $Y_m$  - максимальная урожайность, возможная в данных условиях при идеальном водно-солевом режиме, ц/га;  $f_t$  - суточный редук-



ционный коэффициент;  $P_{cj}$  - критическое значение суммарного потенциала почвенной влаги, атм [3,47];  $F_j$  - безразмерный редукционный коэффициент урожайности  $j$ -й фазы развития растений ( $0 < F_j < 1$ );  $t_j$  - дата начала  $j$ -й фазы. Учет возможных потерь осуществляется суточными редукционными коэффициентами. Каждые неблагоприятные (стрессовые) сутки величина потенциального урожая умножается на этот коэффициент. Неблагоприятными считаются сутки, когда суммарный потенциал почвенной влаги, вычисляемый по формуле  $P = \psi(W) + \varphi(W, C)$ , превосходит его критическое значение по данной фазе развития растений. Функции  $\psi(W)$  - зависимость матричного потенциала от влажности и  $\varphi(W, C)$  - зависимость осмотического потенциала от влажности и минерализации определяются при обобщении экспериментальных данных о гидрофизических параметрах почв и почвенных растворов [4,5]. В результате вычисляются суточные потери урожая:

$$\Delta Y = Y_{t+1} - Y = Y_{t+1}(1 - f_t), \quad Y_t = Y_{t+1} f_t.$$

На основе моделей водно-солевого режима и формирования урожая строится функция

$$D_t = P_Y Y_m - \sum_{t=1}^T \Delta D_t, \quad \Delta D_t = P_Y \Delta Y_t + P_B Q_t^K, \quad (4)$$

где  $\Delta D_t$  - суточные потери чистого дохода, выраженные через суточные потери урожая. При  $t = I$  функция совпадает с чистым доходом за сезон (I):  $D = D_I$ .

Сепарабельный критерий качества с помощью (I) и (4) для оптимизации вычисляется методом динамического программирования [6]. С этой целью вводится функция  $L_t(W_t, C_t) = \max_{Q_t^K} D_t$ ,

называемая функцией Беллмана. Для нее стандартными методами получается функциональное уравнение

$$L_t(W_t, C_t) = \max_{Q_t^K} \{ L_{t+1}(W_{t+1}, C_{t+1}) - \Delta D_t \}, \quad (5)$$

$$Q_t^K, K = 1, 2, \dots, K,$$

в котором величины влажности и минерализации в моменты времени  $t$  и  $t+1$  связаны уравнениями (2). Имея зависимость функции  $L_{t+1}$  от обоих аргументов, можно установить условно-оптимальные значения поливных норм и зависимость функции  $L_t$  от своих аргументов. В качестве граничного условия используется значение функции  $L_T = P_Y Y_m$ .

Дальнейшие этапы процедуры математической оптимизации (дискретизация состояний по влажности, минерализации; поиск условно-оптимальных управлений; расчет функции Беллмана, оптимального режима) являются стандартными [1,3,6]. После завершения расчета оптимального режима орошения за оросительный сезон определяются все составляющие водно-солевого баланса (оросительная норма, испарение, глубинный сброс, внесение солей с оросительной водой и их поступление в грунтовые воды, засоление за оросительный сезон), динамика урожайности и чистый доход.

Методика реализована в виде комплекса программ для ЭВМ ЕС и использована для оптимизации режимов орошения и промывок.

Рассмотрим применение методики с вышеуказанными целями для условий Кершинской степи:

- почвы орошаемого массива сложены легкими суглинками;
- мелиоративный режим - автоморфный;
- максимальная (потенциальная) урожайность при современном уровне агротехники - 30 ц/га;
- стоимость продукции с учетом налога с оборота - 40 руб/ц;
- затраты на орошения, приведенные к 1 м<sup>3</sup> воды, - 0,05 руб/м<sup>3</sup>.

По методике [7] оросительная норма для перспективного периода составит 770 мм, а с учетом рекомендаций [8] при использовании минерализованных вод она увеличивается на 10% и распределяется на 7 поливов с 15-дневным интервалом с начала оросительного сезона. Результаты расчетов орошения водой с минерализацией 10 мг.экв/л по натрию ( $\sim 2$  г/л плотного остатка) при разном начальном засолении почвы и указанном режиме приведены в табл. I в сравнении с оптимальными режимами, рассчитанными по предлагаемой методике. Здесь  $S_0$  и  $S_t$  - фактическая минерализация почвы в корнеобитаемой зоне в начале и конце оросительного сезона соответственно.

Оптимизация режимов была выполнена при следующих условиях:

- минимальный возможный межполивной интервал - 10 сут;
- допустимые поливные нормы - 80, 100 и 150 мм.

Результаты расчетов свидетельствуют, что при низком уровне начального засоления имеется экономия воды за сезон до 40-50%, с ростом засоления она уменьшается. При засолении  $S_0 = 40 \dots 50$  мг.экв/л (весьма неблагоприятная мелиоративная обстановка) требуется повышения оросительной нормы. Однако чистый доход за се-



Мелиоративные и хозяйственные показатели при различных режимах орошения и разном начальном засолении почвы

| № п/п              | $S_0$<br>мг. экв/л | $S_t$<br>мг. экв/л | Число<br>дней<br>стресса | Ороси-<br>тельная<br>норма,<br>мм | Урожай<br>(У), ц/га | Доход (Д)<br>руб./га | Испарение<br>за вегета-<br>цию, мм | Осадки<br>за вегета-<br>цию, мм | Сброс в<br>грунтовые<br>воды за<br>вегетацию,<br>мм |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Традиционный режим |                    |                    |                          |                                   |                     |                      |                                    |                                 |                                                     |
| 1                  | 10                 | 31,3               | 10                       | 850                               | 27,1                | 660                  | 522                                | 27                              | 422                                                 |
| 2                  | 20                 | 36,5               | 16                       | "                                 | 25,5                | 595                  | "                                  | "                               | "                                                   |
| 3                  | 30                 | 41,7               | 26                       | "                                 | 22,6                | 480                  | "                                  | "                               | "                                                   |
| 4                  | 40                 | 46,9               | 58                       | "                                 | 13,9                | 133                  | "                                  | "                               | "                                                   |
| 5                  | 50                 | 52,1               | 96                       | "                                 | 8,2                 | -215                 | "                                  | "                               | "                                                   |
| Оптимальные режимы |                    |                    |                          |                                   |                     |                      |                                    |                                 |                                                     |
| 1                  | 10                 | 27,5               | 0                        | 400                               | 30                  | 1000                 | 466                                | "                               | 0                                                   |
| 2                  | 20                 | 33,4               | 0                        | 650                               | "                   | 875                  | 515                                | "                               | 176                                                 |
| 3                  | 30                 | 35,5               | 0                        | 900                               | "                   | 750                  | 565                                | "                               | 376                                                 |
| 4                  | 40                 | 37,7               | 7                        | 1030                              | 27,1                | 570                  | 567                                | "                               | 506                                                 |
| 5                  | 50                 | 35,7               | 7                        | 1260                              | 26,2                | 412                  | 572                                | "                               | 729                                                 |

зон от реализации оптимальных вариантов выше соответствующих традиционных на 400-600 руб./га, урожайность - не ниже 90 % максимальной за счет учета биологических особенностей культуры и уменьшения числа дней стресса.

Использование предлагаемой методики в целях анализа режима орошения при низком уровне начального засоления в условиях мало-водных лет может дать существенный выигрыш в материальных и вод-ных ресурсах.

При сильном начальном засолении чистый доход за сезон па-дает на 600 руб./га, а оросительная норма должна быть увеличена на 8,6 тыс.м<sup>3</sup>/га. Эти данные указывают на необходимость промыв-ок.

Существенным результатом оптимизации является снижение объема сбросных вод и выноса солей за сезон.

Для оптимизации многолетнего режима орошения минерализо-ванными водами не обходим дополнительный анализ процессов соле-накопления при оптимальных сезонных режимах.

Использование воды с минерализацией 10 мг.экв/л приводит к повышению солезапасов в почве за сезон, если начальная ми-нерализация почвы меньше 35-36 мг.экв/л, и к снижению при боль-ших начальных минерализациях. При начальной минерализации 35-36 мг.экв/л сохраняются стабильные солезапасы. Это значит, что при начальных минерализациях меньше 35-36 мг.экв/л в начале каждого последующего оросительного сезона следует выполнять корректиров-ку режима орошения. Например, при начальной минерализации  $S_0 = 10$  мг.экв/л к концу сезона будет сформирована минерализация  $S_t = 27,5$  мг.экв/л. В следующем сезоне эту минерализацию следу-ет взять в качестве начальной:  $S_0 = 27,5 \approx 30$  мг.экв/л. Из табл. I видно, что в конце второго года минерализация достиг-нет  $S_t = 35,5$  мг.экв/л при оптимальном режиме, соответствующем принятому начальному засолению; чистый доход за сезон снизится на 125 руб./га, вырастут сезонные затраты воды на 2500 м<sup>3</sup>/га. В следующем сезоне начальное и конечное засоление, как видно из табл. I, практически совпадают. Чистый доход за сезон с на-чальной минерализацией  $S_0 = 35-36$  мг.экв/л можно определить интерполяцией по табл. I. Он составит 660 руб./га, соответст-вующая оросительная норма - 9700 м<sup>3</sup>/га. В этот сезон урожай ни-же максимального. Далее солевая обстановка, чистый доход и нор-ма из сезона в сезон стабилизируются, если будет повторяться



Для каждого начального уровня заселения выполняется расчет режима на 1, 2, 3...  $M$  лет, причем в конце каждого цикла определяются нормы промывок  $N_{\Pi}$  ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) по формуле В.Р.Волобуева [9]:

$$N_n = 10^4 \alpha h \lg \frac{S_M}{S_0}, \quad (6)$$

Если полагать, что  $P_n$  - затраты на промывку, отнесенные на 1 м<sup>3</sup> воды (руб./м<sup>3</sup>), то среднеегодовое чистое доход с учетом стоимости промывок через  $M$  лет рассчитывается по формуле

$$D_{cp}^M = \frac{1}{M} \left( \sum_{m=1}^M D_m - 10^4 \alpha h p_n \lg \frac{S_M}{S_0} \right). \quad (7)$$

Среднемноголетний расход воды вычисляется по формула

$$Q_{cp}^M = \frac{1}{M} \left( \sum_{m=1}^M Q^m + 10^4 \alpha h \lg \frac{S_M}{S_0} \right), \quad (8)$$

где  $Q^m$  - оросительная норма за  $m$ -й оросительный сезон с учетом засоления, возникшего в конце  $m$ -I-го оросительного сезона.

## Таблица 2

Показатели эффективности режимов орошения при различных продолжительности периода между прмывками (средне многолетний чистый доход, руб./га; средне многолетний расход воды, м<sup>3</sup>/га)

| №<br>п/п | Начальная<br>минерали-<br>зация почв,<br>мг. экв/л | Продолжительность периода без промывок (М), год |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |
|----------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|          |                                                    | 1                                               |                | 2               |                | 3               |                | 4               |                | 5               |                |
|          |                                                    | Чистый<br>доход                                 | расход<br>воды | Чистый<br>доход | расход<br>воды | Чистый<br>доход | расход<br>воды | Чистый<br>доход | расход<br>воды | Чистый<br>доход | расход<br>воды |
| 1        | 10                                                 | 780                                             | 8400           | 800             | 9250           | 754             | 9400           | 730             | 9475           | 716             | 9520           |
| 2        | 20                                                 | 765                                             | 8700           | 702             | 9400           | 688             | 9500           | 682             | 9550           | 677             | 9580           |
| 3        | 30                                                 | 715                                             | 9700           | 687             | 9700           | 678             | 9700           | 673             | 9700           | 671             | 9700           |
| 4        | 40                                                 | 570                                             | 10300          | 615             | 10000          | 630             | 9900           | 637             | 9850           | 642             | 9820           |
| 5        | 50                                                 | 500                                             | 12600          | 500             | 12600          | 500             | 12600          | 500             | 12600          | 500             | 12600          |



В рассмотренном выше примере при расчете средномноголетнего чистого дохода и расхода воды для легких суглинков хлоридно-натриевого засоления  $\alpha = 1$ , мощность промываемого слоя грунта принята  $h = 1$  м, затраты на промывку, приведенные к  $1 \text{ м}^3$ , приняты равными затратам на орошение:  $P_n = 0,05 \text{ руб./м}^3$ . Результаты сведены в табл. 2.

Из нее следует, что экономически выгоден путь достижения максимума чистого дохода за счет поддержания минимального уровня засоления. Для этого на промывку подаются объемы воды, сэкономленные путем оптимизации отдельных сезонных режимов орошения. При малых оросительных нормах для поддержания низкого уровня засоления используются более значительные объемы воды на промывку, а различия в средномноголетней величине чистого дохода и расхода воды между режимами при различных начальных засолениях почвы становятся менее значительными, чем при сравнении сезонных режимов орошения в табл. 1.

Таким образом, предлагаемая методика проектирования режимов орошения позволяет разумно сочетать противоречивые цели: поддержание высоких урожаев, получение максимального чистого дохода и охрана водного источника от истощения.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Плехонов В.А. Оптимизация условий влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - 118с.
2. Ней П.Х., Тинкер П.Б. Движение растворов в системе почва-растение. - М.: Колос, 1980.
3. Yaron D. et al. A model for optimal irrigation scheduling with saline water. - *Water Resources Research*, 1980, 16, N2 R 257-262.
4. Злотник В.А., Морозов А.Н. Опыт расчетов режимов орошения минерализованными водами. - *Гидротехника и мелиорация*, 1983, № 10, с.65-68.
5. Морозов А.Н., Злотник В.А. Оценка применимости вод повышенной минерализации для орошения хлопчатника. - Науч.тр. Ин-т "Среднеазиатский хлопковод", Ташкент, 1983. Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем, с.80-91.
6. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования. - М.: Наука, 1965.

7. Шредер В.В. и др. Расчетные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейне рек Сырдарьи и Амударьи. - Ташкент: Среднеазиатский хлопковод, 1970. - 292с.

8. Руководство по использованию дренажных вод на орошение сельскохозяйственных культур и промывки засоленных земель. - Ташкент: САНИИРИ, 1980. - 62с.

9. Инструкция по проектированию оросительных систем. Часть УШ. Дренаж на орошаемых землях. ВСН-П-8-74. - М., 1975. - 275с.

УДК 626.824:626.810

С.П.Драй, нач.отд.

Н.В.Дидаш, гл.спец.

В.В.Безуглая, руковод. группы  
(УТПКИ "Тяжпром автоматика")

#### МЕТОДИКА УЧЕТА И ОТЧЕТНОСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ БАССЕЙНА КРУПНОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ АСУ

Обеспечение водой населения и народного хозяйства страны - одна из важнейших государственных задач, решение которой связано с большими капитальными вложениями и эксплуатационными расходами и невозможно без точного и оперативного планирования распределения и учета водных ресурсов.

Рассмотрим на примере бассейна Сырдарьи, как разрешаются вопросы распределения и контроля учета в условиях АСУ.

Названный район - типичный бассейн комплексного использования водных ресурсов. Воды Сырдарьи идут на водоснабжение населения, промышленности, ирригации, рыбного хозяйства и энергетики.

Интенсивное развитие народного хозяйства в среднеазиатских республиках и Казахстане привело к резкому росту водопотребления, что, в свою очередь, вызвало дефицит пригодных к применению водных ресурсов, особенно в маловодные годы.

С целью ликвидации непроизводительных потерь принято решение о создании автоматизированной системы планирования распределения, контроля и учета водных ресурсов в бассейне Сырдарьи.

Организация оперативного и точного учета возможна только при условии функционирования автоматизированной системы управления водными ресурсами.



В состав функциональной схемы АСУ бассейна входит подсистема "Учет и контроль", представляющая собой шесть комплексов задач, в которых осуществляется расчет показателей забора и использования водных ресурсов. Подсистема предназначена для совершенствования организации учета и контроля водопотребления, а также выполнения информационных функций, связанных с обеспечением других подсистем необходимыми для их задач сведениями.

Решение задач подсистемы позволяет:

- обеспечить оперативность получения центральным управлением бассейна информации для анализа водохозяйственной обстановки и совершенствования системы планирования водопользования на перспективу;
- максимально разгрузить управленческий персонал от информационно-канцелярской работы;
- накопить статистические данные по водопотреблению в разрезе объектов водохозяйственного комплекса и отраслей народного хозяйства с целью улучшения планирования использования водных ресурсов на последующие периоды;
- обеспечить контроль выполнения плана водопользования;
- учесть выполнение требований отраслей народного хозяйства на воду.

Как уже говорилось, подсистема "Учет и контроль" включает шесть комплексов задач, а именно:

- учет и контроль выполнения плана водоподачи по территориальному управлению;
- учет и контроль выполнения плана водоподачи по бассейну;
- учет и контроль работы водохранилищ;
- учет выполнения директивных указаний;
- контроль выполнения требований на воду по территориальному управлению;
- контроль выполнения требований на воду по бассейну.

Целью решения комплекса задач "Учет и контроль выполнения плана водоподачи по территориальному управлению" является получение информации о ходе выполнения плана подачи воды по территориальному управлению за декаду, месяц, период и год в разрезе пунктов контроля и управления (ПКУ), республик и отраслей народного хозяйства. Наличие такой информации позволит четко контролировать соблюдение плана водопотребления. Формируемые задачами выходные документы используются управленческим персоналом для

анализа сложившейся ситуации и служат отчетным документом перед вышестоящими инстанциями. Комплекс задач решается на уровне территориального управления (ТУ), но выходные документы используются подразделениями как ТУ, так и центрального управления бассейном.

Комплекс задач "Учет и контроль выполнения плана водоподачи по бассейну" необходим для получения сводных итогов о ходе выполнения плана водоподачи за декаду, месяц, период и год по бассейну в целом и в разрезе территориальных управлений, республик, отраслей народного хозяйства. Получаемая информация дает возможность анализировать сложившуюся водохозяйственную ситуацию и принимать оптимальные решения. Выходные документы используются для составления сводного годового отчета перед вышестоящими инстанциями.

Цель решения задач "Учет и контроль работы водохранилищ" - расчет показателей, характеризующих фактическое состояние водохранилищ бассейна реки: сработку за учетный период, объем наполнения, имеющуюся свободную емкость, боковую приточность, расчет отклонений от установленных режимных параметров и т.д. Комплекс задач решается на уровне территориального управления, но выходная информация передается также на верхний уровень управления и используется соответствующими подразделениями для анализа состояния водохранилищ и принятия решений. Наличие такой информации позволяет судить об имеющихся запасах воды в системе и осуществлять анализ эффективности принятого варианта плана сработки и наполнения водохранилищ бассейна. Выходные документы используются для составления сводного годового отчета о водопользовании и периодической отчетности перед вышестоящими инстанциями.

Комплекс задач "Учет выполнения директивных указаний" предназначен для осуществления контроля за выполнением директив по водоподелию в бассейне Сырдарьи. Указания, поступающие из министерств СССР и союзных республик в виде телеграмм или телефонограмм в подразделения центрального управления бассейном, передаются на ВЦ ЦДП для обработки. Контроль их выполнения осуществляется ежедневно.

Решение задач комплекса "Контроль выполнения требований на воду по территориальному управлению" позволяет получить информацию о выполнении требований на воду отраслей народного хозяй-



ства, ирригации как важнейшего участника ВХК бассейна Сырдарьи в целом и по сельскохозяйственным культурам, за вегетационный период и год. Выходные документы используются подразделениями ТУ для анализа полноты выполнения требований, а также передаются на рассмотрение в соответствующие подразделения центра управления бассейном.

Цель решения комплекса задач "Контроль выполнения требований на воду по бассейну" - получение сводной информации о выполнении требований на воду для полива основных сельскохозяйственных культур, требований на воду важнейших отраслей народного хозяйства за год в целом по бассейну в разрезе республик и территориальных управлений и отдельно для ирригации в вегетационный и не вегетационный периоды.

Выходная документация используется подразделениями центра управления бассейном для анализа полноты выполнения требований на воду участников ВХК бассейна Сырдарьи.

Задачи подсистемы "Учет и контроль" функционируют на базе данных, общей для всей системы; применяется единая система классификации и кодирования информации, принятая в АСУБ Сырдарьи.

Исходная информация с ПКУ в виде специально разработанных и заполненных документов передается в подразделения территориального управления, где она проходит первичную обработку техническими средствами, необходимую для использования при решении задач на уровне территориального управления, а затем по стандартным каналам связи поступает в центральное управление бассейном.

Выходные документы, получаемые в результате решения задач подсистемы, позволяют осуществить анализ эффективности принятого плана и выработать рекомендации по наиболее предпочтительным решениям в планировании водопользования бассейна крупной реки на перспективу.

Кроме того, вся выходная информация используется при составлении сводных годовых отчетов по водопользованию на всех уровнях. Реализация задач осуществлена на ЭВМ СМ-4 и ЕС-1033. Апробирование задач проведено на примерах для водохозяйственных объектов бассейна Сырдарьи, но возможно также их применение для организации учета и отчетности в составе АСУ бассейнов крупных рек.

## И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Технический проект "Автоматизированная система управления водохозяйственным комплексом бассейна р.Сырдарьи". Т.1, кн. 2. Пояснительная записка. Отчет/Ин-т "Среднегипроводхлок". Арх. № 25087. - Ташкент, 1977.

2. Креева Т.А., Хворенков С.Г. Системы автоматизированного учета на предприятии. - М.: Финансы и статистика, 1982.

УДК 626.8:65.012.011.56

Ф.М.Гареев, зав.отд.канд.техн.наук  
(УзНПО "Кибернетика")

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АСУ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Основными принципами, положенными в основу структуры АСУ ВХК, являются профессиональное разделение труда между разработчиками и потребителями системы и разделение всего математического обеспечения (МО) на две части: 1) проблемную, состав и структура которой определяются спецификой объектов и процессов моделирования; 2) систему, инвариантную относительно этой специфики. В свою очередь, структура проблемной части МО имеет ряд черт, общих для различных систем автоматизации моделирования (САМ), на базе которых можно построить ее формальную модель.

Анализ схемы функционирования МО любой АСУ, описывающей процесс автоматизированного моделирования некоторого класса объектов или их частей и решающей круг взаимосвязанных задач, позволяет выделить в составе проблемной части МО уровень семантического описания класса задач. Отметим, что от удачного построения семантической модели класса задач зависит эффективность проблемно-ориентированного языка и в конечном итоге архитектура системы математического обеспечения (СМО).

СМО АСУ ВХК включает:

- подсистему базы моделирования;
- подсистему наполнения базы моделирования;
- подсистему взаимодействия;
- монитор системы.

База моделирования призвана реализовать следующие функции:

- рациональное хранение и сопровождение данных моделируе-



мых систем, манипулирование ими;

- рациональное хранение и сопровождение алгоритмов моделируемых систем, манипулирование ими;

- эффективное конструирование, хранение и сопровождение моделей предметной области, работу с ними.

В соответствии с этим подсистема базы моделирования состоит из следующих комплексов:

- база данных (БД);
- база алгоритмов (БА);
- система моделирования (СМ).

Модель базы данных формально представляет собой некоторый ориентированный ациклический граф Баржа  $G^2$ , заданный на множестве вершин  $X$ .

Множество вершин  $X$  является объединением множеств атрибутов  $A$  и базового множества отношений  $R_0$ :

$$\begin{aligned} G^2(X, G^2), \\ X = A \cup R_0, \\ A = \{a_{i_1}\}, i \in I_1, \\ R_0 = \{V_{i_2}\}, i \in I_2, \end{aligned}$$

где  $I_1$  - множество номеров атрибутов;  $I_2$  - множество номеров базовых отношений.

Библиотека наборов данных (БНД) представляет собой множество  $H^2$  наборов данных  $h_{i_3}$ , организованных в соответствии с концепциями СМО ЕС ЭВМ:

$$H^2 = \{h_{i_3}\},$$

где  $i_3 \in I_3$  - множество номеров наборов данных.

Модель базы данных представляет собой логическую модель набора данных, содержащихся в БНД. В структуру базы данных заложен механизм, обеспечивающий взаимнооднозначное соответствие между множеством  $R_0$  и множеством  $H^2$  наборов данных из БНД:

$$N: R_0 \xrightarrow{1-1} H^2.$$

На модели БД задан язык манипулирования  $L^2$ , который позволяет перемещать и конструктивно строить новые наборы данных на БД.

Сигнатура операций языка манипулирования данными (ЯМД) включает операции объединения, пересечения, отрицания, композиции и др.:

$$\Omega = \{V, \wedge, \vee, \rightarrow, \exists, \forall\}.$$

Существуют правила построения правильных выражений на ЯМД. Каждому выражению  $\mathcal{E}$  из множества выражений  $L^2$  ЯМД соответствует некоторый алгоритм, записываемый в терминах МБД и реализуемый на физических данных БНД. Работу по интерпретации ЯМД осуществляет интерпретатор (ИЯМД).

Управление взаимодействием компонент БД осуществляет программный комплекс системы управления базой данных (СУБД).

Модель базы алгоритмов задается как множество отображений  $F_0 = \{f_{j_1}\}$ , имеющих входные  $V_{j_1} = \text{into}(f_{j_1})$  и выходные отношения  $V_{j_1} = \text{out}(f_{j_1})$ , множество модулей  $M^F = (M = \{m_{j_5}\})_{j_5 \in J_5}$ , множество номеров и взаимнооднозначное отображение  $N_2$ :

$$N_2: F_0 \xrightarrow{1-1} M^F.$$

Множество программных модулей  $M^F$  разбито на классы эквивалентности, каждая из которых задается обобщенным программным модулем  $m_{i_5}$ . Каждый программный модуль  $m_{j_5} (m_{j_5} \in M^F)$  определяется через обобщенный программный модуль  $m_{i_5}$ , определяющие параметры  $V_{i_4} \in (V_{i_4} \in V)$  и отображение  $L_1$ :

$$L_1: MXV \rightarrow M^F.$$

Механизмом, реализующим отображение  $L_1$ , является макрогенерация. Если необходимо получить программу  $m_{j_5}$ , соответствующую некоторой функции  $f_{j_1}^0 \in F_0 (f_{j_1}^0 = N_2^{-1}(m_{j_5}))$ , то макрогенератор (МГ) выбирает из библиотеки программных модулей (БПМ) обобщенный программный модуль  $m_{j_2}$ , представляющий макроопределение, написанное на макроязыке, и на основании параметров  $V_{j_4}$  генерирует физический программный образ  $m_{j_5}$ , соответствующий  $m_{j_2}$ :

$$m_{j_5} = L_1(m_{j_2} U_{j_4}).$$

На модели базы алгоритмов задан язык манипулирования  $L_A$ , который позволяет конструировать новые алгоритмы с помощью элементов МБА.

