

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР**

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

Для служебного пользования

Экз № 000098 ❁

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
И СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КАТАСТРОФ
И СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

Сборник научных трудов

Ташкент — 1985

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
И СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КАТАСТРОФ
И СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Сборник научных трудов

Ташкент—1985

УДК 556.18:626/627

В сборнике помещены работы по оценке устойчивости функционирования водохозяйственных объектов в экстремальных условиях. Круг вопросов, возникающих при решении подобных задач, охватывает как разделы, связанные с моделированием физических процессов (движение волны прорыва, разрушение элементов конструкций, самоочищения водоемов от патогенной микрофлоры и т.п.), так и разделы Исследования операций и Системного анализа.

Сборник рассчитан на научных работников исследовательских и проектных институтов, занимающихся вопросами повышения устойчивости функционирования водохозяйственных объектов.

Редакционная коллегия:

Духовный В.А. (отв.ред.), Умаров У.У. (зам.ред.),
Тучин А.И., Акулов В.В., Полинов С.А., Дерлятка Т.И.,
Цой Г.А., Шапошникова Т.М.

С

Среднеазиатский научно-исследовательский
институт ирригации им.В.Д.Журина, 1985

В.А.Борисова, В.Е.Шапаров
(Совзгипроводхоз)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЕ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЭВМ

Инженерная обстановка на гидромелиоративной системе (ГМС) складывается на основе оценок состояния её основных производственных фондов, а также сохранившихся производственных мощностей в условиях аварийной ситуации. Основные производственные фонды ГМС – это сооружения, входящие в её состав.

Состояние основных производственных фондов ГМС после воздействия избыточного давления оценивается двумя показателями: степенью разрушения и относительным ущербом. Величина разрушений определяется затратами на их восстановление без учета сопутствующих работ (ими являются, например, расчистка от завалов, демонтаж конструкций и т.д.).

Показатель степени разрушения необходим для того, чтобы каждую конкретную величину ущерба можно было отнести к какой-либо категории: незначительный ущерб – это слабая степень разрушения; большой ущерб – сильная степень и т.д.

Деление ущерба на малый, средний и большой является в какой-то мере условным, так как зависит от стоимости сооружений. В связи с этим возникает необходимость введения показателя относительного ущерба. Относительный ущерб ($\bar{G}$) какого-либо сооружения – отношение ущерба (G), полученного объектом, к его стоимости (C). Относительный ущерб всей ГМС – это отношение суммарного ущерба по всем объектам ГМС к стоимости всей ГМС. Справедливо следующее равенство:

$$\bar{G} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_i \bar{G}_i, \quad (1)$$

где $\bar{G}$ – относительный ущерб ГМС; $\bar{G}_i$ – то же, i – го сооружения; $\bar{C}_i$ – относительная стоимость i – го сооружения в составе ГМС.

Производственные мощности ГМС характеризуют работоспособность системы в соответствии с состоянием основных производственных фондов. Для оценки сохранившихся мощностей ГМС используют показатель $\bar{P}$, определяющий долю сохранившихся производственных мощностей ГМС:

$$\bar{P} = \frac{\bar{G}^n - \bar{G}}{\bar{G}^n - \bar{G}^0} \quad (2)$$

Здесь $\bar{G}^0$ — экспертная оценка максимального относительного ущерба, при котором ГМС функционирует нормально, её производственные мощности сохраняются; $\bar{G}^n$ — экспертная оценка минимального относительного ущерба, при котором ГМС прекращает функционировать, производственные мощности её полностью утрачиваются.

П о с т а н о в к а з а д а ч и . Задача оценки инженерной обстановки на ГМС может быть кратко сформулирована следующим образом.

Заданы: структура ГМС, характер воздействия.

Необходимо: дать оценку состояния ОПФ после воздействия, определить ущерб в рублях; выявить сохранившиеся производственные мощности ГМС; установить перечень и объёмы строительных работ, необходимых для восстановления системы.

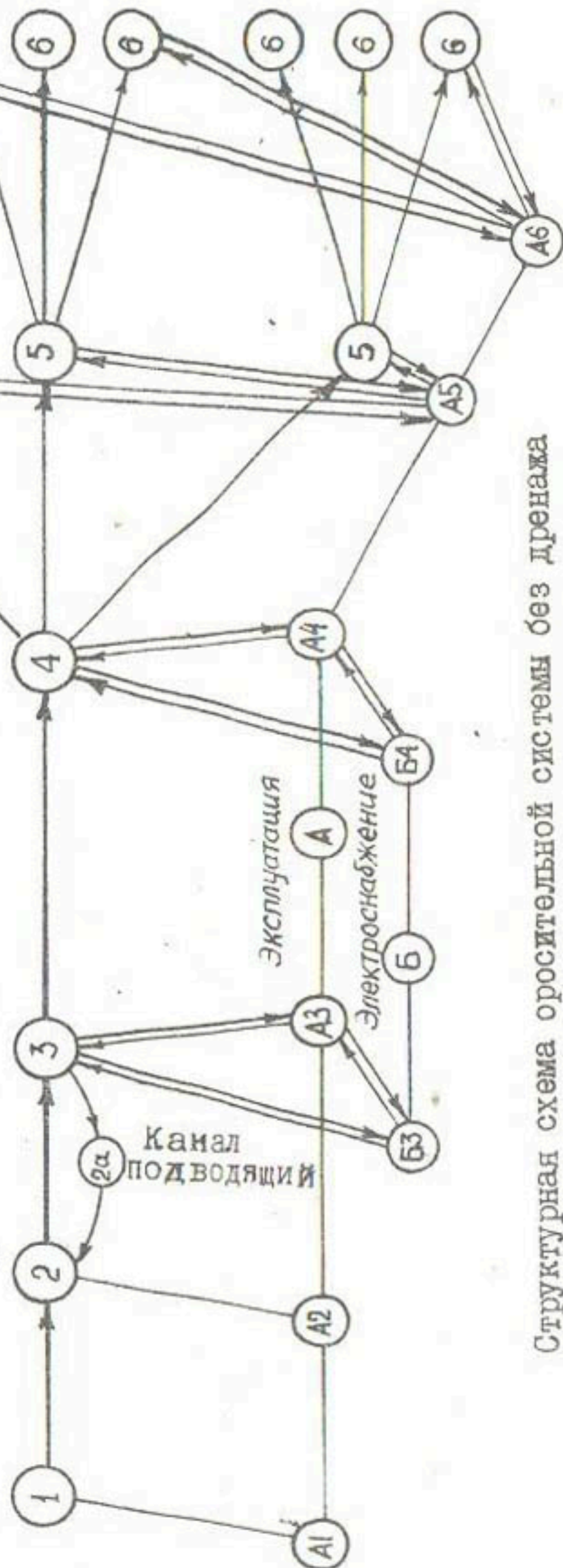
На схеме (рисунок) выделены отдельные уровни гидрометеорологической системы без дренажа, а также два подуровня (электрооборудование и эксплуатация) во взаимосвязи с основными уровнями. Каждый уровень представляет собой упорядоченную последовательность взаимосвязанных элементов ГМС.

О с н о в н ы е э т а п ы м е т о д и к и . Методика оценки инженерной обстановки на ГМС в условиях воздействия избыточной волны состоит из следующих основных этапов: разработки информации по устойчивости элементов ГМС; определения границ степеней разрушения для отдельных уровней ГМС и системы в целом; прогнозирования инженерной обстановки на ГМС с использованием вероятностной и детерминированной моделей воздействия.

На первом этапе для каждого элемента ГМС устанавливают зависимость относительного ущерба его от величины избыточного давления. Для этого в соответствии с данными спра-

Поливная
сетьВнутрихоз.
сетьОросительная
сеть
магистральнаяНасосная
станция
головнаяВодозаборное
сооружение

Водоисточник



Структурная схема оросительной системы без дренажа

вочника ГО по каждому элементу ГМС назначают границы интервалов избыточного давления, влекущего слабое, среднее, сильное и полное разрушения.

Обозначим эти граничные значения избыточного давления, соответственно, для i -го элемента ГМС:

$$\Delta P^{нэ}_{i\text{сл}} ; \Delta P^{вэ}_{i\text{сл}} ; \Delta P^{вэ}_{i\text{ср}} ; \Delta P^{вэ}_{i\text{с}} ; \Delta P^{э}_{i\text{п.}}$$

Затем определим (пока весьма приближенно, опираясь на описательные характеристики разрушений, приведённые в справочниках ГО) величины абсолютных и относительных ущербов, соответствующие граничным значениям избыточных давлений.

Обозначим для i -го элемента ГМС соответствующие величины этих относительных ущербов:

$$\begin{matrix} нэ & вэ & вэ & вэ & э \\ \bar{G}_{i\text{сл}} ; & \bar{G}_{i\text{сл}} ; & \bar{G}_{i\text{ср}} ; & \bar{G}_{i\text{с}} ; & \bar{G}_{i\text{п.}} \end{matrix}$$

Величины граничных значений избыточного давления и соответствующие им величины относительных ущербов представляют исходную информацию по устойчивости отдельных элементов ГМС.

На втором этапе определяют границы степеней разрушения для отдельных уровней ГМС и системы в целом. Каждая степень разрушения должна иметь некоторый интервал, в который попадает величина относительного ущерба. Приняты четыре степени разрушения: 1-я степень – слабое; 2-я – среднее; 3-я – сильное; 4-я степень – полное разрушение. Соответственно введены четыре интервала изменения величины относительного ущерба (каждой степени – свой интервал).

Для j -го уровня ГМС значения относительного ущерба в граничных точках интервалов разрушений рассчитывают по формулам

$$\left. \begin{aligned} \bar{G}_{j\text{сл}}^{нэ} &= \sum_{i=1}^{m_j} \bar{C}_{ij} \bar{G}_{i\text{сл}}^{нэ} \\ \bar{G}_{j\text{сл}}^{вэ} &= \sum_{i=1}^{m_j} \bar{C}_{ij} \bar{G}_{i\text{сл}}^{вэ} \\ \bar{G}_{j\text{ср}}^{вэ} &= \sum_{i=1}^{m_j} \bar{C}_{ij} \bar{G}_{i\text{ср}}^{вэ} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{G}_{jc}^{\delta y} &= \sum_{i=1}^{m_j} \bar{C}_{ij} \bar{G}_{ic}^{\delta y} \\ \bar{G}_{jn}^y &= \sum_{i=1}^{m_j} \bar{C}_{ij} \bar{G}_{in}^y \end{aligned} \right\}$$

в которых суммирование ведётся по всем элементам j -го уровня; m_j - число элементов в j -м уровне;

$\bar{C}_{ij}$ - относительная стоимость i -го элемента j -го уровня (относительно стоимости уровня).

Значения относительного ущерба всей ГМС в граничных точках интервалов разрушений рассчитывают по формулам

$$\left. \begin{aligned} \bar{G}_{cl}^H &= \sum_{j=1}^m \bar{C}_j \bar{G}_{jc}^{Hy} \\ \bar{G}_{cl}^b &= \sum_{j=1}^m \bar{C}_j \bar{G}_{jc}^{\delta y} \\ \bar{G}_{cp}^b &= \sum_{j=1}^m \bar{C}_j \bar{G}_{jp}^{\delta y} \\ \bar{G}_c^b &= \sum_{j=1}^m \bar{C}_j \bar{G}_{jc}^{\delta y} \\ \bar{G}_n^y &= \sum_{j=1}^m \bar{C}_j \bar{G}_{jn}^y \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где суммирование ведётся по всем уровням ГМС; m - число уровней ГМС; $\bar{C}_j$ - относительная стоимость j -го уровня.

На третьем этапе осуществляется прогноз инженерной обстановки с использованием вероятностей моделей воздействия.

В вероятностной модели воздействия предполагаются известными функции распределения вероятностей появления избыточных давлений для отдельных регионов и объектов (для краткости эти функции в дальнейшем будем называть просто функциями распределения).

В детерминированной модели воздействия предполагаются известными параметры конкретного воздействия.

Алгоритм прогнозирования инженерной обстановки на ГМС с использованием вероятностной модели воздействия. В этом случае прогнозирование инженерной обстановки на ГМС осуществляется следующим образом:

1. Выясняется, в каких экономических районах находятся объекты исследуемой гидромелиоративной системы;

2. Для каждого элемента ГМС определяется функция распределения $F_i(x) = P(\Delta P < x)$, которая рассчитывается по формуле

$$F_i(x) = \sum_{k=1}^{\ell} P_k, \quad (i=1, \dots, n), \quad (5)$$

где n — число элементов ГМС, P_k — вероятность появления k -го диапазона избыточного давления в регионе;
 ℓ — порядковый номер диапазона избыточного давления, в который попадает величина x ;

Число диапазонов давлений и вероятности их появления для каждого региона имеют свои значения;

3. По формуле (6), с учетом формул (3) и (4), вычисляют математическое ожидание относительного ущерба каждого элемента ГМС:

$$\begin{aligned} M(\bar{G}_i^3) = 1 - \frac{1}{2} \left[(\bar{G}_{исл}^{нз} + \bar{G}_{исл}^{бз}) F_i(\Delta P_{исл}^{нз}) + (\bar{G}_{иср}^{бз} - \bar{G}_{исл}^{нз}) F_i(\Delta P_{исл}^{бз}) + \right. \\ \left. + (\bar{G}_{ис}^{бз} - \bar{G}_{исл}^{бз}) F_i(\Delta P_{иср}^{бз}) + (1 - \bar{G}_{иср}^{бз}) F_i(\Delta P_{ис}^{бз}) + \right. \\ \left. + (1 - \bar{G}_{ис}^{бз}) F_i(\Delta P_{ин}^3) \right], \quad (i=1, \dots, n) \end{aligned} \quad (6)$$

Зная $M(\bar{G}_i)$ и границы степеней разрушения (4), можно определить вероятную степень разрушения каждого элемента ГМС.

4. По формуле

$$M(\bar{G}_j^y) = \sum_{i=1}^{m_j} \bar{C}_{ij} M(\bar{G}_i^3), \quad (j=1, \dots, m) \quad (7)$$

вычисляют математическое ожидание относительного ущерба каждого уровня ГМС. Здесь m — число уровней; m_j — число элементов, входящих в j -й уровень; $\bar{C}_{ij}$ — относительная стоимость i -го элемента в составе j -го уровня.

Зная ожидаемые относительные ущербы и границы (5) степеней разрушения, можно определить степень разрушения каждого уровня;

5. По формуле

$$M(\bar{G}) = \sum_{i=1}^m \bar{G}_i M(\bar{G}_i) \quad (8)$$

вычисляют математическое ожидание относительного ущерба всей гидромелиоративной системы и по границам (4) определяют степень её разрушения;

6. Долю сохранившихся производственных мощностей системы рассчитывают по формуле (2), в которой вместо ущерба ($\bar{G}$) берётся его математическое ожидание $M(\bar{G})$.

Алгоритм прогнозирования обстановки на ГМС с использованием детерминированной модели воздействия. Для упрощения задачи предполагается, что имеет место аварийный взрыв наземного типа.

Известны: q — мощность взрыва; R_i — расстояние от центра взрыва до i -го элемента системы.

Расчет максимального давления во фронте воздушной ударной волны с учетом отраженной волны при наземном взрыве производится по формуле

$$\Delta P_{\text{ф}} = 0,84 \frac{\sqrt[3]{q}}{R} + 2,7 \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{R} \right)^2 + 7 \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{R} \right)^3, \quad (9)$$

где q — полный тротильный эквивалент, кг; R — расстояние от центра взрыва, м.

Прогнозирование инженерной обстановки на ГМС осуществляется следующим образом:

1. По формуле (9) для каждого элемента системы рассчитывают величину избыточного давления $\Delta P_i^{\text{э}}$, ($i = 1, \dots, n$), а затем, учитывая граничные значения избыточных давлений, определяют и степень разрушения элементов ГМС;

2. По каждому элементу ГМС определяют величину относительного ущерба ($\bar{G}_i^{\text{э}}$), соответствующую избыточному давлению $\Delta P_i^{\text{э}}$, ($i = 1, \dots, n$). Для этого используют формулу линейной интерполяции:

$$\bar{G}_i^{\gamma}(\Delta P_{\phi}) = \bar{G}_{\gamma}^{\delta} - (\bar{G}_{\gamma}^{\delta} - \bar{G}_{\gamma}^{\eta}) \frac{\Delta P_{\gamma}^{\delta} - \Delta P_{\gamma}^{\eta}}{\Delta P_{\gamma}^{\delta} - \Delta P_{\gamma}^{\eta}}, \quad (10)$$

где γ — номер степени разрушения; $\bar{G}_{\gamma}^{\delta}$ — величина относительного ущерба, соответствующая верхней границе γ — й степени разрушения;
 $\bar{G}_{\gamma}^{\eta}$ — то же, нижней границе γ — й степени разрушения;
 $\Delta P_{\gamma}^{\delta}$ — величина избыточного давления ΔP_{ϕ} , соответствующая верхней границе γ — й степени разрушения; ΔP_{γ}^{η} — то же, нижней границе γ — й степени разрушения;

3. Относительный ущерб j — го уровня ГМС вычисляется по формуле

$$\bar{G}_j^{\gamma} = \sum_{i=1}^{m_j} \bar{C}_{ij} \bar{G}_i^{\gamma}, \quad (11)$$

где $j = 1, \dots, m$; m_j — число элементов j — го уровня;
 $\bar{C}_{ij}$ — относительная стоимость i — го элемента в составе j — го уровня ГМС; $\bar{G}_i^{\gamma}$ — относительный ущерб i — го элемента уровня;
 m — число уровней.

С учетом границ (3) определяют степени разрушения уровней гидромелиоративной системы;

4. Величину относительного ущерба $\bar{G}$ всей ГМС определяют по формуле

$$\bar{G} = \sum_{j=1}^m \bar{C}_j \bar{G}_j^{\gamma}, \quad (12)$$

где суммирование ведётся по всем уровням системы; $\bar{C}_j$ — относительная стоимость j — го уровня;

5. Показатель сохранившихся производственных мощностей ГМС вычисляют по формуле (2).

Приведённая выше методика позволяет оценить инженерную обстановку не только на ГМС в целом, но и для каждого её уровня и элемента в отдельности.

На основе данной методики разработана математическая модель и составлена комплексная программа расчета на ЭВМ ЕС-1030 инженерной обстановки на гидромелиоративной системе

при воздействии на неё ударной волны. Программа выполнена на алгоритмическом языке ФОРТРАН-4.

В результате работы ЭВМ выдаёт на печать следующие основные показатели прогноза состояния инженерной обстановки: степень разрушения; относительный ущерб, абсолютный ущерб (руб.); долю сохранившейся производственной мощности.

Опираясь на указанные основные показатели прогноза, можно определить объём строительных работ, необходимый для восстановления системы. Для этого используются специальные таблицы перехода.

Пример расчёта.

Возьмём гидромелиоративную систему, состоящую из 6 основных уровней и двух подуровней. Математическая модель прогноза характеристик инженерной обстановки не делает различия между основным уровнем и подуровнем, поэтому можно считать, что исследуемая ГМС состоит из 8 уровней:

- 1-й уровень – водосточник;
- 2-й – " – – водозаборное сооружение;
- 3-й – " – – головная насосная станция;
- 4-й – " – – магистральная межхозяйственная оросительная сеть;
- 5-й – " – – внутрихозяйственная сеть;
- 6-й – " – – поливная сеть;
- 7-й – " – – электроснабжение;
- 8-й уровень – эксплуатация.

Предполагается, что ГМС подверглась воздействию ударной волны, которое описывается вероятностными параметрами – математическими ожиданиями долей площади региона, "накрываемыми" определенными диапазонами избыточного давления.

Для работы программы необходима следующая исходная информация:

- число уровней ГМС;
- число элементов в каждом уровне;
- стоимость каждого элемента ГМС;
- границы интервалов избыточного давления, влекущего слабое, среднее, сильное и полное разрушения;
- границы относительных ущербов, соответствующие назначенным выше границам избыточного давления;

параметры воздействия;

экспертные оценки относительных ущербов для определения показателя сохранившихся производственных мощностей элементов, уровней и всей системы.

В результате расчета на ЭВМ получены следующие выходные данные по уровням ГМС:

степени поражения по всем уровням для принятой модели воздействия равны нулю за исключением первого уровня – водоем источника, где получена слабая степень разрушения;

относительные ущербы по уровням колеблются от 0,001 до 0,045;

абсолютные ущербы по уровням ГМС изменяются от 0,2 до 205,1 тыс.руб.;

доли сохранившихся производственных мощностей по всем уровням равны единице. Это показывает, что производственные мощности полностью сохраняются.

В целом по системе получены следующие данные: степень поражения равна нулю; полный ущерб получен на сумму 472,05 тыс.руб.; доля сохранившейся производственной мощности равна единице.

Анализ итоговых данных расчетов на ЭВМ показывает следующее:

для принятой модели воздействия избыточного давления мелиоративная система получает незначительные разрушения;

в целом система будет функционировать нормально, за исключением отдельных элементов;

к отдельным элементам, получившим слабое и среднее разрушения, в третьем уровне ГМС относятся мостовой и козловый краны головной насосной станции, перекрытие здания насосной станции. В седьмом уровне слабому разрушению подвержены линии электропередач ВЛ – 110 кВ и ВЛ – 35 кВ. В восьмом уровне слабым и средним разрушениям подвержены контора эксплуатационного участка, гаражи, материальные склады, навесы для мелиоративной техники, двухэтажные дома.

В целом ГМС является устойчивой к принятому варианту воздействия избыточного давления.

1. Методологические основы оценки устойчивости функционирования гидромелиоративного звена отрасли.—М.: ВНИИГМ, 1980, (ДСП).
2. Березин Н.С. и Жидков Н.П. Методы вычислений. Т.1.—М.: Физматгиз, 1962.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.—М.: Наука, 1964.

А.И.Тучин, Н.Г.Марданова
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Разработка методики оценки функциональной способности водохозяйственных объектов (ВХО) в условиях аварий и стихийных бедствий, предпринятая авторами данной статьи, основывается на принципе совместного использования информации экспертов и последовательной декомпозиции структуры объекта. Такой подход рационален, когда необходимо получить оценку функциональной способности ВХО при резком изменении характера взаимосвязей и параметров элементов объекта в катастрофических ситуациях. Необходимость привлечения экспертной информации обусловлена в основном тем, что имеющиеся на сегодняшний день исследования о характере разрушений на ВХО при экстремальных обстоятельствах недостаточны для создания корректной математической модели функционирования этих объектов, охватывающей всю совокупность возможных вариантов разрушений.

Концепция тождественности устойчивости функционирования объекта с надежностью технической системы, которая позволяет для оценки устойчивости функционирования объекта привлечь достаточно хорошо разработанный математический аппарат теории надежности, в данном случае неприемлема, поскольку

представление о работе элементов в водохозяйственных объектах в виде булевых переменных далеко от действительности, что резко снижает (а иногда вообще сводит на нет) качество результатов, получаемых на подобных моделях.

Предлагаемая методика базируется на представлении о том, что значения функциональной способности каждого элемента объекта, в зависимости от конкретной ситуации, охватывают весь спектр между нулем и единицей (т.е. булевские переменные рассматриваются как частный случай). Для этого в работе вводится понятие функций ограничений и указываются способы их определения.

Классификация водохозяйственных объектов

Под водохозяйственным объектом понимается весь территориально объединённый комплекс гидротехнических сооружений, тем или иным образом принимающий участие в добыче, аккумулировании или перераспределении водных ресурсов. В зависимости от выдвигаемых требований ВХО могут классифицироваться (объединяться в группы по каким-либо признакам) самыми различными способами. Однако в экстремальных условиях достаточно выделить три основных типа ВХО:

- водохранилищные гидроузлы;
- насосные станции;
- водозаборные сооружения.

Каналы здесь не рассматриваются как самостоятельные объекты, поскольку при формализации структуры объекта их можно отнести к одному из элементов ВХО. Выделение трёх типов ВХО обусловлено лишь различиями в разработанных методиках расчета. Реальный же объект может включать в себя сразу все три типа. Каждый тип ВХО с функциональной точки зрения характеризуется следующими параметрами:

Водохранилищный гидроузел:

объём водохранилища как функция глубины перед плотиной

$$W = W(H) ;$$

попуск в нижний бьеф через водосбросы

$$Q_B = Q_B(\bar{a}_B, H)$$

где $\bar{a}_8$ — параметры управления водосбросами;
попуск в нижний бьеф через турбины ГЭС

$$Q_T = Q(\bar{a}_T, H)$$

где $\bar{a}_T$ — параметры управления ГЭС;
мощность, вырабатываемая ГЭС

$$P = P(Q_T, H).$$

Насосная станция:

подаваемый расход

$$Q = Q(z, \bar{a})$$

где z — отметка поверхности воды в подводящем канале;
 $\bar{a}$ — параметры управления насосной станцией.

Водозаборное сооружение:

забираемый расход

$$Q = Q(z, \bar{a})$$

где z — отметка поверхности воды перед сооружением;
 $\bar{a}$ — параметры управления сооружением.

Во всех трёх случаях параметры управления определяются конкретным объектом и могут быть количеством работающих турбин, открытием щита и т.п. Часть этих параметров является характеристиками объекта и рассчитывается через его состояние, а остальная часть зависит от состояния внешних связей.

Конструкции ВХО, как правило, массивны и физически устойчивы по отношению к возмущениям различного рода (балльность землетрясения, избыточное давление при ураганном ветре, параметры паводковой волны), поэтому потеря функциональной способности объектов в основном зависит от параметров паводковой волны и изменения водохозяйственного и гидравлического режимов в русле реки. Причем, факторы, существенно влияющие на функциональную способность ВХО, зависят от разрушения объектов первого типа (водохранилищные гидроузлы). На параметры волны наводнения, по которым можно определить степень физического разрушения ВХО, влияют объём водохранилища и высота плотины. Изменение гидравлического режима в русле связано с размывом или заилением, величина которого

зависит от параметров паводковой волны; изменение водохозяйственного режима обусловлено невозможностью перераспределения гидрографа речного стока из-за отсутствия водохранилищ.

Отсюда следует, что достоверность оценки функциональной способности ВХО второго и третьего типов в первую очередь определяется достоверностью оценки функциональной способности ВХО первого типа. Поэтому при разработке методик особое внимание уделяется вопросам оценки состояния и функциональной способности ВХО первого типа.

Необходимость в разработке показателей и критериев оценки функциональной способности ВХО в экстремальных условиях обусловлена в первую очередь тем, что набор показателей оценки функциональной способности ВХО, существующий в настоящее время, заранее предполагает исправность (или возможность немедленного исправления) любых элементов ВХО. В экстремальных условиях концепция полной исправности элементов ВХО неприемлема, поэтому перечень показателей должен давать реальную оценку функциональной способности ВХО даже при полном разрушении каких-либо его элементов.