Сигнатура операций языка манипулирования алгоритмами (ЯМА) включает операции объединения, пересечения, композиции и др.:

$$\Omega_A = \{V, \wedge, \vee, \circ, \forall, \exists\}.$$



Существуют правила построения правильных выражений на ЯМА. Каждому выражению  $\ell'$  из множества выражений  $L^A$  ЯМА соответствует некоторый алгоритм, записываемый в терминах МБА и реализуемый путем генерации из БПМ. Работу по интерпретации ЯМА осуществляет его интерпретатор (ИЯМА).

Управление взаимодействием компонент базы данных осуществляет программный комплекс — система управления базой алгоритмов (СУБА).

Система моделирования реализует функции построения и исследования модели. Для осуществления этих работ в СМ имеются программные комплексы: формирования проблемной модели (ФПМ), активация проблемной модели (АПМ) и работа с проблемной моделью (РПМ). Формирование проблемной модели осуществляется в поле моделирования (ПМ) путем выделения ее из модели предметной области (МПО). Отметим, что система моделирования хранит несколько моделей предметных областей БМПО. Каждая модель предметной области состоит из вычислительной модели (ВМПО) и концептуальной модели (КМПО).

Модель предметной области задается как ориентированный граф  $G''$ , заданный на множестве вершин  $X_1$ :

$$G''(X_1, G'')$$

$$X = R \cup F$$

при поставленном условии:

$$\forall f_1, f_2 \in F, \exists G''(f_1) = f^2 \rightarrow \rho_F \cdot out(f_1) = \rho_F \cdot into(f_2)$$

$$\forall f_1 \in F, \exists v \in V, \exists G''(f_1) = v \rightarrow \rho_F \cdot out(f_1) = \rho_R(v)$$

$$\forall f_1 \in F, \exists v \in V, \exists G''(v) = f \rightarrow \rho_V(v) = \rho_F \cdot into(f)$$

Концептуальная модель представляет собой множество понятий  $\Pi$ , встречающихся в БМПО. На множестве  $\Pi$  задана структура понятий графом  $G''(\Pi, G'')$  и функции взятия концептов  $\rho_R$  и  $\rho_F$ :

$$\rho_R: R \rightarrow \Pi$$

$$\rho_F: F \rightarrow \Pi$$

Для задания конструкции модели предметной области и работы с библиотекой существует язык описания предметной области (ЯОПО) и реализующий его интерпретатор (ИЯОПО).

Подсистема наполнения базы моделирования реализует функции по наполнению базы данных и базы алгоритмов.

Подсистема взаимодействия призвана осуществить работу по организации диалога и распознаванию жаргонных слов входного языка (названия данных и процессов).

Монитор системы управляет работой всех программных единиц.

В функциональной структуре СМО АСУ ВХК можно выделить три основные технологические функции:

- наполнение базы моделирования;
- построение модели предметной области;
- моделирование.

Предполагается, что функции наполнения базы моделирования и построения модели предметной области выполняются в пакетном режиме, а функция моделирования — в диалоговом. Технологическая функция СМО построения базы данных осуществляет работы по организации библиотеки наборов данных и модели базы данных на основе физического набора данных на входе и текста описания структуры набора на языке описания данных. Кроме этого, в обязанности указанной технологической функции входит формирование библиотеки программных моделей из макроопределений, написанных на макроязыке, модели базы алгоритмов, описанной на входе в виде текста на языке  $L$ , описание алгоритмов и построение словаря словооснов.

Технологическая функция построения модели предметной области предназначена для выполнения работ, связанных с построением модели предметной области. Предполагается, что пользователь описывает множество объектов и процессов предметной области, отношений между ними на языке логического описания и формирует пакет описания предметной области. ИЯОПО анализирует и проводит необходимые построения, связанные с идентификацией объектов, отношений и процессов из текста, приводит к стандартному внутреннему виду и формирует информационные модели предметной области: вычислительную и семантическую (КМПО).

Технологическая функция моделирования является основной, предназначенной для непосредственного моделирования в предметной области, в отличие от подготовительных технологических функций построения базы моделирования и построения модели предметной области. Она состоит из трех этапов: формирование прикладной модели; активация ее; работа с ней.

Каждый из этапов реализуется программными компонентами подсистемы базы моделирования (БМ), которые соответственно называются:



- формирователь прикладной модели (ФПМ);
- активация прикладной модели (АПМ);
- работа с прикладной моделью (РПМ).

Технологическая функция моделирования СМО АСУ ВХК реализуется в диалоговом режиме, поэтому функционирование начинается с передачи управления от ядра монитора (ЯМ) подсистеме взаимодействия (СВ). Последняя обеспечивает лингвистическую проблемную ориентированность СМО путем предварительной внесистемной формализации категорий "естественного" проблемно-ориентированного языка моделирования. В состав СВ входят структуры данных, хранящих лексикограмматическую и структурную информацию и комплекс обслуживающих программ.

Основные функции подсистемы взаимодействия:

- хранение лексико-грамматической информации в словаре словооснов;
- пополнение и корректировка лексико-грамматической информации;
- поиск и выдача лексико-грамматической информации, необходимой для анализа и синтеза текстов;
- обеспечение формата диалога с пользователем;
- анализ текстов проблемного и внутреннего языка;
- конструирование текстов проблемного и внутреннего языка.

Работа подсистемы взаимодействия заключается в идентификации жаргонных описаний ситуаций в проблемной модели с последующим представлением ситуации во внутреннем представлении системы.

На этапе формирования прикладной модели предполагается, что программная компонента ФПМ осуществляет:

1) анализ текста пользователя с описания прикладной модели в терминах ситуаций на модели предметной области, последующее выделение корректной прикладной модели из модели предметной области и перемещение ее в поле моделирования (ПМ);

2) анализ прикладной модели, выбор траекторий моделирования и членение модели на шаги моделирования от ситуации  $S_i$  к ситуации  $S_{i+1}$ ;

3) формирование схем алгоритмов каждого шага моделирования на модели базы алгоритмов.

На этапе активации прикладной модели предполагается, что программная компонента АПМ осуществляет:

1) генерацию синтезированных схем программ;

- 2) трансляцию сгенерированных схем программ;
- 3) планирование вычислительного процесса и редактирование программных модулей.

На этапе работы с прикладной моделью предполагается, что пользователь в диалоговом режиме будет проводить шаги моделирования по траекториям модели, менять направление выполнения шагов в зависимости от значений данных и оценок в каждой ситуации многошагового процесса моделирования. Каждый шаг будет реализовываться выполнением некоторой программы из библиотеки отредактированных программ.

Отметим, что диалоговый язык управления моделированием предоставляет пользователю достаточные возможности для осуществления различных схем моделирования сложных систем.

УДК 621.391:656.254:626.8:65.012.011.56

Н.М.Беленький, канд.техн.наук,

доц.эав.каф.

В.А.Кривописин, ассист.

В.С.Рубин, канд.физ.-мат.наук, доц.

(ТашИИТ)

#### РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛОВ СЕТИ СВЯЗИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Надежность функционирования устройств телемеханики в автоматизированных системах управления водохозяйственными комплексами (АСУ ВХК) во многом определяется качеством передачи сигналов телеуправления (ТУ) и телесигнализации (ТС). Однако до недавнего времени этому вопросу не уделялось должного внимания. Не учитывался и ряд специфических особенностей сети связи телемеханики гидромелиоративных систем (ТМ ГМС), как-то: древовидность структуры; наличие узлов коммутации; множество разветвлений в фидерах; параллельное включение контролируемых пунктов (КП), произвольно распределенных по длине фидера и т.п., - обуславливающих сильно выраженный волновой характер распространения сигналов ТУ и ТС.

Основываясь на общей теории цепей с распределенными параметрами [1], авторы [2] разработали математическую модель расчета условий прохождения сигналов в сложных сетях ТМ ГМС, раз-



лизированную в виде программы "NAY", составленной на алгоритмическом языке ПЛ-1. На базе указанной программы проведен глубокий анализ условий распространения сигналов ТУ и ТС в зависимости от протяженности сети и ее конфигурации, количества подключаемых КП, степени согласованности волновых и входных параметров цепей и устройств, составляющих фидер. Полученные результаты позволили уточнить реальные возможности серийно выпускаемой аппаратуры телемеханики типа ТМ-131 и ТК-132. Некоторые из результатов приводятся ниже.

В линейных структурах, образованных из однородных физических цепей кабельной или воздушной линии (рис. 1), с увеличением числа параллельно подключенных КП наблюдается значительный прирост рабочего затухания сигналов ТУ и ТС, а также усиление волнового процесса их распространения.

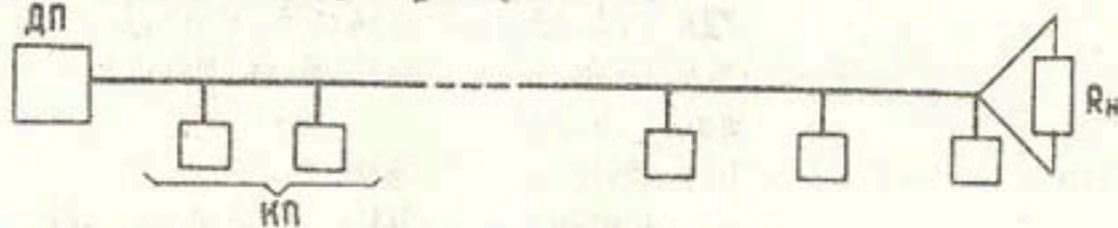


Рис. 1. Линейная структура сети телемеханики из однородных цепей

Последний удаётся существенно снизить, если конец линии нагрузить на согласованное сопротивление  $R_n$ , равное волновому (входному) сопротивлению цепи. Изменение уровня передачи сигналов ТУ ( $P^L$ ) вдоль линии протяженностью 25 км, образованной из жил симметричного кабеля марки ТПП 5х2х0,5, в зависимости от числа подключенных КП и наличия согласованной нагрузки показано на рис. 2 и 3. Результаты расчета рабочего затухания выполнены

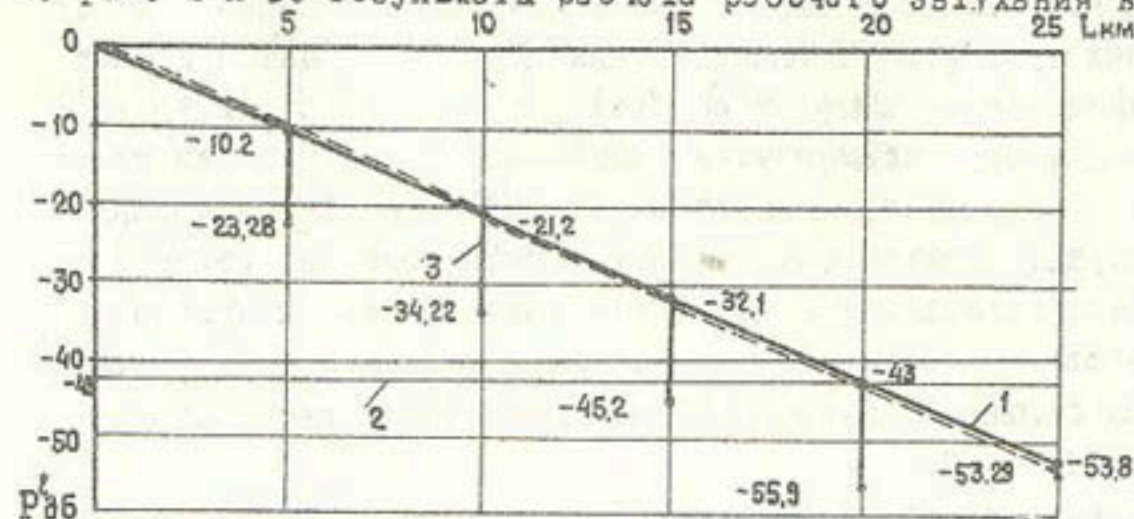


Рис. 2. Зависимость уровня приема сигналов ТУ ( $P^L$ ) от длины цепи с пятью КП, включаемыми в цепь кабельной линии при согласованной нагрузке на конце ( $R_n$ ) 600 Ом: 1 — собственное затухание цепи; 2 — допустимый уровень приема; 3 — затухание, вносимое высоким сопротивлением КП в режиме приема

(здесь и далее) на частоте 2300 Гц, поскольку спектральный анализ сигналов телемеханики в аппаратуре типа ТМ-131 и ТК-132 показывает, что при несущей частоте 1700 Гц и скорости ее модуляции 1200 Бод верхняя частота спектра сигнала, обеспечивающая качество неискаженной передачи, должна быть не менее 2300 Гц.

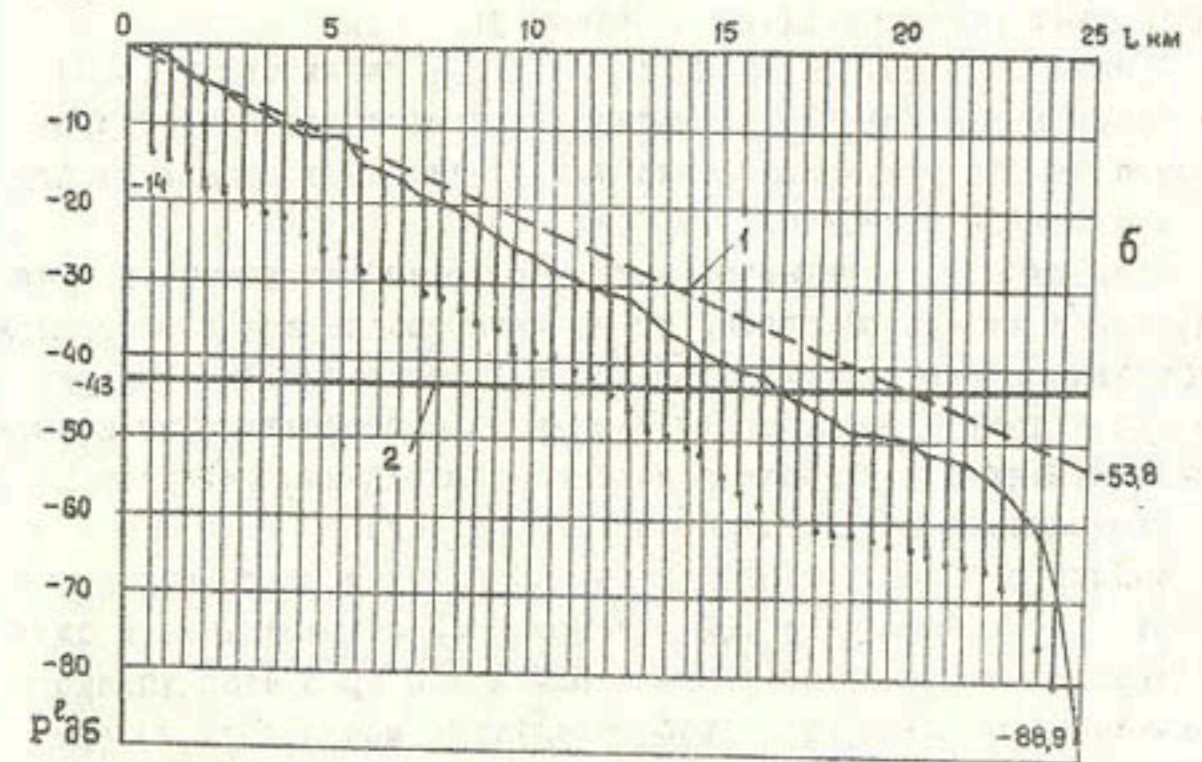
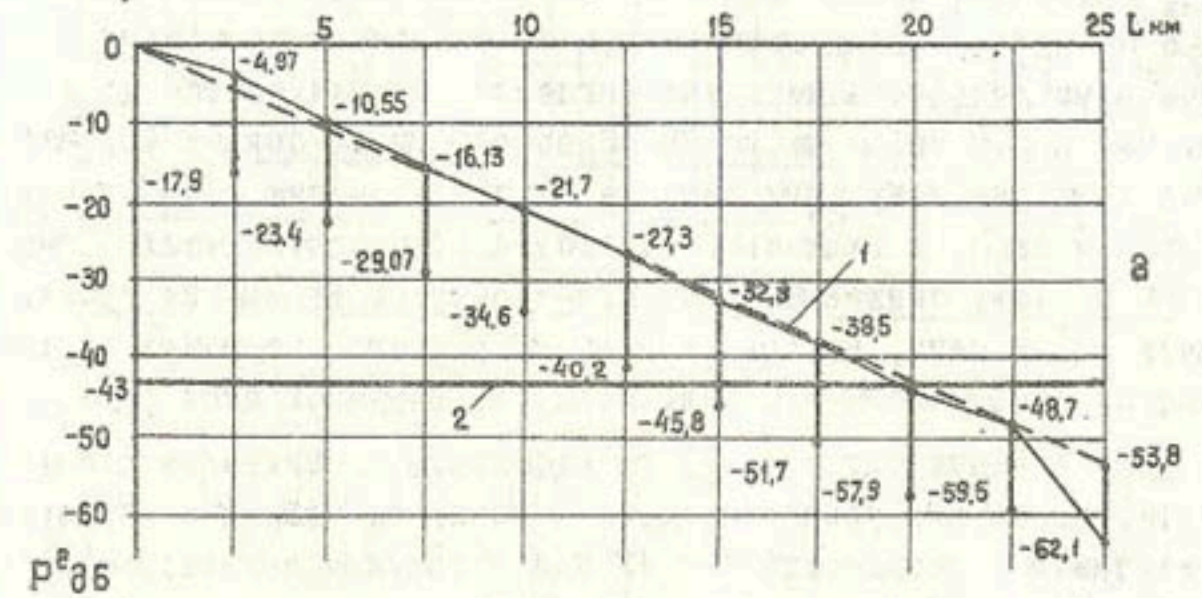


Рис. 3. Зависимость уровня приема сигналов ТУ ( $P^L$ ) от числа КП, включаемых в цепь кабельной линии, при отсутствии согласующего сопротивления  $R_n$  (а — при 10 равномерно подключенных КП; б — при 50 равномерно подключенных КП): 1 — собственное затухание цепи; 2 — допустимый уровень приема



Из рис. 2 и 3 следует, что отсутствие согласующего сопротивления приводит к резкому росту затухания в последних КП и волнового характера его изменения, в силу чего максимальная дальность передачи сигналов ТУ по указанному типу кабельной линии не превышает 12-15 км.

В цепях воздушных линий связи со стальными проводами диаметром 4 мм дальность передачи сигналов обеспечивается до 60 км практически при любом числе КП. Однако если их больше 40, наблюдается снижение затухания сигнала ТУ по сравнению с собственным затуханием цепи, в включение согласующего сопротивления  $R_H$  приводит к резкому снижению волнового характера изменения уровня сигнала вдоль цепи, но при этом не устраняется повышение уровня приема с ростом числа КП, включаемых в воздушную цепь (рис. 4 и 5).

При передаче сигналов ТС по кабельным и воздушным цепям характер изменения уровня сигнала в основном совпадает с характером изменения уровня сигналов ТУ при небольшом количестве КП и значительных расстояниях между ними (рис. 6).

Однако с ростом числа КП в воздушной линии связи (ВЛС) в отличие от кабельной (КЛС), наблюдается явление, при котором вносимое линией затухание резко уменьшается и в отдельных случаях становится отрицательным (рис. 7).

Если линейная структура сети образована из участков цепи воздушной и кабельной линий, то на качество передачи информации существенно влияют условия согласования составляющих фидеров, что приводит к получению рабочего затухания с отрицательным знаком. В этих случаях для улучшения условий прохождения сигналов ТУ и ТС устанавливают согласующие устройства (СУ).

Анализ различных линейных структур показывает, что при коэффициенте отражения более 0,2 установка СУ обязательна. В случае включения КП в местах соединения ВЛС и КЛС требуется установка развязывающего устройства (распределителя мощности), например, ПУ-4Д.

При наличии нескольких фидеров (разветвлений у ДП) условия прохождения сигналов ТУ и ТС те же, что и в линейных структурах. Однако разветвления сети вносят существенные дополнительные затухания, в силу чего (в зависимости от числа разветвлений и их протяженности) снижается дальность передачи. Здесь также существенную роль играет степень согласованности нагрузок, включенных

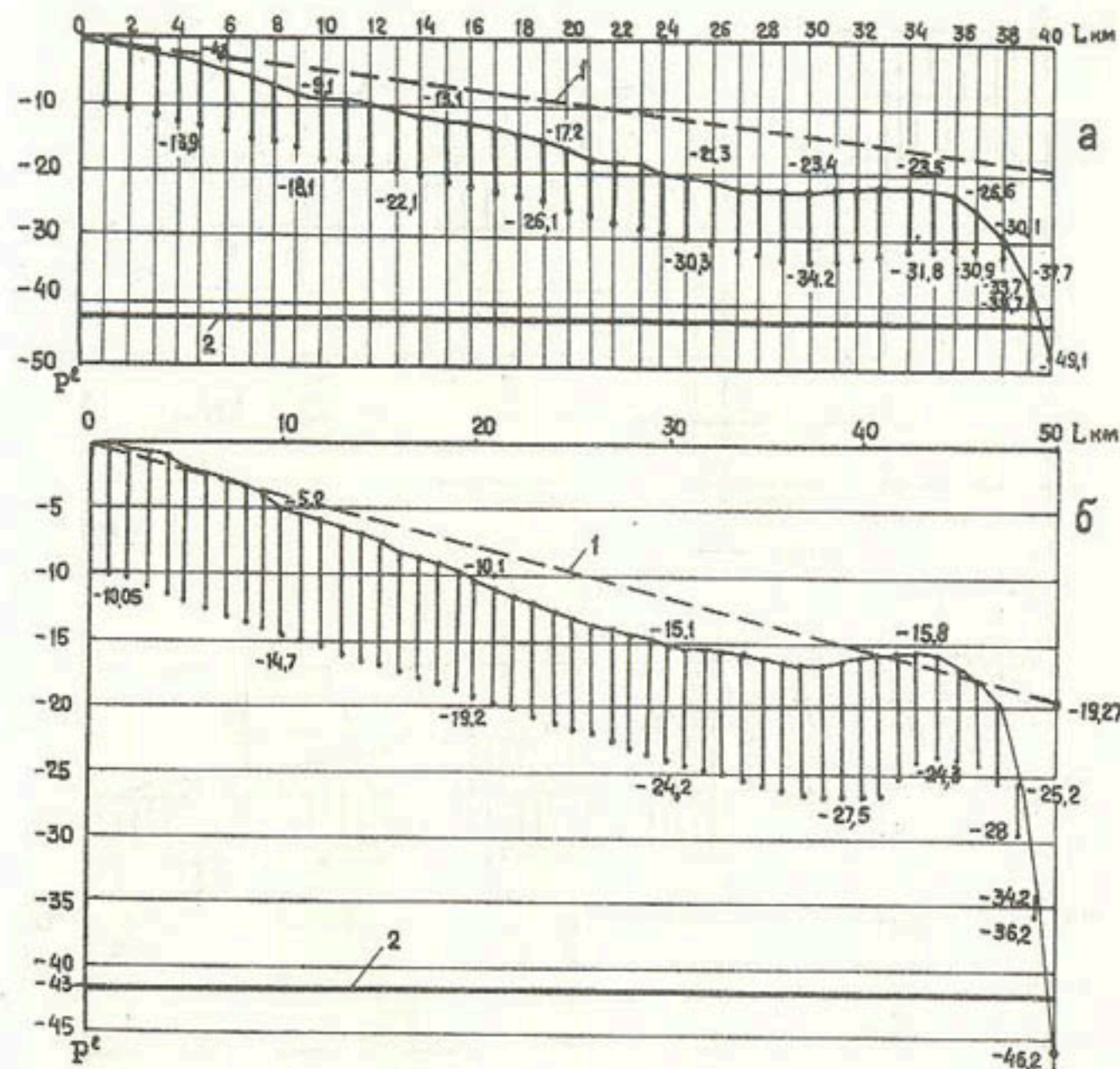


Рис. 4. Зависимость уровня приема сигналов ТУ ( $P^p$ ) от числа КП, включаемых в цепь воздушной линии связи, при отсутствии  $R_H$  в конце цепи (а - при 40 равномерно распределенных КП; б - при 50 равномерно распределенных КП): 1 - собственное затухание цепи; 2 - допустимый уровень приема



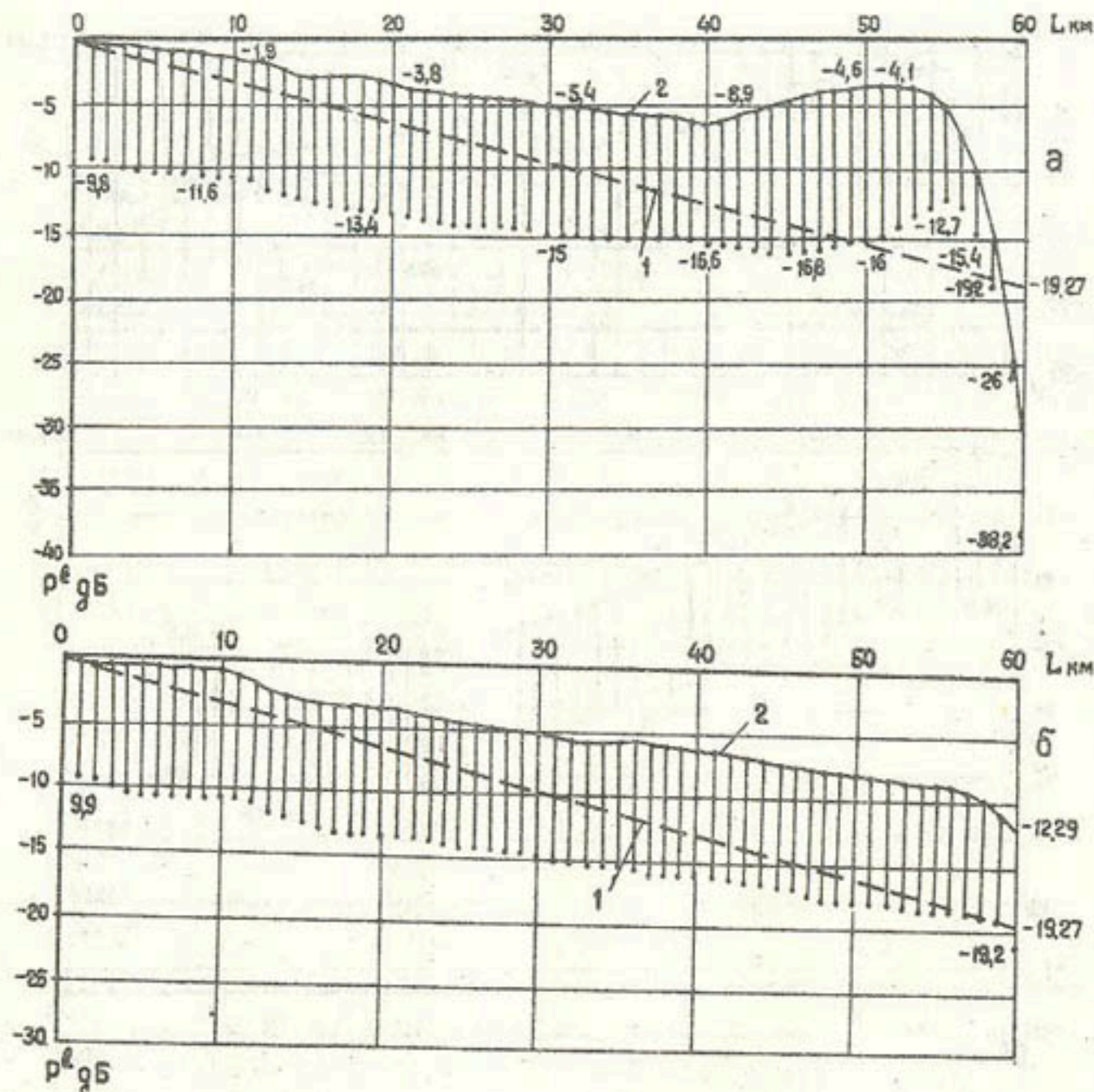


Рис.5. Зависимость уровня приема сигналов ТУ ( $P^e$ ) от  $R_n$  в конце цепи воздушной линии связи (а - при 60 КП, распределенных равномерно вдоль цепи, и отсутствии  $R_n$ ; б - то же, при  $R_n = 1400 \text{ Ohm}$ ): 1 - собственное затухание цепи; 2 - уровень приема сигналов КП

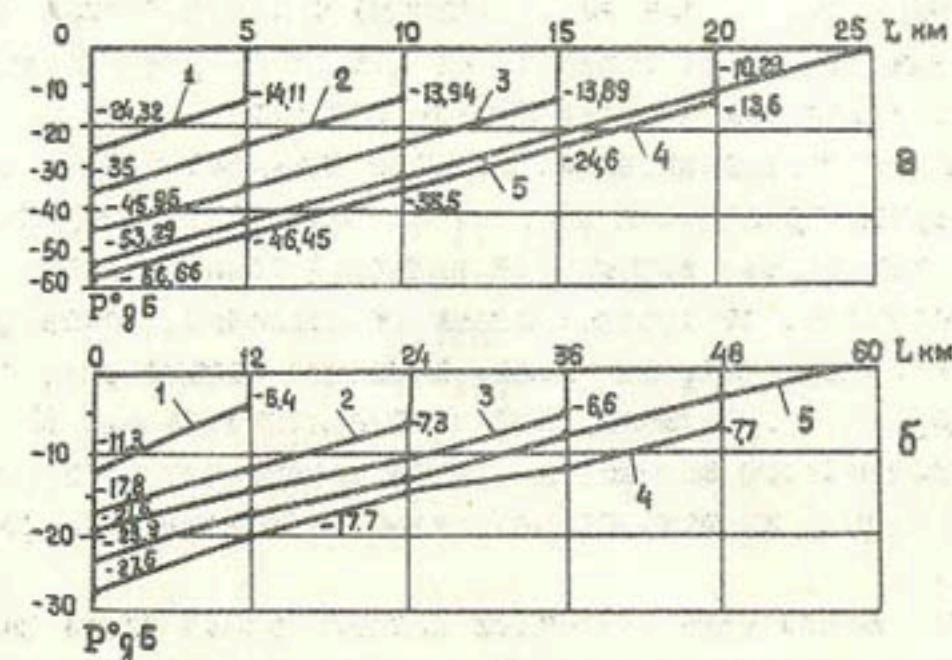


Рис.6. Зависимость уровня приема сигналов ТС ( $P^0$ ) от длины линии (а - при пяти КП, равномерно распределенных вдоль кабельной линии; б - то же, вдоль воздушной линии): 1-5 - уровни приема от соответствующих КП

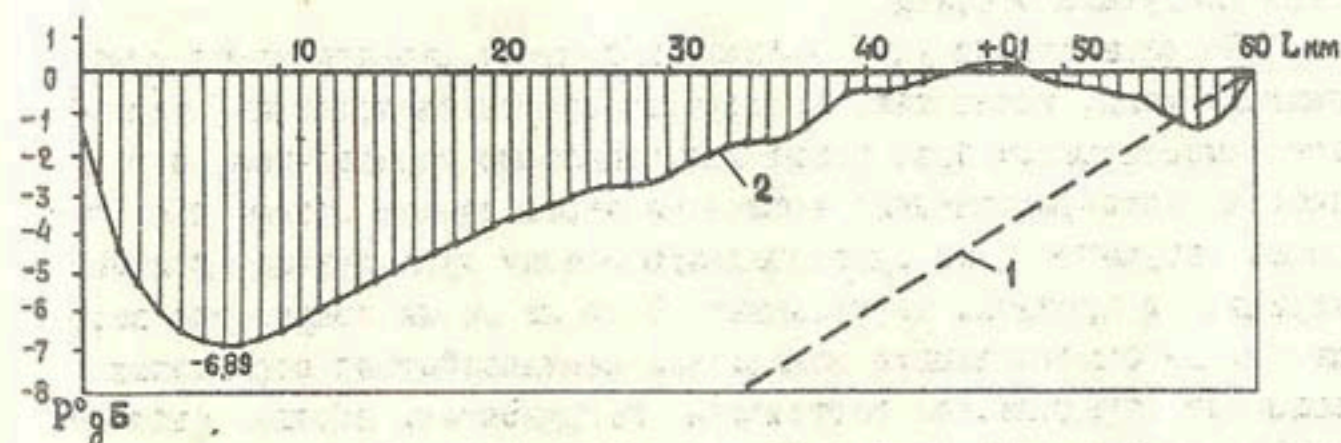


Рис.7. Зависимость уровня приема сигналов ТС ( $P^0$ ) от длины цепи при 60 КП, равномерно распределенных вдоль воздушной линии: 1 - собственное затухание цепи; 2 - зависимость  $P^0$  от длины цепи при передаче от КП-60



по концам фидеров, с волновым (входным) сопротивлением цепей. Для повышения дальности передачи на выходе ДП (канала ТЧ) целесообразна установка распределителя мощности.

Наличие ответвлений вдоль фидеров вызывает более сложные процессы перераспределения энергии по длине сети, обуславливая в ряде случаев сильно выраженный волновой процесс (стоячие волны). В зависимости от протяженности ответвлений, места расположения узлов коммутации, их числа, волновых параметров, составляющих фидера и ответвления, количества подключенных КП возможны случаи существенного занижения уровня приема сигналов (особенно ТС) даже в сетях, имеющих сравнительно небольшую суммарную протяженность.

С целью исключения указанных явлений здесь также рекомендуется установка распределителей мощности в узлах коммутации.

Использование точной методики расчета условий прохождения сигналов с учетом их многократных отражений вызывает в ряде случаев появление рабочих затуханий в отдельных точках цепи с отрицательным значением (рабочих усилений). Однако последнее не противоречит физическим явлениям, имеющим место в линии вследствие волновых процессов, происходящих в ней, и может быть объяснено следующим образом.

По определению [2], рабочее затухание характеризует соотношение между мощностью, которую воспринял бы приемник, если бы его сопротивление было равно сопротивлению передатчика, и мощностью, которую приемник воспринял через данную линию, т.е. рабочее затухание дает сравнительную оценку существующих условий передачи и принятых нормальными. В то же время приращение затухания, вносимого линией вследствие взаимодействия отраженных волн при определенном соотношении нагрузочных, входных (волновых) сопротивлений цепи и при небольшом собственном затухании цепи (при затухании в линии 13-17 дБ взаимодействием отраженных волн пренебрегают), может иметь отрицательное значение. Это явление объясняется тем, что соотношения модулей и углов входных сопротивлений участков линии с распределенными КП создают условия передачи большей мощности приемнику по сравнению с той, которую воспринимает он при непосредственном включении на передатчик [3 и 4].

Изложенные теоретические положения были экспериментально подтверждены на имитаторе цепей воздушных и кабельных линий,

разработанном на кафедре "Проводная связь" ТаШИИТа.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. В сложных сетях телемеханики распространение сигналов ТУ и ТС носит ярко выраженный волновой характер, что вызывает необходимость использования точных методов расчета.

2. Улучшение условий распространения сигналов во многом определяется степенью согласованности волновых параметров сети с входными сопротивлениями нагрузок, включенных по ее концам.

3. Наиболее простой способ существенного повышения дальности передачи в сложных сетях, имеющих разветвления и ответвления, — установка распределителей мощности.

4. В сетях, составленных из разнородных участков воздушной и кабельной линий, необходима установка согласующих устройств, уменьшающих амплитуду отраженных волн и улучшающих тем самым условия распространения сигналов.

Предлагаемые авторами математическая модель, алгоритм и программа расчета для ее реализации позволяют оптимизировать процесс проектирования сложных сетей связи в автоматизированных системах управления ВХК, получая при этом высокую точность и достоверность результатов расчетов.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Каллер М.Я. Теория линейных электрических цепей. — М.: Транспорт, 1978. — 351с.

2. Белянский Н.М., Ким Д.В., Кривошшин В.А., Толстунов Ю.В. Метод оценки качества передачи сигналов по цепям телемеханики гидромелиоративных систем. — Науч. тр. Ин-т "Среднеазиатского гидроэлектростроительства", Ташкент, 1984. Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов, с.90-100.

3. Гроднев И.И., Курбатов Н.Д. Линии связи. — М.: Связь, 1980. — 440с.

4. Акульшин П.К., Казанов И.А., Кульбацкий К.Е. Теория связи по проводам. — М.: Связьиздат, 1940. — 568с.



УДК 626.8:65.012.011.56  
М.А.Цай, гл.конструктор  
(ПО "Водремстроймаш")

# КОМПЛЕКСНОЕ УСТРОЙСТВО ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ МЕЛИОРАЦИИ "УЗБЕКИСТАН"

На современных гидромелиоративных системах наряду с локальной автоматизацией технологических процессов широко внедряется телемеханизация, что позволяет связать в единое целое отдельные части автоматизированной системы [1, с.16-19], осуществить централизованный контроль и управление водными ресурсами. Поскольку оросительные системы состоят из рассредоточенных на большой территории объектов, телемеханизация играет особую роль в организации управления и контроля [2, с.3]. Для телемеханизации существующих и строящихся гидромелиоративных систем применяются устройства телемеханики типа ТМ-201, ТМ-72, "Темир-2М" [3,4]. ТМ-130 [5, с.53-57], ТК-132, КЭТ.51.01 и др.

Все известные устройства телемеханики мелиоративного назначения по используемой структуре линии связи между полуконструктом пункта управления (ПУ) и полуконструкциями контролируемых пунктов (КП) можно классифицировать на группы: к первой отнести устройства, использующие в качестве линии связи выделенные физические двухпроводные пары, а ко второй - работающие по двум проводам выделенной физической линии с использованием третьего общего провода, который обычно заземляется. Устройства первой группы типа ТМ-201, ТМ-130, ТК-132 и т.п., как правило, конструктивно сложны, имеют высокие стоимости, трудоемки в монтаже, наладке и эксплуатации. Поэтому они, несмотря на высокий технический уровень, применяются в мелиорации крайне редко. Наибольшее распространение на оросительных системах получили устройства второй группы типа ТМ-72 и "Темир-2М", отличающиеся простотой конструкции, монтажа, наладки и эксплуатации на объектах. Они более всего соответствуют существующему техническому уровню эксплуатации гидромелиоративных систем, хотя менее помехоустойчивы, имеют сравнительно худшую надежность и высокие требования по электробезопасности из-за больших амплитуд напряжения (около 200 В) между проводами линии связи.

В настоящее время весьма актуальной задачей является создание таких устройств телемеханики, в которых сочетались бы полез-

ные качества обеих групп: технико-экономические показатели второй группы, технический уровень, характеристики надежности и уровни сигналов - первой.

В 1983 г. ПО "Водремстроймаш" Госкомводстроя УзССР, накопив большой опыт разработки, промышленного производства и внедрения различных приборов и устройств для мелиорации, создало при активном содействии институтов САНИИРИ, ВНИИКА мелиорация и "Среднеазиэлектромаш", многих водохозяйственных организаций новое комплексное устройство телемеханики для мелиорации - "Узбекистан". Название его - "Узбекистан" - принято после государственной аттестации на высшую категорию качества первых опытно-промышленных образцов и имело целью дальнейшее поддержание высокого технического уровня и качества. Прежнее устройство телемеханики ТМ-72 (Т-телемеханика, М-мелиорация, 72 - год разработки изделия) морально устарело и было снято с производства.

Одно из существенных отличий "Узбекистана" заключается в использовании варьируемой четырехпроводной структуры линии связи, построенной на двух выделенных двухпроводных парах физической линии. Структурная схема рассматриваемого устройства для четырехпроводного варианта показана на рис. 1.

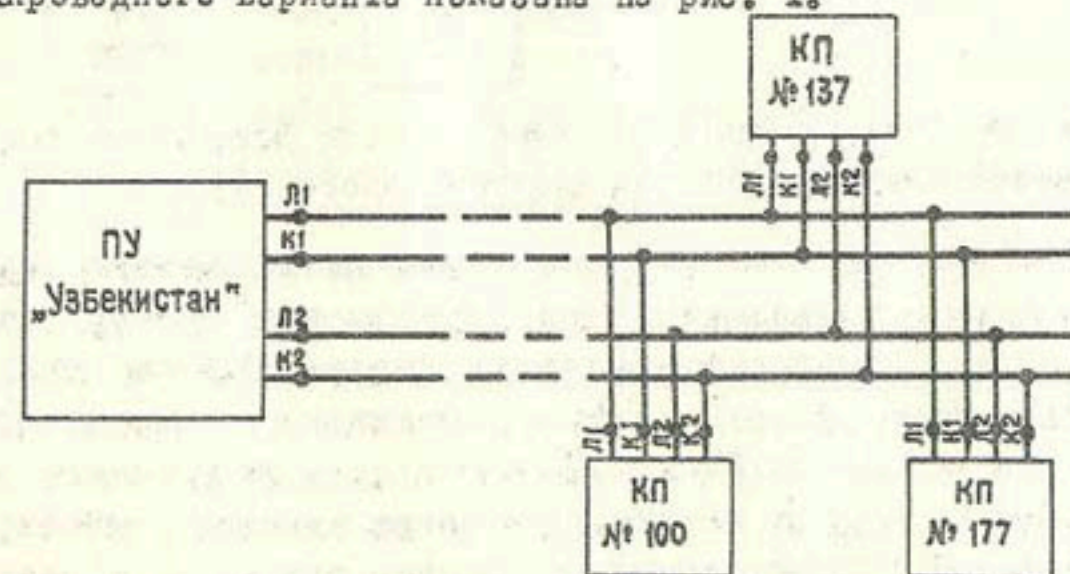


Рис.1. Структурная схема комплексного устройства телемеханики "Узбекистан" для четырехпроводного варианта

При такой структуре линии связи все импульсы выбора КП, телеизмерения, телеуправления и напряжение дистанционного питания аппаратуры КП посылаются с ПУ по отдельной паре проводов L1-K1 или L2-K2. Благодаря этому значительно повышена помехоустойчивость и снижены уровни опасных напряжений в линиях связи.



Дополнительные затраты на организацию четырехпроводной линии незначительны, а при большом количестве КП в одном направлении полностью отсутствуют, так как емкость "Узбекистана" вдвое превышает емкость ТИМ-72.

В исключительных случаях несколько направлений из четырех основных могут быть преобразованы в старую структуру линии с использованием двух проводов линии связи и одного общего обратного провода. Такая структурная схема комплексного устройства телемеханики "Узбекистан" для трехпроводного варианта изображена на рис. 2.

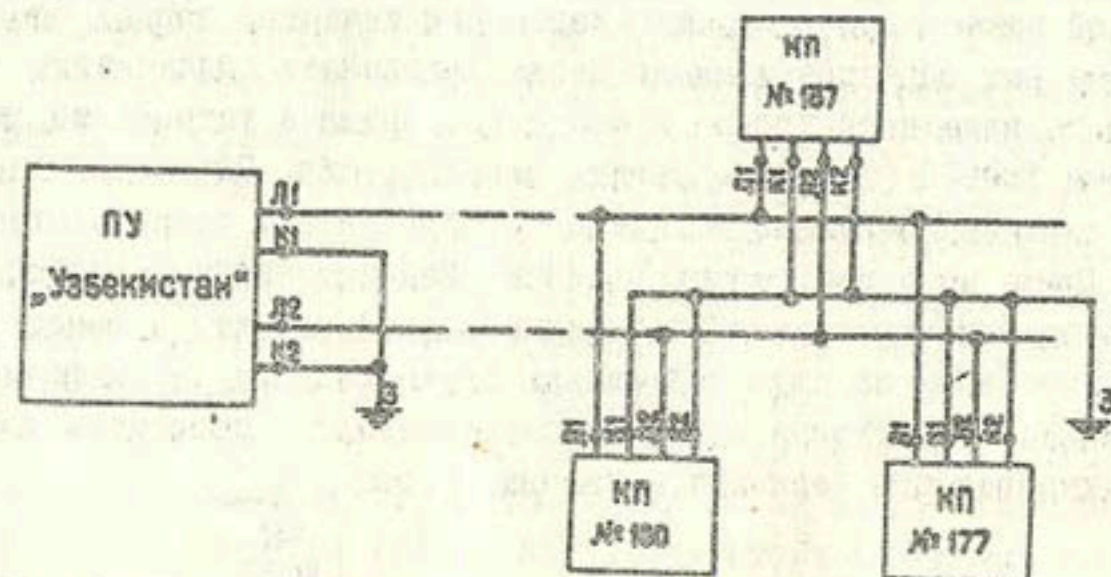


Рис. 2. Структурная схема комплексного устройства телемеханики "Узбекистан" для трехпроводного варианта

При трехпроводной структуре линии связи, которая имеет место в устройствах телемеханики второй группы типа ТИМ-72, "Темир-2М" и КЭТ.51.01, сигналы посылаются по каналам Л1-3 или Л2-3, где 3 — общий обратный провод, обычно заземляемый. Низкая помехоустойчивость каналов Л1-3 и Л2-3 ограничивает дальность действия и значительно сужает область применения названных устройств.

Выбор КП "Узбекистаном" осуществляется тремя последовательно посылаемыми в линию связи импульсами, которыми формируются 64 адресные комбинации. При этом полностью исключаются высокие напряжения между любыми парами проводов. Следует отметить, что в рассматриваемом устройстве учтены новые отраслевые технические требования [6].

Ниже приводятся краткое описание и технические данные устройства для мелиорации "Узбекистан".

Устройство предназначено для централизованного контроля и

управления гидромелиоративными системами по выделенным двухпроводным физическим парам линии связи и осуществляет следующие основные операции:

- кодовое телеизмерение уровня воды, положения затворов и других параметров, преобразуемых в угол поворота;
- телеуправление затворами, двухпозиционными объектами и другими исполнительными механизмами;
- телесигнализацию состояния объектов по вызову;
- активную аварийную телесигнализацию;
- диспетчерскую телефонную связь по линии телемеханики;
- образование пространственных каналов связи для ненормированных телемеханических операций (аналоговое телеизмерение и т.д.);
- непрерывный телеконтроль после телеизмерения или при телеуправлении затвором (динамическое телеизмерение);
- отображения информации на диспетчерском мнемоните;
- регистрацию данных с помощью печатающих устройств;
- обработку и хранение информации средствами вычислительной техники (находится на стадии разработки).

Кроме основных операций, рассматриваемое устройство выполняет множество вспомогательных функций. Пульт управления "Узбекистан" включает прибор для осуществления автоматического контроля состояния линии связи выбранного направления и блокировки исполнения команд при аварийном состоянии линии телемеханики с индикацией вида аварии на передней панели.

Аппаратура ПУ питается от двух источников однофазной сети 220 В, частотой 50 Гц и сохраняет полную работоспособность при наличии напряжения в любом одном источнике. Благодаря специальному стабилизатору питающего напряжения пульт управления нормально работает при большом диапазоне колебания сетевого напряжения: от 154 В (-30%) до 253 В (+15%).

Устройство "Узбекистан" может функционировать в режимах ручного управления (одиночный опрос КП), наладочном (потекстовый опрос выбранного КП) и автоматического циклического опроса КП, начиная с любого номера, в прямом или обратном направлении с временным остановом на любом месте. При необходимости осуществимо повторение исполнения ранее набранной команды специальной кнопкой РП на пульте.

Комплексное телемеханическое устройство "Узбекистан" имеет



следующие технические характеристики:

|                                                                        |              |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|
| - дальность действия, км                                               | до 80        |
| - количество КП на одном направлении                                   | до 64        |
| - количество объектов на одном КП                                      | до 4         |
| - количество направлений, фидер                                        | до 4         |
| - диапазон кодового телеизмерения, см                                  | 400          |
| - погрешность кодового телеизмерения $\pm 2\%$ или $\pm 0,8$ см        |              |
| - количество признаков ТСА                                             | до 7         |
| - время опроса одного КП телеизмерения, с                              | не более 3,6 |
| - время опроса одного КП ТУ-ТС, с                                      | не более 3   |
| - потребляемая мощность, В.А                                           | не более 200 |
| - наработка на отказ при вероятности $P_{\text{дов}} = 0,8, 4$ до 1600 |              |
| - срок службы, год                                                     | 10           |

"Узбекистан" состоит из полуккомплекта ПУ и полуккомплектов КП. Аппаратура ПУ может содержать: пульт управления, диспетчерский телефон устройства связи, устройство регистрации данных, диспетчерский мнемонит, распределительный электрошкаф, соединительные кабели и средства вычислительной техники. В состав аппаратуры КП могут войти: датчик телеизмерения уровня воды (ДУТ-1), датчик положения затвора (ДУТ-2), блок телеуправления (БТУ-М), блок активной аварийной телесигнализации (БТСА-7), устройство связи (ТЭ), исполнительный прибор (ИП-8), авторегулятор уровня воды (РУ-1) и другие приборы.

Первые опытно-промышленные образцы нового устройства внедрены на Вахтской оросительной системе в Таджикистане и Кызылкумском магистральном канале в Казахстане, демонстрируются на ВДНХ СССР и ВДНХ УзССР. Устройство заложено в проекты телемеханизации многих оросительных систем Узбекистана, Казахстана, Таджикистана и других союзных республик.

Главное предприятие ПО "Водремстроймаш" осуществляет выпуск устройств телемеханики "Узбекистан" до 20 комплектов в год. "Узбекистан" в январе 1985 г. аттестован на высшую категорию качества.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Коваленко П.И. Автоматизация мелиоративных систем. - М.: Колос, 1983. - 304с.

2. Коваленко П.И. Принципы автоматизации управления оросительными системами. - Науч. тр. Ин-т УкрНИИГиМ, Киев, 1984. Теоретические и прикладные вопросы автоматизации управления мелиоративными системами, с.3-7.

3. Каталог приборов и средств автоматизации и телемеханизации для мелиоративных систем. - М.: ЦЕНТИ Минводхоза СССР, 1977. Т.4. Устройство телемеханики, щиты, пульты, станции управления, с.4-14.

4. Цай М.А. Комплексное устройство телемеханики ТИМ-72. - Экспресс-информация. Сер. 5, вып.6. - М.: ЦЕНТИ Минводхоза СССР, 1976, с.3-7.

5. Каталог приборов и средств автоматизации и телемеханизации для мелиоративных систем. Дополн. вып. - М.: ЦЕНТИ Минводхоза СССР, 1978. - 84с.

6. ОСТ 33-26-80. Общие технические требования. Система приборов и средств автоматизации мелиоративного назначения. - М.: Минводхоз СССР, 1980. - 13с.

7. А.с. 364121 (СССР). Устройство для приема четырех последовательных сигналов кодоимпульсного вызова на энергообеспеченных объектах. /М.А.Цай, С.Г.Журавлев. - Заявл. с приоритетом 28.07.70 № 1456888; Оpubл. 25.12.72, Б.И., 1973, № 4; М.Кл<sup>HO4</sup> II/00HO4 q I/18. - УДК 621.374.33 (0.88.8)

8. А.с. 525147 (СССР). Комплексное телемеханическое устройство. /М.А.Цай, С.Г.Журавлев, С.Д.Богомолов, В.П.Шипилин. - Заявл. 29.06.72 № 1803616; Оpubл. 15.08.76, Б.И., 1976, № 30; М.Кл<sup>2</sup> G 08C19/28. - УДК 621.398:654.94(088.8)

9. А.с. 602978(СССР). Число-импульсное устройство телеизмерения. /М.А.Цай. - Заявл. 1.08.76 № 2392213; Оpubл. 15.04.78, Б.И., 1978, № 14; М.Кл<sup>2</sup> G 08C19/18 - УДК 621.398(088.8)

10. А.с. 869051 (СССР). Триггер с сохранением информации при перерывах питания /М.А.Цай, С.Г.Жуков, С.М.Мирсамуков, Э.Г.Цай. - Заявл. 17.01.80 № 2871032; Оpubл. 30.09.81, Б.И., 1981, № 36; М.Кл<sup>3</sup>HO3K21/00. - УДК 621.374(088.8)



УДК 621.876:627.833:626.823.3

В.С. Попов, нач. отд.

В.К. Архангельский, руковод. группы  
(Среднегипроводхлопок)

## РАСЧЕТ ГИДРОАВТОМАТА ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ С МАЛЫМ ПЕРЕПАДОМ

Рациональное и экономное расходование оросительной воды, плановое ее распределение возможны только при широкой автоматизации и телемеханизации оросительных систем. Автоматизация включает электрические, гидравлические и смешанные способы. Использование электрических средств связано с доставкой электроэнергии и целесообразно на магистральных и межхозяйственных каналах. На внутрихозяйственных более выгодна гидроавтоматика. Она нашла применение в ирригационных системах, расположенных на землях предгорной зоны орошения и допускающих перепады 0,5 м и выше.

Использование существующих гидроавтоматов на оросительных каналах равнинной зоны ограничено из-за перепадов менее 0,5 м, вследствие чего требуется создание новых конструкций. В институте "Среднегипроводхлопок" разработан универсальный гидравлический подъемник на расход 0,5-20 м³/с, позволяющий применять в качестве регулирующего органа и плоские, и сегментные затворы, обеспечивающий при малых перепадах (3-15 см) горизонтов воды устойчивую, надежную работу и способный с достаточной точностью поддерживать уровень воды на заданной отметке в режимах как малого перепада, так и свободного истечения.

Однако, как показывают практика эксплуатации линейных гидротехнических сооружений и теоретические расчеты для ирригационных систем, допускающих малые перепады (3-5 см), наиболее рационально применение гидроавтоматов с регулирующим органом в виде сегментных затворов. Последние обладают в сравнении с плоскими преимуществами:

- малыми усилиями на преодоление трения в опорах за счет использования подшипников качения, коэффициент трения которых в 80-100 раз меньше, чем в подшипниках скольжения, применяемых в опорах плоских затворов;

- меньшим тяговым усилием, а следовательно и меньшими геометрическими размерами рабочей камеры гидроподъемника за счет значительного удаления места приложения подъемной силы от оси

вращения;

- повышенной плавностью хода;

- более устойчивым поддержанием уровней воды в заданных пределах.