Выбор показателей оценки функциональной способности ВХО опирается на перечень требований, предъявляемых к процессу функционирования ВХО в настоящее время. В соответствии с разделением на типы ВХО, эти перечни следующие:

Для водохранилищного гидроузла:

объем аккумуляирования W , который представляет собой разность между максимально и минимально допустимыми объемами водохранилища, т.е.

$$W = W^{max} - W^{min}; \quad (1)$$

величина попуска в нижний бьеф

$$Q = Q_B - Q_T; \quad (2)$$

диапазон возможного изменения попусков в нижний бьеф

$$DQ = \max \{ (Q_B^{max} + Q_T^{max} - Q), (Q - Q_T^{min} - Q_B^{min}) \}. \quad (3)$$

В обычных условиях величину DQ , как правило, не берут во внимание, поскольку диапазон может колебаться от нуля

до максимальных значений в зависимости от требуемого режима работы гидроузла, однако в результате заклинивания затворов диапазон может резко сузиться, что не позволит эффективно использовать даже оставшуюся ёмкость водохранилища;

мощность, вырабатываемая ГЭС

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G \quad (4)$$

(η_T , η_G — КПД турбины и генератора соответственно).

Таким образом, показатель оценки функциональной способности ВХО первого типа является вектором, имеющим четыре компоненты

$$PFS' = \begin{bmatrix} W \\ Q \\ DQ \\ P \end{bmatrix} \quad (5)$$

Показатели оценки функциональной способности ВХО второго и третьего типов одинаковы, и представлены векторами с двумя компонентами. Их выбор обусловлен следующими соображениями. В экстремальных обстоятельствах на насосной станции или водозаборном сооружении происходят разрушения, при которых теряется функциональная способность затворов и агрегатов насосной станции (выход из строя подъёмных механизмов затворов, заклинивание или полное разрушение затворов, заклинивание агрегатов насосной станции, разрушение части двигателей насосов из-за обрушения здания насосной станции, разрушение части напорных или всасывающих трубопроводов и т.д.). В результате сооружения становятся неуправляемыми, однако подача воды (частичная) сохраняется. Для того чтобы дать реальную оценку функциональной способности объекта, находящегося в таком состоянии, необходимо сравнить, насколько подаваемый расход соответствует требуемому в течение некоторого промежутка времени (рис. I).

Считая, что отклонения возможного расхода от требуемого недопустимы, показатель функциональной способности ВХО на интервале времени t (рис. I) принимает вид

$$PFS_{II,III} = 1 - \left(\int_{t_0}^t |Q^{TP} - Q^{603}| dt \right) / \int_{t_0}^t Q^{TP} dt \quad (6)$$

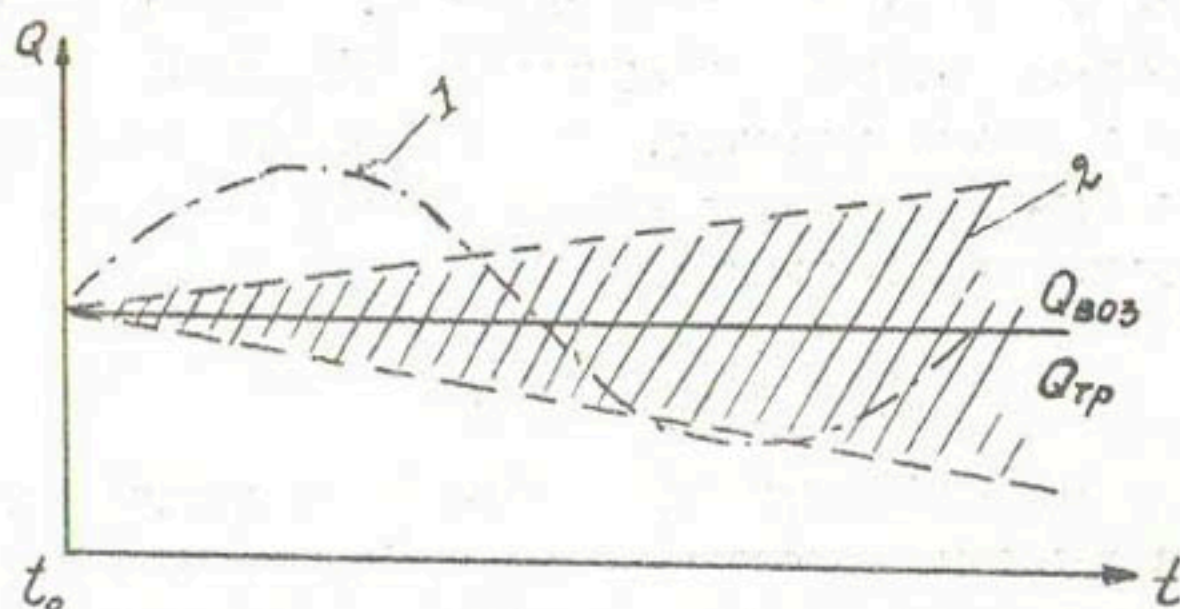


Рис. I. Кривые требуемого и подаваемого расходов:

1 – требуемый; 2 – подаваемый;
 t_0 – момент разрушения сооружения.

Показатель (6) записан без учета проведения ремонтных работ, предусмотренных на ВХО. Проведение ремонтных работ изменяет физические параметры ВХО, что, в свою очередь, проявляется через изменение $Q^{воз}$, т.е. в каждый момент времени $Q^{воз}$ может принимать значения, заключенные на рис. I пунктирными линиями (заштрихованная область). В этом случае выражение для интервального показателя функциональной способности ВХО принимает вид

$$PFS_{II} = 1 - \frac{\int_{t_0}^t [\delta(Q^{тр} - Q_{max}^{воз})(Q^{тр} - Q_{max}^{воз}) + \delta(Q_{min}^{воз} - Q^{тр})(Q_{min}^{воз} - Q^{тр})] dt}{\int_{t_0}^t Q^{тр} dt} \quad (7)$$

Здесь

$$\delta(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x < 0 \end{cases}$$

$Q_{max}^{воз}$, $Q_{min}^{воз}$ – расходы, определяемые в верхней и нижней частях заштрихованной области (рис. I).

Чтобы вычислить показатель (7) для ВХО второго и третьего типов, необходимо ввести показатели мгновенной функциональной способности Q и DQ , где Q – величина расхода, проходящего через сооружение (водовыпуск или насосную станцию) непосредственно после катастрофы, а DQ – диапазон попусков, с помощью которых можно вычислить

$$Q_{\text{воз}}^{\text{max}} = \begin{cases} Q_{\text{max}} & \text{при } Q + DQ \geq Q_{\text{max}} \\ Q + DQ & \text{при } Q + DQ < Q_{\text{max}} \end{cases} ;$$

$$Q_{\text{воз}}^{\text{min}} = \begin{cases} Q_{\text{min}} & \text{при } Q - DQ \leq Q_{\text{min}} \\ Q - DQ & \text{при } Q - DQ > Q_{\text{min}} \end{cases} .$$
(8)

Критерии оценки функциональной способности ВХО (т.е. числовые значения показателей, при которых функционирование можно считать удовлетворительным) определяются при расчетах конкретных систем с учетом требований, предъявляемых к ним в экстремальных обстоятельствах.

Для того чтобы дать количественную оценку степени разрушения, необходимую при определении функциональной способности объекта, требуется словесному описанию характера разрушения поставить в соответствие некоторое число. Допустим, что величина степени разрушения непрерывно изменяется между нулем и единицей, т.е.

$$0 \leq C \leq 1 ,$$

где C — числовое значение степени разрушения.

Соответствие между словесной оценкой степени разрушения и принятым числовым значением C следующее:

нет разрушений	$C = 0$
слабые разрушения	$C = 0,25$
средние разрушения	$C = 0,50$
сильные разрушения	$C = 0,75$
полные разрушения	$C = 1$

Получение унифицированных коэффициентов разрушения для элементов ВХО, отличающихся геометрическими размерами, основывается на гипотезе "Равенства нормальных и касательных напряжений". Сущность её состоит в том, что все однотипные, но отличающиеся геометрическими размерами элементы конструкций изготавливаются из одинаковых (или близких по свойствам) материалов. Подбор сечений этих элементов проводят согласно

расчетам, в основе которых лежит общая теория напряжений.

Не вдаваясь в детали, отметим лишь, что при проектировании несущих сечений элементов, независимо от размеров конструкций, соблюдается равенство нормальных и касательных напряжений (здесь пренебрегается классами капитальности сооружений и тем, что в крупных сооружениях превалирующую роль при выборе сечений может играть так называемая потеря устойчивости по Эйлеру). Под действием параметра разрушения (подразумевается балльность землетрясения, либо избыточное давление при ураганном ветре или циклоне, либо параметры паводковой волны или волны прорыва) возрастают крутящие и изгибающие моменты, причем, увеличиваются они пропорционально кубу характерного линейного размера, т.е. $\Delta M \sim \gamma \cdot \ell^3$,

где ΔM — дополнительный момент;

γ — величина параметра разрушения;

ℓ — характерный линейный размер элемента.

Учитывая, что $\sigma \sim F/S \sim M/\ell^3$, получим $\sigma \sim$

где σ — напряжение в сечении элемента;

F — сила;

S — площадь.

Более обоснованно этот результат можно получить, рассматривая конкретные элементы разных размеров под воздействием параметра разрушения. Функции ограничений, построенные для выделенных элементов, основываются частично на известных уравнениях, используемых в гидротехнике, а частично — на результатах опроса экспертов. Последнее обусловлено тем, что, во-первых, характер разрушений может интерпретироваться неоднозначно, а, во-вторых, описание разрушений с помощью скалярной величины существенно обедняет общую картину состояния элементов после разрушения.

Анализ исследований, выполненных для элементов различных объектов, подтвердил тот факт, что невозможно указать однозначное соответствие между величиной параметра разрушения γ и степенью разрушения σ , т.е. каждому значению γ может соответствовать лишь некоторая область (величина области зависит от конкретного элемента) изменения σ . Анализ

этих зависимостей показывает, что величину степени разрушения j -го элемента i -го объекта можно без ограничения общности записать в виде:

$$C_{ji} = C_{ji}(j, P), \quad (9)$$

где j - величина параметра разрушения;
 P - вероятность.

Построение конкретного вида уравнений для $C = C(j, P)$ осуществляется следующим образом: через центры ординат каждой области проводится ломаная, которая затем аппроксимируется кривой, представленной в виде:

$$\left. \begin{array}{ll} C = 0 & j \leq \beta \\ C = 1 - e^{-\lambda(j-\beta)} & j > \beta \end{array} \right\} \quad (10)$$

Параметры λ , β для каждого элемента определяли методом наименьших квадратов.

Учитывая характер областей изменения C , можно считать, что для кривых при $j > \beta + \alpha$ выполняется условие гомоскедастичности (обычное допущение, применяемое при оценке параметров кривых методом наименьших квадратов).

Значения C , полученные по уравнению (10), принимаются за математическое ожидание случайной величины C , которая с некоторой вероятностью может принимать любое из значений отрезка оси ординат, ограниченного размерами области. Предположим, что распределение C подчиняется нормальному закону (это допущение связано как с использованием метода наименьших квадратов при подборе λ , β , так и с отсутствием более подробной информации о распределении значений степени разрушения элементов. Допустив, что выделенный интервал (отрезок оси ординат), содержит в себе вероятности от 0,00 до 0,99, определяют числовое значение дисперсии:

$$\sigma = (C_{\max} - C_{\min}) / 6. \quad (11)$$

Фактически условие (11) соответствует правилу трёх σ [4]. В дальнейшем вместо понятия степени разрушения удобно ввести понятие состояния элемента S , которое через C

приобретает следующий вид:

$$S = 1 - C = \begin{cases} e^{-\lambda(r-\beta)} & r > \beta \\ 1 & r \leq \beta \end{cases} \quad (12)$$

где β — начальный момент разрушения;
 λ — логарифм скорости разрушения.

Таким образом, значение состояния $S = 1$ соответствует полной сохранности элемента, а $S = 0$ — полному разрушению. С учетом нормального распределения C , а следовательно, и S , для получения вероятности $P(S)$ будем иметь

$$P(S > S^{TP}) = \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} \int_{S_{зад}}^1 e^{-\left[\frac{S - e^{-\lambda(r-\beta)}}{\sqrt{2}\sigma'}\right]^2} dS, \quad (13)$$

где S^{TP} — требуемое значение сохранности элемента;

$P(S > S^{TP})$ — вероятность того, что значение будет больше требуемого

$$\sigma' = \begin{cases} \sigma & \text{при } r > \beta + \alpha \\ \frac{\sigma}{\alpha}(r - \beta) & \text{при } \beta \leq r \leq \beta + \alpha \end{cases} \quad (14)$$

Выражение (13) для приложений удобно переписать с использованием функции Лапласа $\Phi(Z)$, табличные значения которой приводятся в литературе по статистике и теории вероятностей [4], [5]. Обозначив $Z = (S - e^{-\lambda(r-\beta)})/\sigma'$, из выражения (13), после несложных преобразований, получим:

$$\begin{aligned} P(S > S^{TP}) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\int_0^{(1 - e^{-\lambda(r-\beta)})/\sigma'} e^{-z^2/2} dz - \int_0^{(S^{TP} - e^{-\lambda(r-\beta)})/\sigma'} e^{-z^2/2} dz \right) = \\ &= \Phi\left(\frac{1 - e^{-\lambda(r-\beta)}}{\sigma'}\right) - \Phi\left(\frac{S^{TP} - e^{-\lambda(r-\beta)}}{\sigma'}\right), \end{aligned} \quad (15)$$

здесь σ' , как и ранее, вычисляется по выражению (14).

Используя выражения (I4) и (I5), можно получить оценку состояния каждого элемента. Значения параметров α , λ , β , ζ для всех элементов ВХО можно определить статистическим путём (по данным об аварийных ситуациях на водохозяйственных объектах).

Под функциональной способностью объекта (системы) понимают свойство выполнения объектом возложенных на него функций при определенных условиях. Функции объекта количественно выражаются группой показателей, числовые значения которых позволяют дать оценку его функциональной способности с помощью какого-либо критерия. В свою очередь числовые значения показателей зависят от ряда факторов (состояния элементов и связей самого объекта, внешних связей и т.д.), совокупность которых определяет условия функционирования объекта.

Задача оценки функциональной способности объекта — получить информацию об изменении значений показателей в зависимости от изменения условий функционирования. Для её решения необходимо построить некоторую абстрактную модель, количественно выражающую (с помощью уравнений, неравенств и т.п.) взаимосвязи между показателями и условиями функционирования. Существует несколько принципиально различных подходов к созданию подобных моделей. В данной методике рассматривается подход к оценке функциональной способности объектов, основанный на совместном использовании информации экспертов и метода последовательной декомпозиции структуры объекта. При этом, при таком подходе эксперту, выдающему информацию, как правило, нет необходимости экстраполировать сложные взаимосвязи в необычные (незнакомые для него) условия. Уровень декомпозиции объекта определяется количеством информации, которой располагает исследователь, т.е. в процессе исследований можно дополнительно расчленить элементы объекта на отдельные компоненты.

Такой подход наиболее рационален, когда требуется получить оценку функциональной способности объекта при резком изменении характера взаимосвязей и параметров элементов (катастрофические ситуации). Сущность подхода состоит в следую-

щем: пусть вектор $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$ представляет собой группу показателей функциональной способности объекта. Под вектором $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_m)^T$ подразумеваются все факторы, выделенные в результате анализа и некоторым образом влияющие на $\bar{Y}$. Далее выделяется некоторый элементарный объект, характеризующийся выходом некоторого условного количества продукта Y в зависимости от ряда факторов $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_\ell)^T$ $\ell \leq m$, т.е. $Y = Y(\bar{X})$.

Введём понятие ограничения $R(\bar{X})$ на Y , которое имеет следующий смысл: значение Y при заданном значении $\bar{X}$ может находиться лишь внутри области, ограниченной гиперповерхностью $R(\bar{X})$ при любых значениях факторов, не включенных в $\bar{X}$. Если все факторы $\bar{X}$ влияют на функциональную способность Y независимо друг от друга, то ограничение $R(\bar{X})$ является сепарабельным (рис.2) и его можно представить в виде

$$R(\bar{X}) = R(X_1, X_2, \dots, X_\ell) = R_1(X_1) \cdot R_2(X_2) \cdot \dots \cdot R_\ell(X_\ell). \quad (16)$$

$$\text{В этом случае } Y = \bigcap_{i \in \ell} R_i(\xi_i), \quad (17)$$

где $\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\ell)^T$ — числовые значения факторов после катастрофы, а $\bigcap_i a_i = \min \{a_i\}$

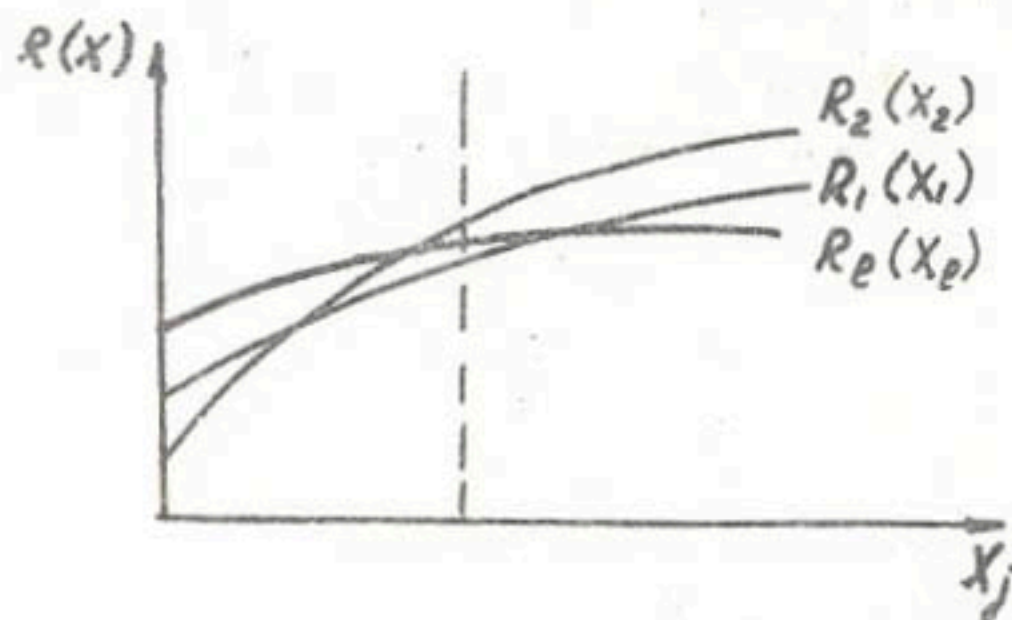


Рис.2. Типичный вид сепарабельного ограничения.

Если из ℓ факторов независимыми можно считать только факторы

$$R(x_1, x_2, \dots, x_k; x_{k+1}, \dots, x_\ell) = R_1(x_1) \times R_2(x_2) \times \dots \times R_k(x_k) \times R'(x_{k+1}, \dots, x_\ell), \quad (18)$$

то для того чтобы воспользоваться формулой (17), необходимо предварительно получить $\ell - k$ дополнительных ограничений вида

$$\begin{aligned} & R'_{k+1}(x_{k+1}); \\ & R'_{k+2}(x_{k+2}/\xi_{k+1}); \\ & R_{k+3}(x_{k+3}/\xi_{k+1}, \xi_{k+2}); \\ & \dots \dots \dots \\ & R'_\ell(x_\ell/\xi_{k+1}, \xi_{k+2}, \dots, \xi_{\ell-1}). \end{aligned} \quad (19)$$

После чего для вычисления Y можно воспользоваться уравнением, аналогичным уравнению (17)

$$Y = \left[\bigcap_{i \in \{1, \dots, k\}} R_i(\xi_i) \right] \cap \left[\bigcap_{i \in \{k+1, \dots, \ell\}} R'_i(\xi_i / \dots) \right]. \quad (20)$$

Таким образом, задача определения функциональной способности элементарного объекта свелась к получению ограничений вида (16) или (18) и (19), которые находятся из конкретных уравнений функционирования элементарного объекта либо путём экспертных оценок.

В результате анализа были выделены элементы водохозяйственных объектов всех трёх типов. С учетом параметров разрушения (бальность землетрясения, избыточное давление при ураганном ветре, или циклоне, параметры волны прорыва или паводковой волны) по всем показателям оценки функциональной способности ВХО для всех элементов построены функции ограничений.

Ниже приведена функция ограничения на величину ппуска в нижний бьеф Q для ВХО первого типа по состоянию тоннельного водовыпуска. Эта функция несепабельна по состоянию затвора и начальному значению Q , идущему по ВХО первого типа в момент перед катастрофой, т.е.

$$R(s_1/s_2, Q^0),$$

где S_1 - состояние тоннельного водовыпуска;
 S_2 - состояние затвора;
 Q^0 - попуск в нижний бьеф в момент перед катастрофой.

Поскольку тоннельный водовыпуск имеет более высокую физическую устойчивость по сравнению с затвором, разрушение тоннельного водовыпуска начинается при значениях параметра разрушения f , больших, чем необходимо для полного разрушения затвора, т.е. при $S_2 = 0$.

Таким образом, при малых значениях параметра разрушения f значение функции ограничения $R(S_1/S_2, Q^0)$ зависит от состояния затвора.

Функция ограничения по затвору строится следующим образом. До определенных значений параметра разрушения f значение S_2 уменьшается, но затвор продолжает функционировать, т.е. $R(S_2) = 1$. Далее, нарушение герметичности ведёт к увеличению попуска по сравнению с его начальным значением. При $S_2 = 0$ затвор выбивает, и попуск становится максимальным (Q^{max}). В этом случае он определяется через уравнение для водослива с широким порогом:

$$Q^{max} = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2},$$

где H_0 - значение уровня воды в водохранилищном гидроузле в момент перед катастрофой.

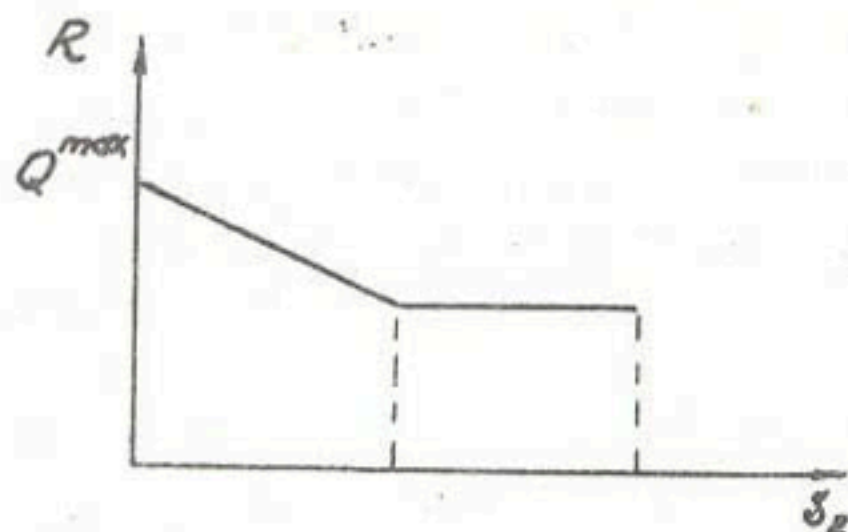


Рис.3. График функции ограничения на попуск в нижний бьеф по состоянию затвора.

Для значений параметра разрушений, при которых $S_2 = 0$, а $S_1 < 1$, функцию ограничения $R(S_1 / S_2, Q)$ можно представить в виде

$$R(S_1 / S_2, Q) = Q^{\max} \cdot R(S_1),$$

где $R(S_1)$ — функция ограничения на попуск в нижний бьеф по состоянию тоннельного водовыпуска.

Функция ограничения $R(S_1)$ строится следующим образом. До определённых значений параметра разрушения f значение S_1 уменьшается, но тоннельный водовыпуск продолжает функционировать, т.е. $R(S_1) = 1$. Ввиду того, что в дальнейшем в растянутой зоне бетона оголовков образуются трещины, КПД можно принять равным 0,9. При увеличении значения параметра разрушения f происходит обрушение подпорных стен оголовков, отслоение и обрушение облицовки тоннеля на начальных участках, завал входных отверстий тоннеля; отсюда — $\eta = 0,9$; $\omega = 0,7$. При $S_1 = 0$ тоннельный водовыпуск разрушается полностью, т.е. $R(S_1) = 0$.

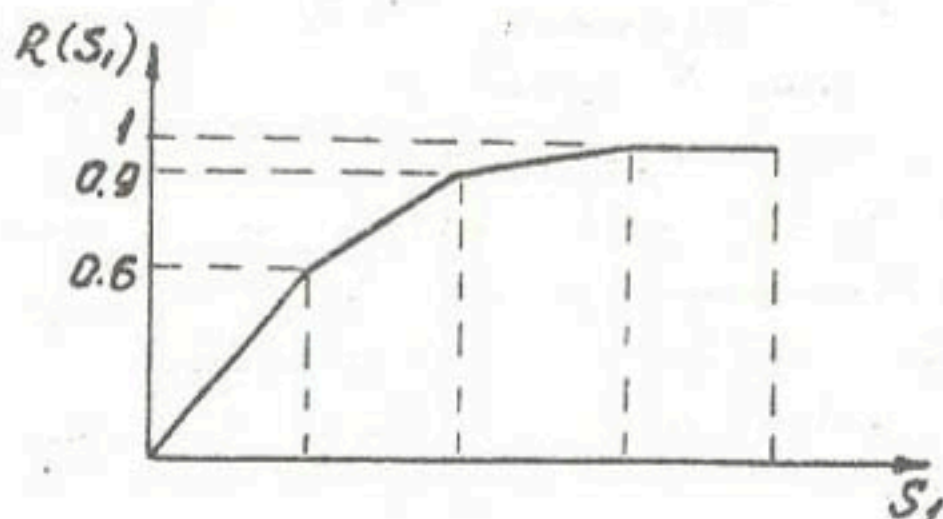


Рис.4. График функции ограничения на попуск в нижний бьеф по состоянию тоннельного водовыпуска.

Функции ограничений на показатели оценки функциональной способности ВХО по всем остальным элементам типовых ВХО строятся аналогичным образом.