Конструктивно гидроавтомат представляет собой сегментный затвор, кинематически связанный валом с универсальным гидроподъемником (рис. 1). На валу против затвора установлены шкивы, а против поплавка подъемника - зубчатые колеса. Затвор со шкивом связан тросом, а поплавок с зубчатым колесом - зубчатой рейкой.

Подробное описание конструкции гидроавтомата, принципа его действия, назначения и области применения приведено в [1]. В настоящей работе рассматривается расчет геометрии затвора и гидроподъемника.

Все расчеты выполнены для условия расположения оси опорного шарнира сегментного затвора на максимальном уровне воды верхнего бьефа, предельного открытия затвора на угол  $\alpha = 0,75$  рад ( $43^\circ$ ) и функционального соответствия величины открытия затвора ( $H_z$ ) всплыванию поплавка гидроподъемника ( $H_n$ ), т.е.

$$H_z = f(\alpha_i) \rightarrow H_n = V(\alpha_i),$$

где  $\alpha_i$  - изменение угла открытия затвора от 0 до  $43^\circ$ .

По расчетной схеме (рис. 2) определяем радиус затвора:

$$R = \frac{H}{\sin \alpha} = 1,467H, \quad (1)$$

где  $H$  - расстояние от порога до уровня оси опорного шарнира, м.  
Радиус шкива

$$r = 0,1R. \quad (2)$$

Местоположение оси шкива определено координатами  $X$  и  $Y$ , причем  $Y$  задается с учетом габаритов ног затвора и толщины служебного мостика, а  $X$  определяется по формуле

$$X = R_n \cos \alpha_n - r, \quad (3)$$

где  $R_n$  - расстояние от точки подвески затвора к тяговому тросу до оси опорного шарнира, находится как сторона тупоугольного треугольника КПО:

$$R_n = \sqrt{\ell_n^2 + R^2 - 2\ell_n R \cos(90^\circ - \alpha)}, \quad (4)$$







где  $\alpha_n$  - угол точки подвески:

$$\alpha_n = \arcsin \frac{H - \ell_n}{R_n}, \quad (5)$$

$\ell_n$  - высота расположения точки подвески над порогом при опущенном на порог затворе.

Расстояние между осью шкива и опорного шарнира определяется по зависимости

$$R_6 = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (6)$$

По мере открытия затвора точка подвески поднимается и в вертикальной плоскости параллельной оси сооружения описывает дугу радиусом  $R_n$ , при этом тягловый трос наматывается на шкив и укорачивается. Длина намотанного на шкив отрезка троса вычисляется как разность отрезков (рис. 2).

$$L_i = ПБ - П_i B_i = \ell_r - \ell_{r_i}, \quad (7)$$

где  $ПБ = \ell_r$  - длина тяглого троса при опущенном на порог затворе;  $П_i B_i = \ell_{r_i}$  - длина тяглого троса при затворе, поднятом над порогом на величину  $H_{zi}$ . Последняя определяется как общая сторона двух треугольников:  $\Delta O_6 O P_i$  и  $\Delta O_6 P_i B_i$  - и равна

$$\ell_{r_i} = \sqrt{R_n^2 + R_6^2 - z^2 - 2R_n R_6 \cos(\psi + \alpha_n - \alpha_i)}, \quad (8)$$

где  $\psi = \arctg \frac{y}{x}. \quad (9)$

Угол поворота шкива, обеспечивающего подъем затвора на  $H_{zi}$ , определяется по формуле

$$\theta_i = \frac{360^\circ L_i}{2\pi z} + \varphi_i, \quad (10)$$

где  $\varphi_i$  - угол отклонения троса при подъеме затвора (рис. 2)

$$\varphi_i = 90^\circ - \gamma_i - \beta_i - \alpha_n + \alpha_i. \quad (11)$$

Углы  $\gamma_i$  и  $\beta_i$  находятся по зависимостям:

$$\gamma_i = \arcsin \frac{z}{\sqrt{z^2 + \ell_{r_i}^2}}, \quad (12)$$

и  $\beta_i = \arcsin \frac{R_6 \sin(\psi + \alpha_n - \alpha_i)}{\sqrt{z^2 + \ell_{r_i}^2}}. \quad (13)$

При повороте шкива на угол  $\theta_i$  осуществляется поворот зубчатого колеса на этот же угол, поэтому ход поплавка определяется формулой

$$H_{ni} = \frac{\pi d_k}{360^\circ} \theta_i, \quad (14)$$

или

$$d_k = \frac{360^\circ H_{ni}}{\pi \theta_i}, \quad (15)$$

где  $d_k$  - диаметр делительной окружности зубчатого колеса.

Подставив в формулу (15) значение  $\theta_i$  и преобразовав ее, получим

$$d_k = \frac{2z H_{ni}}{L_i + \frac{\pi z}{180^\circ} (90^\circ - \gamma_i - \beta_i - \alpha_n + \alpha_i)}. \quad (16)$$

Учитывая, что открытие затвора связано с ходом поплавка, определяются параметры поплавка, подъемная сила которого маневрирует затвором. При вычислении его параметров принимается во внимание, что подъемная сила затрачивается на преодоление массы затвора и массы самого поплавка, трения уплотнительной резины, трения в шарикоподшипниках вала, муфтах и зубьях зубчатой передачи.

Потери на трение в опорах сегментного затвора в расчетах габаритов поплавка не учитываются, потому что поплавок, запроектованный с учетом сил, легко отрывает затвор от порога и поднимает его в положение, обеспечивающее пропуск расхода из под регулируемого уровня.

Вычисление силы, затрачиваемой поплавком на преодоление сопротивления массы затвора, начинают с определения центра тяжести затвора. Его находят двумя способами. Первый - практический, применяется в случае использования существующего затвора при реконструкции сооружения и выполняется методом замеров и взвешивания в такой последовательности:

- сегментный затвор извлекается из пролета и подвешивается за "ось" опорных шарниров, верхнюю и нижнюю кромки обшивки;

- к точкам подвеса привязываются на тонком шнуре грузики-отвесы; в предполагаемом месте пересечения отвесных шнуров закреплен на растяжках лист фанеры или металлический тонкий лист, куда наносятся следы шнуров. Точка пересечения следов шнуров и есть центр тяжести;

- затвор взвешивают динамометром и устанавливают в пролет сооружения;

- от опорной оси затвора шнуром прослеживают координатные оси и замеряют координаты  $X$  и  $Y$  центра тяжести.

Другой способ определения центра тяжести и его координат - по рабочим чертежам общего вида затвора. Он выполняется в такой последовательности:

- подсчитывается масса ( $p$ ) каждой детали;

- на чертеже наносятся координатные оси;



- расчетом или графическим замером на площадь расположения каждой детали наносится точка предполагаемого центра тяжести;
- измеряются координаты  $x, y$  и по формулам

$$M_x = \rho x_i, \quad (17)$$

$$M_y = \rho y_i \quad (18)$$

подсчитываются моменты от массы каждой детали. Суммируя моменты  $\sum M_x, \sum M_y$ , массы  $\sum \rho = \rho$ , вычисляют координаты  $x_p$  и  $y_p$  затвора по формулам

$$x_p = \frac{\sum M_x}{\rho}, \quad (19)$$

$$y_p = \frac{\sum M_y}{\rho}, \quad (20)$$

радиус центра тяжести

$$R_p = \sqrt{x_p^2 + y_p^2}, \quad (21)$$

угол центра тяжести

$$\alpha_p = \arctg \frac{y_p}{x_p}, \quad (22)$$

плечо тяговой линии  $R_{Ti}$  относительно оси затвора

$$R_{Ti} = R_n \sin(\gamma_i + \beta_i). \quad (23)$$

Сила натяжения троса, поднимающая затвор, определяется из выражения

$$T_i = \rho \frac{R_p}{R_n} \frac{\cos(90^\circ - \gamma_i - \beta_i - \alpha_n + \alpha_i) \cos(90^\circ - \gamma_i - \beta_i - \alpha_n + \alpha_p)}{\sin(\gamma_i + \beta_i)}. \quad (24)$$

Затем находят составляющую тягового усилия, затрачиваемую на преодоление трения резины бокового уплотнения затвора о поверхность закладных частей.

Уплотнение затвора изготавливается из листовой резины толщиной 3-10 мм и шириной 60-100 мм, обладающей высокой эластичностью и сопротивлением истиранию. Оно устраивается по периметру обшивки затвора и прилагается к закладным частям, предотвращая фильтрацию воды.

Донное уплотнение, выполняемое из более толстой резины, прижимается затвором к порогу. При подъеме затвора, благодаря упругим свойствам и малой площади контакта с порогом, резине не присасывается и свободно отделяется. Сопротивление перемещению оказывает только боковое уплотнение (рис. 3), которое устроено следующим образом. Полоса резины одной половиной ширины наклеивается на наружную сторону края обшивки и прижимается металлической полоской. Другая половина, изогнутая под углом  $90^\circ$ , прижимается к поверхности закладной марки. Сила прижатия резины к боковой стенке обусловлена двумя факторами: остаточными упругими

деформациями и давлением воды на наружную поверхность резины.

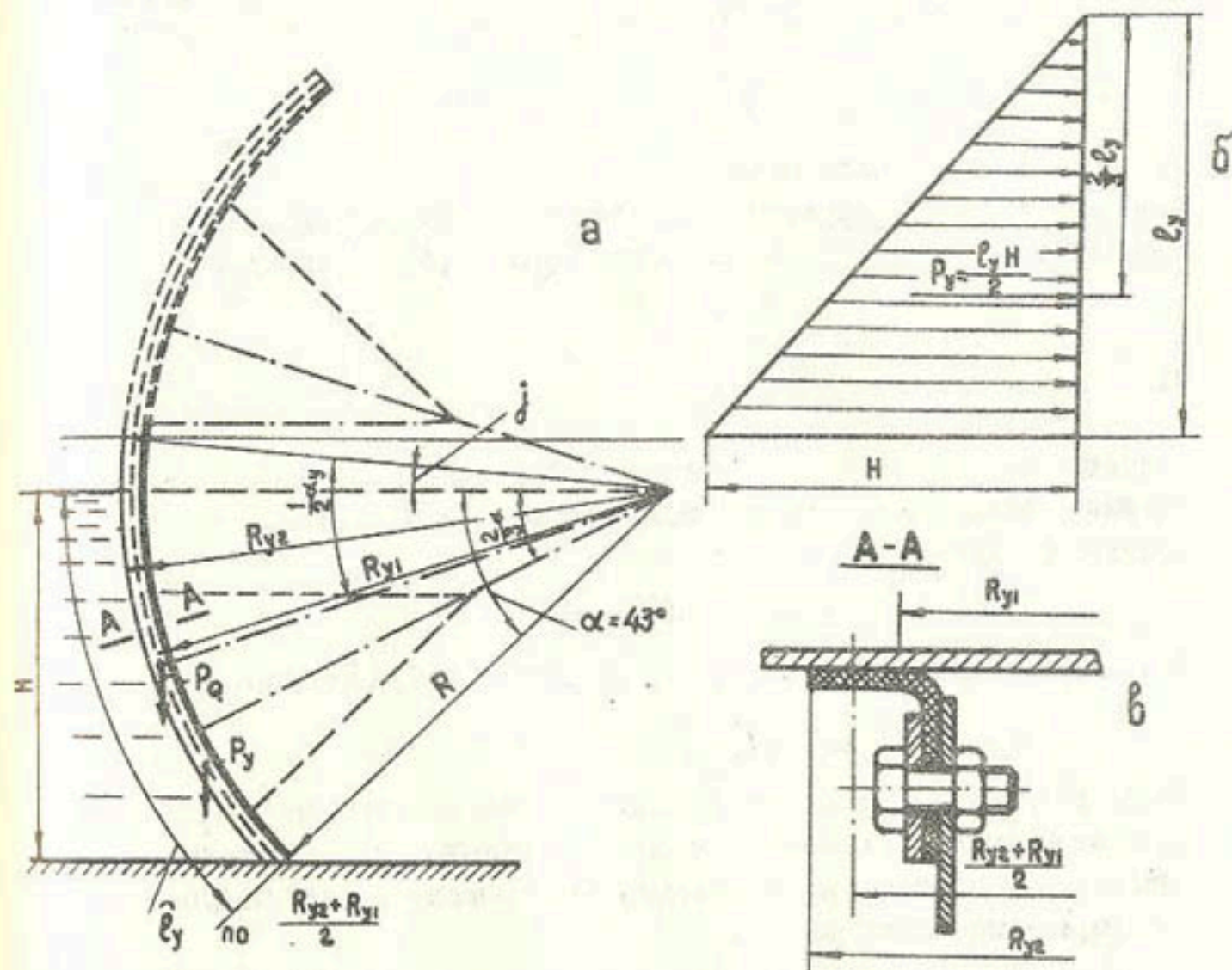


Рис. 3. Расчетная схема для определения усилий на преодоление потерь в боковом уплотнении: а - схема затвора с обшивкой и уплотнением; б - эпюра давления воды на уплотнение; в - поперечный разрез А-А по уплотнению

Остаточные упругие деформации вызваны растяжением волокон резины с наружной стороны изгиба и сжатием волокон с внутренней стороны. Деформационное давление распределено равномерно по площади прилегания резины к плоскости закладных частей (рис. 3, в). Сила  $P_{Qi}$ , затрачиваемая на преодоление трения от давления упругой деформации, определяется по формуле

$$P_{Qi} = 2fQ \left( \frac{\alpha_y - \alpha_i}{\alpha_y} \right), \quad (25)$$

где  $f$  - коэффициент трения смоченной резины по стали равен 0,5;  $Q$  - деформационное давление резины в условиях исследований



(определялось методом весового нагружения).

Составляющая тягового усилия троса, необходимая на преодоление  $P_Q$ :

$$T_{Qi} = P_{Qi} \frac{(R_{y2} + R_{y1}) \cos^2(90^\circ - \delta_i - \beta_i - \alpha_n + \frac{1}{2}\alpha_{yi} + \frac{1}{2}\alpha_i)}{2R_n \sin(\delta_i + \beta_i)}, \quad (26)$$

где  $\alpha_{yi}$  — угол уплотнения ( $\alpha_{yi} = \alpha + 5,482^\circ - \alpha_i$ ).

Давление воды на наружную поверхность резины распределяется не равномерно, а по треугольной эпюре (рис. 3,б) с площадью

$$F_i = \frac{\ell_{yi} h_i}{2}, \quad (27)$$

$$\text{где } \ell_{yi} = \frac{R_{y2} + R_{y1}}{2} \frac{\pi(\alpha - \alpha_i)}{360^\circ}, \quad (28)$$

является длиной части уплотнения, погруженного в воду;  $h_i$  — глубина погружения затвора, изменяющаяся от 0 до  $H$  и определяемая из выражения

$$h_i = \frac{R_{y2} + R_{y1}}{2} \sin(\alpha - \alpha_i). \quad (29)$$

Подставляя значения  $\ell_{yi}$  и  $h_i$  в равенство (27), получаем

$$F_i = \frac{0,125(R_{y2} + R_{y1})^2 \pi(\alpha - \alpha_i) \sin(\alpha - \alpha_i)}{360^\circ}. \quad (30)$$

Силу, затрачиваемую на преодоление трения уплотнения ( $P_y$ ), условно считают приложенной в центре тяжести эпюры давления (рис. 3,б). Но так как уплотнение расположено с двух сторон, она выражается зависимостью

$$P_{yi} = 2\rho f b F_i, \quad (31)$$

где  $b = R_{y2} - R_{y1}$  — ширина полосы резины, прилегающей к плоскости закладной части;  $f$  — коэффициент трения смоченной резины о сталь, равен 0,5;  $\rho$  — плотность воды, равна 1000 кг/м<sup>3</sup>.

После подстановки (30) формула (31) примет вид:

$$P_{yi} = 0,25\rho f (R_{y2} - R_{y1}) (R_{y2} + R_{y1})^2 \left[ \frac{\pi}{360^\circ} (\alpha - \alpha_i) \sin(\alpha - \alpha_i) \right]. \quad (32)$$

Составляющая силы, перемещающей затвор, которая затрачивается на преодоление трения в боковом уплотнении от давления воды ( $T_y$ ), выразится уравнением

$$T_{yi} = \frac{0,5 P_{yi} (R_{y2} + R_{y1}) \cos^2(90^\circ - \delta_i - \beta_i - \alpha_n + \frac{2}{3}\alpha - \frac{1}{3}\alpha_i)}{R_n \sin(\delta_i + \beta_i)}. \quad (33)$$

Под действием выталкивающей силы воды движение поплавка через зубчатую передачу и объединительный вал передается затвору. Потери в зубчатом зацеплении ( $\psi$ ) небольшие и определя-

ются для некорректированного зацепления по формуле из [2,3]:

$$\psi = 2,3f \left( \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \right), \quad (34)$$

где  $f$  — коэффициент трения в зацеплении, равен 0,06–0,1;  $K_1$  — число зубьев колеса;  $K_2$  — число зубьев рейки, равно бесконечности.

Последнее слагаемое  $\frac{1}{K_2} = \frac{1}{\infty} = 0$ ; формула (34) примет вид

$$\psi = 2,3 \frac{f}{K_1}. \quad (35)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) зацепления вычисляется по формуле

$$\eta_3 = 1 - \psi. \quad (36)$$

Потери на трение в муфтах и шарикоподшипниках объединительного вала, включающего вал со шкивами, вал с зубчатыми колесами и соединительный вал, учитываются действием сил от затвора, приложенных через шкивы, и от поплавка, приложенных через зубчатые колеса к шарикоподшипникам опор (рис. 4):

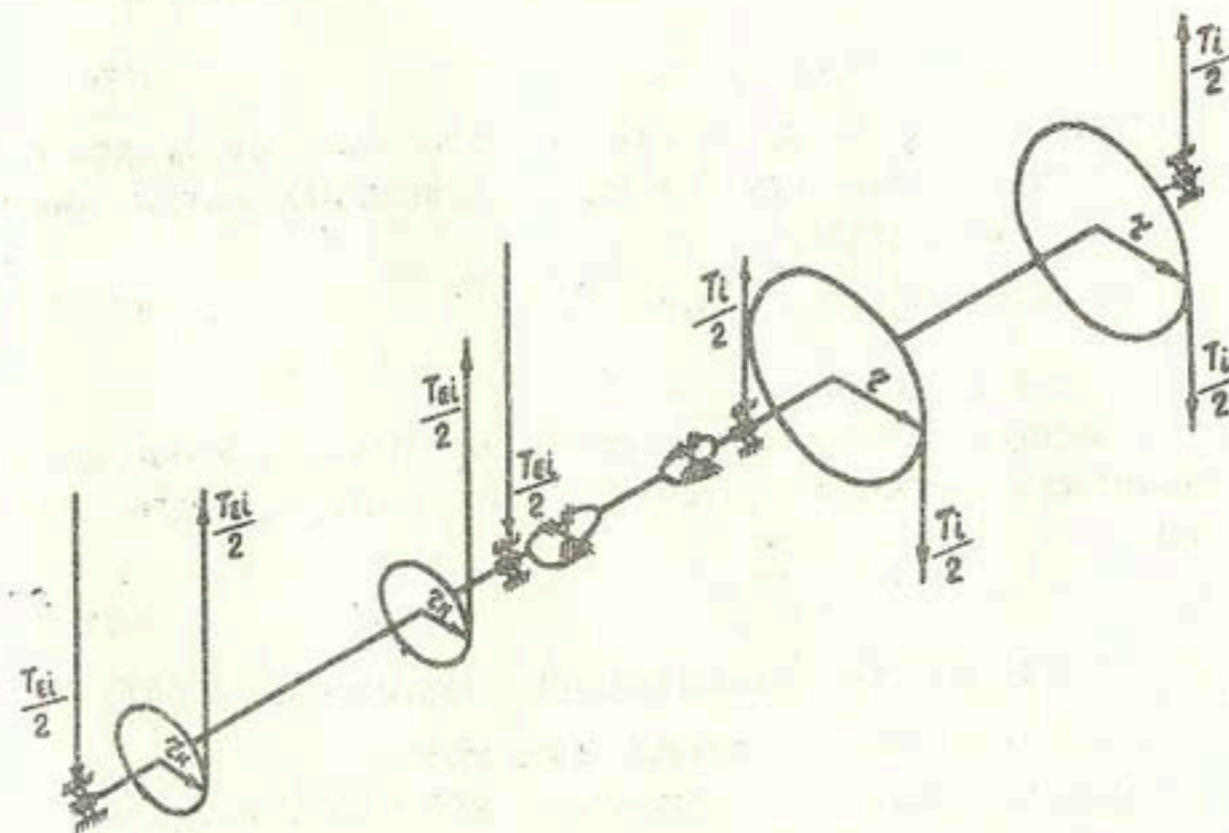


Рис. 4. Кинематическая схема передаточного механизма с нагрузками, действующими на валы, опоры, шкивы и колеса



Момент трения в шарикоподшипниках вала со шкивами выражается зависимостью

$$M_{\pi 3} = [T_i \pm (T_{yi} + T_{qi})] f_n \frac{\sum d_{\delta n}}{n} \quad (37)$$

Момент трения в шарикоподшипниках вала с зубчатыми колесами находится из формулы

$$M_{\pi 4} = T_{Ei} f_n \frac{\sum d_{\delta n}}{n} \quad (38)$$

где  $f_n$  — коэффициент трения качения в радиальных шарикоподшипниках, условная величина, учитывающая все потери в подшипнике и относящаяся к диаметру вала, на который насажен шарикоподшипник [4], принимается равным 0,0015.

КПД выбранной муфты зависит от ее типа и определяется по методике, указанной в специальной литературе. Наиболее эффективна для нашего случая шарнирная муфта: она допускает смещение соединительных валов под углом  $25^\circ$  и имеет КПД  $\eta = 0,98 \pm 0,99$ , а для валов со смещением  $I-2^\circ$   $\eta = 1$  [5].

Грузовые параметры поплавок находятся из равенства моментов от затвора ( $M_{Ti}$ ) и поплавка ( $M_{Ei}$ ) на объединительном валу:

$$M_{Ti} = M_{Ei} \quad (39)$$

$M_{Ti}$  складывается из сил, приложенных к тяговому тросу затвора, и сил на преодоление трения в шарикоподшипниках вала со шкивами, вычисляется по формуле

$$M_{Ti} = \frac{[T_i \pm (T_{yi} + T_{qi})] [z + f_n \frac{\sum d_{\delta n}}{n}]}{\eta_{M_1} \eta_{M_2} \dots} \quad (40)$$

где  $\eta_{M_1}$  и  $\eta_{M_2}$  — КПД муфт.

$M_{Ei}$  складывается из выталкивающих сил поплавок, трения в шарикоподшипниках и потерь в зубчатом зацеплении, находится из выражения

$$M_{Ei} = \frac{T_{Ei} [z + f_n \frac{\sum d_{\delta n}}{n}]}{\eta_{K_1} \eta_{K_2}} \quad (41)$$

где  $\eta_{K_1}$  и  $\eta_{K_2}$  — КПД зубчатых зацеплений. В формулах (40) и (41)  $\frac{\sum d_{\delta n}}{n}$  обозначает средний диаметр шеек валов.

Приравняв правые части уравнений (40) и (41) и сделав ряд преобразований, получим формулу для определения подъемной силы поплавок:

$$T_{Ei} = \left\{ \frac{\eta_{K_1} \eta_{K_2} \dots [z + f_n \frac{\sum d_{\delta n}}{n}]}{\eta_{M_1} \eta_{M_2} \dots [z + f_n \frac{\sum d_{\delta n}}{n}]} \right\} \cdot [T_i \pm (T_{yi} + T_{qi})] \quad (42)$$

Выражение в фигурных скобках назовем коэффициентом грузовых параметров поплавок ( $C_M$ ). После подстановки  $C_M$  формула (42) примет вид

$$T_{Ei} = C_M [T_i \pm (T_{yi} + T_{qi})] \quad (43)$$

где  $\pm(T_{yi} + T_{qi})$  — составляющая тягового усилия потерь на трение в уплотнении затвора. Плюсуется, когда затвор движется вверх, и вычитается, когда он движется вниз.

Объем поплавок подбирается из условия соответствия его подъемного усилия объему погруженной в воду части, т.е.:

$$T_{Ei} = F h_{Ei} \quad (44)$$

где  $F$  — площадь дна поплавок;  $h_{Ei}$  — глубина погружения поплавок в воду, принимается равной 0,25–0,35 м.

При совместной работе затвора и подъемника из-за инерционности подвижных деталей имеет место некоторое отставание в реагировании поплавок на изменение горизонтов воды в поплавковой камере и верхнем бьефе сооружения.

Известно, что инерционность зависит от сил, препятствующих перемещению предмета, и, чем больше эти силы, тем большей инерционностью обладает предмет. В нашем случае на опущенный на дно затвор действуют максимальные силы, препятствующие его сдвигу, с подъемом затвора они уменьшаются, и при полностью поднятом они минимальные.

На этом принципе и основано действие гидроавтомата с малым перепадом: чем меньше перепад, тем больше открытие затвора и меньше его инерционность. Зона, в которой изменение горизонтов воды в поплавковой камере не вызывает перемещения поплавок, называется зоной неустойчивой работы. Высота этой зоны определяется формулой

$$h_H = \frac{1}{F} \left[ \frac{T_{Ei} f_n \sum d_{\delta n}}{\eta_{K_1} \eta_{K_2} \dots \eta_{M_1} \eta_{M_2} \dots} \left( 1 + \frac{\eta_K}{2} \right) + C_M (T_{yi} + T_{qi}) \right] \quad (45)$$

Минимально допустимый перепад ( $Z$  м), обеспечивающий устойчивое действие гидроавтомата, вычисляется из выражения

$$Z = h_H + 0,03 \quad (46)$$

При проектировании емкости, в которой размещен поплавок, необходимо назначать диаметр вертикальной трубы в зависимости от нормального расхода сооружения, а именно: для расхода



0,5÷5 м³/с-50÷100 мм; 5÷10 м³/с-70÷120 мм; 10÷15 м³/с-90÷140 мм;  
15÷20 м³/с-120÷160 мм.

Ширина калиброванной шали принимается на основании опытных данных, но для предварительных расчетов можно назначать ее равной 2-5 мм в зависимости от  $Q$  и  $d$  - вертикальной трубы (чем больше расход и диаметр трубы, тем шире шаль).

#### Порядок расчета

Расчет гидрозатвора с малым перепадом включает три основных пункта:

- 1 - определение геометрических параметров затвора, шкива, зубчатого колеса и величины хода поплавка;
- 2 - вычисление силовых параметров поплавка и его размеров;
- 3 - уточнения минимального перепада в бьефах сооружения.

Расчет геометрических параметров гидрозатвора выполняется в такой последовательности.

- По известным гидравлическим элементам канала и заданному расходу определяем допустимую величину перепада в горизонтах воды перед и за сооружением по формуле [6]

$$Q = \mu b \omega \sqrt{2gH},$$

где  $\mu$  принимаем в зависимости от условий подхода согласно рекомендациям [6,7];  $\omega$  - В Н (В - ширина водопропускного отверстия; Н - глубина потока на пороге сооружения).

- По известной величине предельного открытия затвора и напора на пороге из формулы (1) определяется радиус затвора.

- В зависимости от радиуса затвора из выражения (2) устанавливается радиус шкива.

- Положение оси шкива относительно оси затвора задается координатами X и Y, причем Y назначается согласно требованиям, изложенным выше, X подсчитывается по формулам (4), (5), (3), расстояние между этими осями - по (6), а угол ( $\psi$ ) между прямой через оси и горизонталью - по (9).

- Отрезок тягового троса, намотанный на шкив и обеспечивающий подъем затвора, определяется по (8) и (7).

- Полный угол поворота шкива, а следовательно и шестерни, рассчитывается по зависимости (10). Предварительно по формулам (5), (12), (13), (11) вычисляются углы, входящие в выражение (10).

- По назначенному ходу поплавка ( $H_{\text{п}} = 0,4 \div 0,45$  Н) из формулы (15) находится диаметр зубчатого колеса.

- В зависимости от расхода сооружения модуль зуба зубчатого колеса принимается в пределах  $m = 3 \div 9$ , определяется число зубьев с округлением до целого по выражению  $K = \frac{15}{m}$ , после чего уточняются диаметр зубчатого колеса и по зависимости (14) - ход поплавка.

Расчет силовых параметров поплавка выполняется для затвора, полностью перекрывающего водопропускное отверстие, в такой последовательности.

- Согласно рекомендациям, приведенным выше, определяется масса затвора (Р). По зависимостям (17)-(20) подсчитываются координаты центра тяжести ( $X_p, Y_p$ ). По (21) определяется расстояние между центром тяжести и осью затвора  $R_p$ , а по (22) - угол центра тяжести  $\alpha_p$  (см. рис. 2).

- Для  $\alpha_1 = 0^\circ$  по формулам (12), (13), (11) находим углы  $\gamma, \beta, \varphi$ .

- Из (24) вычисляется сила натяжения троса от массы затвора.

- Составляющая тягового усилия троса, затрачиваемая на преодоление трения упругой деформации резины бокового уплотнения, подсчитывается по (26).

- Входящие в (26) углы  $j$  и  $\alpha_y$  определяются по формулам

$$j = \frac{0,2}{R_{y1} - R_{y2}} \quad \text{и} \quad \alpha_y = \alpha + j.$$

- Составляющая силы натяжения троса, затрачиваемая на преодоление трения в боковом уплотнении от давления воды, подсчитывается по формуле (33).

- Для вычисления  $T_E$  необходимо по (35) и (36) определить потери в зубчатом зацеплении ( $\psi$ ) и его КПД, а также КПД муфт соединительного вала. Далее подбирается диаметр вала в шарикоподшипниковых опорах и по формуле (42) подсчитывается подъемная сила поплавка.

- По заданной глубине погружения поплавка в воду (0,25-0,35Н) из выражения (44) подсчитывается площадь поплавка.

В проработках при назначении окончательных размеров поплавка необходимо учитывать и его массу, т.е. принимать запас по высоте на объем воды, вытесненной за счет собственной массы.



Расчет минимального перепада в горизонтах воды. Работа гидроавтомата в автоматическом режиме невозможна при затворе, поднятом на максимальную величину  $H$ , соответствующую  $\alpha_i = 43^\circ$ : в этом случае из-за кривой спада поток, пропускаемый через сооружение, не касается нижней кромки обшивки затвора и последний не оказывает на поток воздействия. Чтобы затвор работал в заданном режиме, необходимо обеспечить его погружение в поток не менее чем на  $0,1H$  при угле открытия затвора около  $38^\circ$ . Для этого случая и выполняется проверка на минимально допустимый перепад в горизонтах воды, при котором обеспечивается стабильное поддержание заданных уровней воды в верхнем бьефе.

По вычисленным выше  $X_p, Y_p, P, R_p, R_m, R_b, \alpha_p, \alpha_n, \psi, j, \alpha_y$  определяются параметры работы гидроавтомата при угле открытия затвора  $38^\circ$  в такой последовательности.

- Подсчитывается длина тягового троса для  $\alpha_i = 38^\circ$  по зависимости (8).

Из формул (II)-(I3) находятся  $\gamma_i, \beta_i$  и  $\varphi_i$ .

- Определяется натяжение троса по (24).

- По формулам (25), (26), (32), (33) вычисляются  $P_Q, T_Q, P_y$  и  $T_y$  для  $\alpha = 38^\circ$ .

Далее, задаваясь коэффициентом полезного действия для шпиральных муфт  $\eta = 1$ , подсчитав КПД зубчатого зацепления по (36) и в зависимости от действующих сил по известным формулам [2, 3] определив диаметры шеек валов  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , по зависимости (43) находятся усилия, необходимое для подъема поплавка ( $T_E$ ).

После постановки полученных значений  $T_E, C_m, \sum d_{b_n}, F$  в (45) определяется зона неустойчивой работы поплавка ( $h_H$ ). Прибавив к этой величине некоторый запас, по (46) получают размер минимально допустимого перепада ( $Z$ ), обеспечивающего устойчивую работу гидроавтомата в автоматическом режиме.

#### Пример расчета

Гидравлическим расчетом канала с  $Q = 0,7 \text{ м}^3/\text{с}$  определены исходные параметры для расчета гидроавтомата: напор на пороге сооружения перед затвором ( $H = 0,7 \text{ м}$ ) и ширина водопропускного отверстия ( $B = 1 \text{ м}$ ).

I. В соответствии с порядком расчета находим геометрические параметры гидроавтомата.

$$R = 1,467 \times 0,7 = 1,026 \text{ м} \quad (1)$$

$$z = 0,1R = 0,1026 \approx 0,1 \text{ м}. \quad (2)$$

Конструктивно задается  $Y = 0,5 \text{ м}$ .

$$R_n = \sqrt{0,2^2 + 1,026^2 - 2 \times 0,2 \times 1,026 \cos(90^\circ - 43^\circ)} = 0,901 \quad (4)$$

$$\alpha_n = \arcsin \frac{0,7 - 0,2}{0,901} = 33,706^\circ \quad (5)$$

$$X = 0,901 \times 0,831889 - 0,1 = 0,65 \text{ м} \quad (3)$$

$$R_b = \sqrt{0,65^2 + 0,5^2} = 0,82 \text{ м} \quad (6)$$

$$\psi = \arctg \frac{0,5}{0,65} = 37,569^\circ \quad (9)$$

$$l_{T_0} = \sqrt{0,901^2 + 0,82^2 - 0,1^2 - 2 \times 0,901 \times 0,82 \cos(37,569^\circ + 33,706^\circ - 0)} = 1 \text{ м}$$

$$l_{(43^\circ)} = \sqrt{0,901^2 + 0,82^2 - 0,1^2 - 2 \times 0,901 \times 0,82 \cos(37,569^\circ + 33,706^\circ - 43^\circ)} = 0,416 \text{ м} \quad (8)$$

$$L = 1 - 0,416 = 0,584 \quad (7)$$

$$\gamma_{(43^\circ)} = \arcsin \frac{0,1}{\sqrt{0,1^2 + 0,416^2}} = 13,516^\circ \quad (12)$$

$$\beta_{(43^\circ)} = \arcsin \frac{0,82 \sin(37,569^\circ + 33,706^\circ - 43^\circ)}{\sqrt{0,1^2 + 0,416^2}} = 65,214^\circ \quad (13)$$

$$\varphi_{(43^\circ)} = 90^\circ - 13,516^\circ - 65,214^\circ - 33,706^\circ + 43^\circ = 20,562^\circ \quad (11)$$

$$\theta_{(43^\circ)} = \frac{360^\circ \times 0,584}{2 \times 3,14 \times 0,1} + 20,562^\circ = 355,34^\circ \quad (10)$$

$$H_{II} = 0,3 \text{ м}$$

$$d_K = \frac{360^\circ \times 0,3}{3,14 \times 355,34^\circ} = 0,097 \quad (15)$$

$$m = 3 \text{ (по ГОСТу)}$$

$$Z = \frac{97}{3} = 32,3; \text{ назначаемся } Z = 33 \text{ зуба}$$

$$d_K = 3 \times 33 = 99 \text{ мм} = 0,099 \text{ м}$$



$$H_{п(43^0)} = \frac{3,14 \times 0,099}{360^0} 355,34^0 = 0,307 \text{ м} \quad (14)$$

П. В соответствии с расчетом находят силовые параметры поплавок и его размеры, предварительно запроектировав затвор по параметрам первого пункта.

$$\text{— Определяем } X_p = 0,81 \text{ м} \quad (19)$$

$$Y_p = 0,31 \text{ м} \quad (20)$$

$$P = 0,044 \text{ т}$$

$$\text{— Находим } R_p = \sqrt{0,81^2 + 0,31^2} = 0,867 \text{ м} \quad (21)$$

$$\alpha_p = \arctg \frac{0,31}{0,81} = 20,943^0 \quad (22)$$

$$\gamma_{107} = \arcsin \frac{0,1}{\sqrt{0,1^2 + 1^2}} = 5,711^0 \quad (12)$$

$$\beta(0^0) = \arcsin \frac{0,82 \sin(37,569^0 + 33,706^0 - 0)}{\sqrt{0,1^2 + 1^2}} = 50,601^0 \quad (13)$$

$$\varphi(0^0) = 90^0 - 5,711^0 - 50,601^0 - 33,706^0 + 0 = 0 \quad (11)$$

$$T(0^0) = 0,044 \frac{0,867 \times 1 \cos(90^0 - 5,711^0 - 50,601^0 - 33,706^0 + 20,943^0) \cdot 1}{0,901 \sin(5,711^0 + 50,601^0)} = 0,0475 \text{ т} \quad (24)$$

$$j = \arctg \frac{0,1}{1,026} = 5,567^0$$

$$\alpha_j = 43^0 + 5,567^0 = 48,567^0$$

Взвешиванием определено давление резины бокового уплотнения на поверхность скольжения - 0,009 т.

$$P_{Q(0^0)} = 2 \times 0,5 \times 0,009 \left( \frac{48,567^0 - 0}{48,567^0} \right) = 0,009 \text{ т} \quad (25)$$

$$T_Q(0^0) = 0,009 \frac{(1,05 + 1,034) \cos^2(90^0 - 5,711^0 - 50,601^0 - 33,706^0 + 24,283^0)}{2 \times 0,901 \sin(5,711^0 + 50,601^0)}$$

$$\frac{+24,283^0}{+50,601^0} = 0,0114 \text{ т} \quad (26)$$

$$P_y(0^0) = 0,5 \times 0,25(1,05 - 1,034)(1,05 + 1,034^2) \left[ \frac{3,14}{360^0} 43^0 \sin 43^0 \right] = 0,00155 \quad (32)$$

$$T_y(0^0) = \frac{0,5 \times 0,00155(1,05 + 1,034) \cos^2(90^0 - 5,711^0 - 50,601^0 - 33,706^0 + 28,66^0 - 0)}{0,901 \sin(5,711^0 + 50,601^0)} = 0,00226 \quad (33)$$

$$\text{Коэффициент трения } f = 0,1$$

$$\psi = 2,3 \frac{0,1}{33} = 0,007 \quad (35)$$

$$\eta_3 = 1 - 0,007 = 0,993 \quad (36)$$

$$T_E(0^0) = \frac{0,993^2 \left[ 0,1 + 0,0015 \left( \frac{0,015 + 0,017}{2} \right) \right]}{1^2 \left[ 0,0445 + 0,0015 \left( \frac{0,015 + 0,017}{2} \right) \right]} (0,0475 + 0,0114 + 0,00226) = 0,1325 \text{ т} \quad (42)$$

$$h_E(0^0) = \frac{0,1325}{0,71^2} = 0,263 \text{ м}$$

После конструирования поплавок и определения его массы следует увеличить высоту на объем, уравновешивающий его массу.

Ш. В соответствии с порядком расчета определяются минимальный перепад в бьефах.

По вычисленным выше параметрам:

$$R_n = 0,901 \text{ м}, R_b = 0,82 \text{ м}, R_p = 0,867 \text{ м}, P = 0,044 \text{ т}, X_p = 0,81 \text{ м}, Y_p = 0,31 \text{ м}, \alpha_n = 33,706^0, \alpha_p = 20,943^0, \psi = 37,569^0$$

$$\text{Находим } l_{т(38^0)} = \sqrt{0,901^2 + 0,82^2 - 0,1^2 - 2 \times 0,901 \times 0,82 \cos(37,569^0 + 33,706^0 - 38^0)} = 0,489 \text{ м} \quad (8)$$

$$\gamma(38^0) = \arcsin \frac{0,1}{\sqrt{0,1^2 + 0,489^2}} = 11,558^0 \quad (12)$$



$$\beta_{(38^\circ)} = \arcsin \frac{0,82 \sin(37,569^\circ + 33,706^\circ - 38^\circ)}{\sqrt{0,1^2 + 0,489^2}} = 64,341^\circ \quad (13)$$

$$\varphi_{(38^\circ)} = 90^\circ - 11,558^\circ - 64,341^\circ - 33,706^\circ + 38^\circ = 18,395^\circ \quad (11)$$

$$T_{(38^\circ)} = 0,044 \frac{0,867 \cos(90^\circ - 11,558^\circ - 64,341^\circ - 33,706^\circ + 38^\circ)}{0,901 \sin(11,558^\circ + \cos(90^\circ - 11,558^\circ - 64,341^\circ - 33,706^\circ + 20,943^\circ) + 64,341^\circ)} = 0,0417 \tau \quad (24)$$

$$j = \arctg \frac{2 \times 0,1}{R_{y2} + R_{y1}} = \frac{2 \times 0,1}{1,05 + 1,034} = 5,482^\circ$$

$$\alpha_{y(0)} = 43^\circ + 5,482^\circ = 48,482^\circ$$

$$P_{\theta(38^\circ)} = 2 \times 0,5 \times 0,009 \frac{48,482^\circ - 38^\circ}{48,482^\circ} = 0,002 \tau \quad (25)$$

$$T_{\theta(38^\circ)} = 0,002 \frac{(1,05 + 1,034) \cos^2(90^\circ - 11,558^\circ - 64,341^\circ - 33,706^\circ + 2 \times 0,901 \sin(11,558^\circ + \frac{+5,241^\circ + 19^\circ}{+64,341^\circ})}{+64,341^\circ)} = 0,0024 \tau \quad (26)$$

$$P_{y(38^\circ)} = 0,5 \times 0,25 (1,05 - 1,034) (1,05 + 1,034)^2 \left[ \frac{3,14}{360^\circ} (43^\circ - 38^\circ) \sin(43^\circ - 38^\circ) \right] = 0,000016 \quad (32)$$

$$T_{y(38^\circ)} = 0,5 \times 0,000016 \frac{(1,05 + 1,034) \cos^2(90^\circ - 11,558^\circ - 64,341^\circ - 0,901 \sin(11,558^\circ + \frac{-33,706^\circ + 28,666^\circ + 12,666^\circ}{+64,341^\circ})}{+64,341^\circ)} = 0,000017 \quad (33)$$

$$\eta_3 = 0,993(36) \eta_M = 1; \quad d_{BI} = 0,015 \text{ м}; \quad d_{g2} = 0,017 \text{ м}; \quad C_M = 2,22$$

$$T_E(38^\circ) = 2,22(0,0417 + 0,000017 + 0,0024) = 0,098 \tau \quad (43)$$

$$h_{H(38^\circ)} = \frac{1}{0,504} \left[ \frac{0,098 \times 0,0015(0,015 + 0,017)}{0,0445 \times 2 \times 0,993^2 \times 1^2} (1 + \frac{0,0445}{0,1}) + 2,22(0,000017 + 0,0024) \right] = 0,0107 \text{ м} \quad (45)$$

$$Z = 0,0107 + 0,03 = 0,0407 \text{ м} \quad (46)$$

## Использованная литература

1. Попов В.С., Архангельский В.К. Гидроавтомат для перегораживающих сооружений с малым перепадом. - Науч. тр. Ин-т "Среднегипроводхлопок", Ташкент, 1983. Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем, с.12-19.
2. Кудрявцев В.Н. Детали машин. - Л.: Машиностроение (Ленингр.отд.), 1980. -464с.
3. Дмитриев В.А. Детали машин. - Л.: Судостроение, 1970. -790с.
4. Перель Л.Я. Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание опор. Справочник. - М.: Машиностроение, 1983. -543с.
5. Поляков В.С. и др. Справочник по муфтам. -Л.: Машиностроение (Ленингр.отд.), 1979. -344с.
6. Киселев И.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. - М.: Энергия, 1974. -313с.
7. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. - М.: Стройиздат, 1983. -543с.

УДК 631.55:582.796:681.3.06:65.011  
М.И.Калинин, нач.отд.  
(Среднегипроводхлопок)

ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ЭФФЕКТОБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ  
В СИСТЕМЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ

В полном соответствии с законодательством в области землепользования построен Земельный кодекс Узбекской ССР. Цель его - охрана и повышение плодородия земель, увеличение производства продуктов земледелия и животноводства. Этой же цели служит действующий в Узбекистане закон "О введении и освоении севооборотов".

В республике взят твердый курс на специализацию и концентрацию сельскохозяйственного производства на базе межхозяйственной кооперации и агропромышленной интеграции.

Во всех отраслях сельского хозяйства используются высоко-



производительные машины, удобрения, химикаты, высокоурожайные сорта культур.

Нынешний уровень сельскохозяйственной индустриализации так высок, наука накопила столько знаний о биологии растений, что человек уже способен управлять их развитием.

В условиях знойного лета, когда солнечной радиации хватает для интенсивного фотосинтеза, на орошаемых землях можно практически управлять всеми процессами развития растений при наличии постоянной информации о химическом составе почвы, температуре воздуха и почвы, потребности во влаге и т.д.

Сельскохозяйственное производство в Узбекистане неразрывно связано с орошением. Орошение — важнейшее звено интенсификации, которая способствует повышению плодородия почвы и ускорению темпов развития сельского хозяйства.

Все это делает весьма актуальным изучение и обобщение экономических проблем орошаемого земледелия, в особенности проблем рационального и прогрессивного использования поливных земель.

В успешном ведении сельского хозяйства вообще и земледелия в частности велика роль культуры земледелия. В это понятие входит большой круг агрономических вопросов, стержнем которых являются научно обоснованные организационные, экономические, биологические и агротехнические мероприятия по неуклонному повышению плодородия почв и рациональному использованию земель.

Говоря о культуре земледелия, необходимо остановиться на взаимосвязи и взаимодействии факторов жизни растений. Каждый из них играет определенную роль, и ни один не может быть заменен никаким другим. На практике, особенно в орошаемом земледелии, недостаток влаги не восполняется внесением повышенных норм удобрений, равно как и фосфор не заменить азотом. Если не будет удовлетворена даже малая потребность растения в каком-либо микроэлементе, нарушается нормальный ход его развития, в результате чего снижается урожайность, а следовательно и производительная способность гектара орошаемых земель.

При высокой культуре земледелия должны учитываться все законы земледелия и агрономические приемы, применяемые на практике и разрабатываемые для создания благоприятных условий роста и развития растений, получения высоких и качественных урожаев с наименьшей затратой труда и средств.

Реализация задач, поставленных в Продовольственной программе,

во многом зависит от внедрения достижений науки и передового опыта, всемерной экономии труда и средств на основе применения прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Однако в основном из-за недостаточного применения накопленного научного и материально-технического потенциала в последние годы замедлились темпы роста урожайности хлопчатника — основной культуры Узбекистана.

Наблюдаются большие различия в эффективности использования орошаемых земель. В 1982 г. в восьми из 136 хлопкосеющих районов урожайность хлопчатника составила менее 20 ц/га, а в 16 — более 40 ц/га. Между тем научные учреждения республики еще в десятой пятилетке разработали дифференцированный по зонам комплекс агротехнических и организационных мероприятий, обеспечивающих получение не менее 40 ц/га хлопка-сырца. Отработаны количественные параметры программирования урожая. Практическая ценность и реальность этих рекомендаций подтверждается опытом работы Хорезмской и Бухарской областей, а также многих районов и хозяйств, получающих стабильно не менее 40 ц/га.

Недостаточная эффективность использования орошаемых земель объясняется тем, что в ряде хозяйств не уделяют должного внимания повышению плодородия. По данным научных учреждений, в последние годы содержание гумуса в почве имеет тенденцию к снижению. Доказано, что для повышения почвенного плодородия, подавления инфекции вилта и создания прочной кормовой базы для развития животноводства необходимо внедрять хлопково-люцерновые севообороты.

В одиннадцатой пятилетке созданы благоприятные условия для внедрения севооборотов. В частности, снижены плановые темпы роста производства хлопка-сырца. Появилась возможность часть посевов хлопчатника размещать на вновь осваиваемых и мелиорированных землях, а в зоне старого орошения вводить посевы люцерны, кукурузы, зерновых колосовых. На местах, однако, уделяют мало внимания такому важному вопросу. По данным МСХ Узбекской ССР, в 1983 г. только треть всех колхозов и совхозов республики полностью освоила севообороты [1].

Для дальнейшего успешного развития хлопководства, кроме того, необходимо создание новых скороспелых и высокоурожайных сортов, совершенствование агротехники, своевременное и качественное проведение всех агротехнических мероприятий на основе ши-



рокого внедрения в практику хлопководства достижений науки и техники, опыта передовиков.

Тут важно все — и тщательная планировка полей, и борьба с многолетними сорняками, умелое использование в этих целях наиболее эффективных гербицидов, и внедрение биологического метода защиты растений от вредителей.

Эффективность использования орошаемых земель во многом зависит от их мелиоративного состояния, капитальной и текущей планировки. Поэтому одним из главных элементов основной обработки почвы после проведения промывных и влагозарядковых поливов является выравнивание поверхности земли.

Этот важный прием обработки почвы служит залогом получения дружных всходов, качественного проведения вегетационных поливов, проведения в сжатые сроки междурядных обработок, одновременного созревания урожая и сбора его в сжатые сроки. Все это дает экономии материальных и трудовых ресурсов.

На орошаемых массивах приемы основной обработки почвы обусловлены рядом ее свойств — особенностями генетических горизонтов, плотностью сложения, количественным составом физической глины, засоренностью. Не менее важными факторами, влияющими на выбор того или иного способа основной обработки почвы, являются состояние поля в севооборотном массиве и возделываемая на нем сельскохозяйственная культура. В зависимости от окультуренности земель основная обработка почвы заключается в проведении зяблевой пахоты на новых землях на глубину 25–30 см, на землях старого орошения — на 35–40 см, с одновременным рыхлением подпахотного горизонта почвы до 10–15 см [2, 3].

Непрерывная при этом заправка измельченных стеблей хлопчатника на незараженных вилом полях под зябь. Это равносильно внесению 23% азотных, 35% фосфорных, 250% калийных туков и всего количества органических удобрений, применяемых ежегодно на полях под хлопчатником. Важным элементом основной обработки является пахота двухъярусным плугом.

Глубокую пахоту с полным оборотом пласта считают надежным агротехническим приемом в борьбе с сорной растительностью.

В единый комплекс полевой предпосевной обработки почвы включается и внесение дифференцированных норм минеральных удобрений на основе агрохимических картограмм, ежегодно представляемых каждому хозяйству. В этот период, в зависимости от степени засоренности каждого участка, вносятся гербициды.

Одной из составных частей прогрессивной технологии является сев хлопчатника в оптимальные сроки, которые устанавливаются на основе среднесуточных температурных данных для каждой конкретной зоны или хозяйства, с целью получения полноценных всходов по естественной влаге. Сев хлопчатника необходимо проводить с одновременным внесением минеральных удобрений и гербицидов нормами, зависящими от содержания их в почве в посевной период. К севу опущенными семенами приступают, когда на глубине 10 см установится среднесуточная норма температуры почвы, равная  $12^{\circ}\text{C}$ , оголенными — при  $14^{\circ}\text{C}$ .

Большое внимание уделяют правильной заделке семян и одинаковой глубине, прямолинейности рядков, равномерности стыковых междурядий. Важно после посева предотвратить образование почвенной корки в результате выпадения атмосферных осадков. Разрушение корки необходимо проводить в кратчайшие сроки имеющимися механизмами.

Немаловажное значение в борьбе за урожай, за поддержание почвы в рыхлом и чистом от сорняков состоянии имеют междурядные обработки и качество культиваций.

В хлопководстве наиболее трудоемкая и наименее механизированная операция — вегетационные поливы. Для экономного расходования поливной воды и снижения затрат труда необходима механизация и автоматизация поливов. С этой целью следует широко применять поливные машины типа ППА-165 и ППА-300. Соблюдая режим орошения в соответствии с почвенно-мелиоративным районированием, можно получить высокий урожай сельскохозяйственных культур.

В межполивной период важно проведения полевых работ (полив, культивация, нарезка борозд, внесение минеральных удобрений, борьба с болезнями и сельскохозяйственными вредителями) в сжатые сроки. Для их выполнения необходимо совмещение междурядных обработок, что сократит кратность проходов механизмами и позволит содержать пахотный горизонт постоянно в рыхлом состоянии.

Большое значение в сохранении выращенного урожая имеет правильно разработанная и применяемая система борьбы с сорняками, сельскохозяйственными вредителями и болезнями хлопчатника. Новые средства борьбы с сельскохозяйственными вредителями позволяют сохранить выращенный урожай и качество сельскохозяйственной продукции. В этом отношении представляет несомненный интерес водосмазывающая сера (ВСС). Она обладает избирательностью в отношении



высокочувствительных видов энтомофагов, не оказывает отрицательного влияния на формирование биоценоза хлопкового поля, благоприятствует росту и развитию растений. Независимо от концентрации препарата обработку полей можно проводить в любое время суток.

Немаловажную роль в формировании и раннем созревании коробочек хлопка-сырца с хорошим качеством волокна играет чеканка растений. Эффективность этого приема зависит от правильного и своевременного его проведения. Применяемая в настоящее время ручная и механизированная чеканка не обеспечивает должного эффекта, поэтому возникает потребность в повторном ее проведении, что значительно увеличивает затраты на производство хлопка-сырца. Как доказано наукой и практикой, наиболее эффективным способом является химический — при помощи препарата ТУР (хлорхлорид). Под воздействием ТУРа на кустах формируются полноценные коробочки, задерживается развитие поздних бутонов, что способствует увеличению числа наиболее ценных коробочек на внутренних конусах плодоношения, объем первого сбора хлопка-сырца увеличивается до 10%.

ТУР значительно сокращает расходы на проведение чеканки и, следовательно, производства сырца.