Состояние всех элементов объекта в экстремальных ситуациях носит стохастический характер. Следовательно, функции ограничений $R(\bar{X})$ следует рассматривать как функции случайных аргументов, которые, в свою очередь, будут иметь собственные законы распределения. Поэтому вместо функциональной способности объекта введём термин вероятности того, что функциональная способность объекта будет больше некоторого значения, т.е.

$$P(Y > Y^{TP}) = \dots$$

Для того чтобы оперировать с вероятностью функциональной способности объекта необходимо знать законы распределения каждой функции ограничения. Однако в нашем случае достаточно опираться на тот факт, что, если различным значениям аргумента X соответствуют различные значения функции Y , то вероятности соответствующих значений X и Y равны:

$$P(R(\xi) \geq R(\xi_\varphi)) = P(\xi \geq \xi_\varphi). \quad (21)$$

Исходя из этого, можно найти вероятность того, что функциональная способность объекта будет больше (либо равна) значения, вычисленного по формуле (17). Подчеркнём, что при сепарабельном ограничении все факторы можно рассматривать как независимые случайные переменные. В этом случае полная вероятность вычисляется по известной формуле произведения вероятностей всех составляющих. Чтобы воспользоваться этой формулой, необходимо знать вероятности по всем $\xi_i \forall i \in \{1, \dots, \ell\}$ при функциональной способности, равной значению Y_0 , полученному по формуле (17).

Обозначим через $\varphi_i(Y)$ функции, обратные $R_i(X)$, т.е. $R_i(\varphi_i(Y)) = Y$.

Тогда выражение для полной вероятности примет вид

$$P(Y \geq Y_0) = \prod_{i \in \{1, \dots, \ell\}} P_i(X_i \geq \varphi_i(Y_0)) \quad (22)$$

Формула (22) позволяет не только определить полную вероятность найденного уровня функциональной способности элементарного объекта, но и выявить перечень наименее устойчивых

компонент (при данном уровне функциональной способности). Для этого достаточно полученный ряд $P_i (X_i > \varphi_i (Y_0))$ упорядочить по возрастанию значений вероятностей. Первые члены ряда и будут наименее устойчивы; именно для этих элементов следует в дальнейшем рассматривать инженерно-технические мероприятия.

При наличии смешанного ограничения вычисление полной вероятности найденного уровня функциональной способности осуществляется с помощью формул дополнительных ограничений (19), которые теперь приводятся к виду.

$$\begin{aligned} & \varphi'_{k+1}(y_0); \\ & \varphi'_{k+2}(y_0/\varphi'_{k+1}(y_0)); \\ & \varphi'_{k+3}(y_0/\varphi'_{k+1}(y_0), \varphi'_{k+2}(y_0)); \\ & \dots \\ & \varphi'_e(y_0/\varphi'_{k+1}(y_0), \varphi'_{k+2}(y_0), \dots, \varphi'_{e-1}(y_0)). \end{aligned} \quad (23)$$

В результате полная вероятность вычисляется по формуле:

$$P(\dot{y} \geq y_0) = \left[\prod_{i \in \{1, \dots, k\}} P_i(x_i \geq \varphi_i(\dot{y}_0)) \right] \cdot \left[\prod_{i \in \{m, \dots, e\}} P_i(x_i, \varphi'_i(y_0, \dots)) \right]. \quad (24)$$

При переходе от элементарного объекта к графу функционирования вычисление полной вероятности найденного уровня функциональной способности опирается на имеющийся аппарат теории надежности с той лишь разницей, что параллельно соединёнными считаются только те узлы, выходящий фактор которых одинаков.

Общий порядок оценки функциональной способности объекта:

определяется назначение объекта и выделяются показатели функционирования;

определяются факторы, обуславливающие функционирование объекта, намечается его структура;

в зависимости от предъявляемых требований и имеющейся информации осуществляется декомпозиция функциональной структуры объекта (объект представляется в виде графа);

по уравнениям определяется состояние элементов ВХО после катастрофы;

для каждого водохозяйственного объекта строятся функции ограничений;

по уравнениям (17) или (19) и (20) даётся оценка функциональной способности элементарных объектов;

по уравнениям (22) или (23) и (24) определяется полная вероятность найденного уровня функциональной способности.

Список использованной литературы

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. - 165 с.
2. Кузьмин В.Б. Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений. - М.: Наука, 1982. - 96 с.
3. Абуталиев Ф.Б., Ахатов Ю.К. Многошаговое вероятностное оценивание при неполной информации и его приложения. Ташкент: Фан, 1982. - 64 с.
4. Гмурман В.Е. Введение в теорию вероятностей и математическую статистику. - М.: Высшая школа, 1977. - 238 с.
5. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. - М.: Финансы и статистика, 1982. - 344 с.
6. Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами. - М.: Наука, 1979. - 224 с.

В.В.Акулов, канд.техн.наук
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОРУЖИЯ МАССОВОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРИ УСЛОВИИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬ- НЫХ РАБОТ

Надёжность работы отрасли "Мелиорация и водное хозяйство", входящей в состав АПК, как в мирное, так и в военное время может быть достигнута за счет устойчивого функционирования двух её главных звеньев: мелиоративного и водохозяйственного. Водоподачу для орошаемого земледелия осуществляет водохозяйственное звено, основной составной частью которого является водохозяйственный комплекс. ВХК – сложная система, представляющая собой совокупность водотоков и водохозяйственных объектов (ВХО), функционирующих в одном речном бассейне. В результате воздействия оружия массового поражения (ОМП) устойчивость функционирования ВХК может быть нарушена в разной степени. Для её повышения необходимо, оценив производственные возможности ВХК и выявив недостатки, разработать комплекс рациональных инженерно-технических мероприятий (ИТМ).

Проводимые в САНИИРИ исследования по вопросам, касающимся функционирования комплекса в военное время, помогли, в частности, определить показатели и критерий оценки возможности функционирования ВХК в экстремальных условиях.

Составляющими водохозяйственного комплекса являются водные ресурсы, ВХО и водопотребители. Возможность функционирования ВХК в военное время определяется его способностью при условии проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР) и ИТМ с помощью ВХО удовлетворять запросы водопотребителей.

ВХО, которые рассматривают при исследовании возможности функционирования ВХК в аридной зоне, включают:

гидроузлы, в состав которых входят ГЭС, напорная плотина, регулирующая ёмкость;

ирригационные водохранилища;
головные плотинные и бесплотинные водозаборы;
насосные станции машинного орошения.

К располагаемым водным ресурсам относится учтенный поверхностный и подземный притоки в речном бассейне. Водопотребителями-участниками ВХК являются:

население и коммунальное хозяйство;
промышленность;
сельское хозяйство - орошаемое земледелие;
гидроэнергетика.

Отметим, что население и промышленность в военное время обеспечиваются водой вне приоритетности, по нормам мирного времени.

Функционирование ВХК рассматривается автором с точки зрения возможности обеспечения водой допустимого качества орошаемого земледелия в требуемом по нормам военного времени количестве без учета (производственные возможности ВХК) и с учетом проведения РВР и ИТМ (возможности функционирования ВХК). В соответствии с определением производственные возможности ВХК характеризуют следующие показатели:

количество располагаемых водных ресурсов в расчетный интервал времени ($Q^{b.p}$);
количество воды, которое ВХО в совокупности могут забрать на нужды участников ВХК в расчетный интервал времени (Q^{3d});
количество орошаемых земель в бассейне реки, обеспечиваемых водными ресурсами (F');
минимально необходимая в военное время площадь орошения (F'_{min}).

За обобщенный показатель, характеризующий производственные возможности ВХК, принято выражение

$$K = \frac{F'}{F'_{min}}, \quad 0 < K \leq 1 \quad (I)$$

Критерием оценки производственной возможности ВХК служит значение показателя.

ВХК в целом не является объектом воздействия оружия массового поражения. Ядерный удар наносится, как правило, по водохозяйственным объектам в целях заражения воды РВ и агентами ОВ и БС. В результате зараженная в верховьях рек вода может распространиться вниз по течению. Кроме того, образующаяся от разрушения ударной волной напорного гидроузла прорывная волна (ПВ), двигаясь вниз по течению, может повлечь за собой разрушение категорированных и некатегорированных объектов (нижележащие гидроузлы, водохранилища, головные водозаборы, насосные станции машинного орошения).

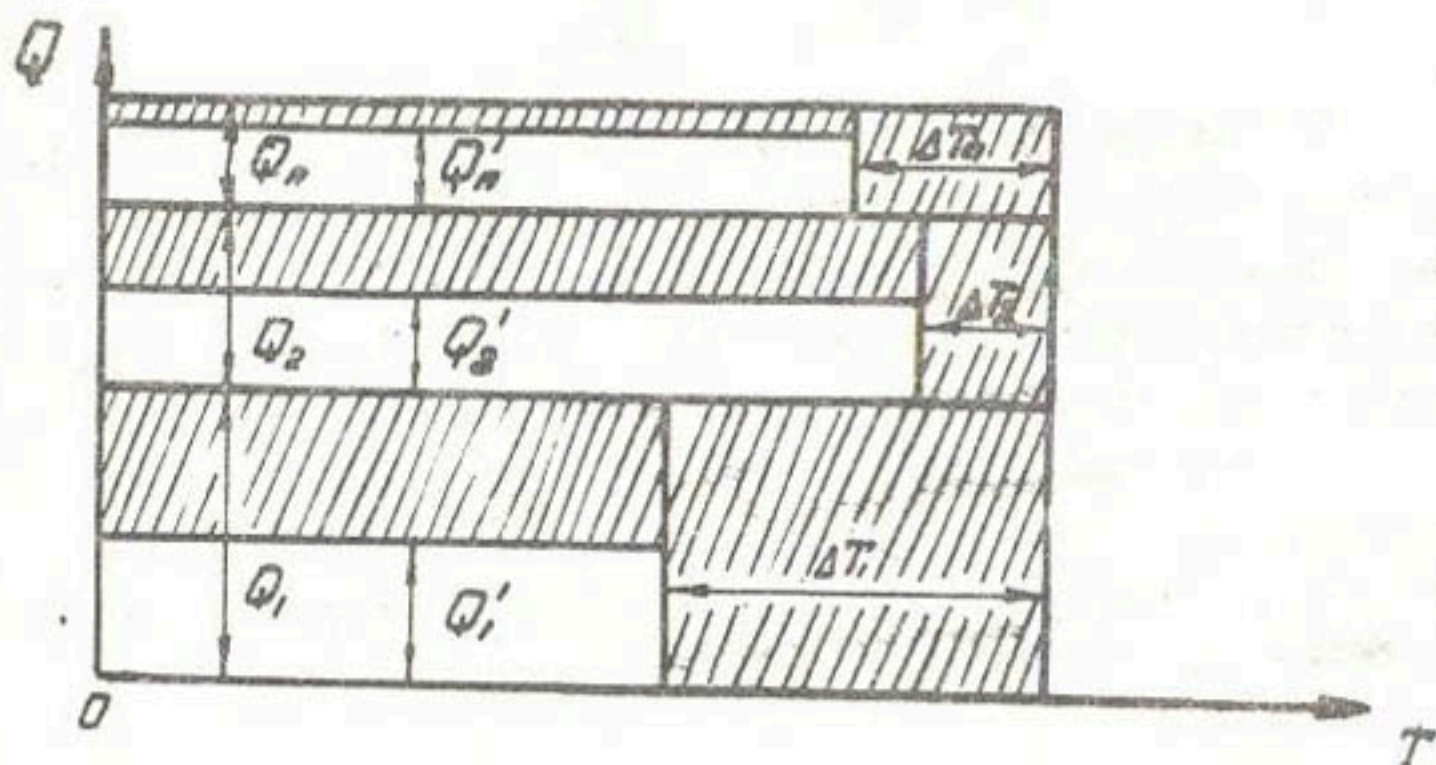


Рис. I. Вариант оценки производственной возможности водозабора для нужд участников ВХК.

На рис. I схематически представлен технологический процесс обеспечения водой орошаемого земледелия в бассейне реки (идея построения графика заимствована в работе [1]).

В прямоугольной системе координат строят временной график планового водозабора на орошение по водохозяйственным районам (ВХР) в бассейне реки. На оси ординат откладывают значения водозабора для каждого ВХР. В соответствии с природными и климатическими особенностями бассейн реки дифференцируется на "n" ВХР, работающих в течение времени T, за которое расход каждого района на орошение принимается $const$. Суммируя значения расходов, получают ординаты водоподдачи на орошение в бассейне реки.

Здесь же (рис.1) представлен наиболее общий вариант воздействия факторов ОМП, когда действуют только ударная и прорывная волна, вследствие чего происходит частичное разрушение группы ВХО и уменьшение планового расхода воды на орошение, подаваемого головными водозаборами и насосными станциями. Через отрезок времени $T - \Delta T_i$ вода подвергается заражению РВ и ОВ в концентрации, превышающей допустимую норму, и вода становится непригодной к использованию. При этом время водоподачи на орошение сокращается на величину ΔT_i . Изложенное можно записать уравнением

$$W_i^{13\delta} = Q_i^{13\delta} (T - \Delta T_i). \quad (2)$$

Водные ресурсы бассейна реки в целом складываются из притока поверхностных речных и подземных вод, а также запасов воды в водохранилищах. В военное время наиболее уязвимым местом в формировании водных ресурсов станут гидроузлы и ирригационные водохранилища, функциональная способность которых в течение времени T уменьшится в результате воздействия ударной и прорывной волны, а следовательно, сократится количество водных ресурсов по сравнению с плановым (рис.2).

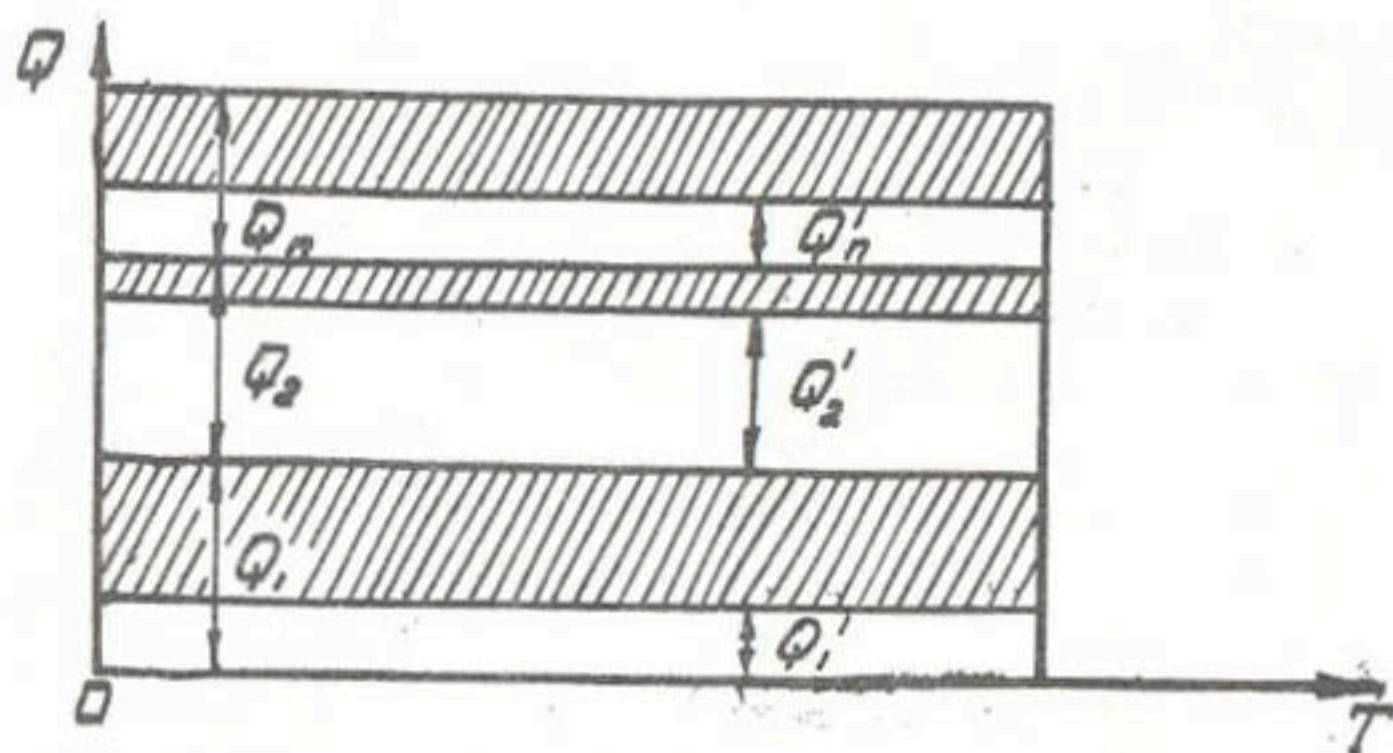


Рис.2. Вариант оценки водных ресурсов в бассейне реки после воздействия ОМП.

$$W_i^{13\delta p} = Q_i^{13\delta p} \cdot T. \quad (3)$$

В уравнениях (2) и (3)

$W_i^{13\delta}$ - объём водозабора на нужды орошаемого земледелия за время $T - \Delta T_i$;

$W_i^{13\delta p}$ - объём водных ресурсов за время T ;

T - расчетный период;

ΔT_i - интервал времени, в течение которого концентрация заражения воды РВ и ОВ превышает предельно допустимую.

При заражении реки РВ и ОВ в концентрации, превышающей ПДК, вода в ней становится непригодной к использованию, но количество водных ресурсов остаётся неизменным.

При решении проблемы обеспечения водными ресурсами орошаемого земледелия после воздействия ОМП в бассейне реки по ВХР могут возникнуть следующие ситуации:

водных ресурсов достаточно, чтобы обеспечить плановый водозабор через ВХО, несмотря на разрушения, даже при уменьшенной их пропускной способности;

водных ресурсов достаточно, чтобы обеспечить плановый водозабор водохозяйственными объектами, но возможность водозабора меньше установленной вследствие снижения их функциональной способности в " i "-ом ВХР;

водных ресурсов недостаточно, но ВХО в совокупности в " i "-ом ВХР могут обеспечить плановый водозабор, т.е. наблюдается дефицит;

водных ресурсов недостаточно, и водохозяйственные объекты вследствие их разрушения не могут обеспечить уменьшенный водозабор на нужды участников ВХК, т.е. наблюдается острый дефицит.

Количество орошаемых земель, обеспечиваемых водными ресурсами, для второго и четвертого случаев можно представить уравнением

$$\sum_{i=1}^n F_i' = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i^{13\delta} (T - \Delta T_i)}{C_i}, \quad (4)$$

где C_i – удельный водозабор на 1 га орошаемой площади в мирное время за соответствующий интервал времени, тыс.м³.

Для третьего случая количество орошаемых земель, обеспечиваемых водой, определяется не пропускной способностью водозабора, а объемом водных ресурсов в расчетное время:

$$\sum_{i=1}^n F_i' = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i'^{3\delta} \cdot T}{C_i} \quad (5)$$

$Q_i'^{3\delta}$ и $Q_i'^{6p}$ – составляющие водохозяйственного баланса, м³/с; они рассчитываются по уравнениям ВХБ для "i"-го ВХР

$$Q_i'^{6p} = (Q_i'^{поб. пр} \pm Q_i'^{6\delta\kappa p}) + Q_i'^{подз} + Q_i'^{воз} - (Q_i'^{изар} + Q_i'^{из}), \quad (6)$$

где $Q_i'^{поб. пр}$ – приток поверхностных вод;
 $Q_i'^{6\delta\kappa p}$ – расход воды за счет водохранилищ;
 $Q_i'^{подз}$ – приток подземных вод;
 $Q_i'^{воз}$ – приток возвратных вод;
 $Q_i'^{изар}$ – расход воды, зараженной РВ и ОВ в концентрации, превышающей ПДК, либо зараженной БС;
 $Q_i'^{из}$ – неиспользуемый орошаемым земледелием энергетический попуск

$$Q_i'^{3\delta} = (Q_i'^{инст} + Q_i'^{пл. водзб} + Q_i'^{6\delta\kappa p}) + Q_i'^{нек}, \quad (7)$$

где $Q_i'^{инст}$ – водозабор категорированными насосными станциями;
 $Q_i'^{пл. водзб}$ – категорированный плотинный водозабор;
 $Q_i'^{нек}$ – расход воды, забираемый в совокупности с некатегорированными объектами.

Допускается, что $Q_i'^{нек}$ для соответствующего интервала времени после воздействия СМП равно $Q_i'^{нек}$ для мирного времени

$$Q_i^{opr} = Q_i^{зд} - (Q_i^{нас} + Q_i^{пр}) - Q_i^{повт. воз.}, \quad (8)$$

где $Q_i^{нас}$ — расход воды на нужды населения;
 $Q_i^{пр}$ — расход воды на нужды промышленности;
 $Q_i^{повт. воз.}$ — повторное использование на орошение возвратных вод.

Наличие или отсутствие дефицита водных ресурсов определяется выражением

$$d = Q_i^{зд} - Q_i^{вр} \quad (9)$$

Необходимость проведения РВР или ИТМ на водохозяйственных объектах обусловлена значением критерия оценки производственной возможности, меньшим I или заданной величины. При этом функциональная способность одного ВХЗ после воздействия постоянной в течение времени выражена Δt_i , а расход водозабора равен q_i .

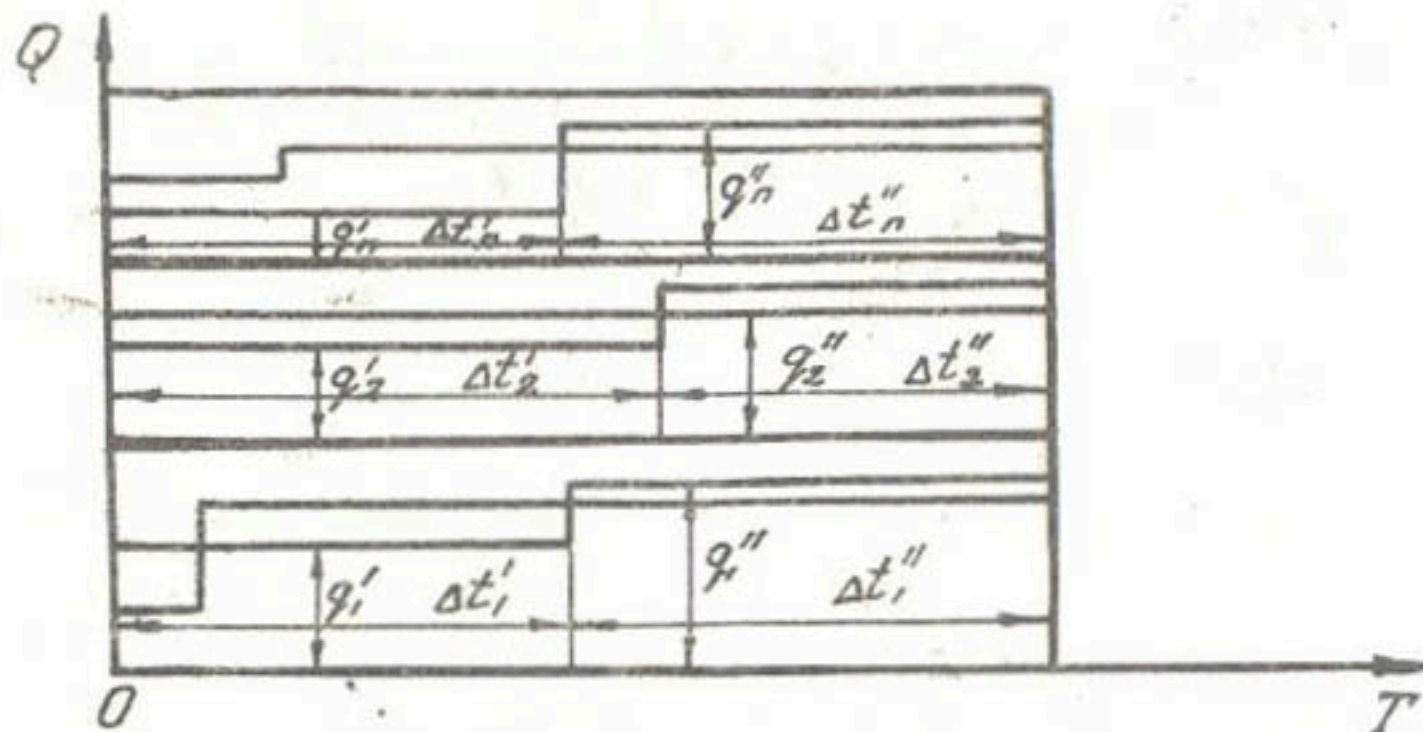


Рис. 3. Вариант оценки возможности функционирования ВХЗ по обеспечению водными ресурсами участников с учетом проведения РВР.

На рис. 3 представлена схема функционирования ВХЗ с учетом проведения ремонтно-восстановительных работ на объ-

ектах в рамках одного района. Предположим, что в бассейне существует " n " ВХР и что в рамках одного из них насчитывается " δ " ВХО. По оси ординат откладывается значение расхода q'_{ki} для каждого объекта, которое принимается $const$ для времени, измеряемого с момента окончания воздействия ОМП до момента окончания проведения РВР ($\Delta t'_{ki}$). По оси абсцисс откладывается значение времени Δt_{ki} . Отметим, что после окончания РВР пропускная способность ВХО увеличивается мгновенно (ломаная линия). При этом значение водозабора q''_{ki} принимается постоянным в течение времени $\Delta t''_{ki}$ с момента окончания проведения ремонтно-восстановительных работ до конца расчетного периода.

Для тех ВХО, на которых РВР проводятся в течение времени, превышающем расчетное T , водозабор принимается $const$. Принято, что для каждого ВХО

$$T = \Delta t'_k + \Delta t''_k. \quad (10)$$

Объем суммарного водозабора ВХО в рамках одного ВХР можно записать в виде уравнения

$$W_i^{изб} = \sum_{k=1}^{\delta_i} (q_{ki}^{инст} \cdot \Delta t'_{ki} + q_{ki}^{инст} \cdot \Delta t''_{ki} + q_{ki}^{плзб} \cdot \Delta t'_{ki} + q_{ki}^{плзб} \cdot \Delta t''_{ki} + q_{ki}^{вдхр} \cdot \Delta t'_{ki} + q_{ki}^{вдхр} \cdot \Delta t''_{ki}) + Q_i^{нек} \cdot T_i, \quad (11)$$

где $q_{ki}^{инст}$, $q_{ki}^{плзб}$, $q_{ki}^{вдхр}$ — пропускная способность насосной станции, плотинного водозабора, водохранилища за время $\Delta t'_{ki}$;

$q_{ki}^{инст}$, $q_{ki}^{плзб}$, $q_{ki}^{вдхр}$ — то же, за время $\Delta t''_{ki}$;

$Q_i^{нек}$ — расход воды, забираемой совокупностью некатегорированных ВХО в " i "-ом ВХР за время T_i .