Важным фактором роста производительности труда в хлопководстве является механизация трудоемкого уборочного процесса. Прежде всего это относится к механизации сбора волокна раскрытых коробочек с кустов и подбора хлопка с земли. Уборочный период поглощает 40-50% всех затрат на производство хлопка, более половины из них идет на ручной сбор и подбор сырца. Фактические затраты составляют 400 чел.-ч/га и более, тогда как передовые хозяйства республики при машинном сборе урожая добиваются снижения трудовых затрат до 250-300 чел.-ч/га. Чтобы достичь таких показателей, необходимо соблюдать передовую технологию работ и навести строгий порядок в исчислении затрат труда на уборке хлопка-сырца. В соответствии с рекомендациями науки и передовым опытом целесообразно планировать и проводить на участке машинного сбора два шпindelных сбора и однократный ручной подбор, на участках ручного сбора — два сбора вручную и зачистку полей.

Такая технология уборки обеспечит значительное повышение производительности труда.

Главной технико-экономической проблемой обеспечения высоких

темпов роста производительности труда и резкого сокращения трудовых затрат в хлопководстве является создание такой хлопкоуборочной машины, которая обеспечила бы комплексную механизацию уборки урожая и качество сырца.

В настоящее время в САИМЭ разработана универсальная двухрядная хлопкоуборочная машина для широкорядных посевов хлопчатника, способная убрать весь урожай одним агрегатом за 2-3 прохода. При механизированном сборе урожая четырехрядными машинами ИХВ-2,4 и ХН-3,6 сбивается на землю не менее 14-15%, а по данным Всесоюзного института информации — до 18% урожая, т.е. в целом по Узбекистану на землю опадает до 1 млн. т хлопка-сырца. На подбор такого количества хлопка вручную по существующим нормам затрачивается более 250 млн. чел.-ч [4].

Недостаточно высокий уровень механизации работ в хлопководстве и использования техники во многом обусловлен неудовлетворительной структурой машинно-тракторного парка, наличием диспропорции в соотношении между силовыми и рабочими машинами. Сейчас фактическое соотношение между ними в хлопководстве 1:0,9, а по нормативам должно составлять 1:2,5. Не хватает сеялок точного сева, современных культиваторов, дисковых борон, малотракторных машин, транспортных средств, механизмов для внесения минеральных и органических удобрений и проч.

Для кардинального решения вопроса о комплексной механизации надо по зонам хлопководства провести паспортизацию всех конно-ручных и механизированных работ, уточнить виды агротехнических операций, требующих механизации, определить на ближайшую перспективу реальные возможности внедрения сельскохозяйственной техники. На этой основе выявить резервы снижения трудоемкости производства за счет роста уровня механизации технологических процессов.

Важное значение в повышении производительности труда в хлопководстве имеет совершенствование форм организации и оплаты труда, внедрение хозрасчета и режима экономии. Без осуществления этих мероприятий не будет эффекта и от внедрения комплексной механизации.

Рассматриваемые вопросы, входящие в систему программирования урожая хлопчатника, нашли отражение в работе, проводимой институтом "Среднеазиатский хлопок" с 1984г. в совхозе № 10<sup>9</sup> имени К.Е. Ворошилова Сырдарьинской области.



На опытном участке площадью 56 га выполняется работа по обоснованию эффектообразующих факторов, которые должны стать основополагающими в организации сельскохозяйственного производства [5].

В составленной для целей программирования урожая технологической карте по возделыванию хлопчатника предусматриваются порядок и агротехнические сроки проведения полевых работ в зависимости от влажности почвы, температурных условий, мелиоративного состояния земель: уровня грунтовых вод, степени минерализации их, - планировки участка, поливной нормы вегетационных поливов и т.д.

Оперативное управление агротехническими мероприятиями, предусматриваемыми технологией возделывания сельскохозяйственных культур, возможно только с помощью автоматизированной системы. В этом случае контроль над действиями человека в принятии того или иного решения будет осуществляться через ЭВМ. Только машинная обработка большого количества информации позволит оперативно принимать оптимальные решения с целью получения максимально высоких урожаев.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Цамутали А. Достижения науки - в широкую практику. - Хлопководство, 1984, № 5, с.2-5.
2. Закиров А. и др. Глубокое рыхление почвы и развитие хлопчатника. - Хлопководство, 1984, № 6, с.10-11.
3. Батыев Ж. и др. Основная обработка почвы в условиях Голодной степи. - Хлопководство, 1984, № 7, с.16-17.
4. Касимов Ф. и др. Повышение производительности труда в хлопководстве. - Хлопководство, 1984, № 8, с.2-6.
5. Система программированного урожая сельскохозяйственных культур на базовом совхозе № 10а им.К.Е.Ворошилова Главсредазирсовхозстроя в Голодной степи ("СПУ"р). Т. I. Кн. № 6. Отчет института "Средазгипроводхлопок". - Ташкент, 1984.

УДК 626.8:65.012.011.56

О.В.Дегунова, ст.инж.

Н.А.Нуриманова, гл.инж.проектв  
(Средазгипроводхлопок)

#### КТС УПРАВЛЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ ДЖИЗАКСКОЙ СТЕПИ

В Средней Азии водные ресурсы ограничены и уже сейчас наблюдается их дефицит. Интересы народного хозяйства требуют эффективных мер по рациональному использованию водных запасов и созданию гарантированного качественного и количественного водоснабжения потребителей.

Автоматизированная система управления водохозяйственным комплексом на орошаемых землях Джизакской степи имеет целью создание благоприятных ирригационно-мелиоративных условий на базе оптимального планирования и использования водных ресурсов ВХК, включающим магистральную и коллекторную сеть, а также скважины вертикального и горизонтального дренажа.

Джизакский массив - предгорная равнина в южной части Голодной степи, занимающая площадь 314 тыс.га и расположенная между Южным Голодостепским каналом и предгорьями Туркестанского хребта. Находится в зоне орошения Южного Голодостепского канала. Орошаемая территория 183,6 тыс.га (нетто). Основным источником орошения - Сырдарья. Вода подается от Ферхадского гидроузла по деривационному и Южному Голодостепскому каналам (ЮГК). Построенная на ЮГК головная насосная станция (ДНС) производительностью 190 м<sup>3</sup>/с поднимает воду на 23 м в Джизакский машинный канал (ДМ-1) протяженностью 110 км и расходом 60 м<sup>3</sup>/с. Дальнейший подъем воды на общую высоту 174,4 м осуществляется насосными станциями (НС) 2-го, 3-го и 4-го подъёмов в зональные машинные каналы ДМ-2, ДМ-2-1, ДМ-3, ДМ-3-1, ДМ-4 [1].

На Джизакском массиве четыре НС, 54 перегораживающих сооружения, 97 водовыпусков и 8 сбросов. Коллекторная сеть протяженностью 620 км представляет собой открытые каналы. Здесь предусмотрено строительство 495 скважин вертикального дренажа.

Управление водохозяйственным комплексом Джизакской степи осуществляется в соответствии с приведенной организационной структурой АСУ (рис. 1).

На основе анализа объекта в структуре управления можно вы-



делить три уровня иерархии:

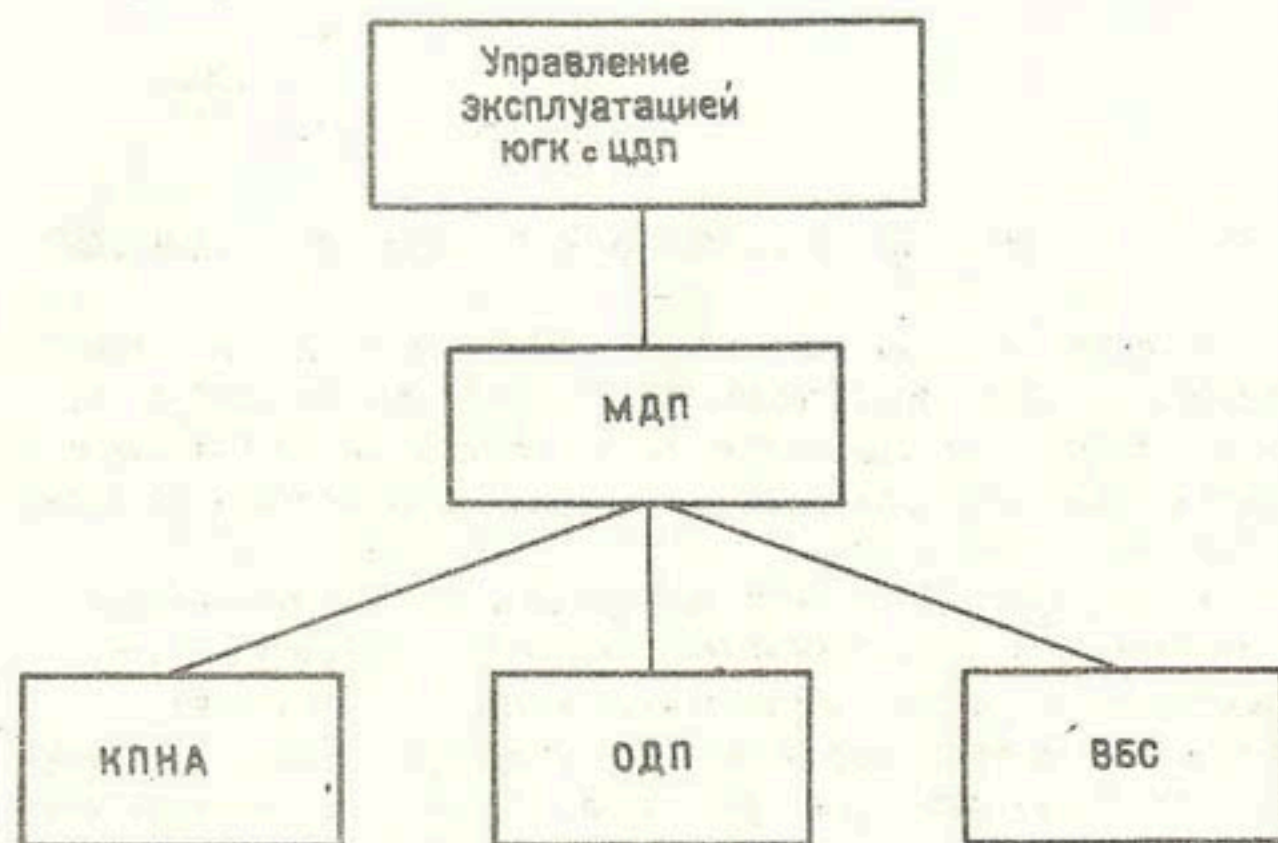


Рис. 1. Организационная структура АСУ

- управления эксплуатацией ЮГК с центральным диспетчерским пунктом (ЦДП);
- местный диспетчерский пункт (МДП);
- контролируемые пункты низовой автоматики (КПНА), оперативные диспетчерские пункты (ОДП), воднобалансовые станции (ВБС).

Так как Джизакская степь входит в зону действия АСУВХК ЮГК, вышестоящей ступенью иерархии для нее является ЦДП в г. Янгере.

Второй ступенью иерархии является МДП с информационно-вычислительным центром. МДП предназначается для планирования водораспределения на магистральных каналах массива с учетом мелиоративного состояния земель и решения задач, связанных с оперативным управлением. МДП расположен в г. Ульяново.

Из диспетчерского пункта централизованно, с помощью средств телемеханики, осуществляется контроль и управление гидротехническими сооружениями магистральных каналов, а также сбор информации с гидропостов на коллекторах о количестве и качестве коллекторно-дренажных вод.

Контролируемые пункты низовой автоматики (КПНА), оператив-

ные диспетчерские пункты (ОДП) и воднобалансовые станции (ВБС) представляют собой третью ступень иерархии управления.

КПНА осуществляют непосредственное управление сооружениями, сбор и передачу информации о расходах воды, уровнях, положении исполнительных механизмов (затворов), формируют технологическую и аварийную сигнализацию, реализуют управляющие воздействия, автоматически обрабатывают заданную программу. Всего в зоне АСУ ВХК Джизакской степи функционируют 211 КПНА.

ОДП собирают информацию и управляют скважинами вертикального дренажа, ОДП расположены в совхозах № 1 и 17.

Воднобалансовые станции (ВБС) предназначены для усовершенствования инженерных приемов управления мелиоративным состоянием земель на рассматриваемой территории, выполняют информационную роль и служат "обратной связью" в системе управления.

ВБС обеспечивают подкомандные зоны МДП на каждую декаду следующей информацией: анализ структуры водного и солевого баланса; динамика минерализации грунтовых вод, динамика дренажного стока и сбросных вод, динамика минерализации оросительной и дренажной воды; бюллетени гидро- и агрометеорологических условий.

Кроме того, ВБС контролируют соблюдение природоохранных мероприятий. Воднобалансовые станции размещены в совхозах М1, 17 и 19.

Информация о качестве водных ресурсов на ВБС поступает с пунктов контроля за качеством воды.

Для функционирования информационно-управляющей системы и решения ею задач по планированию и управлению водохозяйственным комплексом требуется определенный состав технических средств, объединенных возложенными на него задачами. Технические средства образуют в своей взаимосвязи устойчивую структуру - комплекс технических средств (КТС) (рис. 2).

Комплекс технических средств должен осуществлять: решение функциональных задач; контроль и оценку достоверности поступающей информации; преобразование информации в вид, удобный для принятия решений, а также способствовать повышению производительности труда персонала, оперативности и обоснованности принимаемых решений; функционирование системы в соответствии с определенными критериями эффективности.

В комплексе технических средств выделяются следующие группы: средства управления объектами и сборе информации; средства



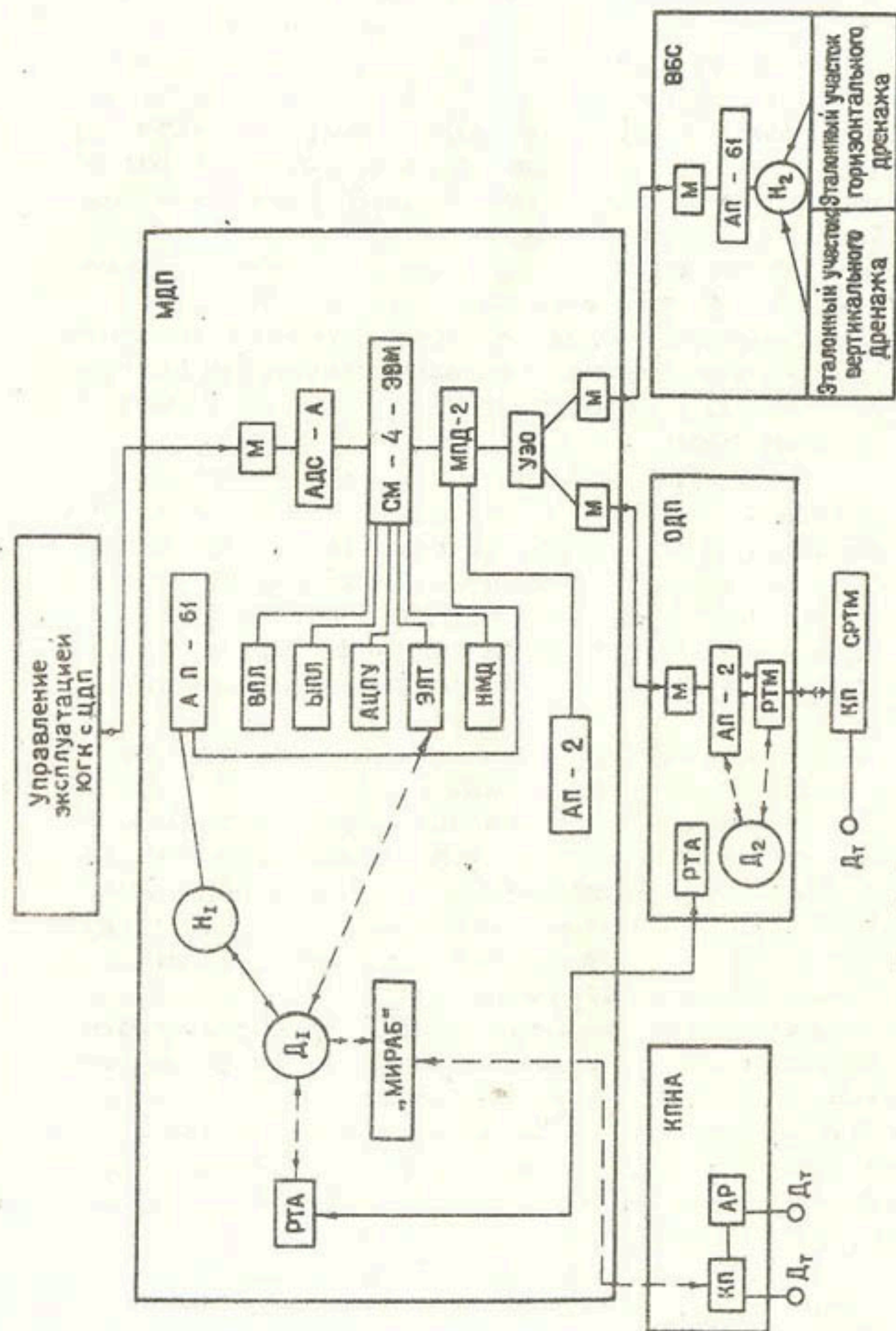


Рис. 2. Структурная схема комплекса технических средств

телеобработки данных; средства обработки, хранения и воспроизведения данных.

Средства управления и сбора информации представляют собой устройства для механизированного и автоматизированного сбора информации и передачи сигналов управления объектами. Они включают датчики технологических процессов, автоматические регуляторы и устройства телемеханики.

В технические средства телеобработки входят как минимум три основные группы: устройства сопряжения ЭВМ с аппаратурой передачи данных (АПД); аппаратура передачи данных; абонентские пункты.

Средства обработки информации обеспечивают обработку информационных массивов в соответствии с заданными алгоритмами управления и последующую выдачу решений. Основное их звено — современная ЦВМ. Местный диспетчерский пункт оснащен управляющей вычислительной машиной (УВМ) типа СМ-4 [2].

Средства хранения и воспроизведения информации обеспечивают хранение информационных массивов и выдают информацию в форме, наглядной для оператора. Хранение информации производится с помощью устройств внешней памяти к ЭВМ, а также перфокарт и перфолент. Устройство воспроизведения информации используется на всех ступенях КТС — операторы ОДП и МДП получают информацию на устройствах цифрпечати, мнемосхемах объектов и устройствах ввода-вывода информации.

В группу средств управления объектами и сбора информации входят устройства автоматики и телемеханики. С помощью средств автоматики на контролируемых пунктах низовой автоматики (КПНА) поддерживаются заданные диспетчером параметры технологического процесса. К этим средствам относятся релейно-импульсные авторегуляторы "Протос", получающие сигналы от блока рассогласования (БР-1) и датчика, или блока индикации перепада уровней на водомерной приставке (БИ-2П).

Датчик положения затвора (ДПЗ-1) предназначен для местного отсчета и телеизмерения положения затвора, а также сигнализации при достижении затвором предельных заданных положений.

Датчик уровня воды (ДУП) измеряет уровень воды на гидротехнических сооружениях, оснащенных устройством телемеханики "Мираб" и сигнализирует при предельном его положении.

Для управления объектами из местных диспетчерских пунктов



(МДП), а также сбора информации о технологических процессах, состоянии исполнительных органов и аппаратуры используется телемеханическое устройство "Мираб" для магистральной и межхозяйственной оросительной сети.

Для обеспечения телемеханического управления и контроля работы скважин вертикального дренажа используется система радиотелемеханики СРТМ-САНИИРИ. С помощью этого устройства производится управление (включение-отключение) скважин и контроль (измерение расхода скважин с помощью водомерного устройства и сигнализация об их состоянии).

В результате решения задач оперативного управления УВМ СМ-4 вырабатывает рекомендации по устранению отклонений фактического состояния от планового и передает их для исполнения диспетчеру или в устройство телемеханики. Информация учетного характера через аппаратуру МПД передается в вычислительный центр ЦДП.

#### И с п о л ь з о в а н н а я л и т е р а т у р а

1. Технический проект второй очереди орошения и освоения Джизекской степи в Узбекской ССР. Ч.ХІ. Дополнительные материалы проекта. Кн.45. ТЭО АСУ водохозяйственного комплекса Джизекской степи. Отчет. Ин-т "Средазгипроводхлопок". - Шифр комплекса 26-309. Ташкент, 1979. - 107с.

2. Инструкция по выбору комплекса технических средств для автоматизированных систем управления водохозяйственными комплексами. Ч.І и П. Минводхоз, В/О "Союзводпроект". М., 1978.

УДК 626.83

Р.М.Тюменев, руковод. группы  
(Средазгипроводхлопок)

#### ЗАЩИТА ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ КАСКАДА НС ОТ ПЕРЕПОЛНЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Производительность каскада насосных станций в вегетационный период согласовывают с плановым графиком водопотребления, имеющим вид равномерно возрастающей, а затем ниспадающей ступенчатой кривой. При эксплуатации каскада фактическая водоподдача значи-

тельно отличается от плановой. Неравномерность подачи и значительное ее отклонение от плановой вызваны несогласованностью времени включения и отключения агрегатов смежных насосных станций в каскаде; неодинаковой производительностью агрегатов НС из-за различия их характеристик и нестабильной высоты всасывания, обусловленной изменяющимся во времени наполнением канала; перерывом в электропитании части агрегатов НС.

В результате из-за неравномерности подачи каждой из НС каскада на участках канала между смежными насосными станциями нарушается баланс водоподдачи предыдущей и водозабора последующей, что приводит к значительному изменению уровней головной части каскада. На рис.І приведены графики плановой и фактической водоподдачи в самотечном канале и в каналах с каскадом насосных станций - Каршинском и Джизекском, иллюстрирующие упомянутые выше особенности режимов работы каналов.

Наиболее тяжелый режим с резким и значительным увеличением уровней в канале возникает при внезапном полном отключении одной из НС каскада из-за перерыва в электропитании. Способ и техническое решение защиты от переполнения и разрушения транзитной части канала, расположенной ниже створа водозабора насосной станции, рассмотрены в работе [1].

В данном исследовании предлагается методика выбора экономически оптимального способа защиты от переполнения головной части каскада насосных станций, рассмотренная на примере Джизекских НС.

Защиту головной части каскада НС от переполнения и разрушения при значительных повышениях уровней воды, возникающих вследствие внезапного отключения последующей насосной станции, можно осуществить такими основными способами:

- увеличением высоты дамб головной части каскада в сочетании с уменьшением водоподдачи предыдущей НС на величину расхода аварийно отключившейся насосной станции. Уменьшение подачи воды производится через время  $\Delta t$  с момента внезапного отключения последующей НС. Время  $\Delta t$  определяется условиями эксплуатации и пояснено ниже;

- устройством в головной части каскада автоматического водосбросного сооружения и сбросного тракта до ближайшей реки или водохранилища, рассчитанных на пропуск расхода отключившейся насосной станции;



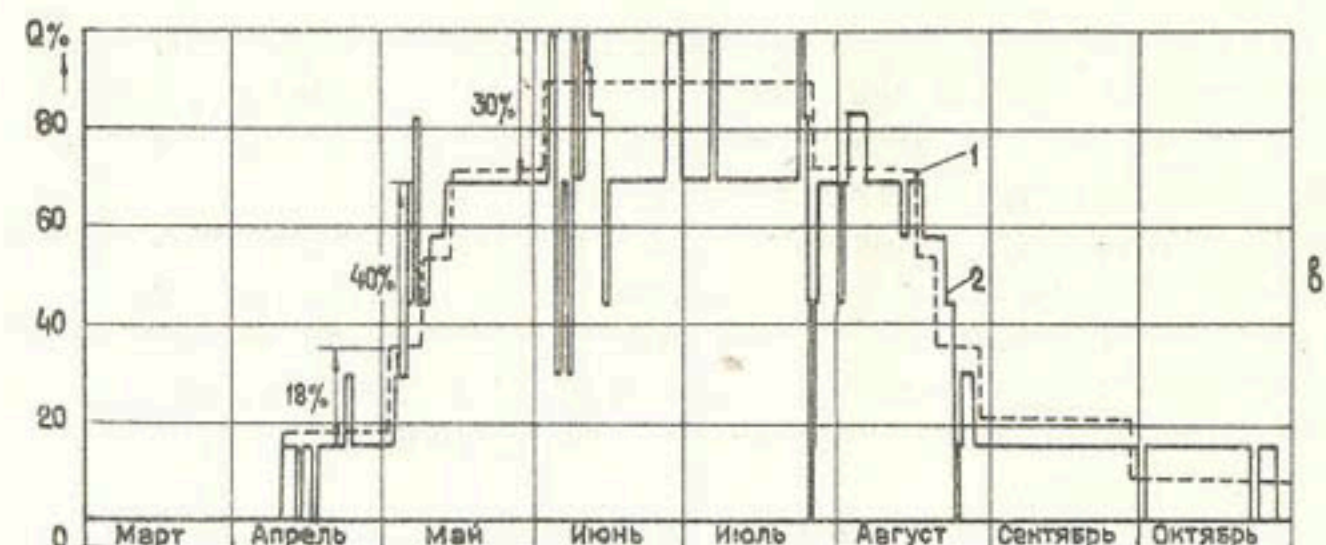
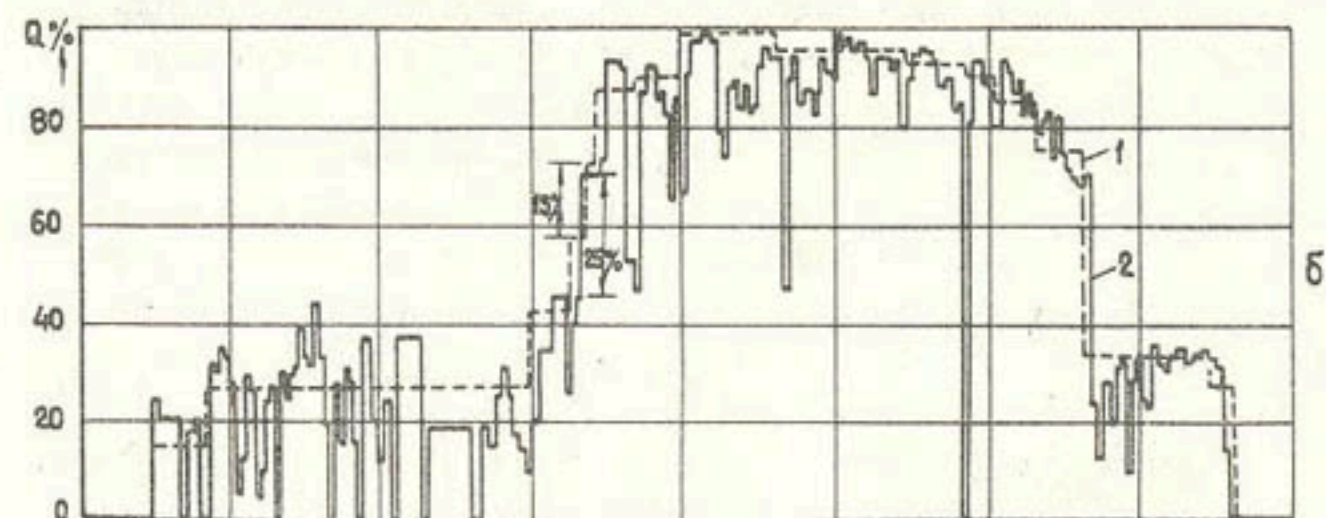
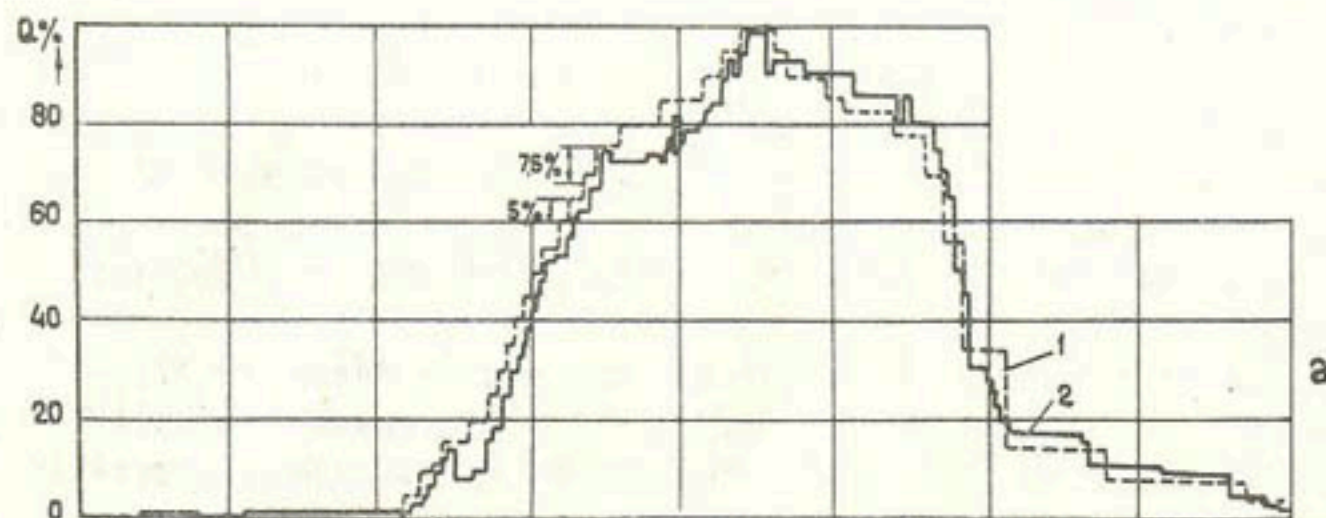


Рис. I. Графики водоподачи (1 — по плану; 2 — фактическая): а — в нижнем бьефе перегораживающего сооружения на ПК 923 Южного Голодноостепского магистрального канала; б — в голове Каршинского магистрального канала; в — в голове Джизакского магистрального канала ДМ-1

— сочетанием указанных способов.