Эти показатели определяют для каждого типа ВХО в соответствии с методикой оценки функциональной способности, разработанной в САНИИРИ и изложенной в "Методических указаниях по оценке устойчивости оросительных систем в условиях воздействия оружия массового поражения" (М.; ВНИИТМ, 1983.—40 с. ДСП).

Количество водных ресурсов в " i " -ом ВХР, с учетом проведения РВР на водохранилищах, можно рассчитать по уравнению

$$W_i^{в.р.} = Q_i^{поб. пр.} \cdot T + \sum_{k=1}^{S_i} (Q_{k,i}^{в.х.р.} \cdot \Delta t_{k,i}^I + Q_{k,i}^{в.х.р.} \cdot \Delta t_{k,i}^{II}) + Q_i^{в.оз.} \cdot T - Q_i^{подз.} \cdot T. \quad (I2)$$

Величину водозабора на орошение находим из выражения

$$W_i^{ор.} = W_i^{зб.} - (Q_i^{нас.} + Q_i^{пр.}) \cdot T - Q_i^{поб. в.оз.} \cdot T. \quad (I3)$$

Возможность функционирования ВХК в " i " -ом ВХР определяется.

$$F_i^{II} = \begin{cases} \frac{W_i^{в.р.}}{C_i} & \text{при } W_i^{в.р.} > W_i^{зб.} \\ \frac{W_i^{ор.}}{C_i} & \text{при } W_i^{в.р.} < W_i^{зб.} \end{cases} \quad (I4)$$

После проведения РВР количество орошаемых площадей в бассейне реки, обеспеченных водой, увеличивается, т.е.

$$\sum_{i=1}^n F_i^{II} = \sum_{i=1}^n F_i^I - \Delta F_i^{II}, \quad (I5)$$

где ΔF_i^{II} - восстановленные после проведения РВР орошаемые земли, обеспеченные водой.

Критерий оценки возможности функционирования ВХК можно представить в виде

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{F_i^{II}}{F_{i \min}} = \sum_{i=1}^n \frac{F_i^I + \Delta F_i^{II}}{F_{i \min}} \leq 1. \quad (I6)$$

Число земель, не обеспеченных водой, можно вычислить по формуле

$$\Delta F_i^{II} = \sum_{i=1}^n F_i^{II} - \sum_{i=1}^n F_{i \min}. \quad (I7)$$

По выражению (17) определяют ВХО, на которых следует проводить ремонтно-восстановительные или инженерно-технические мероприятия в случае, если $K < 1$ или заданной величины.

В ы в о д ы

1. Определены особенности функционирования ВХК в бассейне реки (для аридной зоны) после воздействия ОМП.

2. Выбраны и обоснованы показатели производственных возможностей ВХК в военное время. За обобщенный показатель, характеризующий производственные возможности ВХК, принято отношение количества орошаемых земель в бассейне реки, которое обеспечивается водой допустимого качества в требуемом по нормам военного времени количестве, к минимально необходимой площади орошения.

3. Проведён анализ возможных вариантов обеспечения водными ресурсами участников ВХК после воздействия ОМП в бассейне реки.

4. Дается оценка возможности функционирования ВХК с учетом проведения РВР.

В.В. Акулов, Л.А. Галеева
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

О ПОКАЗАТЕЛЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ ПО ВОЗМОЖНЫМ ЗАПАСАМ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

В настоящее время в стране насчитывается свыше 240 водохранилищ объемом более 50 млн. м³, суммарный полный объем каждого из которых 1000 км³, полезный - 467 км³ [2].

По данным кадастра водохранилищ СССР и Генеральной схемы комплексного использования водных ресурсов бассейнов рек Амударьи и Сырдарьи, к 1980 г. в стране эксплуатировалось около 200 водохранилищ, входящих в водохозяйственные комплексы, в которых одним из участников является сельское

хозяйство (орошаемое земледелие) [1]. Из этого числа около 113 водохранилищ (объёмом более 50 млн.м³) имеют суммарный полный объём 246,5 км³, а полезный 126,6 км³, 76 водохранилищ (объёмом от 10 до 50 млн.м³) имеют суммарный полный объём 2,5 км³, полезный – 2,1 км³. Таким образом, 25 % суммарного объёма водохранилищ используются в интересах орошаемого земледелия с общей площадью 17,2 млн.га.

Разрушение крупных водохранилищ вызовет катастрофическое наводнение на всем протяжении реки, что приведёт к потере людей, промышленных объектов, а также части водных ресурсов, имеющих большое значение для жизнедеятельности населения, функционирования аграрно-промышленного комплекса страны.

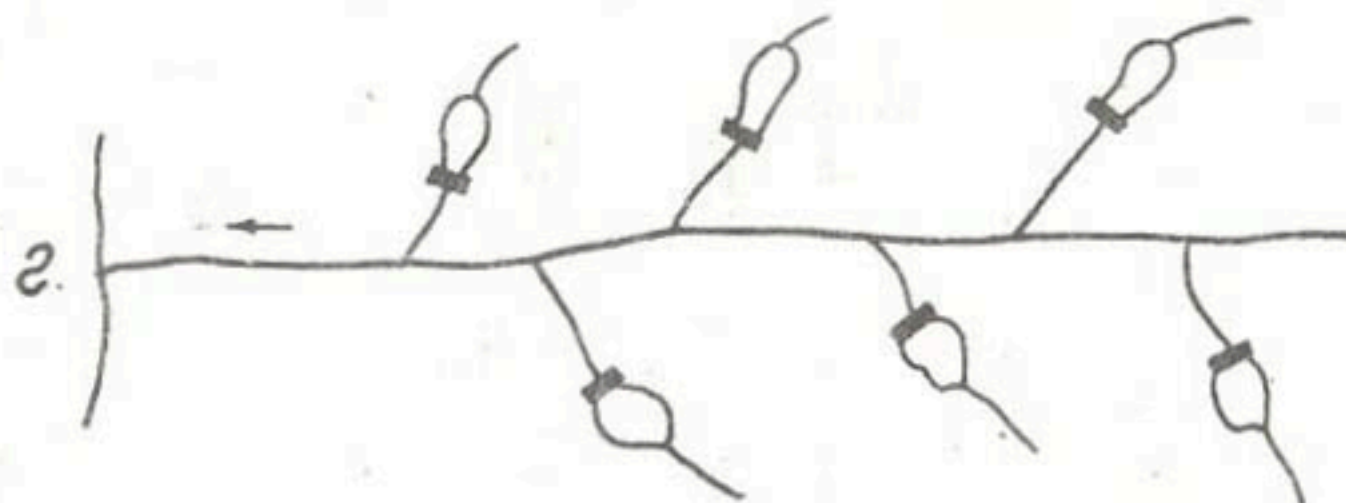
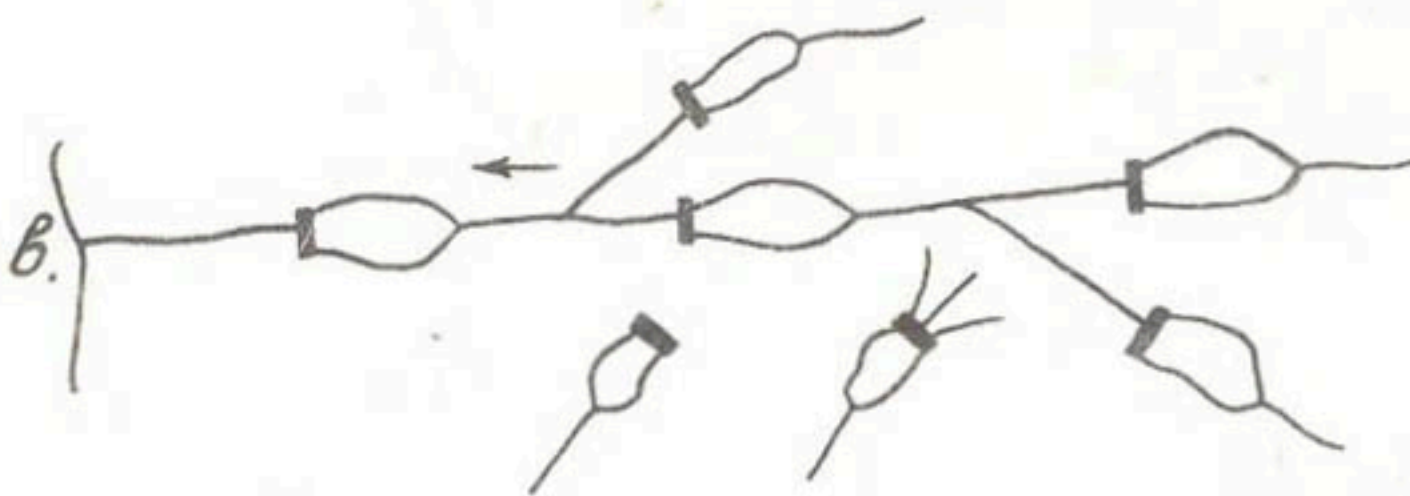
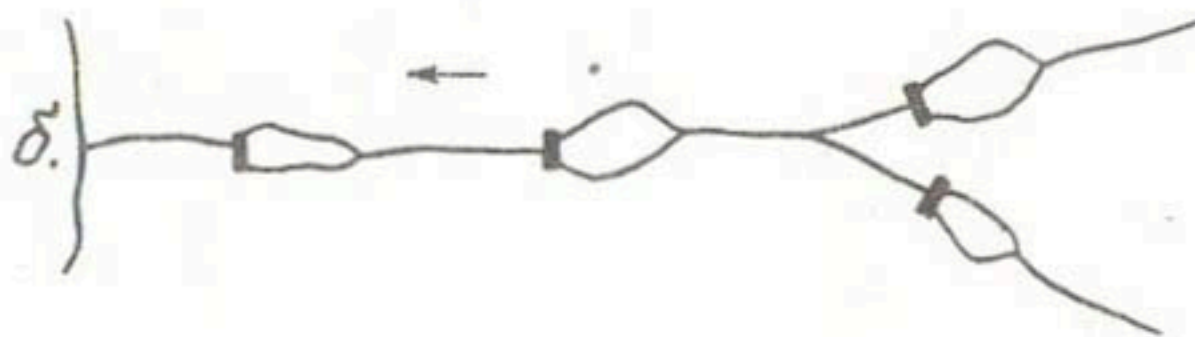
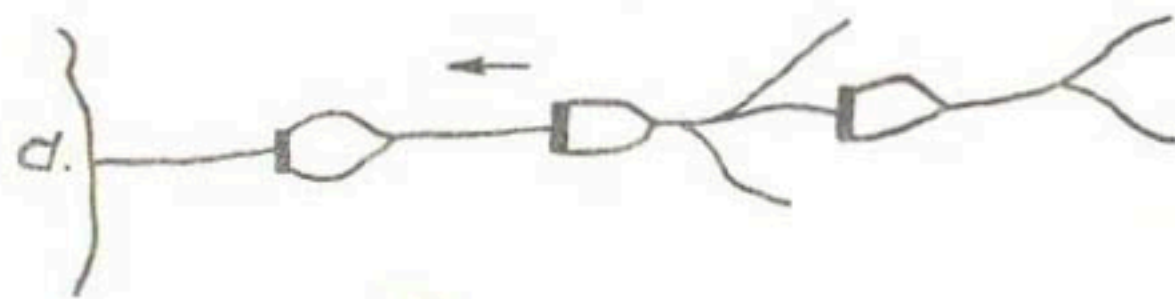
Устойчивость функционирования водохранилищ определяется особенностями их расположения в речном бассейне.

Рассмотрим существующие и возможные схемы расположения водохранилищ в речных бассейнах в реальных условиях.

Схема I (рис.а) – одно или несколько водохранилищ на главной реке бассейна. При разрушении напорного фронта плотины верхнего гидроузла возникающая прорывная волна (ПВ) разрушает все нижележащие водохозяйственные объекты (ВХО) и объекты народного хозяйства. Примером указанного расположения ВХО могут служить бассейны рек Днепр, Днестр, Кубань, Дон.

Схема II (рис.б) – большая часть водохранилищ – на главной реке, меньшая – на её притоках. При нанесении нескольких ударов по верхним гидроузлам может возникнуть объединённая ПВ, обладающая большой разрушительной силой. К такой схеме относятся водохранилища бассейна р.Волги.

Схема III (рис.в) – высоконапорные гидроузлы, расположенные на горных реках, которые при слиянии образуют главную реку бассейна. Здесь наиболее вероятно нанесение прицельных ядерных ударов, и поэтому возникает объединённая ПВ, уничтожающая все ВХО, расположенные на стволе главной реки. Водохранилища, расположенные на притоках, не доносящих свои воды до реки, смогут продолжать работу в соответствии с назначе-



Схемы расположения водохранилищ
в речном бассейне.

нием. Примером указанного расположения водохранилищ служат бассейны рек Амударьи и Сырдарьи.

Схема IV (рис.г) – водохранилища построены только на притоках реки. При разрушении плотины одного или нескольких гидроузлов на остальных можно перераспределить сток притоков для уменьшения объёма ПВ, проходящего по главной реке бассейна. Расположение водохранилищ по данной схеме является примером наиболее устойчивого их функционирования в речном бассейне в военное время. Однако такой схемы расположения водохранилищ в СССР пока нет.

Таким образом, в стране существуют 3 схемы расположения водохранилищ в речных бассейнах. Анализ данных схем приводит к выводу, что большая часть водохранилищ в военное время может быть разрушена и, следовательно, запасы воды в оставшихся водохранилищах будут значительно меньше, чем в мирное время. Приблизительно оценить устойчивость функционирования отрасли по запасам воды в водохранилищах можно по выражению

$$\Pi = \frac{\sum W'}{\sum W},$$

где Π – показатель устойчивости функционирования;

$\sum W'$ – объём воды в водохранилищах, сохранившихся после нанесения удара;

$\sum W$ – объём воды в водохранилищах до удара, определяемый по данным кадастра водохранилищ СССР и Генеральной схемы комплексного использования водных ресурсов бассейнов рек Амударьи и Сырдарьи.

Для определения $\sum W'$ необходимо выявить водохранилища, которые могут быть выведены из строя после воздействия ОМП, и в соответствии с этим найти объёмы воды, исключаемые из использования в военное время. По составленному списку важнейших водохозяйственных объектов были исключены категоризованные водохранилища, подведомственные Минводхозу СССР, предполагая, что они подвергнутся первоочередному воздействию и будут выведены из строя. Исключены также водохранилища

(каскад водохранилищ на Днепре, Днестре, Волге и др.), которые не вошли в указанный список, однако в силу близости расположения некоторых из них к крупным промышленным центрам (г. Киев на Днепре, города Куйбышев, Горький, Волгоград на р. Волге) и большого ущерба, наносимого народному хозяйству в случае их разрушения (Токтокульский гидроузел на р. Нарын), также могут быть выведены из строя.

По результатам расчетов для водохранилищ с объемом больше 50 млн. м^3 видно, что показатели устойчивости в Уральском, Западно-Сибирском и Казахстанском регионах имеют большее значение, так как здесь меньше категорированных водохранилищ и сравнительно невелик их объем. Кроме того, к ним подвешены незначительные по размеру орошаемые площади, расположенные не на главных реках бассейна. Наименьшие значения показателей определены в Закавказском, Поволжском и Среднеазиатском регионах, где значительное количество категорированных водохранилищ с большими объемами, расположенными в каскаде на крупнейших реках страны. Суммарная емкость водохранилищ, оставшаяся после воздействия, составит всего $II, I \text{ км}^3$, при этом показатель устойчивости будет равен $0,045$.

Расчеты, выполненные для водохранилищ с объемом от 10 до 50 млн. м^3 , показали, что $II = I$ в Поволжском, Уральском, Закавказском и Казахстанском регионах. В остальных регионах показатели значительно меньше, так как в Северо-Кавказском, на Украине и Молдавии, а также в Среднеазиатском регионах часть водохранилищ объемом от 10 до 50 млн. м^3 является категорированными и при воздействии ОМП они первыми выходят из строя. После воздействия может сохраниться $I, 588 \text{ км}$, тогда $II = 0,64$.

Показатель устойчивости функционирования отрасли по запасам воды в водохранилищах по стране в целом равен $0,045$.

Следовательно, наибольшее значение приобретают некатегорированные водохранилища, расположенные вне зон возможных разрушений и затоплений. На этих водохранилищах ИТМ проводить не нужно. ИТМ, повышающие устойчивость функционирования отрасли по запасам воды в водохранилищах после воздействия ОМП,

проводят в бассейнах таких рек, в которых после разрушения большей части водохранилищ оросительной способности реки недостаточно для обеспечения основных водопотребителей.

Список использованной литературы

1. Вендров С.Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. - Л.: Гидрометеонадат, 1979. - 208 с.
2. Кадастр водохранилищ СССР, вып. I., 1971, ДСП.

Л.С.Вахонина
(БелНИИМВХ)

УСТОЙЧИВОСТЬ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ *

В настоящее время оценка физической устойчивости водохозяйственных объектов при возможном воздействии значительной ветровой нагрузки, как правило, не производится.

В 1980 г. по Белорусскому Полесью прошел ураган. По данным метеостанции Полесской опытно-мелиоративной станции, скорость ветра достигала 34 м/с. Скоростной напор на сооружения, находящиеся на мелиоративных системах, для такой скорости вычисляется по следующей формуле [1]

$$q = \frac{(a V)^2}{16},$$

где $a = 0,75 + \frac{5}{V}$ - коэффициент к скоростям ветра;
 V - скорость ветра;

$$q = \frac{(0,75 + \frac{5}{34})^2 \cdot 34^2}{16} = 58 \text{ кг/м}^2.$$

Скоростной напор урагана на Полесье, в два раза превысивший нормативный (27 кг/м^2), причинил существенный ущерб

* Работа выполнена под руководством к.т.н. Минаева И.В.

сельскому хозяйству. Воздействие урагана сказалось также на элементах мелiorативной сети: была разрушена дождевальная установка ДДА-100 М, повалены телеграфные столбы и т.д. Такой пример не единственный, и не исключено, что скоростной напор может достигать величины в десятки раз превышающей нормативный.

В связи со сказанным, сооружения, находящиеся на мелiorативных системах, необходимо рассчитывать на экстремальные условия с целью определения объема и средств для восстановления нормального функционирования объекта в определённые сроки.

Произвести более детальный расчет на прочность отдельных сооружений на осушительно-увлажнительных системах можно с помощью математической программы "Супер-76" [2/].

Программа предназначена для расчета на прочность пространственных и плоских конструкций определенного класса на ЭВМ "Минск-32". К ним относятся железобетонные и металлические конструкции, плиты, балки-стенки и т.д. В основу вычислительного алгоритма "Супер" положен смешанный метод расчета стержневых систем, учитывающий структуру системы, геометрические размеры, жесткостные характеристики стержней и внешнее воздействие на конструкцию.

Из гидротехнических сооружений по этой программе можно рассчитать на прочность трубы-переезды, трубы-регуляторы, шлюзы-регуляторы, смотровые колодцы. Кроме того, используя эту программу, можно выяснить возможные деформации и разрушения элементов дождевальной техники.

Ниже приведён расчет прочности шлюза-регулятора на действие скоростного напора величиной 0,1, 0,2, 0,3 кг/см².

Рассмотрим шлюз-регулятор ШР-2-4 с перепадом напоров 2 м и шириной отверстия 4 м. Выступающей над поверхностью земли частью шлюза является рама для затвора, состоящая из двух боковых стоек, верхнего ригеля и винтовых направляющих. Стойки выполнены из двух швеллеров № 24, установленных навстречу друг другу полками параллельно плоскости затвора.

В программе "Супер" заложена возможность смешанного расчета стержневых систем, учитывающего их структуру.

В соответствии с конструктивным решением шлюза-регулятора расчетная схема принята в виде пространственной рамы с жесткими узлами и жесткой заделкой в опорных сечениях (рисунок).

Нами рассмотрены три варианта воздействия ветра (фронтальное, боковое и под углом 45°) на выступающую надземную часть шлюза-регулятора с двумя вариантами положения затворов:

1. При поднятых (обоих) щитах; направление ветра фронтальное;

2. При опущенных щитах; направление ветра фронтальное (ветер распространяется вдоль канала);

3. Боковое (в торец) направление ветра (ветровая волна направлена перпендикулярно каналу); положение щитов не изменяет парусность;

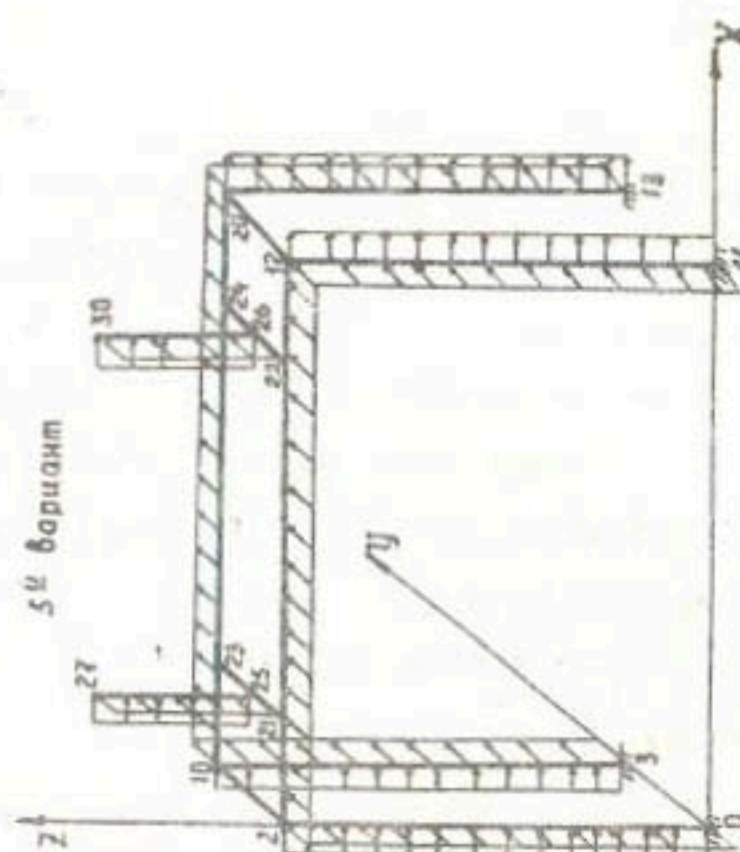
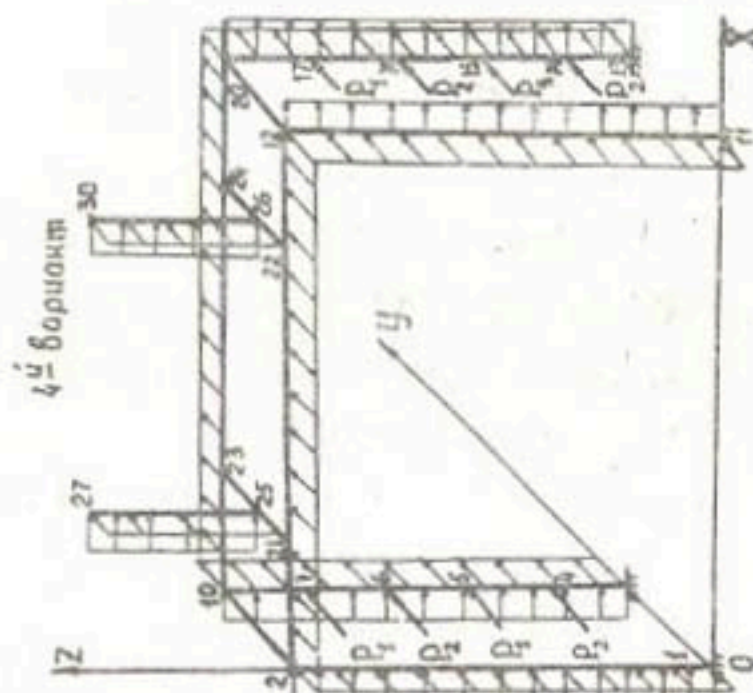
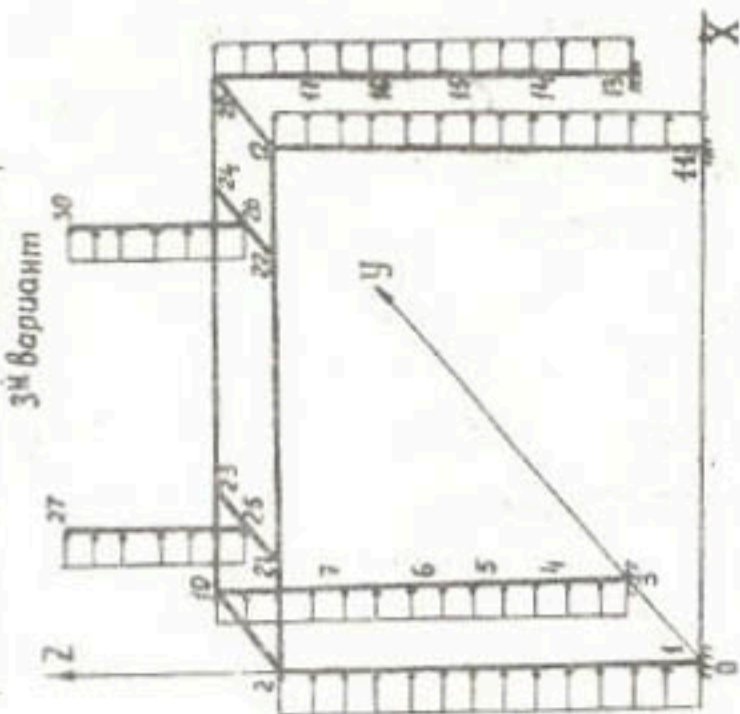
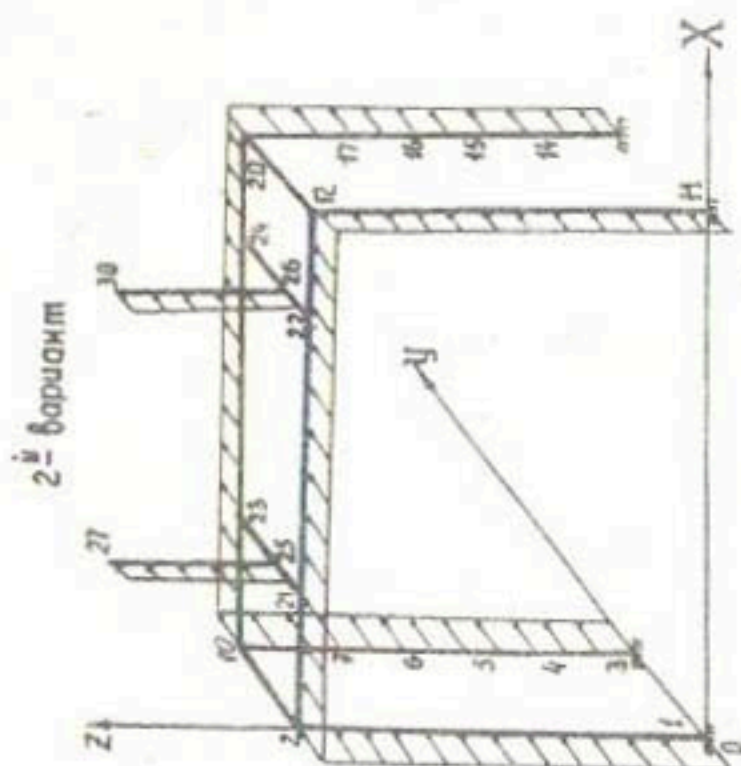
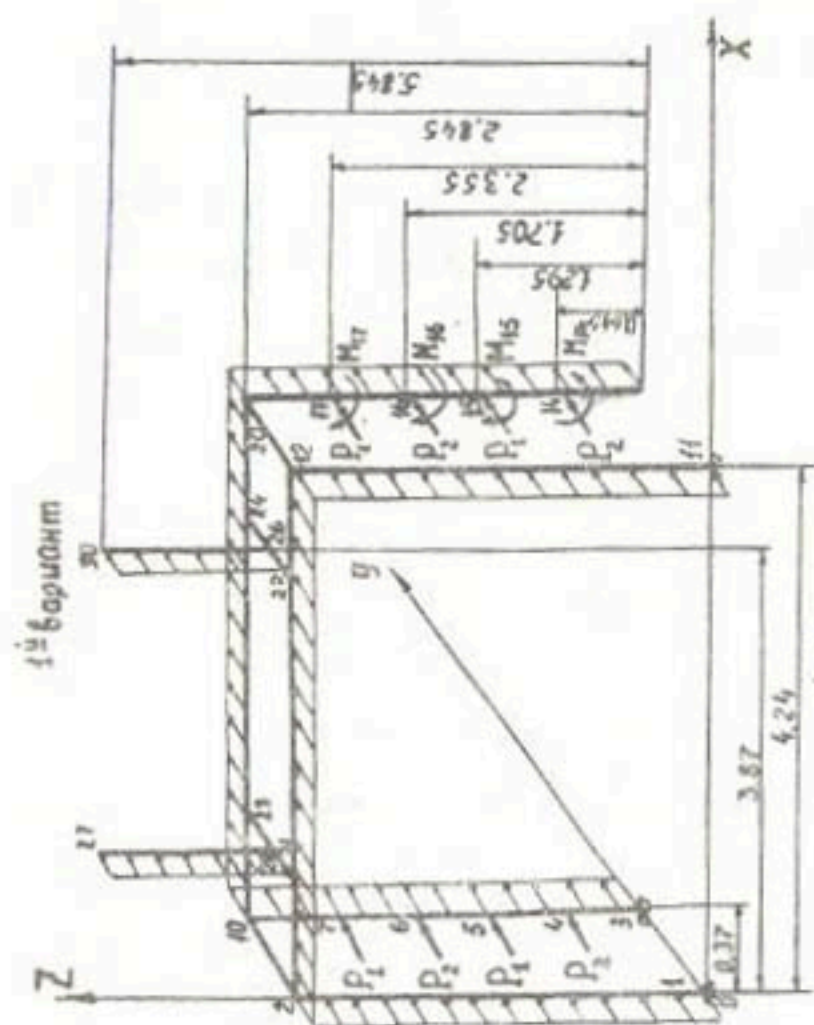
4. Щиты подняты; ветровая волна направлена под углом 45° к плоскости затвора;