Проведем анализ и сравнение эффективности каждого из этих способов на примере головной части джизакского каскада.<sup>х)</sup>

Защита канала от переполнения увеличением высоты его дамб в сочетании с уменьшением водоподачи предыдущей НС

Увеличения высоты дамб канала в сочетании с отключением части агрегатов предыдущей насосной станции для уменьшения расхода на величину расхода отказа аварийно отключившейся насосной станции является одним из эффективных методов защиты канала от развития в нем аварийного режима.

При увеличении высоты дамб канала необходимо учитывать следующие моменты. Отключение предыдущей насосной станции не может мгновенно снять аварийную ситуацию ввиду значительной инерционности изменения уровней в канале и большой величины запаздывания  $\tau$  доставки уменьшенного расхода на участке между смежными насосными станциями каскада. Кроме этого, отключение предыдущей НС, по условиям эксплуатации каскада, производят через время  $\Delta t$  после внезапного отключения последующей НС. Поэтому в течение времени  $\Delta T = \Delta t + \tau$  уровень воды в канале в створе последующей насосной станции будет повышаться.

Время  $\Delta t$  между внезапным отключением последующей насосной станции и оперативным отключением предыдущей определяется действиями эксплуатационного штата. Перед отключением предыдущей НС персонал оперативной службы эксплуатации аварийно отключенной должен:

1) оценить обстановку, т.е.

определить количество внезапно отключенных агрегатов на насосной станции и величину расхода отказа;

выяснить причину отключения и время возможного возобновления работы агрегатов НС. Если не представляется возможным в течение 0,5 ч осуществить запуск отключенных насосных агрегатов, то следует подготовиться к передаче информации о необходимости

<sup>х)</sup> В данной работе строительство отводящего трюкта — ДГК (Джизакский главный коллектор) предусмотрено только для сбросных расходов из каскада НС без учета отвода дренажных вод.



уменьшения водоподачи предыдущей НС;

2) проверить работоспособность средств оперативной связи с предыдущей насосной станцией и с диспетчерским пунктом для передачи сообщения о необходимости и величине сокращения расхода предыдущей НС;

3) если оперативная связь не действует, подготовить дежурную автомашину и оперативную группу для срочной поездки с сообщением о необходимости снижения водоподачи предыдущей НС;

4) отправить оперативную группу на предыдущую НС.

Лишь после этого производится последовательное отключение агрегатов предыдущей насосной станции.

Время, затрачиваемое на указанные операции, определим на примере внезапного отключения насосной станции № 2 Джизакского каскада, расположенной в 31,7 км по каналу (по дороге 40 км) от НС-1. Питание аппаратуры оперативной телефонной связи осуществляется от общей с отключившейся насосной станцией энергосистемы, и потому примем, что диспетчерская телефонная связь отсутствует. На выполнение операций по пунктам 1 и 2 затрачивается 0,5 ч; по пункту 3 — не более 0,25 ч; по пункту 4 — 1 ч; на отключение НС необходимо примерно 0,25 ч, резерв — 0,5 ч, т.е. время между внезапным отключением последующей НС и оперативным отключением предыдущей станции составляет 2,5 ч.

Проведем расчет и анализ переходных режимов в головной части каскада НС — канала ДМ-1 при 100%-ном отключении НС-2 ( $\Delta Q_K = -141 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и оперативном сокращении водоподачи НС-1 ( $\Delta Q_H = -141 \text{ м}^3/\text{с}$ ) через интервал времени  $\Delta t = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5$  и 6. Результаты расчета переходных режимов для верхнего бьефа сооружения на пк 317, где повышение уровня наибольшее по сравнению с другими створами головной части каскада, отражены на рис. 2. Из рисунка видно, что в течение времени  $\Delta T = \Delta t + t$  уровень воды быстро повышается, затем постепенно стабилизируется. Установившееся его значение зависит от интервала времени  $\Delta t$  с момента отключения НС-2 до момента сокращения водоподачи НС-1: наименьшая величина повышения уровня на пк 317 в створе в.б. в установившемся режиме  $\Delta H = 1,84 \text{ м}$  достигается при отключении НС-1 одновременно с НС-2 (т.е. при  $\Delta t = 0 \text{ ч}$ ). При расчетном интервале времени отключения НС-1 равной 2,5 ч уровень воды здесь повысился на 2,68 м; повышение уровня распространяется на 31,7 км вверх по каналу до створа в.б. НС-1 на пк 0

$\Delta H_{\text{пко}} = 0,2 \text{ м}$ . Следовательно, дамбы главной части каскада на протяжении 31,7 км необходимо нарастить в пределах указанных значений. На рис. 3 приведена расчетная зависимость стоимости наращивания высоты дамб головной части каскада (с бетонной облицовкой) от повышения уровня в конечном створе (пк 317).

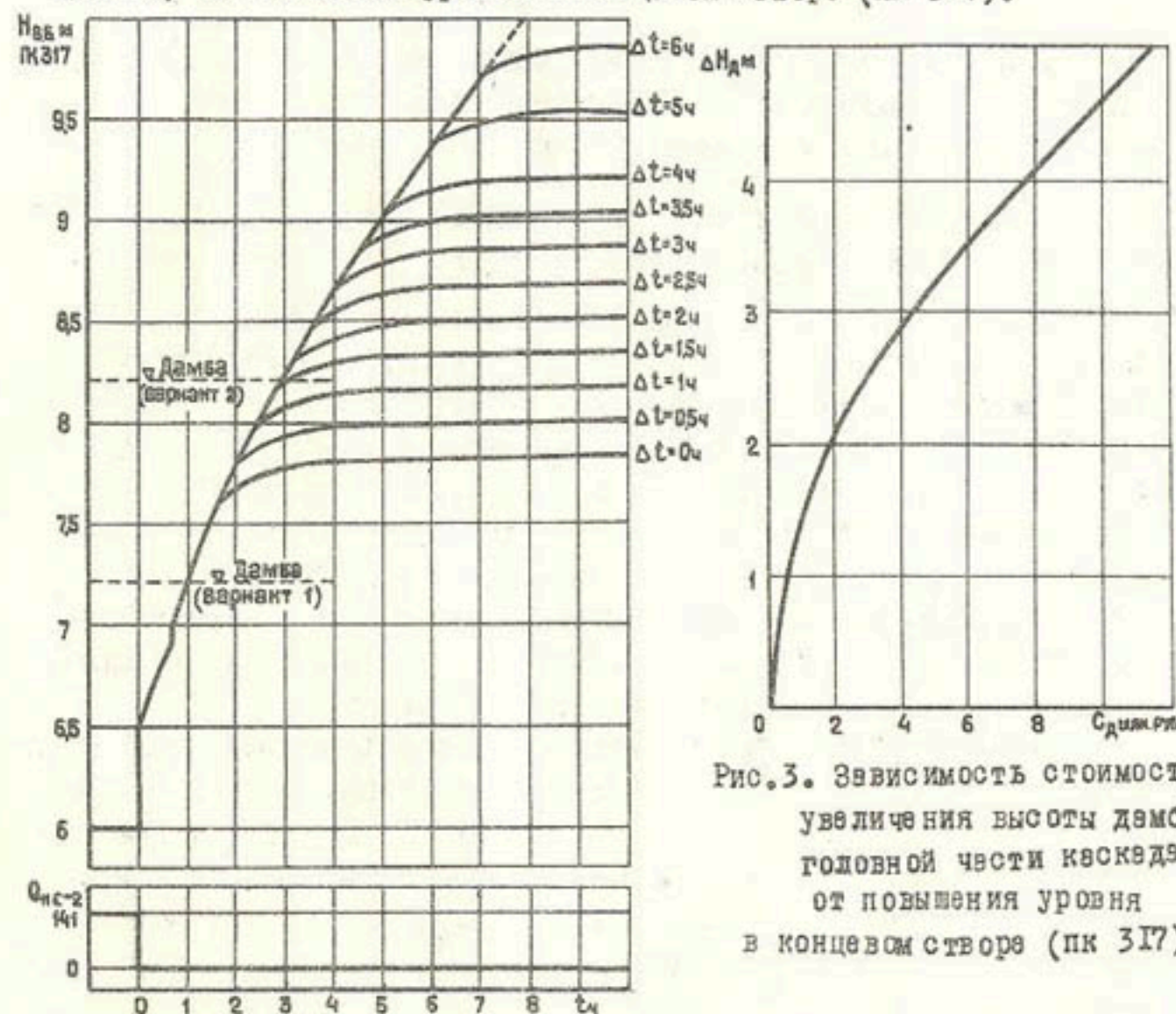


Рис. 2. Переходные режимы в верхнем бьефе перегораживающего сооружения на пк 317 канала ДМ-1 при 100%-ном аварийном отключении НС-2 ( $\Delta Q_K = -141 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и оперативном отключении НС-1 ( $\Delta Q_H = -141 \text{ м}^3/\text{с}$ ) через  $\Delta t = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5$  и 6 ч

Рис. 3. Зависимость стоимости увеличения высоты дамб головной части каскада от повышения уровня в конечном створе (пк 317)



Для значения  $\Delta H=2,68$  м расчетная стоимость защиты увеличением высоты дамбы канала в сочетании с уменьшенной подачей предыдущей НС составит 3,45 млн.руб.

Достоинством рассмотренного способа защиты является отсутствие непроизводительных потерь воды на сброс в аварийном режиме.

Недостатки его - необходимость наращивания дамбы на большую высоту при значительной протяженности; ограничения интервала времени до отключения предыдущей насосной станции.

#### Защита канала с помощью автоматического водосброса и сбросного тракта

Проведем анализ и оценку защиты головной части джизакского каскада НС с помощью автоматического водосброса и сбросного тракта. Ближайшим приемником сбросного расхода воды может служить река Клы, расположенная в 94,8 км от створа НС-2. Для защиты головной части каскада на канале ДМ-1, вблизи створа НС-2 сооружается быстродействующее автоматическое водосбросное сооружение и сбросной тракт до р.Клы. Автоматическое водосбросное сооружение и сбросной тракт должны при повышении уровня в канале пропускать такой расход оттока НС, при котором увеличение уровня было бы не выше максимально допустимого значения.

Аналогично для защиты участков каналов перед насосными станциями № 3 и 4 джизакского каскада проектируются автоматические водосбросные сооружения в н.б. НС-3 и НС-4 и сбросной тракт от н.б. НС-4 до н.б. НС-2. Ниже НС-2 сбросной тракт является общим для НС-2,3,4, обеспечивающим пропуск аварийно-сбросных расходов при внезапном отключении любой из указанных насосных станций каскада.

При назначении расхода автоматического водосброса в соответствии с рекомендациями нормативов [2,3] равным 50% расхода в канале ( $Q_{ac}=77 \text{ м}^3/\text{с}$ ) динамика в в.б. на ПК 317 следующая: уровень воды через 1,8 ч превысил максимально допустимое значение (рис. 4, кривая 3), а через 3,1 ч - отметку дамбы. Следовательно, нормативная величина расхода водосброса недостаточная. Стоимость строительства сбросного тракта  $Q_{ac}=77 \text{ м}^3/\text{с}$  составляет 5,9 млн.руб. При каждом внезапном отключении НС-2 непроизводительные потери воды на сброс за 5 ч составят 1280 тыс.м<sup>3</sup> (стоимость 2900 руб.).

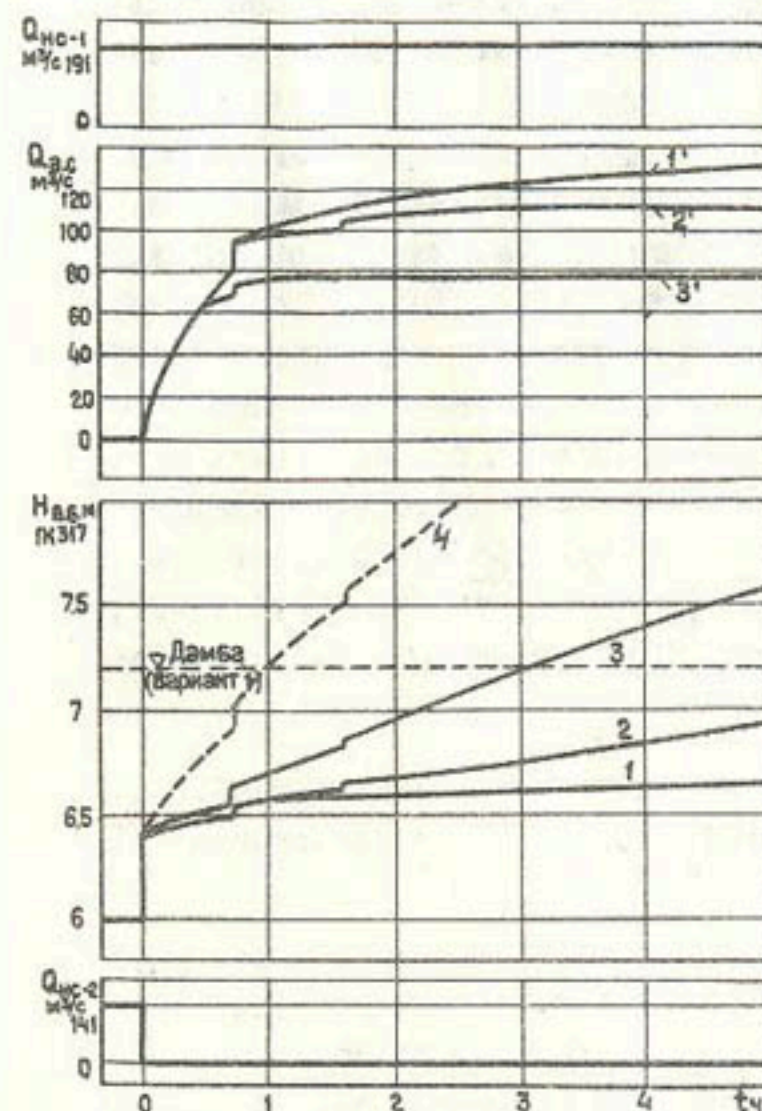


Рис.4. Переходные режимы в верхнем бьефе перегораживающего сооружения на ПК 317 канала ДМ-1 при 100%-ном отключении НС-2 ( $\Delta Q_k = -141 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и работе аварийного автоматического водосброса различной пропускной способности ( $Q_{в.с.макс}$ ):  
1 и 1' -  $Q_{в.с.макс} = 141 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  
2 и 2' -  $Q_{в.с.макс} = 110 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  
3 и 3' -  $Q_{в.с.макс} = 77 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  
4 - бьеф сброса

Автоматический водосброс на расход  $110 \text{ м}^3/\text{с}$  также не удовлетворяет требуемому условию: уровень воды через 4,5 ч достигает максимально допустимого значения (рис. 4, кривая 2). Стоимость строительства сбросного тракта - 8,3 млн.руб. При каждом внезапном отключении НС-2 непроизводительные потери воды на сброс за 5 ч составят 1775 тыс.м<sup>3</sup> (стоимость 4000 руб.).

При защите канала с помощью автоматического водосброса, рассчитанного на величину расхода отключившейся НС-2 ( $Q_{в.с} = \Delta Q_{НС-2} = 141 \text{ м}^3/\text{с}$ ), уровень воды в верхнем бьефе сооружения на ПК 317 через 2 ч достигает значения 6,65 м (рис. 4, кривая 1), что ниже максимально допустимого значения на 0,25 м, т.е. автоматический водосброс с расходом  $141 \text{ м}^3/\text{с}$  полностью обеспечивает защиту головной части каскада при внезапном отключении насосной станции. Стоимость строительства сбросного тракта на расход



141 м³/с составляет 10,3 млн.руб. и при каждом внезапном отключении НС-2 непроизводительные потери воды на сброс за 5 ч составят 1950 тыс.м³ (стоимость 4400 руб.).

Анализ защиты канала с помощью автоматического водосброса выявил его недостатки и достоинства. Недостатки: большая стоимость строительства и потеря на сброс значительного объема воды, поднятой насосной станцией; автоматический водосброс пропускной способностью до 110 м³/с не защищает канал от аварийного режима. Достоинства: автоматический водосброс пропускной способностью более 110 м³/с обеспечивает эффективность и оперативность защиты канала от аварийного режима; нет необходимости в увеличении высоты дамб; при автоматическом водосбросе с расходом до 141 м³/с не нужно отключать предыдущую НС, что облегчит восстановление водоподдачи каскада при возобновлении работы отключившейся НС.

Защита канала сокращением водоподдачи предыдущей НС, устройством автоматического водосброса и повышением высоты дамб

Анализ вышеупомянутых способов защиты головной части каскада показывает, что каждый из них имеет существенные недостатки и серьезные достоинства. Для использования достоинств обоих способов и уменьшения их недостатков представляется целесообразной организация защиты их сочетанием: сокращение водоподдачи НС-I через расчетный интервал времени ( $\Delta t$ ) 2,5 ч, устройство автоматического сброса со сбросным трактом и наращивания высоты дамб канала на величину повышения уровня.

На рис. 5 приведены результаты расчета переходных режимов в в.б. на пк 317 ДМ-I при 100%-ном отключении НС-2 ( $\Delta Q_k = -141$  м³/с, кривая 1) и применении активных мер защиты: сокращение водоподдачи НС-I на  $\Delta Q_n = -141$  м³/с через 1,5; 2; 2,5 ч (кривые 2,3,4) и работе автоматического водосброса производительностью  $Q_{в.с.} = 141$  м³/с (кривые 18,19,20),  $Q_{в.с.} = 110$  м³/с (кривые 14,15,16) и  $Q_{в.с.} = 77$  м³/с (кривые 8,9,10). Графики переходных режимов показывают, что при сочетании этих способов повышение уровня уменьшилось по сравнению с примененными порознь видами защиты. Однако, несмотря на принятые меры, использование предусмотренной нормами [2,3] величины водосброса  $Q_{в.с.} = 77$  м³/с по-прежнему приводит к недопустимому подъему уровня и

переполнению канала. Во избежание этого, кроме принятых активных мер, необходимо на протяжении 17,2 км увеличить высоту дамб канала: от 1,6 м на пк 317 до 0,46 м на пк 145, что потребует 1,3 млн.руб. дополнительных затрат. Общая стоимость противаварийной защиты, включая водосбросной тракт на  $Q = 77$  м³/с, выразится в сумме 7,2 млн.руб. Потери воды на сброс за 5 ч (рис. 5, кривая 17) составят 1280 тыс.м³, или 2900 руб. при каждом внезапном отключении НС-2.

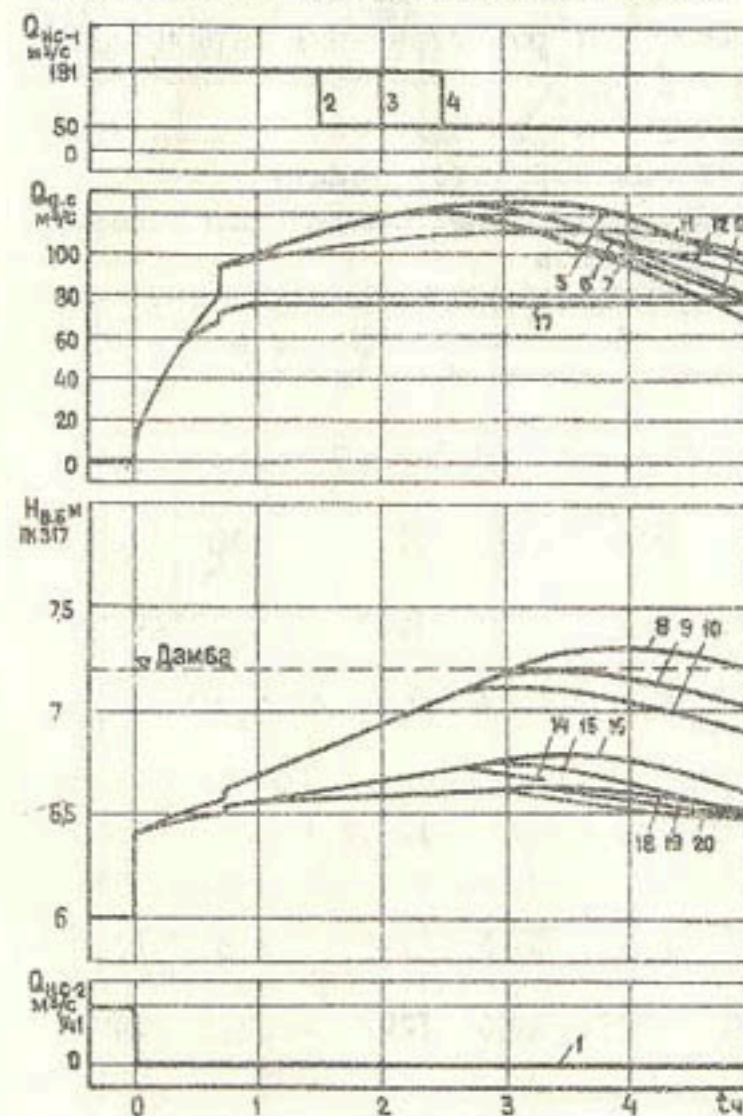


Рис. 5. Переходные режимы в в.б. на пк 317 ДМ-I при 100%-ном отключении НС-2 ( $\Delta Q_k = -141$  м³/с), работа аварийного автоматического водосброса различной пропускной способности ( $Q_{в.с. макс} = 141; 110; 77$  м³/с) и оперативном отключении НС-I на  $\Delta Q_n = -141$  м³/с через  $\Delta t = 1,5; 2; 2,5$  ч

При работе водосброса с  $Q_{в.с.} = 110$  м³/с и сокращении водоподдачи НС-I уровень воды на пк 317 не достигает максимально допустимого значения (рис. 5, кривые 14,15,16), поэтому эффективная защита обеспечивается без увеличения высоты дамб канала. Стоимость защиты - 8,3 млн.руб. Потери воды на сброс за 5 ч (рис. 5, кривые 11,12,13) составят до 1760 тыс.м³, или 3980 руб. при каждом внезапном отключении НС-2.



При работе водосброса с  $Q_{в.с.} = 141 \text{ м}^3/\text{с}$  уровень воды повышается на 0,64 м. Проектная высота дамб рассчитана на максимально допустимое повышение уровня 0,9 м, т.е. 0,26 м запаса по высоте дамб не используется (рис. 5, кривые 18, 19, 20). Следовательно, для данного варианта защиты высота дамб может быть уменьшена на 0,26 м. Стоимость защиты 10,3 млн.руб. Потери воды на сброс за 5 ч (рис. 5, кривые 5, 6, 7) составят 1870 тыс.м<sup>3</sup>, или 4200 руб. при каждом внезапном отключении НС-2.

Для сравнительной оценки основных рассмотренных вариантов защиты их показатели сведены в таблицу.

Основные показатели различных вариантов защиты

| Параметр защиты                                   | Вариант защиты            |                     |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|
|                                                   | 1                         | 2                   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| Интервал отключения НС-1, ч                       | 2,5                       | Без отключения НС-1 |      |      | 2,5  | 2,5  | 2,5  |
| Расход водосброса, м <sup>3</sup> /с              | -                         | 77                  | 110  | 141  | 77   | 110  | 141  |
| Увеличение высоты дамб канала, м                  | 3                         | 1,86                | 0,1  | -    | 1,29 | -    | -    |
| Стоимость водосбросного тракта, млн.руб.          | -                         | 5,9                 | 8,3  | 10,3 | 5,9  | 8,3  | 10,3 |
| Стоимость увеличения высоты дамб канала, млн.руб. | 4,25                      | 1,7                 | 0,1  | -    | 1,3  | -    | -    |
| Общая стоимость строительства защиты, млн.руб.    | 4,25                      | 7,6                 | 8,4  | 10,3 | 7,2  | 8,3  | 10,3 |
| Потери воды на сброс                              | Объем, тыс.м <sup>3</sup> |                     |      |      |      |      |      |
| при одном отключении НС-2                         |                           | 1280                | 1775 | 1950 | 1280 | 1760 | 1870 |
| Стоимость, руб.                                   | -                         | 2900                | 4000 | 4400 | 2900 | 3980 | 4200 |

Из таблицы в пределах рассмотренных значений расхода водосброса видно, что как строительные затраты по противоаварийной защите, так и потери воды на сброс сокращаются с уменьшением расхода водосброса и увеличением высоты дамб канала. Следовательно, должны существовать пропускная способность водосброса со сбросным трактом и строительная высота, удовлетворяющие условиям защиты, суммарная стоимость которых минимальна. Для вы-

бора рациональных параметров защиты исследуем зависимости стоимости ее строительства от расхода водосброса  $Q_{в.с.}$ , необходимого увеличения высоты дамб канала  $\Delta H_d$  и интервала времени до отключения предыдущей насосной станции.