5. Щиты опущены; ветровая волна направлена под углом 45° к плоскости затвора.

Парусность сооружения вычисляли как площадь внешнего контура его минус отверстия в свету (м^2). Нагрузку определяли как произведение удельного веса его на парусность фронтальную и боковую, умноженную, соответственно, на $\cos$ и $\sin$ угла подхода ветровой волны. В связи с образованием отсоса (вакуума) с подветренной стороны сооружения расчетная нагрузка была увеличена в 1,4 раза.

В состав исходных данных была включена минимальная информация: геометрические и жесткостные характеристики, координаты узлов системы, граничные условия, места приложения и величины нагрузок. Информация представляется в виде отдельных целочисленных и действительных массивов, которые располагаются на перфоленте.

В результате расчета были получены характеристики на-



Расчетная схема шлюза-регулятора.

пряженно деформированного состояния системы (перемещение узлов, усилия, напряжения), представленные в распечатках. Например, для перемещений указываются номер узла, вид перемещения, номер нагружения; для усилий и напряжений – номер и наименование элемента, вид усилия или напряжения, номер нагружения.

На распечатках представлены усилия при скоростном напоре $q = 0,1 \text{ кг/см}^2$. Для вариантов $q_2 = 0,2 \text{ кг/см}^2$ и $q_3 = 0,3 \text{ кг/см}^2$ усилия в стержнях возрастают пропорционально, так как расчетные схемы и приложения нагрузок остаются постоянными. Результаты расчета (наиболее опасные сечения) приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Значения усилий в стержнях при их
работе на изгиб

Номер вари- анта	Опасные сечения в стержнях системы	Скоростной напор q , кг/см ²		
		0,1	0,2	0,3
I	2	3	4	5
I	3 - 4			
	N	-11,73	-23,46	-35,19
	M_Y	0,146	0,292	0,438
	M_Z	5,167	10,334	15,501
II	I - 2			
	N	5,160	10,320	15,480
	M_Y	0,144	0,228	0,532
	M_Z	1,205	2,410	3,615
III	I - 2 M_Y	0,947	1,894	2,841
IV	3 - 4			
	N	-8,146	-16,292	-24,438
	M_Y	0,539	1,078	1,617
	M_Z	3,645	7,308	10,962

Продолжение табл.

I	2	3	4	5
у	I - 2			
	N	3,805	7,610	11,415
	M _Y	0,744	1,488	2,340
	M _Z	0,852	1,704	2,556

Примечание. N — продольное усилие в стержне, т;
 M_Y — изгибающий момент в плоскости XOZ согласно системе координат, принятой на расчетной схеме, т·м;
 M_Z — изгибающий момент в плоскости YOX , т·м.

Суммарное напряжение в наиболее опасном сечении определяется как сумма моментов и усилий по формуле

$$\sigma = \pm \frac{M_Z}{W_Z} \pm \frac{N}{F},$$

где W_Z — момент сопротивления [4], см³;
 F — площадь сечения, см².

Как видно из таблицы, наиболее опасное напряжение возникает в сечениях на участке 3...4:

$$\sigma = \frac{516700}{31,6} - \frac{11730}{30,6} = 15968,0 \text{ кг/см}^2.$$

Допустимое напряжение составляет 2100 кг/см². Сравнивая полученное и допустимое напряжения, видим, что при $q = 0,1 \text{ кг/см}^2$ полученное напряжение в несколько раз превышает допустимое, а это означает, что возникнут остаточные деформации в элементах рамы (изгиб) или возможно разрушение.

Установлено, что в первом варианте при всех нагрузках (0,1; 0,2; 0,3 кг/см²) надземная часть шлюза-регулятора разрушается или деформируется; во втором такое же положение сохраняется даже при $q = 0,1 \text{ кг/см}^2$; в третьем при всех на-

грузках, создаваемых ветровой волной, суммарное напряжение менее допустимого ($\sigma < R = 2100 \text{ кг/см}^2$), т.е. возникающие деформации в сечениях носят обратимый характер. В четвёртом варианте сооружение разрушается или деформируется; в пятом лишь при величине скоростного напора $q = 0,1 \text{ кг/см}^2$ суммарное напряжение в опасном сечении не превышает предела упругости при изгибе; при остальных двух нагрузках сооружение или разрушается, или деформируется.

Итак, в вариантах, когда щиты шлюза-регулятора опущены, отмечается заклинивание затворов. Ущерб в этом случае зависит от уровня воды в каналах, соответствующего расчетному периоду мелиоративной системы.

Расчетный период мелиоративной системы характеризуют следующие типы критических расходов [5]:

- предпосевно-посевной (обеспеченностью 10 %);
- летне-осенний, паводковый (10 %);
- весеннего половодья (10...25 %);
- бытовой (25...50 %).

Разрушение наиболее существенно в случае, когда подняты затворы, но значительный ущерб ожидается и при заклинивании перегораживающего устройства шлюза-регулятора. В этом случае при полном (или почти полном) наполнении канала (первые три расчетных периода) произойдет сильная вымочка озимых культур. Запоздание со сроком сева в весенний период может привести к значительным потерям урожая.

Детальный расчет сооружений мелиоративной сети позволяет выявить характер разрушений и определить возможность замены отдельных элементов. В наиболее неблагоприятном случае распределения нагрузок и их большой величине сооружение подлежит ликвидации после воздействия ветровой волны, что также легко определить в результате расчета. Программа "Супер" может быть заменена программой "Лира", но для сооружений мелиоративной системы она излишне мощна.

Список использованной литературы

1. СНиП II-6-74. Строительные нормы. Ч.II, гл.6.-М.:Стройиздат.

2. Инструкции по эксплуатации вычислительного комплекса "Супер" для прочностного расчета строительных конструкций на ЭВМ "Минск-32".—Киев: 1978.
3. СНиП II-6-76. Нагрузки и воздействия. Ч. II, гл. 6.
4. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя.—М.: Машиностроение, 1973.
5. Технические условия и нормы проектирования осушительных систем в Белорусской ССР.—Минск: 1970.

А. И. Тучин
(САНИИРИ им. В. Д. Журина)

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КВАЗИОДНОМЕРНЫХ ЗАДАЧ ГИДРОДИНАМИКИ В МАССОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЛАГРАНЖА

I. В исследованиях гидродинамических процессов численными методами можно выделить два основных этапа: выбор математической модели, адекватно отражающей наиболее существенные особенности рассматриваемого процесса, и разработку алгоритма, допускающего численную реализацию модели на ЭВМ. В свою очередь, математические модели в литературных источниках (например в [1]) принято делить на одномерные, двумерные (или плановые) и трехмерные — по количеству пространственных координат, используемых в уравнениях модели.

Однако существует целый класс моделей, широко применяемых для расчетов реальных объектов, которые занимают промежуточную ступень между одномерными и двумерными моделями. В гидродинамике для уравнений, применяемых в этих моделях, используется термин "уравнения гидравлики", а в газовой динамике — "уравнения в каналовом приближении". Оба термина характеризуют класс квазиодномерных задач, которые принято (несколько необоснованно) относить к одно-

мерным [2], [3].

Существенное отличие одномерных задач от квазиодномерных проявляется не только в том, что в последних пренебрегают лишь скоростями и ускорениями по отсутствующим координатам, а само перемещение жидкости рассматривают, но и в появлении дополнительных эффектов непосредственно в численных алгоритмах. Конкретный вид эффектов и вызванные ими ограничения зависят от конкретной формы уравнений и выбранного численного алгоритма; общим же является их непереносное присутствие в задачах этого класса. В качестве примера в данной работе рассматривается численная модель волны прорыва, возникающей при разрушении водохранилища.

2. Выбранная математическая модель основывается на уравнениях, вытекающих из законов сохранения массы и импульса однофазной жидкости при допущениях теории мелкой воды.

Эти уравнения в массовых переменных Лагранжа имеют следующий вид [4]:

$$\frac{DV}{Dt} - \frac{\partial u}{\partial q} = 0 ; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial q} = gG ; \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = u ; \quad (3)$$

$$P = P(V, x) ; \quad G = G(u, x, \omega) . \quad (4)$$

Здесь t - время; x - координата вдоль оси русла;
 u - скорость в направлении x ; P - сила давления; g - ускорение свободного падения;

$$G = (i - i_f) + \frac{1}{g} R ;$$

q - массовая координата Лагранжа; $V = 1/\omega$;
 ω - площадь поперечного сечения потока.

При начальных условиях, определяющих состояние воды в водохранилище и нижнем бьефе,

$$u(q, 0) = u(q) ; \quad V(q, 0) = V(q) . \quad (5)$$

Начальные условия одновременно определяют и расчетную область, которая является подвижной. Граничные условия для уравнений (1) - (4) могут задаваться как по скорости -

$$u(0,t) = u_1(t) ; \quad u(W,t) = u_2(t) , \quad (6)$$

так и по давлению -

$$P(0,t) = P_1(t) ; \quad P(W,t) = P_2(t) \quad (7)$$

(W - объём водохранилища).

Второй тип задания граничных условий при использовании массовых переменных Лагранжа предпочтительнее. Для дальнейшего анализа характер граничных условий особого значения не имеет, и поэтому достаточно положить

$$P_1(t) = P_2(t) = 0 .$$

Переменные, входящие в уравнения (1)...(4), для русла произвольной формы вычисляются по следующим выражениям:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \int_0^h b(x, \xi) d\xi ; \quad P = g \int_0^h (h - \xi) \cdot b(x, \xi) d\xi ; \quad L_f = \frac{u|u|}{K^2} \\ q &= \int_{x_0}^x \omega(r) dr ; \quad R = g \int_0^h \frac{\partial b}{\partial q} (h - \xi) d\xi ; \quad i = - \frac{\partial Z_0}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь h - максимальная глубина потока; b - ширина русла на расстоянии ξ от дна;

K - модуль расхода, нормированный по площади поперечного сечения; Z_0 - ордината дна русла.

3. Численное интегрирование уравнений (1)...(4) с учетом (5) - (8) осуществляется методом конечных разностей с использованием неявной консервативной разностной схемы. Выбор в рассматриваемой модели именно неявной разностной схемы обусловлен, в первую очередь, тем, что при использовании массовых переменных Лагранжа не удаётся избежать сильной неравно-

мерности расчетной сетки по X (по q сетка остается равномерной). Это приводит к тому, что на отдельных участках сетки значение числа Куранта может быть на порядок меньше его среднего значения. Поэтому в численных исследованиях гидродинамических процессов в открытых руслах с использованием массовых переменных Лагранжа неявные разностные схемы всегда предпочтительнее явных.

Ограничения на параметры расчетной сетки, связанные только с квазиодномерностью используемой модели, проявляются при выборе любой разностной схемы; меняется лишь конкретный вид ограничений.

Для аппроксимации уравнений (1)...(4) в расчетную область вводится неравномерная сетка с целыми индексами по пространственной координате:

$$\Omega_x = \{x_j = x_{j-1} + l_j; j = 1, 2, \dots, N; \sum_{j=1}^N l_j = L\},$$

$$\partial\Omega_x = \{x_0 = L_0; x_N = L_0 + L\}$$

(L — длина водохранилища).

На основе этой сетки строится новая разностная сетка с индексами по массовой координате:

$$\Omega_q = \{q_j = q_{j-1} + \Delta_j; j = 1, 2, \dots, N; \sum_{j=1}^N \Delta_j = W\},$$

$$\partial\Omega_q = \{q_0 = 0; q_N = W\}$$

(W — объем водохранилища,

$\Delta_j = 0,5 (\omega_{j-1} + \omega_j) \cdot l_j$ — шаг сетки по массовой координате).

Сетка Ω_x и её граница $\partial\Omega_x$ переменны во времени, тогда как Ω_q и $\partial\Omega_q$ от времени не зависят. Отнеся u и G к дробным индексам, а V и P к целым и используя интегро-интерполяционный метод [5], получим следующую систему разностных уравнений:

$$V^j = V_j + \frac{\gamma}{\Delta_j + \Delta_{j+1}} (u^{j+1/2} + u_{j+1/2} - u^{j-1/2} - u_{j-1/2}), \quad (9)$$

$$u^{j-1/2} = u_{j-1/2} - \frac{\gamma}{2\Delta_j} [\alpha (P^j - P^{j-1}) + (1-\alpha) (P_j - P_{j-1})] + \gamma g \tilde{G}^{j-1/2}, \quad (10)$$

$$u^j = 0,5 \cdot (u^{j+1/2} + u^{j-1/2}), \quad (11)$$

$$x^j = x_j + 0,5 \cdot \gamma \cdot (u^j + u_j), \quad (12)$$

$$P^j = P(V^j, x^j); \quad G^{j-1/2} = G(u^{j-1/2}, x^{j-1/2}, V^{j-1/2}). \quad (13)$$

Здесь $x^{j-1/2}$, $V^{j-1/2}$ вычисляются как полусуммы этих значений в целых точках, а $\tilde{G}^{j-1/2} = \alpha G^{j-1/2} + (1-\alpha) G_{j-1/2}$.

Из уравнений (9), (13) видно, что неравномерность сетки по Q предполагается достаточно малой.

Уравнения (9)...(13) сводятся к системе трехточечных линейных уравнений, реализуемых вариантом скалярной прогонки, путём разложения величин на неизвестном временном слое в ряд Тейлора, с последующей итерацией по нелинейности. Сила давления на каждой итерации представляется следующим образом:

$$p^{j,v+1} = p^{j,v} + \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)^{j,v} (V^{j,v+1} - V^{j,v}) + \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^{j,v} (x^{j,v+1} - x^{j,v}). \quad (14)$$

Подставляя в (14) выражения для V^j и x^j из (9) и (12), получим:

$$p^{j,v+1} = p^{j,v} - 0,5 \cdot \gamma [\mu^{j,v} (u^{j+1/2,v+1} - u^{j+1/2,v} - u^{j-1/2,v+1} + u^{j-1/2,v}) - 0,5 \cdot \eta^{j,v} (u^{j+1/2,v+1} - u^{j+1/2,v} + u^{j-1/2,v+1} - u^{j-1/2,v})]. \quad (15)$$

Здесь
$$\mu^{j,v} = \frac{2[(C\omega)^{j,v}]^2}{\Delta_j + \Delta_{j+1}}; \quad \eta^{j,v} = \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^{j,v} \Big|_{\omega^{j,v}}$$

$$\omega^j = 1/V^j. \quad (16)$$

Аппроксимация правой части уравнения (10) осуществляется следующим образом:

$$\tilde{G}^{j+1/2} = \alpha G^{j+1/2, \nu+1} + (1-\alpha) G_{j+1/2}, \quad (17)$$

где

$$G^{j+1/2, \nu+1} = G^{j+1/2, \nu} - 2 \frac{|U|^{j+1/2, \nu}}{(K^{j+1/2})^2} (U^{j+1/2, \nu+1} - U^{j+1/2, \nu}). \quad (18)$$

Из выражений (17) и (18) видно, что неявная часть члена G частично включается непосредственно в прогоночные коэффициенты, а частично переносится итеративным путём. На рациональность подобного разделения по аппроксимации правых частей в уравнениях такого типа указывал С.К. Годунов / 6 /.

Подставляя (15) и (18) в уравнение (10), на каждой итерации получим систему линейных трехточечных уравнений относительно скорости:

$$A_{j-1/2}^{\nu} U^{j-1/2, \nu+1} - L_{j-1/2}^{\nu} U^{j-1/2, \nu+1} + B_{j-1/2}^{\nu} U^{j+1/2, \nu+1} = - \tilde{F}_{j-1/2}^{\nu}. \quad (19)$$

Коэффициенты её имеют следующий вид:

$$A_{j-1/2}^{\nu} = \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_j} (\mu^{j-1, \nu} + 0.5 \eta^{j-1, \nu});$$

$$B_{j-1/2}^{\nu} = \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_j} (\mu^{j, \nu} - 0.5 \eta^{j, \nu});$$

$$\begin{aligned} L_{j-1/2}^{\nu} = & \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_j} [\mu^{j, \nu} + \mu^{j-1, \nu} - 0.5 (\eta^{j-1, \nu} - \eta^{j, \nu})] + \\ & + 2 \gamma g \alpha \left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{j-1/2, \nu} + 1 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
\mathcal{F}_{j-1/2}^{\nu} = & U_{j-1/2}^{\nu} - \frac{\tau^2 \alpha}{2 \Delta_j} \left\{ \mu^{j,\nu} (U^{j+1/2,\nu} - U^{j-1/2,\nu}) - \mu^{j-1/2,\nu} (U^{j-1/2,\nu} - U^{j-3/2,\nu}) - \right. \\
& - 0,5 [\eta^{j,\nu} (U^{j+1/2,\nu} + U^{j-1/2,\nu}) - \eta^{j-1,\nu} (U^{j-1/2,\nu} + U^{j-3/2,\nu})] \left. + \right. \\
& + \tau g \left\{ \alpha [G^{j-1/2,\nu} + 2 \left(\frac{U|U|}{K^2} \right)^{j-1/2,\nu} + \frac{1}{g \Delta_j} (P^{j-1,\nu} - P^{j,\nu})] + \right. \\
& \left. \left. + (1-\alpha) \left[G_{j-1/2} + \frac{1}{g \Delta_j} (P_{j-1} - P_j) \right] \right\} \right\} .
\end{aligned}$$

Выражение для $\mathcal{F}_{j-1/2}^{\nu}$ весьма неудобно при вычислениях из-за наличия третьего члена в (2). Ряд авторов [7] предпочитают вычислению реакции бокового отпора аппроксимацию силы давления в недивергентной форме. Вычисление третьего члена непосредственно по формуле, входящей в выражение (8), нерационально из-за количества расходуемого времени ЭВМ, а представление его в виде массовой составляющей (по аналогии с уклоном дна) приводит к раскачке решения на участках, где ширина русла имеет большие градиенты. Выражение для $\mathcal{F}$, которое оказалось приемлемым для расчетов, получается из следующих преобразований. Выпишем часть слагаемых из выражения $\mathcal{F}$ с учетом формулы (8):

$$\begin{aligned}
& \tau g \alpha \left[- \left(\frac{\partial Z_g}{\partial x} \right)^{j-1/2,\nu} - \left(\frac{U|U|}{K^2} \right)^{j-1/2,\nu} + \left(\int_0^h \frac{\partial \theta}{\partial q} (h-\xi) d\xi \right)^{j-1/2,\nu} + \right. \\
& \left. + \sin \varphi + 2 \left(\frac{U|U|}{K^2} \right)^{j-1/2,\nu} + \frac{1}{g \Delta_j} (P^{j-1,\nu} - P^{j,\nu}) \right] .
\end{aligned}$$

Из (2) имеем:

$$\int_0^h \frac{\partial \theta}{\partial q} (h-\xi) d\xi = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial P}{\partial q} - \omega \frac{\partial h}{\partial q} \right) . \quad (21)$$

Имея в виду, что $Z = Z_g + h$ и записывая (21) в разностной форме, после подстановки его в выражение для $\mathcal{F}$ и сокращения подобных, получаем:

$$\begin{aligned}
\tilde{F}_{j-1/2}^v = U_{j-1/2} - \frac{\tau^2 \alpha}{2 \Delta_j} \left\{ \mu^{j,v} (U^{j+1/2,v} - U^{j-1/2,v}) - \mu^{j-1,v} (U^{j-1/2,v} - U^{j-3/2,v}) - \right. \\
\left. - 0,5 [\eta^{j,v} (U^{j+1/2,v} + U^{j-1/2,v}) - \eta^{j-1,v} (U^{j-1/2,v} + U^{j-3/2,v})] \right\} + \\
+ \tau g \left\{ \alpha \left[\left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{j-1/2,v} + \frac{\omega^{j,v} + \omega^{j-1,v}}{2 \Delta_j} (Z^{j-1,v} - Z^{j,v}) \right] + \right. \\
\left. + (1-\alpha) \left[\frac{\omega_j + \omega_{j-1}}{2 \Delta_j} (Z_{j-1} - Z_j) - \left(\frac{|U|}{K^2} \right)_{j-1/2} \right] + \sin \varphi \right\}. \quad (22)
\end{aligned}$$

В дальнейшем при ссылках на (20) под $\tilde{F}_{j-1/2}^v$ будет подразумеваться (22).

4. Постановка граничных условий. Для использования рекуррентных формул алгоритма прогонки граничные условия сводятся к уравнениям

$$\begin{aligned}
-\mathcal{L}_{1/2}^v U^{1/2,v+1} + \mathcal{B}_{1/2}^v U^{1/2,v+1} = -\tilde{F}_{1/2}^v; \\
A_{N-1/2}^v U^{N-1/2,v+1} - \mathcal{L}_{N-1/2}^v U^{N-1/2,v+1} = -\tilde{F}_{N-1/2}^v, \quad (23)
\end{aligned}$$

коэффициенты которых находят из краевых условий конкретной задачи. Краевые условия могут задаваться по скорости или по силе давления. Причем, характерная особенность численных алгоритмов, использующих подвижные сетки, — возможность изменения типа краевых условий в процессе решения. Это обусловлено в основном тем, что положение самой расчетной области в пространстве зависит от времени. При расчетах прорывных волн из водохранилищ краевые условия могут быть следующего вида.

1. Условия по силе давления:

а) волна со свободными границами.

В этом случае сила давления в точках с координатами q_0 и q_N принимается равной нулю ($P_0 = 0$; $P_N = 0$).

Физически это соответствует отсутствию воды в нижнем бьефе и притока в верхнем. Соотношения вида (23) получаются путём небольшой модификации (20). Так, для левой границы имеем:

$$\begin{aligned} B_{1/2}^v &= \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_1} (\mu^{1,v} - 0.5 \eta^{1,v}) \\ L_{1/2}^v &= \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_1} (\mu^{1,v} + 0.5 \eta^{1,v}) + 2 \gamma g \alpha \left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{1/2, v} + 1 \\ F_{1/2}^v &= U_{1/2} - \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_1} [\mu^{1,v} (U^{1/2, v} - U^{1/2, v}) - 0.5 \eta^{1,v} (U^{1/2, v} + U^{1/2, v})] + \\ &+ \gamma g \left\{ \alpha \left[\left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{1/2, v} + \frac{\omega^{1,v}}{2 \Delta_1} (Z^{0,v} - Z^{1,v}) \right] + \right. \\ &\left. + (1 - \alpha) \left[\frac{\omega_1}{2 \Delta_1} (Z_0 - Z_1) - \left(\frac{|U|}{K^2} \right)_{1/2} \right] + \sin \varphi \right\}. \end{aligned} \quad (24)$$

Для правой границы -

$$\begin{aligned} A_{N-1/2}^v &= \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_N} (\mu^{N-1,v} + 0.5 \eta^{N-1,v}) \\ L_{N-1/2}^v &= \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_N} (\mu^{N-1,v} - 0.5 \eta^{N-1,v}) + 2 \gamma g \alpha \left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{N-1/2, v} + 1 \\ F_{N-1/2}^v &= U_{N-1/2} + \frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta_N} [\mu^{N-1,v} (U^{N-1/2, v} - U^{N-1/2, v}) - \\ &- 0.5 \eta^{N-1,v} (U^{N-1/2, v} + U^{N-1/2, v})] + \gamma g \left\{ \alpha \left[\left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{N-1/2, v} + \right. \right. \\ &\left. \left. + \frac{\omega^{N-1,v}}{2 \Delta_N} (Z^{N-1,v} - Z^{N,v}) \right] + (1 - \alpha) \left[\frac{\omega_{N-1}}{2 \Delta_N} (Z_{N-1} - Z_N) - \left(\frac{|U|}{K^2} \right)_{N-1/2} + \sin \varphi \right] \right\}; \end{aligned} \quad (25)$$

б) движение волны по руслу, наполненному незначительным количеством воды.

При незначительном заполнении здесь подразумевается ситуация, когда объём воды на всем участке предполагаемого движения волны меньше объёма, заключенного в одном счетном интервале волны (Δ). В этом случае коэффициенты для правого граничного условия получаются непосредственно из (20), где в качестве параметров, имеющих индекс $N + 1/2$, берутся известные параметры потока непосредственно перед волной;

в) движение волны по заполненному руслу.

В этом случае разностная сетка накладывается сразу на весь участок предполагаемого движения волны и на правой границе можно задать условие типа I-б (поскольку теперь линейный размер расчетной области превышает линейный размер расчетного участка). Этот вариант наименее удобен с точки зрения затрат времени ЭВМ для использования рассматриваемого алгоритма, так как численное моделирование объектов, у которых расчетная область с начального момента времени накладывается на весь объект, более рационально осуществлять, используя подход Эйлера.

II. Условия по скорости:

а) условие по скорости на правой границе, как правило, задается в случае, когда в конце расчетного участка существует непроницаемая преграда, и имеет вид $u^N = 0|_{x^N \geq L}$. Знак $\geq$ связан с тем обстоятельством, что за один расчетный шаг по времени Δt точка с координатой x^N может оказаться за границей расчетного участка, т.е. $x^N > L$. С этого момента времени и начинает работать граничное условие по скорости, т.е. условие по скорости на правой границе (за исключением варианта I-в) задается в совокупности с каким-либо из условий I;

б) условия по скорости на левой границе задаются, как правило, через расход Q ($Q = u \cdot \omega$). Физически это соответствует тому, что в водохранилище втекает речка с расходом $Q = \text{const}$ (задание в рассматриваемом численном алгоритме $Q = Q(t)$ не имеет смысла, так как левая граница является подвижной и задаваемый гидрограф ($Q = Q(t)$) не попадает в расчетную область). Этот вариант граничных условий распадается в соответствии с ($u \geq c$) на два случая (третий случай - $u < -c$ - при $Q > 0$ возникнуть не может):

$$I) \quad \frac{Q \cdot V^0}{c^0} < 1.$$

Соотношение (23) для этого случая граничного условия можно получить различными способами, например из характеристического уравнения. Однако для данного алгоритма более рацио-

нально получить его из уравнения непрерывности с учетом дополнительной информации о том, что в этом случае течение на левой границе является гладким.

Разностное уравнение непрерывности для левой границы можно записать в следующем виде:

$$V^0 = V_0 + \frac{\gamma}{\Delta_1} (u^{1/2} - u^{-1/2}). \quad (26)$$

Используя информацию о гладкости течения, значение $u^{-1/2}$ можно получить по значениям $u^{1/2}$ и $u^{3/2}$ с помощью ряда Тейлора:

$$u^{-1/2} \approx 2u^{1/2} - u^{3/2} + O(\Delta_0^2).$$

Выражая Q через V^0 и u^0 (как $Q = 0.5(u^{-1/2} + u^{1/2}) V^0$) и подставляя в (26), получаем соотношения типа (23) с коэффициентами —

$$B_{1/2}^v = 0.5 + \frac{\gamma}{\Delta_1} Q; \quad L_{1/2}^v = 1.5 + \frac{\gamma}{\Delta_1} Q; \quad F_{1/2}^v = V^{0,v} Q, \quad (27)$$

которые удовлетворяют достаточным условиям устойчивости прогонки;

$$2) \quad QV^0/C^0 > 1.$$

Этот случай граничных условий в практических расчетах не встречается; используется в основном для тестовых задач. Он предполагает задание на левой границе ω и u . Относя эти величины к дробной точке непосредственно перед расчетной областью ($-1/2$), получим значение коэффициента

$A_{1/2}$ из (20) и, перенося его в правую часть, придём к соотношению (23), где коэффициенты $B_{1/2}^v$, $L_{1/2}^v$ вычисляются по формулам (20), а $F_{1/2}^v$ — как сумма коэффициентов $F_{1/2}^v$ и $A_{1/2}^v$.

Ограниченность рассматриваемого условия связана с тем, что при $QV^0/C^0 > 1$ в процессе решения расчетную область необходимо постоянно увеличивать (т.е. постоянно вводить дополнительные расчетные точки на левой границе); в таких задачах (например истечение жидкости из-под щита) все преимуще-

ства использования массовых переменных Лагранжа теряются, и для их решения, как уже указывалось выше, более рационально использовать подход Эйлера.

5. Устойчивость численного алгоритма.

Для устойчивости прогонки коэффициенты (20) должны удовлетворять условию

$$|\mathcal{L}_{j-1/2}^{\nu}| \geq |\mathcal{A}_{j-1/2}^{\nu}| + |\mathcal{B}_{j-1/2}^{\nu}| \quad j \in N. \quad (28)$$

Величина μ всегда больше нуля, тогда как η может принимать как положительные, так и отрицательные значения (на участках сужения русла $\eta > 0$; расширения - $\eta < 0$). Подставляя в (28) выражения для $\mathcal{L}$, $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$, из (20) после несложных алгебраических преобразований получаем:

$$\frac{\gamma^2 \alpha}{2 \Delta t} (\eta^{i,\nu} - \eta^{i-1,\nu}) + 2 \gamma g \alpha \left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{i-1/2,\nu} + 1 \geq 0. \quad (29)$$

Условие (29) накладывает ограничение на величину шага по времени. Выражение для этого ограничения находим из решения квадратного неравенства (29) при условии $\eta^{i,\nu} - \eta^{i-1,\nu} < 0$, $\gamma > 0$ и $\alpha > 0$ (лишь при этих условиях решение неравенства имеет смысл):

$$\gamma_{\max} \leq \min_j \left\{ \frac{2 \Delta t \, g \beta + \sqrt{g^2 \beta^2 + \frac{|\eta^{i,\nu} - \eta^{i-1,\nu}|}{2 \alpha \Delta t}}}{|\eta^{i,\nu} - \eta^{i-1,\nu}|} \right\} \quad (30)$$

Здесь $\beta = \left(\frac{|U|}{K^2} \right)^{i-1/2,\nu}$.

По неравенству $\gamma > 0$ выбран знак перед корнем в (30). Ограничение на шаг по времени, накладываемое выражением (30), возникает лишь на участках русла с $\frac{\partial \delta}{\partial x} \neq 0$, так как при $\frac{\partial \delta}{\partial x} \rightarrow 0 \rightarrow \gamma_{\max} \rightarrow \infty$. Следовательно, это ограничение связано лишь с квазиодномерностью поставленной задачи и не имеет аналога в одномерном случае.

Для выяснения физического смысла неравенства (30) рассмотрим прямоугольное русло, ширина которого меняется по длине ($\frac{\partial b}{\partial h} = 0$; $\frac{\partial b}{\partial x} = 0$). В этом случае для γ имеем следующее выражение:

$$\gamma = \frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{\omega} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} g \frac{\omega^2}{b} \right) \Big|_{\omega} = -\frac{1}{2} g \frac{\omega^2}{b^2} \frac{\partial b}{\partial x} = -\frac{g}{2} h^2 \frac{\partial b}{\partial x}. \quad (31)$$

Принимая $\frac{\partial b}{\partial x} = \text{const}$ и подставляя (31) в (30), после несложных преобразований получаем:

$$\gamma_{\max} \leq \min_j \left\{ \frac{4 \Delta_j (\beta + \sqrt{\beta^2 + \frac{\lambda}{4g\Delta_j}})}{\lambda} \Big|_{\lambda > 0} \right\}, \quad (32)$$

где $\lambda = -\left(\frac{\partial b}{\partial x}\right) \cdot \lambda_1$

$$\lambda_1 = \left[(h^{j-1, \nu})^2 - (h^{j, \nu})^2 \right]. \quad (33)$$

Из выражения (32) и требований к (30) или (29) видно, что ограничение на шаг по времени ($\gamma_{\max}$) возникает лишь при условии $\lambda > 0$. Так как поведение потока на участках с $\frac{\partial b}{\partial x} < 0$ и с $\frac{\partial b}{\partial x} > 0$ различно, рассмотрим эти варианты отдельно.

А. Пусть $\frac{\partial b}{\partial x} < 0$ — сужающийся участок; тогда $\gamma_{\max}$ должен быть ограничен только при условии $\lambda_1 > 0$. Это соответствует докритическому режиму потока в сужении. Вариант $\lambda_1 < 0$ соответствует сверхкритическому режиму потока. При этом сужение должно быть достаточно малым, чтобы структура потока оставалась постоянной. В противном случае сужение приводит к образованию прыжка, за которым λ_1 меняет знак и, следовательно, вновь возникает ограничение на $\gamma_{\max}$.

Б. Положим $\frac{\partial b}{\partial x} > 0$ — расширяющийся участок; для ограничения на $\gamma_{\max}$ необходимо условие $\lambda_1 < 0$. Физически это возможно лишь при наличии подпора со стороны потока, находящегося за сужением. В случае расширения потока с постоянным падением глубин ограничений на $\gamma_{\max}$ не требуется.

В общем для рассматриваемого вычислительного алгоритма можно сформулировать следующее правило: ограничение на шаг по времени возникает лишь тогда, когда от участка сужения (расширения) в область, противоположную движению потока, направлена характеристика (исходная система уравнений гиперболического типа и, следовательно, всегда имеет две характеристики).

При численном решении одномерных уравнений газовой динамики на прогоночные коэффициенты накладываются более жесткие требования (требование положительности A и B). Если коэффициенты A и B уравнения (20) подчинить условию $A_j^{\nu/2} \geq 0$ и $B_j^{\nu/2} \geq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$;

$\nu = 0, 1, \dots$, то возникает интересное ограничение на величину шага сетки по пространственной координате:

$$x^{j,\nu} - x^{j-1,\nu} \leq 4b^{j-1/2,\nu} / \left| \frac{db}{dx} \right|^{j-1/2,\nu}. \quad (34)$$

Необходимо отметить, что оба ограничения, полученные лишь из условия хорошей обусловленности прогоночных коэффициентов, достаточно хорошо соответствуют физической стороне рассматриваемого процесса.

Так, при ограничении (34) фактически необходимо, чтобы на участках с резким изменением геометрии моделируемого объекта шаг сетки был некоторым образом (а именно (34)) сравним с его минимальной шириной. Оба ограничения — (30), (34) — возникают лишь при решении квазиодномерных задач; в одномерных задачах шаг по x (или q) диктуется лишь требуемой точностью расчета, и его можно выбирать независимо от объекта (точнее в одномерной постановке само понятие объекта становится весьма условным).

Нарушение ограничения (30) проявляется сразу, так как выводит ЭВМ на "авост". Нарушение ограничения (34) проявляется более тонко, и поэтому потребовало проведения численных экспериментов. Для этого выбирался участок канала шириной $b = 200$ м и длиной 10 км. В середину канала вводились разные типы сужения после чего результаты расчета сравнивались с фактическими (фактические результаты для задач та-

кого типа в большом количестве имеются у М.Д.Чертоусова [8], Р.Р.Чугаева [9]. На рис.1 показан профиль потока в сужении при различных отношениях $\frac{\Delta}{\Delta_{min}}$ (Δ_{min} - выбрали из условия (34)).

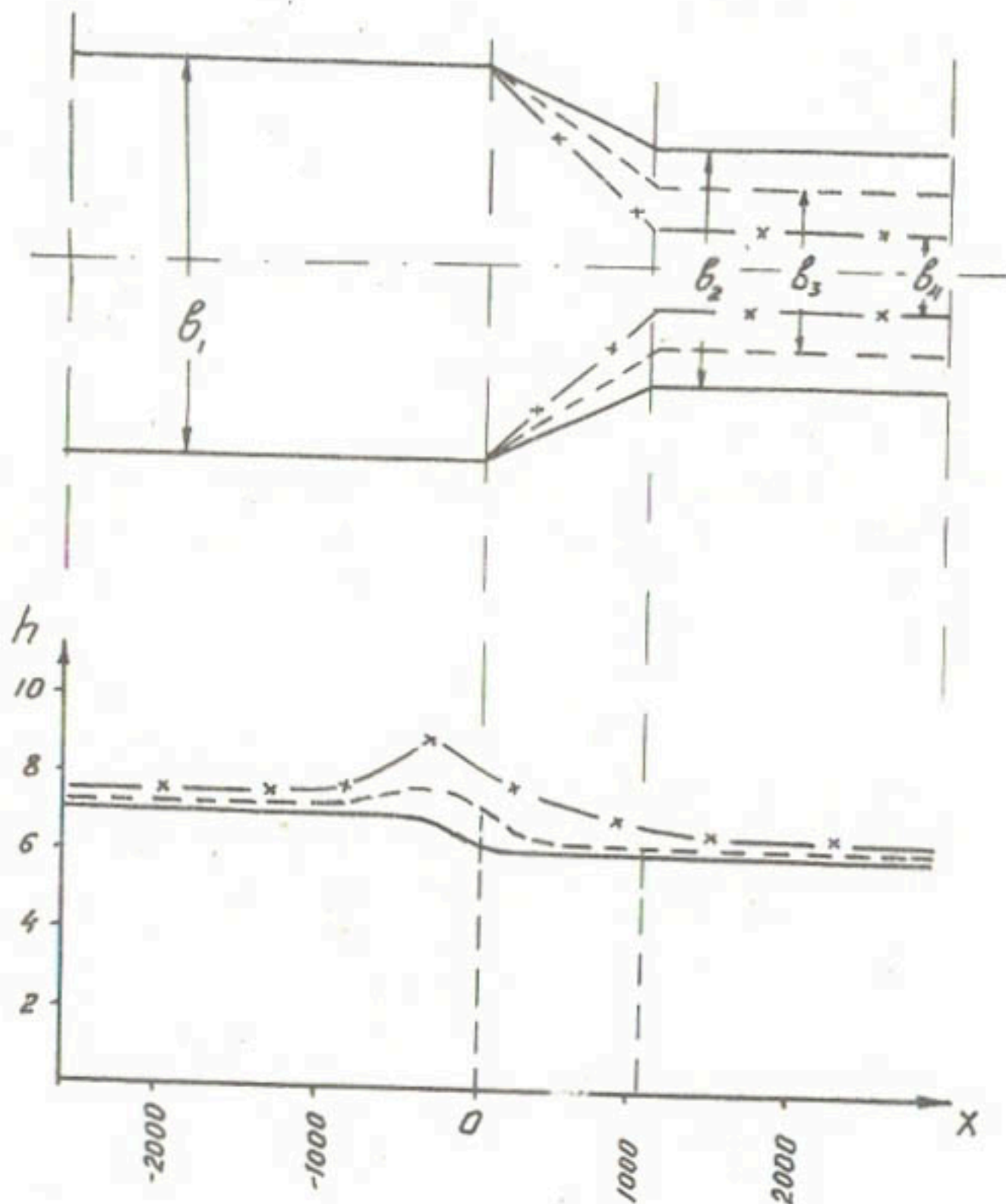


Рис. 1. Влияние $\frac{\Delta}{\Delta_{min}}$ на характер решения в сужении.

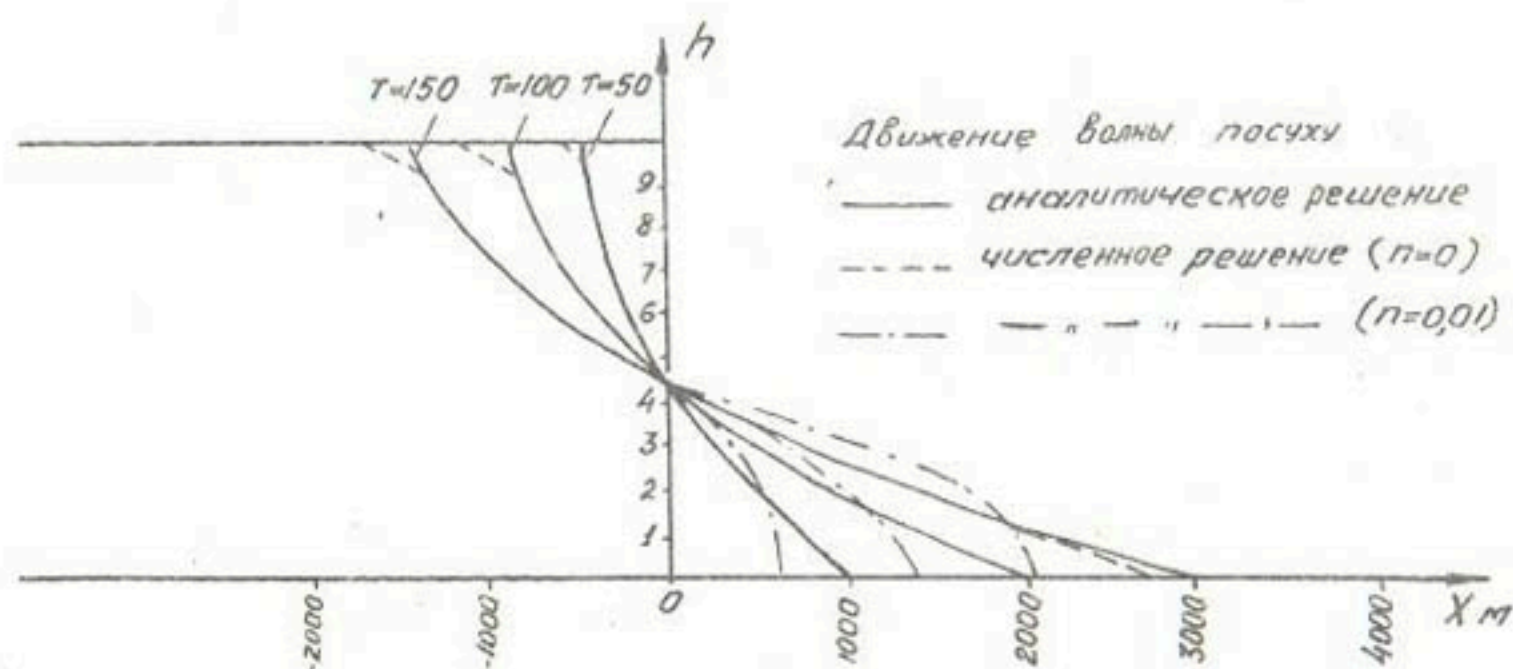


Рис.2. Сравнительные результаты расчетов тестовых задач (движение волны посуху).

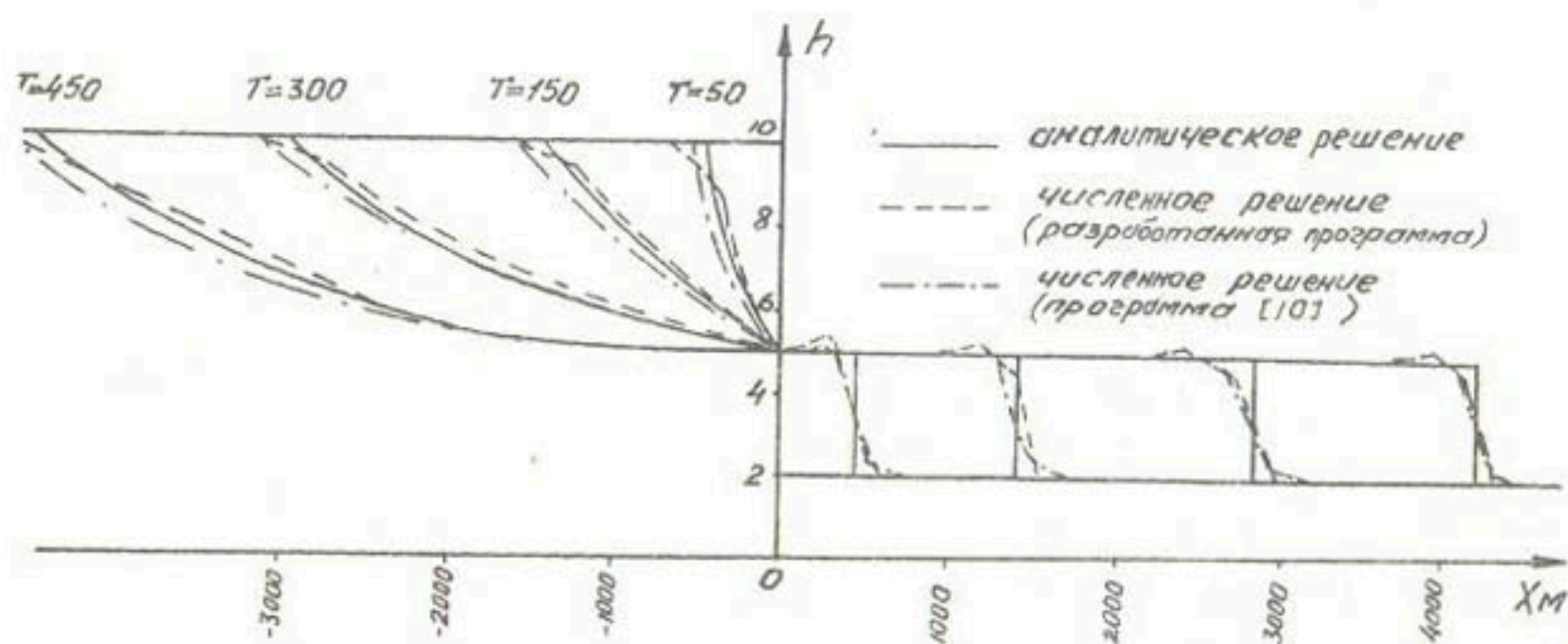


Рис.3. Сравнительные результаты тестовых задач (движение волны по заполненному руслу).

Подъем уровня потока в сужении при нарушении условия (34) имеет чисто вычислительную природу и сохраняется независимо от количества итераций. Интересно отметить, что если в коэффициентах (20) положить $\eta = 0$, то получим очень устойчивый с вычислительной точки зрения алгоритм, в котором однако отмечается неустранимый подъем уровня на участках сужения. Если характер изменения геометрии не слишком велик ($\frac{\delta_{\max}}{\delta_{\min}} \leq 3$; $|\frac{\partial \delta}{\partial x}| \leq 0,2$), то решение, полученное при $\eta = 0$, очень незначительно (ошибка $\sim 10\%$) отличается от решения по рассматриваемому алгоритму. Это позволяет использовать упрощенный алгоритм в случаях, когда требования к результатам расчета не слишком высокие (рис.2; 3).

Список использованной литературы

1. Лятхер В.М., Милитеев А.Н. Гидравлические исследования численными методами. — Водные ресурсы, 1981, № 3, с.60-79.
2. Васильев О.Ф. и др. — Решение одномерных задач газовой динамики в подвижных сетках. М.: Наука, 1970, с.130.
3. Динамика сплошных сред в расчетах гидротехнических сооружений. Под ред. В.М.Лятхера, Ю.С.Яковлева. М.: Энергия, 1976, с.392.
4. Абуталиев Ф.Б., Тучин А.И. Численный алгоритм расчета прорывных волн. В сб. Вопросы вычислительной и прикладной математики, вып.64. Ташкент, 1981, с.41-48.
5. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М.: Наука, 1980, с.352.
6. Годунов С.К. и др. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976, с.400.
7. Историк Б.Л. Численное интегрирование резконестационарных течений в открытых руслах. — В сб. научных трудов Гидропроекта. — Гидравлика и фильтрация, 1979, с.16-27.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика, Л.: Энергоиздат, 1982, с.672.
9. Чертоусов М.Д. Гидравлика, М.-Л.:Госэнергоиздат, 1962, с.630.

10. Воеводин А.Ф. и др. Об одном численном методе для расчета резко изменяющихся течений в руслах и водотоках. СО АН СССР. Институт гидродинамики, - Динамика сплошной среды, вып.22, 1975, с.89-96.
11. Тучин А.И. О численном моделировании прорывных волн в подвижных сетках, - В сб.САНИИРИ "Внедрение НИР в водное хозяйство". Ташкент, 1981, с.244, ДСП.
12. Тучин А.И. Расчеты прорывных волн в оптимизационных задачах, - В сб.научных трудов САНИИРИ - Вопросы функционирования и математического моделирования гидромелиоративных систем в условиях воздействия оружия массового поражения. Ташкент, 1982, с.48-56, ДСП.

Ф.И.Емельянов
(ЦНИИКИВР)

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Из общего комплекса гидросооружений ГМС рассмотрим сооружения, имеющие закрытые или полужакрытые помещения и полости, и особо - частично или полностью заглубленные в землю. Были высказаны предположения о возможности использования таких помещений после некоторой реконструкции для размещения аварийных запасов, противопожарных и спасательных средств, а в экстремальных случаях - для укрытия эксплуатационного персонала и других категорий людей. В связи с этим возникла необходимость изучить особенности таких сооружений для раскрытия возможностей их приспособления и использования и, соответственно, для повышения эффективности эксплуатации объектов ГМС.

Рассмотрим в первую очередь крупные оросительные системы, в состав которых входят: головной участок, междоустьевная и хозяйственная сеть и орошаемые массивы.

Необходимо выявить сооружения и помещения, которые обладают достаточной прочностью, противостоящей внешнему

возмущению, или имеют повышенную герметизацию по отношению к внешней среде, или обладают теми и другими свойствами одновременно. Данным требованиям в основном соответствуют сооружения, заглубленные ниже отметки дневной (планировочной) поверхности земли.

В таблице приведён перечень сооружений и помещений объектов гидромелиоративных систем, обладающих необходимыми свойствами, причем территориально рассредоточенных и находящихся по месту работы производственного персонала, занятого эксплуатацией объектов межхозяйственного значения. Перечень составлен на основе литературных данных и конкретных проектов отдельных систем, разработанных Союзгипроводхозом, Волгогипроводхозом, Белгипроводхозом.