Расчетная зависимость стоимости увеличения высоты дамб головной части каскада от повышения уровня в створе сооружения на пк 317 ДМ-1 приведена на рис. 3. Расчетная зависимость стоимости строительства водосбросного тракта от расхода аварийного водосброса приведена на рис. 6.

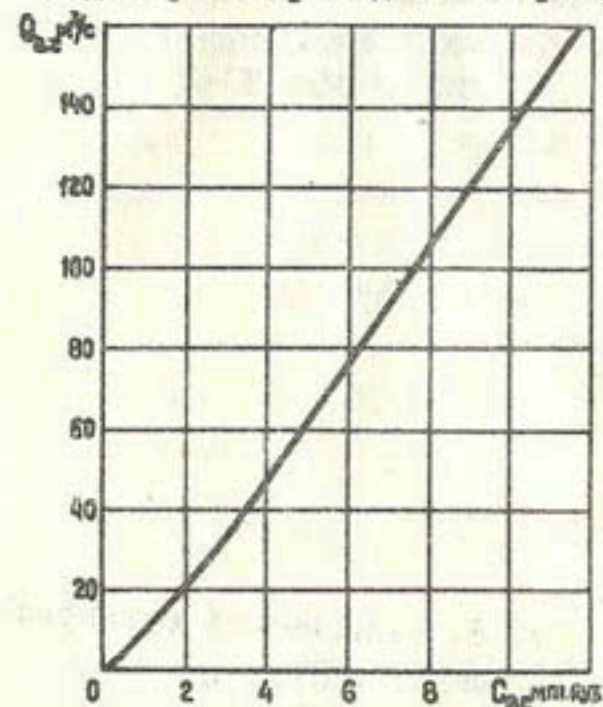


Рис. 6. Зависимость стоимости строительства водосбросного тракта ( $C_{в.с.}$ ) от расхода аварийного сброса ( $Q_{в.с.}$ )

Задаваясь различными значениями расхода водосброса (от 0 до 141 м<sup>3</sup>/с) при фиксированных интервалах времени до отключения предыдущей насосной станции ( $\Delta t$ ), рассчитаем переходные процессы в головной части каскада, построим их графики (аналогичные приведенным на рис. 5) и по ним определим максимальные отклонения уровня от начального значения в в.б. на пк 317. Построенный график зависимости  $\Delta H_d = f(Q_{в.с.})$  для каждого из интервалов времени до отключения предыдущей НС отображен на рис. 7. Из него следует, что каждому значению  $Q_{в.с.}$  соответствует определенная величина  $\Delta H_d$  при  $\Delta t = const$ .

Суммируя стоимости строительства автоматического водосброса с аварийным сбросным трактом ( $C_{в.с.}$ ) и увеличения высоты дамб ( $C_{\Delta H_d}$ ) для взаимно соответствующих значений  $Q_{в.с.}$  и  $\Delta H_d$ , построим график суммарной стоимости строительства защиты ( $C_{в.с.} + C_{\Delta H_d}$ ) в зависимости от расхода водосбросного



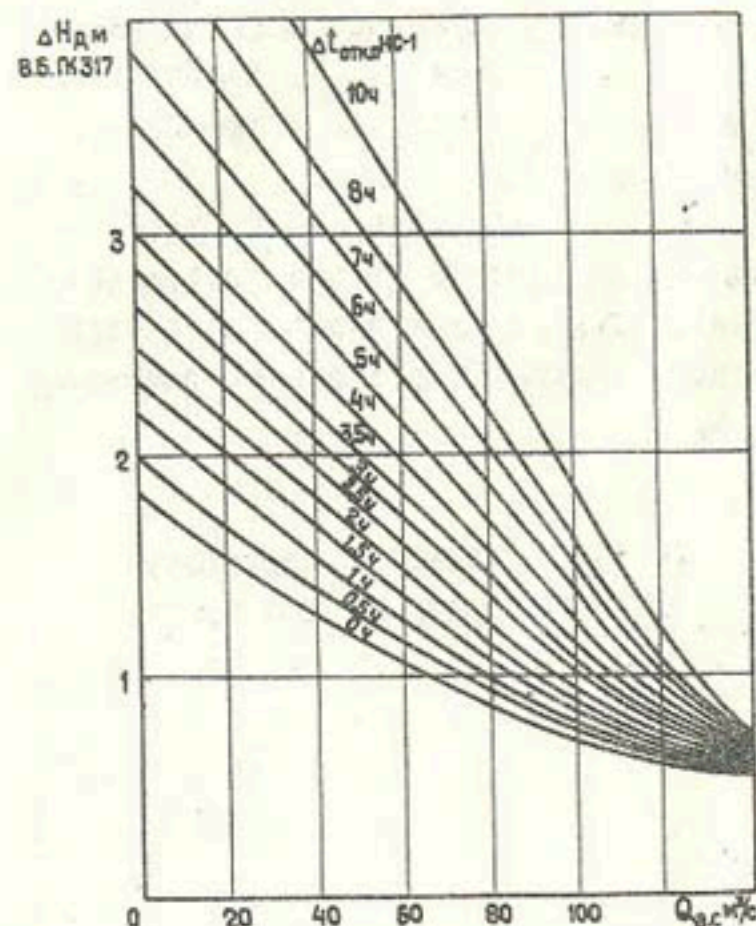


Рис. 7. Зависимость повышения дамб ДМ-I ( $\Delta H_d$ ) от пропускной способности аварийного сброса ( $Q_{в.с.}$ ) и интервала времени до отключения НС-I ( $\Delta t$  откл. НС-I) при внезапном отключении НС-2

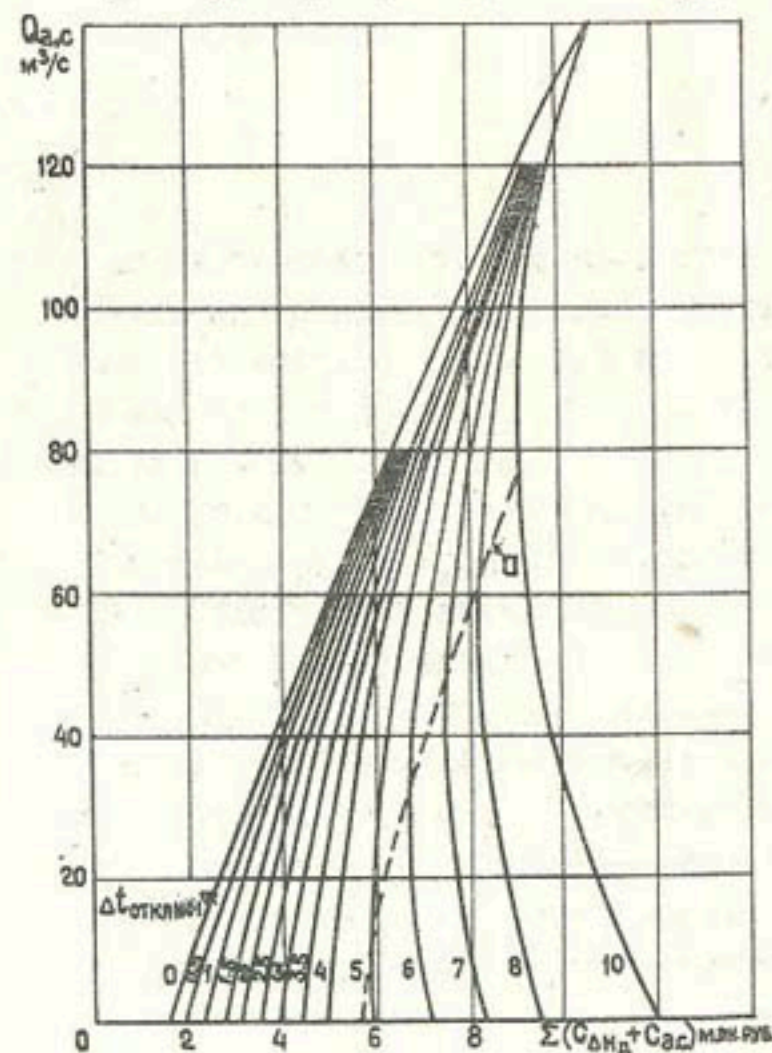


Рис. 8. Зависимость суммарной стоимости строительства защиты  $\Sigma(C\Delta H_d + C_{в.с.})$  от расхода водосбросного тракта ( $Q_{в.с.}$ ), увеличения высоты дамб ( $\Delta H_d$ ) и интервала времени до отключения предыдущей насосной станции ( $\Delta t$  откл. НС-I) [а - минимальные значения суммарной стоимости строительства защиты]

тракте, увеличения высоты дамб и интервала до отключения предыдущей НС.

График (рис. 8) позволяет выбрать рациональные значения пропускной способности водосбросного тракта и необходимую высоту дамб канала для различных интервалов времени до отключения предыдущей НС, удовлетворяющие требованиям наименьшей стоимости строительства противаварийной защиты головной части каскада. Из графика следует, что для интервалов времени до отключения предыдущей НС  $\Delta t = 0.4$  ч наиболее экономичным решением является защита только повышением дамб канала; строительство водосбросного тракта в сочетании с повышением дамб необходимо при  $\Delta t \geq 4,5$  ч. Для расчетного интервала до отключения  $\Delta t = 2,5$  ч оптимальна противаварийная защита повышением дамб канала на 2,7 м без строительства водосброса; стоимость защиты 3,5 млн.руб.

Предложенная методика выбора рационального и экономически оптимального способа противаварийной защиты может быть применена при проектировании большинства каскадов насосных станций, аналогичных Джизакскому.

#### Использованная литература

1. Тюменев Р.М. Защита транзитных участков каналов от разрушения при отключении мощных насосных станций. - Науч.тр. Ин-т "Среднеазиатгипроводхлопок", 1983. Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем, с.54-69.
2. Ч.П. СНиП П-52-74. Нормы проектирования. Гл.52. Сооружения мелиоративных систем. - М.: Стройиздат, 1975. -25с.
3. Руководство по проектированию магистральных и межхозяйственных каналов оросительных систем. ВТР-П-7-75.- М.: Минводхоз СССР и В/О"Совхозпроект", 1975. -50с.



## Р Е Ф Е Р А Т Ы

УДК 626.810:626.824:626.8:65.012.011.56

Автоматизированная система управления водохозяйственными комплексами в рациональном использовании водных ресурсов и решении Продовольственной программы. Эйягори Ф.Я. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Рассматриваются возможности повышения коэффициента использования водных ресурсов за счет создания качественной системы управления водохозяйственным комплексом. Освещаются вопросы системного подхода в решении управления водохозяйственным комплексом на примере проектов АСУБ Сырдарьи, АСУ ВХК ЮГК и "Система программирования урожая сельскохозяйственных культур в совхозе им. Ю.В. Ворошилова Главсредвзгипроводхоза в Голодной степи".

Библиографий 2.

УДК 626.8:65.012.011.56

Синтез водохозяйственного комплекса как большой системы (аспекты проектирования). Абуталиев Ф.Б., Гереев Ф.М. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Освещаются формальные и прикладные аспекты машинного проектирования больших водохозяйственных систем.

Рекомендуется методика проектирования водохозяйственного комплекса и дается путь программной ее реализации. Выделены основные конструктивные этапы проектирования и элементы программной системы.

Методика рассчитана на инженеров, не владеющих программированием.

Библиографий 7.

УДК 626.810:626.824:631.67.631.165

К вопросу оптимального планирования использования водных ресурсов крупного орошаемого массива. Толстунов Ю.В. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Рассматривается планирование использования водных ресурсов в условиях АСУ ВХК крупного орошаемого массива. Для оптимального плана водораспределения применяются относительные расчетные оценки, которые позволяют рационально и комплексно использовать все виды водных ресурсов при возделывании плановых сельскохозяйственных культур. Эта задача решается с помощью теории двойственности линейного программирования и симплексного метода.

Библиографий 6, иллюстраций 1.

УДК 556:556.3:626.812:626.811

Модель совместного использования поверхностных и подземных вод. Концабовский С.Я., Минкин Е.Л. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Предлагается методика и даются алгоритмы управления системой совместного использования подземных и поверхностных вод, предназначенный для имитационного моделирования с целью оценки надежности функционирования водохозяйственной системы.

Библиографий 4.

УДК 626.824:626.810

Постановка задач оперативного управления ВХК бассейна реки и метод их решения. Салихов М.Р. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Освещаются: целевая функция, реальные условия функционирования, требования к информации, поступающей от подсистемы планирования, и к информации о фактическом состоянии пунктов контроля и управления во времени и в пространстве. Приводятся: схема функционирования и информационно-логической взаимосвязи задач подсистемы, постановка задач подсистемы управления водораспределением в целом и по каждой задаче.

Иллюстраций 1, библиографий 3.



УДК 626.8:631.4:001.18:631.55

Разработка и исследование модели мелиоративного состояния земель. Серебрянников Ф.В. - Науч. тр. Ин-т "Среднегипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Приводится структурная схема модели мелиоративного состояния земель, указаны главные расчетные показатели, получаемые в результате мелиоративных прогнозов, дается краткое описание отдельных программных блоков. Приводится подробное обоснование принятой модели водного и солевого режимов. Указывается на важность разработки эффективных методов идентификации параметров модели, приводится пример сравнения расчетных и фактических данных о водном и солевом режимах.

Иллюстраций 2, библиографий 8.

УДК 626.84:63:626.8:65.012.011.56

О принципе расчета оросительных норм при планировании использования водных ресурсов в бассейнах крупных рек. Трунова Т.А. - Науч. тр. Ин-т "Среднегипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Изложены основные принципы районирования территории и определения оросительных норм для сельскохозяйственных культур бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи применительно к использованию результатов расчета при эксплуатации АСУ водными ресурсами. Даны блок-схемы и последовательность выполнения расчетов.

Таблиц 1, иллюстраций 4, библиографий 5.

УДК 626.810:001.18

Об особенностях определения водных ресурсов в бассейне Сырдарьи. Прохоренко Н.И., Соколов В.И. - Науч. тр. Ин-т "Среднегипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

В связи с неравномерным распределением водных ресурсов по территории бассейна и пиком водности наиболее крупных рек в начале лета, что не удовлетворяет условиям возделывания основных сельскохозяйственных культур, стоит необходимость управления распределением стока.

Подсистема "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи обеспечивает службу планирования и управления водохозяйственным комплексом бассейна информацией о текущем и прогнозном состоянии водных ресурсов по отдельным генетическим составляющим. Для целей планирования решаются задачи прогнозные, для целей оперативно-го управления - задачи информационного характера.

I очередь АСУБ Сырдарьи решает лишь задачи определения водных ресурсов бассейна и управления им. Задачи управления качеством воды будут рассмотрены на стадии II очереди.

Библиографий 4.

УДК 626.1-519

Модель переходных процессов в канале. Курганбаева С.Ю., Бибики В.Д. - Науч. тр. Ин-т "Среднегипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Исследуется оросительная сеть с применением машинного анализа и синтеза динамической системы на основе пакета прикладных программ.

Авторами получены графики переходных процессов в системе формирования регулирующего воздействия по нагрузке и по заданию, фрагмент одного из которых прилагается.

Таблиц 1, иллюстраций 4, библиографий 2.

УДК 626.1-519:626.83

Управление режимами работы каналов с перегораживающими сооружениями в каскаде насосных станций. Тиманев Р.М. - Науч. тр. Ин-т "Среднегипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Изменение производительности одной из насосных станций каскада в канале с перегораживающими сооружениями и последующее равное изменение производительности вышерасположенной НС приводят к новым, недопустимым значениям установившихся уровней в канале. За счет этого нарушается режим работы как самого канала, перегораживающих сооружений и насосных станций, так и водопотребителей. Показано, что существующее управление режимами в рассматриваемых каналах неэффективно и неэкономично. Автором данного исследования предлагаются способ и устройство автоматического регулирования баланса водоподдачи и водопотребления по уров-



ню нижнего бьефа в конце участка канала, позволяющие организовать автономное управление режимами работы канала с перегораживающими сооружениями. Приведен графоаналитический и математический, с применением ЭВМ, анализ работы предложенной системы регулирования и показаны ее эффективность и экономичность.

Иллюстраций 6, библиографий 3.

УДК 626.8:528.7

Об использовании аэрокосмической информации в мелиорации и водном хозяйстве. Леонидов В.А. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985г. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Осваиваются состояние внедрения аэрокосмической информации в стране и организация работ по совершенствованию ее. Предлагается функциональная структура отраслевой системы получения, обработки и использования аэрокосмической съемки.

Таблиц 2.

УДК 502.7:551.493:556.388:631.6

О природоохранных мероприятиях в проектах мелиорации земель. Аслаян А.С. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Приводится перечень вопросов, рассматриваемых в разделе "Охрана окружающей природной среды" в проектах мелиорации. В условиях интенсивного развития ирригации и орошаемого земледелия в Средней Азии задачи природоохраны приобретают большую важность и актуальность и природоохранные мероприятия должны в значительной степени определить основную направленность планируемых технических решений.

Библиографий 3.

УДК 556.324+626.862:556.16:001.18

Закономерности формирования и прогноз минерализации грунтовых вод и дренажного стока с учетом рельефа местности. Гольцов Ю.Я. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Предложен метод расчета структуры фильтрационных потоков

грунтовых вод к дренажным устройствам, минерализации грунтовых вод и дренажного стока в условиях расчлененного рельефа местности. Разработаны алгоритмы и программы. Приведен пример.

Таблиц 2, иллюстраций 6, библиографий 11.

УДК 631.67:626.810.3

Некоторые вопросы экономического обоснования режимов орошения минерализованными водами. Злотник В.А., Морозов А.Н. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Предложена методика расчета режимов орошения и промывок минерализованными водами, наилучших с точки зрения получения максимального чистого дохода. В ее состав входят модели водно-солевого режима орошаемого массива и формирования урожая, критерий оптимальности по чистому доходу и оптимизационный алгоритм для ЭВМ. Приведены результаты применения методики к выбору режимов орошения и анализу целесообразности промывок на расчетном примере. Показано, что предлагаемая методика позволяет разумно сочетать противоречивые цели: получение максимального чистого дохода, поддержания высоких урожаев, охрана водного источника от истощения.

Таблиц 2, библиографий 9.

УДК 626.824:626.810

Методика учета и отчетности водохозяйственных организаций бассейна крупной реки в условиях АСУ. Дрей С.П., Дидаш Н.В., Безуглая В.В. - Науч. тр. Ин-т "Средвзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Рассматривается методика организации учета, контроля и отчетности по водораспределению и водопользованию в условиях функционирования АСУ бассейна крупной реки на примере Сырдарьи. Приведен перечень комплексов задач учета и отчетности АСУБ Сырдарьи и краткая характеристика каждого из них.

Библиографий 2.



УДК 626.8:65.012.011.56

Проектирование системного математического обеспечения для АСУ водохозяйственными комплексами. Гареев Ф.М. - Науч. тр. Ин-т "Средэзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Рассматриваются формальная модель математического обеспечения АСУ водохозяйственного комплекса, методы его анализа и синтеза рациональной структуры, вопросы технологической организации работ в таких системах.

Работа будет интересна для инженеров, занимающихся АСУ в водном хозяйстве.

УДК 621.391:656.254:626.8:65.012.011.56

Расчет надежности каналов сети связи в автоматизированных системах управления водохозяйственными комплексами. Беленький Н.М., Кривописин В.А., Рубин В.С. - Науч. тр. Ин-т "Средэзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Исследованы условия прохождения сигналов ТУ и ТС по дравовидным сетям телемеханики в зависимости от их конфигурации, протяженности и типа, числа КП, включаемых в разветвления, и степени согласованности нагрузок. Показано, что распространение сигналов носит ярко выраженный волновой характер. Для устранения последнего рекомендуется по концам фидеров и разветвлений устанавливать согласующие сопротивления. Для увеличения дальности передачи сигналов предлагается устанавливать в узлах коммутации цепи распределители мощности, а в месте стыковки разнородных линий - согласующие устройства.

Иллюстраций 7, библиографий 4.

УДК 626.8:65.012.011.56

Комплексное устройство телемеханики для мелиорации "Узбекистан". Цай М.А. - Науч. тр. Ин-т "Средэзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Рассмотрены роль телемеханизации в решении комплексной задачи автоматизации гидромелиоративных систем и устройства те-

лемеханики, рекомендуемые и практически применяемые на существующих и строящихся мелиоративных системах. Дана классификация и краткая оценка известных в отрасли устройств телемеханики по виду используемой структуры линии связи, поставлена задача создания оптимального устройства телемеханики для мелиорации, приведены описание и технические характеристики нового устройства телемеханики "Узбекистан" с обоснованием выбранного названия, даны сведения о внедрении его опытно-промышленных образцов и об объемах производства.

Иллюстраций 2, библиографий 10.

УДК 621.876:627.833:626.823.3

Расчет гидроавтомата для линейных сооружений с малым перепадом. Попов В.С., Архангельский В.К. - Науч. тр. Ин-т "Средэзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Приводятся теоретические обоснования расчета и конструирования гидроавтомата с малым перепадом. Дается порядок и пример расчета.

Иллюстраций 4, библиографий 7.

УДК 631.55:582.796:681.3.06:65.011

Вопросы обоснования основных факторов в системе программирования урожая. Калинин М.И. - Науч. тр. Ин-т "Средэзгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами.

Содержатся требования по организации технологических процессов при возделывании сельскохозяйственных культур. Особое внимание уделено комплексной механизации работ, системе применения минеральных удобрений в увязке с оросительными нормами, борьбе с сельскохозяйственными вредителями, болезнями и сорняками, использованию АСУ в оперативном управлении агротехническими мероприятиями.

Библиографий 5.



УДК 626.8:65.012.011.56

КТС управления водохозяйственным комплексом Джизакской степи. Лагунова О.В., Нуриманова Н.А. - Науч. тр. Ин-т "Сред-вазгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенствование управле-ния гидромелиоративными системами.

Освещаются вопросы улучшения планирования и управления водохозяйственным комплексом Джизакской степи с помощью комп-лекса технических средств. Рассматривается организационная структура АСУ ВХК, представляющая многоступенчатую систему с подчинением низших ступеней высшим.

Иллюстраций 2, библиографий 2.

УДК 626.83

Защита головной части каскада НС от переполнения и разру-шения при отключении насосной станции. Тюменев Р.М. - Науч. тр. Ин-т "Сред-вазгипроводхлопок", Ташкент, 1985. Совершенство-вание управления гидромелиоративными системами.

На основе расчетов динамики неустановившихся режимов, воз-никающих при внезапных отключениях насосных станций, даны ана-лиз и сравнение эффективности работы, капитальных затрат и по-терь воды на сброс для основных способов защиты от переполне-ния головной части каскада насосных станций. Показано, что при-меняемые традиционные способы защиты неэкономичны. Предложена методика расчета, позволяющая выбрать экономически оптимальный способ защиты от переполнения канала головной части в каскаде НС. Рассмотрен выбор оптимального способа и параметров защиты головной части канала ДМ-I между НС-I и НС-2 Джизакского каска-да по рекомендуемой методике.

Таблиц 1, иллюстраций 8, библиографий 3.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Эйнгорн Ф.Я. Автоматизированная система управления водохозяйственными комплексами в рациональном использо-вании водных ресурсов и решении Продовольственной про-граммы | 3   |
| Абуталиев Ф.Б., Гареев Ф.М. Синтез водохозяйственного комплекса как большой системы (аспекты проектирования)                                                           | 8   |
| Толстунов Ю.В. К вопросу оптимального планирования использования водных ресурсов крупного орошаемого мас-сива                                                          | 13  |
| Кондеевский С.Я., Минкин Е.Л. Модель совместного использования поверхностных и подземных вод                                                                           | 22  |
| Салихов М.Р. Постановка задач оперативного управления ВХК бассейна реки и метод их решения                                                                             | 29  |
| Серебрянников Ф.В. Разработка и исследование модели мелиоративного состояния земель                                                                                    | 38  |
| Трунова Т.А. О принципе расчета оросительных норм при планировании использования водных ресурсов в бассейнах крупных рек                                               | 48  |
| Прохоренко Н.И., Соколов В.И. Об особенностях опреде-ления водных ресурсов в бассейне Сырдарьи                                                                         | 55  |
| Курганбаев С.Ю., Бирик В.Д. Модель переходных процес-сов в канале                                                                                                      | 61  |
| Тюменев Р.М. Управление режимами работы каналов с па-регораживающими сооружениями в каскаде насосных станций                                                           | 68  |
| Леонидов В.А. Об использовании аэрокосмической инфор-мации в мелиорации и водном хозяйстве                                                                             | 81  |
| Аслаян А.С. О природоохранных мероприятиях в проектах мелиорации земель                                                                                                | 88  |
| Гольцов Ю.Я. Закономерности формирования и прогноз минерализации грунтовых вод и дренажного стока с учетом рельефа местности                                           | 91  |
| Злотник В.А., Морозов А.Н. Некоторые вопросы экономи-ческого обоснования режимов орошения минерализованными водами                                                     | 104 |
| Дрей С.П., Дидаш Н.В., Безуглая В.В. Методика учета и отчетности водохозяйственных организаций бассейна круп-ной реки в условиях АСУ                                   | 113 |
| Гареев Ф.М. Проектирование системного математического обеспечения для АСУ водохозяйственными комплексами                                                               | 117 |



Беленький Н.М., Криволишин В.А., Рубин В.С. Расчет надежности каналов сети связи в автоматизированных системах управления водохозяйственными комплексами I23

Цай М.А. Комплексное устройство телемеханики для мелиорации "Узбекистан" I32

Попов В.С., Архентельский В.К. Расчет гидроавтомата для линейных сооружений с малым перепадом I38

Калинин М.И. Вопросы обоснования основных эффектов образующих факторов в системе программирования урожая I57

Лагунова О.В., Нуриманова Н.А. КТС управления водохозяйственным комплексом Джиззакской степи I65

Тюменев Р.М. Защита головной части каскада НС от переполнения и разрушения при отключении насосной станции I70

Рефераты I84

Сводный план, 1985, поз.2

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ

Сборник научных трудов

Редактор Е.Н.Макушенко

Р-03686. Подписано в печать 30/XI-85г. Формат бумаги 60х90 I/I6. Усл.п.л.9,8. Уч.изд.л.9. Тираж 450 экз. Заказ 1007. Цена 80 коп.

Картфабрика института "Узгипрозем", Ташкент, Муками, I75.