Особое внимание должно быть обращено на использование нижних блоков заглубленных насосных станций головных участков оросительных систем.

На крупных оросительных системах при подаче воды в систему более $5 \text{ м}^3/\text{с}$ обычно применяется блочный тип насосных станций, в основании которых находятся массивные бетонные блоки с устроенными в них всасывающими трубами. Подземная часть выполняется из монолитного железобетона с гидроизоляцией. Электродвигатели вертикальных насосов монтируются на перекрытии насосного помещения.

Таким образом, конструктивные особенности делают помещения насосной станции весьма прочными сооружениями, способными выдерживать дополнительные нагрузки, сохраняя при этом определенную герметичность. Высота помещений достигает 3...6 м, а объём, соответственно—2000...2500 м^3 , причем, примерно, 2/3 помещений не заполнены оборудованием. Современные насосные станции блочного типа оснащены также всеми системами, обеспечивающими нормальную работу оборудования и эксплуатационного персонала: электроснабжение, водопровод, канализация, вентиляция, отопление, связь.

Все крупные насосные станции имеют подъездные пути с твердым покрытием, что позволяет использовать их в любое время года. Основные работы по приспособлению насосных стан-

Т а б л и ц а

Перечень сооружений и помещений объектов гидромелиоративных систем, подлежащих обследованию для возможного приспособления и переоборудования в экстремальных условиях

ГМС	Объект	Вид сооружения	Помещения
Оросительные	Водохранилище	Бетонные плотины	Потерны, заглубленные помещения для затворов
"	"	Земляные плотины	Проходные галереи дренажных систем, смотровые колодцы дренажа, проходные галереи напорных и безнапорных (строительных) водоводов, башни управления водоводами
Оросительные	Головной участок	Насосные станции первого и последующих подъёмов, блочного и камерного типов	"Сухие" помещения нижних блоков насосных станций. Для убежищ — помещения, расположенные ниже основного капитального перекрытия; для укрытий — помещения ниже пола наземной части насосной станции
"	"	Напорные водоводы	Колодцы обратных клапанов
"	"	Аккумуляторное (буферное) водохранилище	Проходные тоннели напорных водоводов, заглубленные части башен управления водовыпусками
"	Межхозяйственная сеть (магистральные каналы)	Оросительные насосные станции	Колодцы-регуляторы давления напорных водоводов, колодцы размещения расходомеров
"	Внутрихозяйственная сеть	Водораспределительная сеть	Колодцы с регуляторами расходов, давлений, предохранительными клапанами, вантузами, водомерами, сбросов воды из трубопроводов, переездов-дизеров через лотковые каналы, контрольно-смотровые колодцы дренажной сети и другие заглубленные помещения
Осушительные	Системы с механическим и смешанным водоподъёмом	Подземные (заглубленные) насосные станции	"Сухие" камеры ниже уровня грунтовой засыпки
Осушительные	Осушаемое поле	Дренажная сеть	Смотровые колодцы, колодцы-перепады, поглощающие колодцы, колодцы-регуляторы

ций могут быть выполнены так, что мощность и надежность работ по назначению не снижаются. Это позволяет повысить эффективность использования гидротехнических сооружений на гидромелиоративных системах. Следовательно, данные системы в максимальной степени могут быть использованы для обеспечения необходимых условий при соответствующем переоборудовании и приспособлении.

Кроме насосных станций, следует особо отметить так называемые полевые сооружения, расположенные непосредственно на орошаемых (осушаемых) земельных массивах. Это колодцы различного назначения, переезды-джекеры, подземные помещения польдерных насосных станций. Наличие вертикальных входов (лазов) является их отличительной особенностью. Количество входов достигает иногда нескольких штук на каждые 1000 га мелиорируемых земель. Например, на оросительной системе Волгоградской области предусмотрено строительство 21 повысительной станции, каждая из которых имеет отдельно расположенные колодцы регулирования давления воды в водоводах и колодцы размещения расходомеров. Сооружения эти представляют собой заглубленные железобетонные помещения размером в плане 2,7 x 2,7 м и высотой 3 м, вход вертикальный. Герметизация таких сооружений обеспечивается за счет горизонтального тоннеля - входа длиной 3...3,5 м и обсыпки выступающей из земли части помещения слоем грунта. Сооружение может быть подготовлено в течение 3...4 часов.

Переезды-джекеры в системе лотковых каналов также представлены колодцами с вертикальными входами. При использовании их в поливной период подача воды по лоткам прекращается, а из колодцев вода откачивается с помощью передвижных насосов. Верх колодцев перекрывается настилом из бревен, а на примыкающие к колодцам лотки устанавливаются в перевернутом виде целые звенья лотков или части их длиной 3...4 м. Перекрытые части лотков и колодцы засыпаются (уплотняются) слоем грунта. Такое укрытие отличается прочностью и герметичностью и может быть рекомендовано для использования.

Для реализации предложений по приспособлению сооружений и помещений гидромелиоративных систем, управления эксплуатации водохозяйственных объектов силами соответствующих инженерных служб необходимы следующие организационно-технические мероприятия:

- выявить и взять на учет все сооружения и помещения, которые могут быть использованы в экстремальных условиях (таблица);
- определять возможное назначение этих сооружений для их дополнительного использования;
- с помощью проектных организаций определить свойства сооружений и помещений, выявить возможности совмещения технологического процесса и возможного использования по другому назначению, составить проекты и сметы на приспособление по тем объектам, где требуются такие проекты и сметы;
- определить объёмы и сроки выполнения работ, составить планы поставки конструкций, оборудования, материалов;
- организовать и провести работы в объёмах, подлежащих выполнению;
- провести необходимые опробования по использованию приспособляемых сооружений.

Выполненные научные исследования по рассматриваемому вопросу, а также принятые принципиальные решения, удовлетворяющие нормативным требованиям, предъявляемым к сооружениям, показали техническую возможность и экономическую целесообразность их приспособления и использования.

Н.Н.Мирзаев, канд.техн.наук
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИНЦИПОВ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОДЕЛЕНИЯ

В практике орошаемого земледелия в условиях дефицита оросительной воды на всех уровнях водораспределения, начиная с межхозяйственного до межреспубликанского, господствует принцип пропорциональности, согласно которому скорректированные расходы в узлах водodelения определяются умножением плановых расходов на коэффициент пропорциональности, зависящий от обеспеченности источника орошения.

В последние годы в связи с нарастанием дефицита водных ресурсов в аридной зоне интерес к вопросу водораспределения значительно возрос. Высказан ряд критических замечаний в адрес традиционного принципа водodelения. Взамен его, как правило, предлагается принцип экономической оптимальности [1, 2, 3, 4]. Сторонники этого принципа считают, что водные ресурсы необходимо распределять между потребителями независимо от их административно-территориального расположения, причем таким образом, чтобы обеспечить наивысший народнохозяйственный эффект.

Другой принцип выдвинут в работе [5]. Авторы исходят из того, что чисто экономический подход к вопросам водodelения односторонен. Они считают, что при использовании воды как природного ресурса формируется не только экономический, но и социальный эффект. Согласно принципу равного относительного ущерба, предложенного ими, лимиты водоподачи в хозяйства нужно назначать таким образом, чтобы убытки от маловодья в них в процентном соотношении были равны.

Нами сделана попытка проанализировать достоинства и недостатки вышеперечисленных принципов на примере водodelения между пятью условными типами хозяйств.

Первое хозяйство располагается на землях, где сложился гидроморфный мелиоративный режим (УП гидромодульный район (ГМР));

остальные параметры такие же, как в работе / 6 /. Второе хозяйство от первого отличается тем, что расположено на автоморфных почвах (Ш ГМР). Третье отличается от второго лишь тем, что потенциальное плодородие его почв ниже (на 30 %). Четвертое отличается от третьего тем, что севооборот в нём менее освоен, т.е. доля посевной площади хлопчатника здесь больше, чем в третьем. Пятое хозяйство отличается от четвертого только тем, что КИД внутрихозяйственной сети в нём ниже (на 10 %). Все хозяйства орошаются из одной межхозяйственной оросительной системы.

Необходимое условие для анализа принципов вододеления — наличие зависимостей типа $\Delta \bar{Z}_q = f(\Delta \bar{W}_c)$. Здесь $\Delta \bar{Z}$ — относительный ущерб (%) q -го хозяйства; $\Delta \bar{W}_c$ — дефицит воды (%) в системе. В отличие от зависимостей типа $Z = (W)$ (рис.1) зависимости $\Delta \bar{Z} = f(\Delta \bar{W})$ имеют более сопоставимый вид и удобны для анализа. Ниже изложены способы построения этих связей.

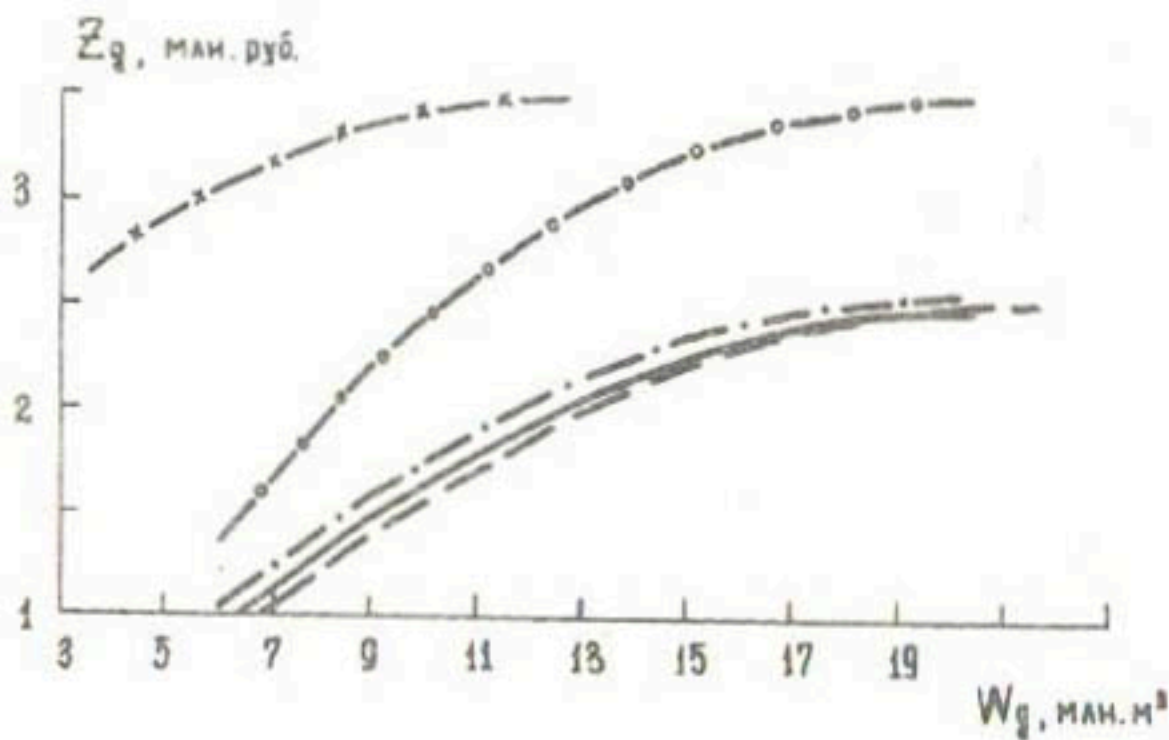


Рис.1. Графики связи между водоподачей в хозяйства и их продуктивностью.

1. Принцип экономической оптимальности. Для различных уровней водообеспеченности оросительной системы решаем следующую экономико-математическую модель:

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ -

$$\sum_{i \in \bar{J}} \sum_{g=1}^u \sum_{k=1}^P C_{igk} Y_{igk} X_{igk} \longrightarrow \max ; \quad (1)$$

ОГРАНИЧЕНИЯ -

$$\sum_{i \in \bar{J}} \sum_{g=1}^u \sum_{k=1}^P M_{igk} X_{igk} / \gamma_{ig}^r \gamma_{ig}^n = W_c ; \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \bar{J}_j} \sum_{g=1}^u \sum_{k=1}^P Y_{igk} X_{igk} \geq P_j^c, \quad J_j \in \bar{J} ; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^P X_{igk} \leq X_{ig}^0 ; \quad (4)$$

$$X_{igk} \geq 0 . \quad (5)$$

Здесь

- g - наименование хозяйства, $g = \overline{1, u}$;
 W_c - суммарный объем водоподачи в хозяйства из межхозяйственной оросительной системы;
 $\bar{J}_r$ - подмножество, элементы которого - наименования поливных участков, орошаемых из r -го хозканала;
 P_j^c - минимальный объем производства j -ой сельскохозяйственной культуры на землях, орошаемых из межхозяйственной оросительной системы.

Смысл остальных параметров тот же, что и в работе [6].

Делая выборку из оптимальных планов, строим графики связи $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_c)$ (рис. 2), где 1, 2, 3, 4, 5 - номера хозяйств.

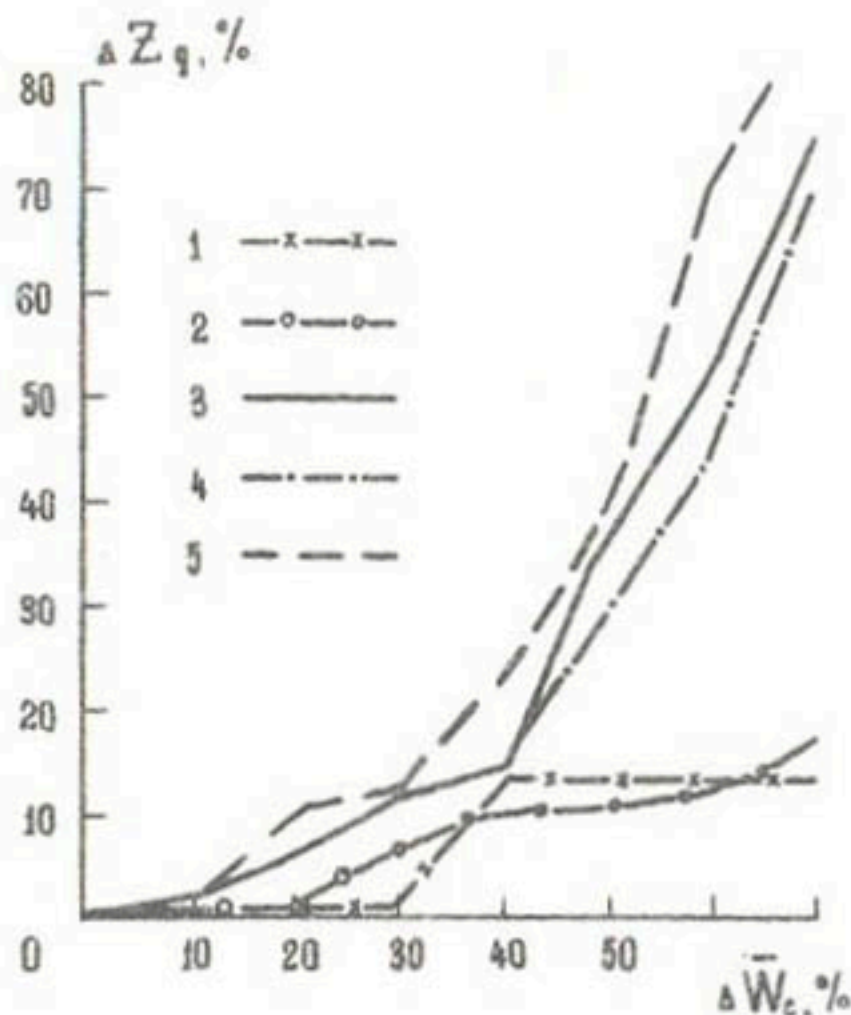


Рис.2. Графики связи $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_c)$ при вододелении по принципу экономической оптимизации.

П. Принцип пропорциональности. Для различных уровней водообеспеченности решаем экономико-математическую модель, которая отличается от модели, приведенной в работе [6], тем, что ограничение по водным ресурсам имеет вид

$$\sum_{i \in J_r} M_i X_i / \eta_i^r \eta_i^n = \varphi W_r^0, \quad J_r \subset J, \quad (6)$$

где φ — коэффициент пропорциональности;

W_r^0 — плановый объём водоподачи в r -ый хозканал за вегетацию.

Остальные параметры имеют тот же смысл, что и в вышеотмеченной работе.

На основании полученных результатов методом наименьших квадратов определяем аналитический вид связи $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_g)$ для каждого хозяйства.

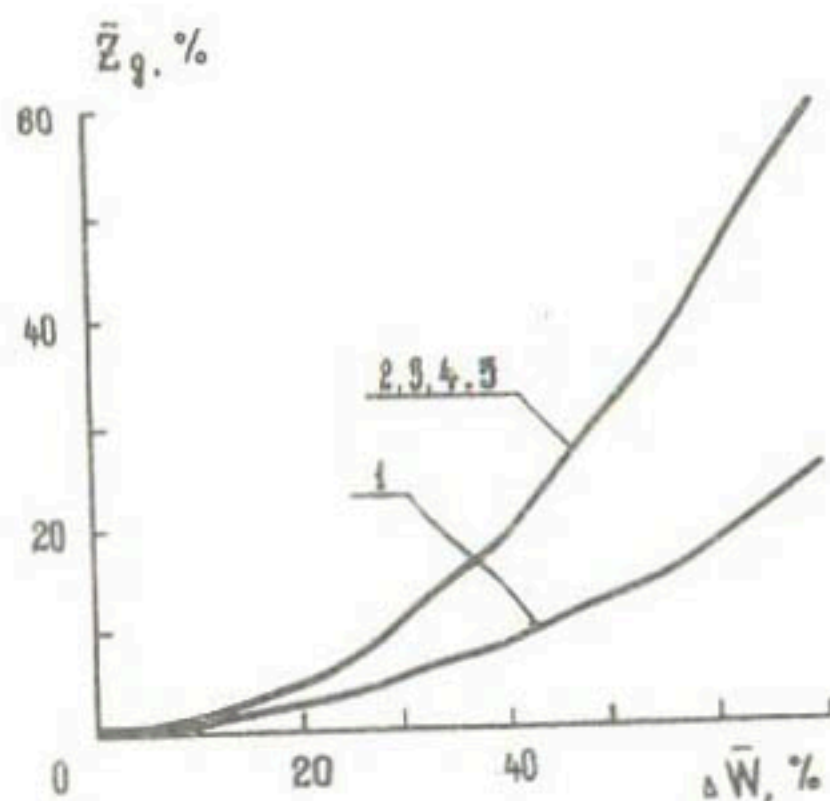


Рис.3. Графики связи $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_c)$ при вододелении по принципу пропорциональности.

Графики этой связи приведены на рис.3. Необходимо отметить, что связи

$$\Delta \bar{Z}_{2,3} = f(\Delta \bar{W}_g) \quad \text{и} \quad \Delta \bar{Z}_{4,5} = f(\Delta \bar{W}_g)$$

не идентичны, но разница между ними столь мала, что на графике кривые сливаются. Нетрудно догадаться, что при вододелении по принципу пропорциональности связи $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_g)$ и $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_c)$ идентичны.

III. Принцип равного относительного ущерба. Для каждого хозяйства при различных уровнях дефицита воды решаем экономико-математическую модель / 6 / и строим связь $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_g)$.

Задаваясь различными значениями $\Delta \bar{Z}$, определяем соответствующие каждому хозяйству значения $\Delta \bar{W}_g$ и далее вычисляем $\Delta \bar{W}_c$. Накладывая полученные данные на график, получаем зависимость $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_c)$, одинаковую для всех хозяйств и идентичную со связью $\Delta \bar{Z}_c = f(\Delta \bar{W}_c)$ (рис.4).

Далее проанализируем полученные связи. В табл. I приведены данные по ущербам и дефициту воды в хозяйствах при различных принципах вододеления при $\Delta \bar{W}_c = 40\%$.

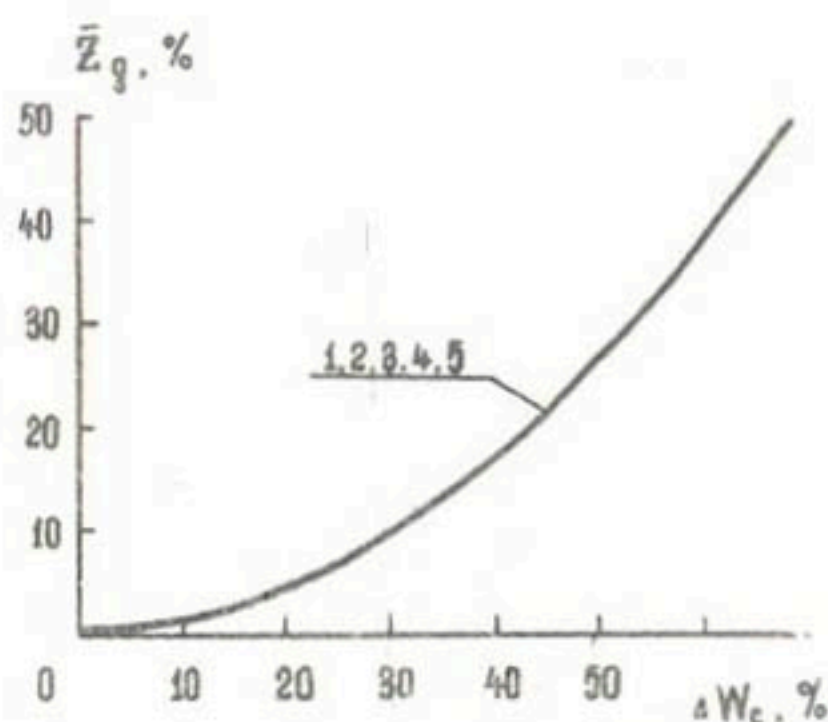


Рис.4. График связи $\Delta \bar{Z}_g = f(\Delta \bar{W}_c)$ при вододелении по принципу равного относительного ущерба.

Т а б л и ц а 1

Величины ущерба и дефицита воды в хозяйствах при различных принципах вододеления ($\Delta \bar{W}_c = 40\%$), %

Применяемый принцип вододеления	Х о з я й с т в а				
	1	2	3	4	5
Пропорциональности	$\frac{8,1}{40}$	$\frac{18,7}{40}$	$\frac{18,7}{40}$	$\frac{19,7}{40}$	$\frac{19,7}{40}$
Равного относительного ущерба	$\frac{16,4}{60,0}$	$\frac{16,4}{37,5}$	$\frac{16,4}{37,5}$	$\frac{16,4}{35,0}$	$\frac{16,4}{35,0}$
Экономической оптимальности	$\frac{12,9}{57,0}$	$\frac{10,1}{27,3}$	$\frac{14,3}{38,4}$	$\frac{13,5}{35,7}$	$\frac{23,2}{50,1}$

П р и м е ч а н и е . В числителе даны значения $\Delta \bar{Z}_g, \%$;
в знаменателе — $\Delta \bar{W}_g, \%$.

Анализ этих данных позволяет отметить следующее.

I. Первое и второе хозяйства, расположенные в разных гидрогеологических районах, при всех принципах вододеления

Т а б л и ц а 2

Ущерб в системе при различных дефицитах воды и разных принципах межхозяйственного водodelения

Применяемый принцип водodelения	Дефицит в о д н, %							
	10	20	30	40	50	60	70	
Пропорциональности	198033 1,36	669752 4,61	1246051 8,59	2396709 16,52	3873520 26,70	5590281 38,54	7531845 51,93	
Равного относительного ущерба	186212 1,28	661075 4,56	1231440 8,49	2374035 16,37	3835450 26,45	5567655 38,39	7509372 51,78	
Экономической оптимальности	151162 1,04	575681 3,96	1149333 7,92	2080647 14,34	3477374 23,97	5103378 35,19	6918456 47,70	∞

(за исключением принципа пропорциональности) несут сравнительно одинаковые ущербы. Принцип пропорциональности, выравнивая водообеспеченности хозяйств, ставит их в неравноценное положение в отношении ущербов. Например, второе хозяйство, расположенное на автоморфных почвах, несёт большие убытки, чем первое, находящееся на гидроморфных почвах, — на более чем 10 %. Причем, судя по графику (рис. 3), этот разрыв в ущербах растет с ростом дефицита воды в системе.

2. Принцип равного относительного ущерба нивелирует ущербы во всех хозяйствах, что достигается дифференцированием дефицитов в них воды. Наибольший дефицит её (60 %), как и следовало ожидать, наблюдается в первом хозяйстве.

3. Степень освоенности севооборотов (сравнивается третье и четвертое хозяйства) несущественно отражается на водообеспеченности и ущербе хозяйств.

4. Следствием неодинаковости технического состояния оросительной сети в четвертом и пятом хозяйствах является то, что при вододелении по принципу экономической оптимальности у пятого хозяйства дефицит воды на 4,4 %, а убыток от дефицита её на 9,7 % больше, чем у четвертого. Заметим также, что при этом принципе наименьший ущерб (10,1 %) имеет второе хозяйство, а не первое, как при вододелении по принципу пропорциональности.

Вытекающий из анализа табл. I наиболее важный вывод: все принципы вододеления (за исключением принципа равного относительного ущерба) ставят хозяйства в неравноценное положение в смысле получаемых ущербов от дефицита оросительной воды. Этот вывод важен для оценки принципов вододеления в социальном плане.

Перейдём к оценке экономической эффективности принципов вододеления. Для этого воспользуемся табл. 2.

В нем представлены значения абсолютных (ΔZ , руб.) и относительных ($\Delta \bar{Z}$, %) ущербов хозяйств при различных принципах вододеления. Как видно, суммарные ущербы системы при различных принципах вододеления не одинаковы. Так, при $\Delta \bar{W}_c = 40\%$

ущерб по принципу экономической оптимальности на 2,18 % меньше, чем по принципу пропорциональности; на 2,0 % меньше, чем по принципу равного относительного ущерба; на 1,98 % меньше, чем по принципу равенства относительных приростов ущербов.

В ы в о д ы

1. Все принципы межхозяйственного вододеления (за исключением принципа равного относительного ущерба) обладают одним и тем же недостатком: при вододелении на их основе в условиях дефицита воды различные типы хозяйств несут неодинаковые в процентном отношении ущербы.

2. В экономическом плане наилучшим является принцип экономической оптимальности.

3. Единственным достоинством принципа пропорциональности является то, что расчет параметров вододеления по этому принципу в математическом отношении очень прост.

4. В социально-экономическом плане наиболее приемлемым является принцип равного относительного ущерба.

Список использованной литературы

1. Воропаев Г.В. Резервы ирригации, связанные с оптимизацией использования водных ресурсов. — В сб.: Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М.: Наука, 1973, с.151 — 178.
2. Галямин Е.П. Оперативное планирование водораспределения в орошении. — Водные ресурсы, 1975, № 6, с.47 — 63.
3. Кардаш В.А. Планирование использования действующих оросительных систем. Оптимальное планирование, вып.3, Новосибирск, 1966, с.57—79.
4. Мечитов И.И., Гершкович М.И. Оптимизация использования водных ресурсов в дефицитных по воде бассейнах. — Гидротехника и мелиорация, 1967, № 12, с.35—44.
5. Бочарин А.В., Мирзаев М.И., Мирзаев Н.Н. Методы решения задачи оптимальной корректировки планов водопользования при дефиците оросительной воды. — В сб. научных трудов

САНИИРИ, вып. I6I, Ташкент, 1980, с. 35-43.

6. Мирзаев Н.Н. Оптимизация параметров внутрихозяйственного вододеления в условиях дефицита оросительной воды. - В сб. научных трудов САНИИРИ, вып. I70, Ташкент, 1983, с. I02-I08.

Н.Н.Мирзаев, канд.техн.наук
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДО- ДЕЛЕНИЯ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

В работе / 1 / предложена экономико-математическая модель, предназначенная для расчета экономически оптимальных параметров внутрихозяйственного водопользования в условиях ограниченности водных ресурсов.

Эта же модель использована нами при поиске вышеотмеченных параметров вододеления для условного хозяйства, прототипом которого явился колхоз "Пахтакор" Джалалкудукского района Андижанской области УзССР. Задача решена на ЭВМ ЕС-1022 по программе симплексного метода линейного программирования / 2 /.

Для упрощения при решении поставленной задачи приняты следующие допущения:

I. Суммарные издержки на выращивание сельскохозяйственной культуры на i -ом поливном участке (U_{ik}) - величина постоянная, не зависящая от варианта орошения, гидромодульного района и вида выращиваемой культуры. Расчет издержек на производство сельскохозяйственных культур с учетом перечисленных факторов возможен, но связан с определенными трудностями организационного характера. Принятие такого допущения намного облегчает работу по подготовке исходной информации к решению модели, не внося в план существенных погрешностей;

2. В модели рассматриваются только два лимитированных ресурса - вода и земля. Предполагается, что плановые задания хозяйств установлены с учетом наличия трудовых ресурсов, минеральных удобрений, сельхозтехники и т.д. Поэтому ограничение 3 / 1 / в нашем примере в модель не вошло. Очевидно, внедрение в практику орошаемого земледелия методов оптимального планирования водопользования здесь должно происходить поэтапно. Переход на новый этап должен сопровождаться совершенствованием модели по пути все более полного описания в ней всего сельскохозяйственного процесса с участием водных ресурсов.

Предполагаемая модель сравнительно проста и рассчитана на начальный этап использования экономико-математических методов в планировании водопользования;

3. КПД техники полива (η_h^n) - величина постоянная, условно равная 1,0;

4. Значение γ_i принимается равным 0,7;

5. Рассматриваются лишь три варианта орошения (оросительных норм) сельскохозяйственных культур:

$$M_1 = M^0; M_2 = M^*; M_3 = \frac{M_1 + M_2}{2},$$

где M и M^* - соответственно, максимальное и минимальное значения оросительной нормы сельскохозяйственной культуры / 1 /.

В принципе можно рассматривать весь диапазон изменения значений оросительной нормы сельхозкультур между $M = 0$ и $M = M^0$ с каким угодно заданным шагом.

С учетом вышеизложенных допущений модель приобретает следующий вид:

целевая функция -

$$Z = \sum_{i \in I} \sum_{h=1}^P C_{ih} Y_{ih} X_{ih} \rightarrow \max;$$

ограничения -

$$\sum_{i \in I} \sum_{h=1}^P M_{ih} X_{ih} / \eta_i^n \eta_i^n = W;$$

$$\sum_{h=1}^P X_{ih} \leq X_i^0;$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h=1}^P y_{jh} x_{jh} \leq P_j, \quad j \in J;$$

$$x_{jh} \geq 0.$$

Здесь Z — валовая продукция хозяйства в стоимостном выражении, руб.;

h — индекс варианта орошения, $h = \overline{1, P}$;

i — индекс поливного участка. Под последним понимается поле, занятое одним видом сельскохозяйственной культуры, орошаемое из одного источника, имеющее однородный состав почвогрунтов, одинаковый рельеф и гидрогеологический режим, $i = \overline{1, \ell}$;

x_i^0 — посевная площадь i -го участка.

Остальные параметры имеют тот же смысл, что и в работе [1].

При расчете технологико-экономических коэффициентов был использован аналитический способ построения связи "урожайность — оросительная норма", разработанный нами [3, 4].

Для расчета значений y_{min} , M_{min} воспользуемся следующим уравнением:

$$\bar{y} = -\alpha (\bar{M} - 1)^2 + 1,$$

где $\bar{y} = y / y_{max}$, $\bar{M} = M / M_{max}$,

α — параметр, определяющий крутизну кривой и зависящий от типа культуры, гидро模ульного района и климатической зоны.

Возможны два случая:

а) если $\alpha \leq 1$, то $\bar{y}_{min} = 1 - \alpha$, $\bar{M}_{min} = 0$;
 б) если $\alpha > 1$, то $\bar{y}_{min} = -\alpha (\bar{M}_{min} - 1)^2 + 1$.

В свою очередь,

$$\bar{M}_{min} = \sqrt{\frac{\alpha - 1}{\alpha}}.$$

В качестве M_{max} и U_{max} принимаются величины, заложенные в режим орошения и включенные в производственный план хозяйства.

При формировании исходной информации были использованы годовые отчеты и картографический материал хозяйства: ирригационная и почвенная карты, карта земель хозяйства с нанесенными на ней границами севооборотных массивов и поливных контуров, карта качественной оценки земель.

Исходная информация к решению модели дана в табл.1.

Принятая нумерация сельскохозяйственных культур: хлопчатник (средневолокнистый) - 1, люцерна текущего года - 2, люцерна прошлых лет - 3, кукуруза на силос - 4, кукуруза на зерно - 5, сады - 6, виноградники - 7, бахчи - 8, картофель - 9, овощи - 10.

Результаты численного решения модели сведены в табл.2, где приведены средневзвешенные величины оптимальных значений оросительных норм и орошаемых площадей по трём вариантам орошения.

Анализ показал, что оптимизация внутрихозяйственного вододеления достигается в основном за счет сокращения оросительных норм. Сокращение орошаемых площадей отмечается в следующих случаях: у переменных 8, 24, начиная с $\Delta \bar{W} = 30\%$, а у переменной 16 - при $\Delta \bar{W} = 60\%$; лишь одна переменная 7 при $\Delta \bar{W} = 40\%$ в оптимальный план "не попадает". Некоторые переменные имеют оросительную норму, равную нулю. Это означает, что водопотребление культуры будет осуществляться лишь за счет грунтовых вод и осадков.

Следует отметить, что в случае изменения некоторых параметров задачи в ходе вегетации симплексный метод посредством двойственных оценок позволяет сделать корректировку оптимального плана, что делает возможным, в свою очередь, корректировку самого плана водопользования.

Кроме того, на основе результатов численного решения модели становится возможным построение зависимости типа $\Delta \bar{Z} = f(\Delta \bar{W})$ (рисунок), где $\Delta \bar{Z} = \frac{\Delta Z}{Z_{план}} \cdot 100$;
 ΔZ - убыток хозяйства (в руб.) от дефицита воды (ΔW).

Т а б л и ц а 1

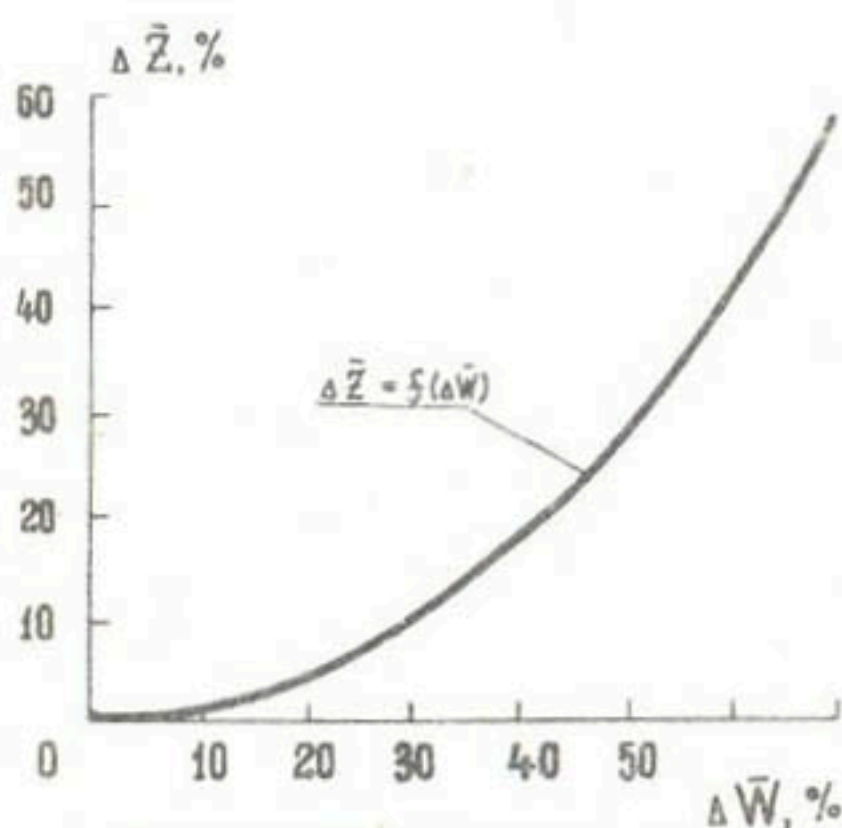
Исходная информация к численному
решению модели

Показа- тель	Хозяйственные каналы									
	I	!	2	!	3	!	4	!	5	
z^r	0,60	0,65	0,70		0,72		0,75			
μ	У	П	УП		Ш		У			
j	I	I	I		I		I			
x^0	150	140	120		180		220			
μ	I	П	УП		Ш		У			
j	3	5	I		2		4			
x^0	40	30	30		20		60			
μ	Ш	Ш	У		Ш		Ш			
j	I	I	7		3		9			
x^0	260	240	25		30		2			
μ	Ш	Ш	У		У		Ш			
j	2	3	9		I		8			
x^0	60	50	3		140		2			
μ	У	Ш	-		У		Ш			
j	6	10	-		4		6			
x^0	20	3	-		15		25			
μ	Ш	-	-		Ш		-			
j	7	-	-		5		-			
x^0	30	-	-		20		-			

Т а б л и ц а 2

Оптимальные размеры оросительных норм и орошаемых площадей сельскохозяйственных культур при различных условиях дефицита воды в хозяйстве

Номер пере- мен- ных, i	Д е ф и ц и т в о д ы, %													
	0		10		20		30		40		50		60	
	X	M	X	M	X	M	X	M	X	M	X	M	X	M
1	150	5,7	150	5,7	150	5,7	150	5,7	150	2,8	150	2,8	150	2,8
2	40	6,1	40	3,0	40	3,0	40	3,0	40	3,0	40	3,0	40	3,0
3	260	7,0	260	7,0	260	5,0	260	5,0	260	5,0	260	3,1	260	3,1
4	60	0,5	60	8,0	60	8,0	60	8,0	60	8,0	60	8,0	60	8,0
5	20	5,1	20	5,1	20	5,1	20	2,5	20	2,5	20	2,5	20	2,5
6	30	6,3	30	6,3	30	6,3	30	6,3	30	3,1	30	3,1	30	3,1
7	140	7,4	140	7,4	140	5,7	140	5,7	140	5,7	140	4,0	-	-
8	30	6,3	30	4,2	30	2,9	17,62,9	17,62,9	17,62,9	17,62,9	17,62,9	17,62,9	17,62,9	17,62,9
9	240	7,0	240	7,0	240	7,0	240	5,0	240	5,0	240	5,0	240	3,1
10	50	8,1	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
11	3,0	9,8	3,0	9,8	3,0	9,8	3,0	8,6	3,0	8,6	3,0	8,6	3,0	8,6
12	120	4,4	120	4,4	120	4,0	120	2,2	120	2,2	120	0,8	120	0
13	30	3,7	30	1,8	30	1,8	30	1,8	30	1,8	30	1,8	30	1,8
14	25	5,1	25	5,1	25	5,1	25	5,1	25	2,5	25	2,5	25	2,5
15	3,0	8,0	3,0	6,6	3,0	6,6	3,0	5,2	3,0	5,2	3,0	5,2	3,0	5,2
16	180	7,0	180	7,0	180	5,0	180	5,0	180	5,0	180	3,1	142	3,1
17	20	9,5	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0
18	30	8,1	30	7,7	30	7,7	30	7,7	30	7,7	30	7,7	30	7,7
19	140	5,7	140	5,7	140	5,7	140	5,7	140	2,8	140	2,8	140	2,8
20	15	4,8	15	2,4	15	2,4	15	2,4	15	2,4	15	2,4	15	2,4
21	20	8,0	20	4,0	20	4,0	20	4,0	20	4,0	20	4,0	20	4,0
22	220	5,7	220	5,7	220	5,7	220	3,9	220	2,8	220	2,8	220	2,8
23	60	4,8	60	1,8	60	1,8	60	1,8	60	1,8	60	1,8	60	1,8
24	2,0	9,8	2,0	8,6	2,0	8,6	1,3	7,3	1,3	7,3	1,3	7,3	1,3	7,3
25	2,0	5,6	2,0	5,6	2,0	5,6	2,0	5,6	2,0	5,6	2,0	2,8	2,0	2,8
26	25	6,3	25	6,3	25	6,3	25	3,1	25	3,1	25	3,1	25	3,1



Кривая зависимости между ущербом и дефицитом воды в хозяйстве.

Из графика видно, что темпы роста величины $\Delta \bar{Z}$ при понижении водообеспеченности хозяйства сравнительно невысокие. Так, при дефиците воды равном 30 % ущерб составляет около 10 %. Объясняется это, во-первых, тем, что такие влаголюбивые культуры, как люцерна, картофель, а также кукуруза имеют по сравнению с хлопчатником чрезвычайно низкие закупочные (сдаточные) цены и ущемляются в водопотреблении в первую очередь. В практике орошаемого земледелия в условиях дефицита воды, как правило, так и поступают, т.е. сажают на "голодный паек" почти все культуры за исключением хлопчатника [5]. Поэтому даже в условиях маловодья удастся выполнить план по сбору хлопка-сырца. Во-вторых, в рассматриваемом случае почти половина орошаемой площади расположена на гидроморфных почвах, где урожай (хотя и небольшой) может быть получен без полива.

Зависимость типа $\Delta \bar{Z} = f(\Delta \bar{W})$ представляет значительный интерес в том плане, что позволяет решать задачу сравнительной оценки принципов межхозяйственного вододелиния.

Оптимальные планы водопользования для различных уровней водообеспеченности необходимо составлять заранее, вес-

ной до начала вегетации. В начале вегетации на основании прогнозных данных о водообеспеченности хозяйства выбирают соответствующий оптимальный план орошения, т.е. вырабатывается стратегия вододеления. Внутривегетационное вододеление (тактика) представляет собой самостоятельную сложную задачу, и нами не рассматривается.

В случае изменения в ходе вегетации параметров задачи необходимо сделать анализ устойчивости плана и оценок по отношению к изменению этих параметров; рассчитывается допустимый интервал изменения параметров, в рамках которого оптимальный базис и оценки не меняются.

Если изменение параметров не выходит за пределы рассчитанного допустимого интервала, то по известным формулам производится корректировка плана; в противном случае необходимо пересмотреть план и оценки. Корректировка плана необходима и тогда, когда рекомендуемая оросительная норма оказывается меньше минимальной поливной. В этом случае нужно отказаться от орошения вообще или увеличить оросительную норму до величины минимальной поливной нормы.

Список использованной литературы

1. Мирзаев Н.Н. Оптимизация параметров внутрихозяйственного вододеления в условиях дефицита оросительной воды. — В сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 170, Ташкент: 1983, стр. 102–108.
2. Пакет прикладных программ "Линейное программирование в АСУ" (ППП ЛП АСУ). Руководство программиста. Ч. I. Описание программ. Калинин: НПО, "Центрпрограмм-систем", 1978, 136 с.
3. Мирзаев Н.Н. Расчетный способ построения связей "урожай — оросительная норма" для оптимизации планов водопользования. — В сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 158, Ташкент: 1979, с. 44–54.
4. Мирзаев Н.Н. К вопросу о зависимости урожайности хлопчатника от снижения оросительной нормы. — В сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 161, Ташкент: 1980, с. 44–52.

5. Худайбердыев Н. К новому подъёму орошаемого земледелия в Узбекистане. – Гидротехника и мелиорация, 1981, № 3, с. 2–4.

И.Г.Кристостурян, канд.техн.наук,

В.Г.Микаелян, Д.М.Оганесян

(АрмНИИВПАГ)

ПРОГНОЗ ПРОЦЕССА РАСПЛАСТЫВАНИЯ ВОЛНЫ ПРОРЫВА ПРИ ВНЕЗАПНОМ РАЗРУШЕНИИ ПЛОТИНЫ

Расчет движения потока воды при внезапном разрушении плотины осуществляется численным решением системы уравнений Сен-Венана.

Для удобства представим эту систему в характеристической форме:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U \pm c) \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{c}{\omega} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} + (U \pm c) \frac{\partial \omega}{\partial x} \right] = g \left(i_0 - \frac{U^2}{c^2 R} \right), \quad (I)$$

где U – средняя скорость течения; ω – площадь поперечного сечения; c – скорость распространения возмущений;

S – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус;

g – ускорение силы тяжести; i_0 – уклон дна.

Решением системы (I) находят скорость течения U и глубину h на протяжении всего участка, по которому движется волна повышения уровня, начиная с момента разрушения плотины, т.е. определяют функции $U = U(x, t)$, $h = h(x, t)$, характеризующие изменение скорости и глубины в любом створе в процессе распространения волны прорыва.

НАЧАЛЬНЫЕ И ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

После разрушения плотины вниз по течению распространяется волна прорыва, а вверх (в водохранилище) – волна понижения. Последняя распространяется по направлению обратной

характеристики, выходящей из точки $x = 0$ и соответствующей створу плотины (рис. I).

На левой границе области, т.е. на обратной характеристике, задаётся граничное условие:

$$\omega = \omega_0(x), \quad U_0(x) = 0. \quad (2)$$

Рассмотрим два случая: русло ниже плотины сухое; в русле есть вода.

Если русло сухое, то область решения системы (I) справа ограничена линией, вдоль которой распространяется фронт волны после разрушения плотины. На линии фронта волны повышения задаются следующие граничные условия:

$$\omega = \omega_0(x), \quad \frac{dx}{dt} = U(x, t). \quad (3)$$

Решение системы ищут в некоторой треугольной области, ограниченной сверху прямой $t = T$, соответствующей моменту окончания процесса распространения возмущений, а слева и справа — обратной характеристикой и линией фронта волны, выходящими из точки $x = 0$ (створ плотины) (рис. I).

Начальное условие представлено в виде:

$$\omega = \omega_0(x), \quad U = U_0(x), \quad (4)$$

по длине всего исследуемого участка.

Если русло сухое граничное условие (3) будет иметь вид:

$$\omega(x) = 0, \quad \frac{dx}{dt} = U(x, t); \quad (5)$$

начальное условие (4) выше плотины будет:

$$\omega = \omega_0(x), \quad U = 0, \quad (6)$$

а ниже

$$\omega = 0, \quad U = 0. \quad (7)$$

На фронте волны искомые функции терпят разрыв, так как справа их значения равны $\omega = 0, U = 0$, а слева

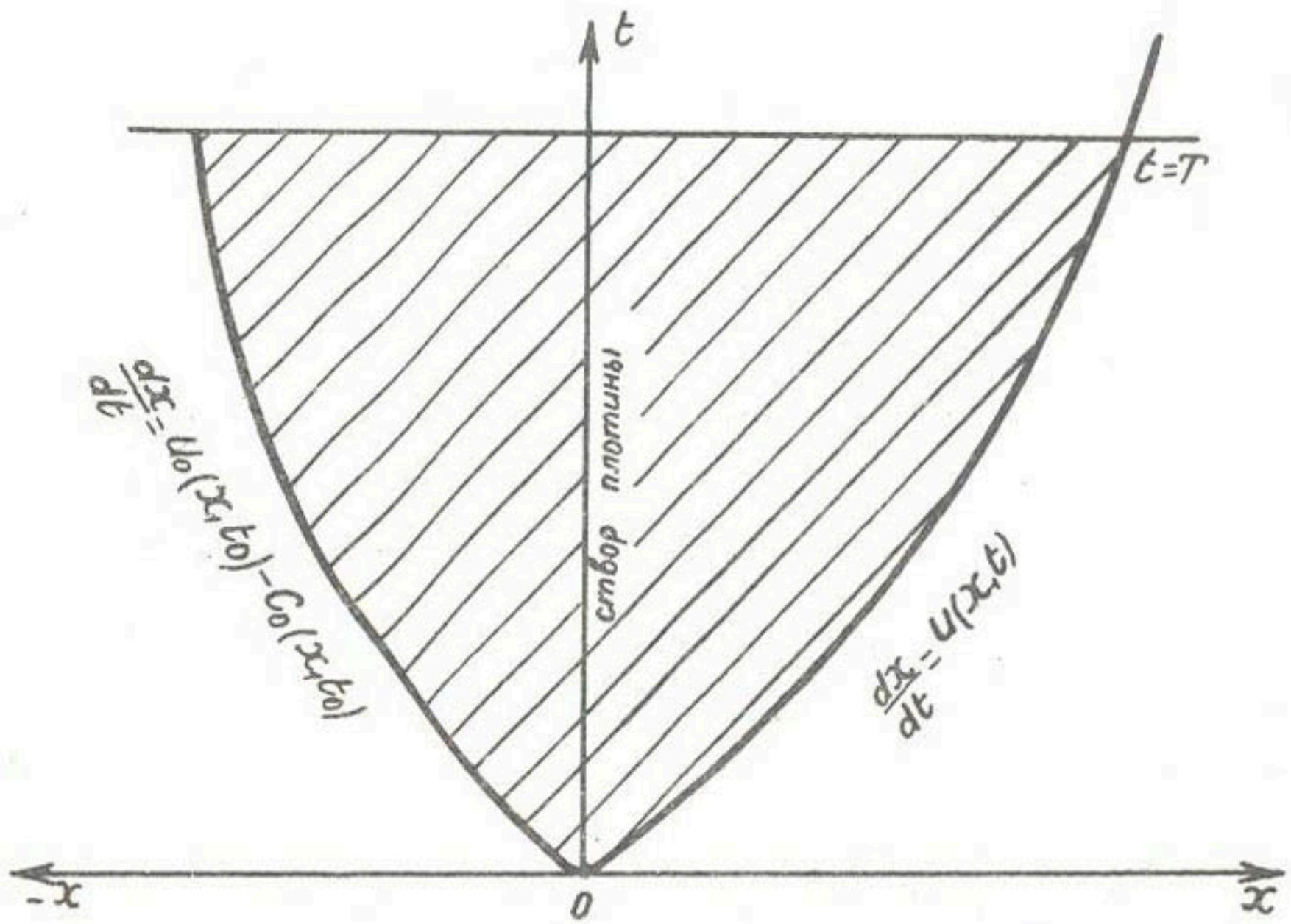


Рис. I. Направление характеристик в створе плотины в момент разрушения.

ω определяется величиной, соответствующей высоте фронта волны, а U — скоростью её добегаания к данному створу. Поэтому при расчетах значения искомых функций на фронте берутся как их средние

$$\begin{aligned}\omega(x,t) &= \frac{\omega(x+\Delta x,t) + \omega(x-\Delta x,t)}{2}, \\ U(x,t) &= \frac{U(x+\Delta x,t) + U(x-\Delta x,t)}{2},\end{aligned}\quad (8)$$

Когда ниже плотины до разрушения есть вода, правой границей будет служить прямая характеристика, выходящая из точки $x = 0$ с уклоном $\frac{dx}{dt} = U_0(x) + \omega_0(x)$, на которой задаются граничные условия:

$$U = U_0(x), \quad \omega = \omega_0(x),$$

где $U_0(x)$ и $\omega_0(x)$ — начальные значения искомых функций.

ПОЛУЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ С УЧЕТОМ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ

Система уравнений (I) гиперболического типа. При указанных начальных и граничных условиях эта система решается численно по схеме, для которой необходимо определить условия устойчивости в зависимости от режима течения.

В случае докритического потока это условие, как известно [1], [2], определяется таким образом:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\max(U \pm c)}. \quad (9)$$

В результате наблюдается ограничение шага по времени Δt при заданном Δx .

Когда поток критический или сверхкритический, обе характеристики (и прямая и обратная) направлены в сторону

течения, так как $U \geq c$, и уклон обратной характеристики также положителен. В этом случае условие устойчивости конечно-разностной схемы определяется иначе.

Если на плоскости x, t (рис.2) взять какую-либо точку P , то на значения U и ω в ней будут влиять только те граничные значения искомых функций, которые заданы на отрезке оси t , отсекаемом двумя характеристиками, выходящими из точки P . При фиксированном Δt точку P необходимо выбрать таким образом, чтобы можно было учесть все те граничные условия или уже известные на параллельной оси t прямые значения U и ω , от которых они зависят в точке P . При этом условие устойчивости будет иметь вид:

$$\Delta x < 2 \Delta t (U_A - c_A), \quad \Delta x > \Delta t (U_c - c_c) \\ \text{или} \quad \frac{\Delta x}{2(U_A - c_A)} < \Delta t < \frac{\Delta x}{U_c - c_c} \quad (10)$$

Следовательно, при критическом или сверхкритическом потоке для обеспечения устойчивого решения конечно-разностной системы необходимо при заданном Δx выбрать Δt из условия (10). При численном решении системы (I) следует обратить внимание на режим течения, составить конечно-разностные схемы для каждого режима, выбрать величину расчетного шага Δt с учетом соответствующих условий устойчивости (9) или (10).

После вычислений искомых функций по всей длине исследуемого участка для какого-либо момента в каждом из расчетных створов определяется Δt из условия устойчивости (9) или (10) в зависимости от режима течения в данном створе.

Минимальное из всех найденных подобным образом значений Δt является величиной последующего расчетного шага при Δx . Такой выбор шага по времени определяет устойчивые численные решения независимо от режима течения.

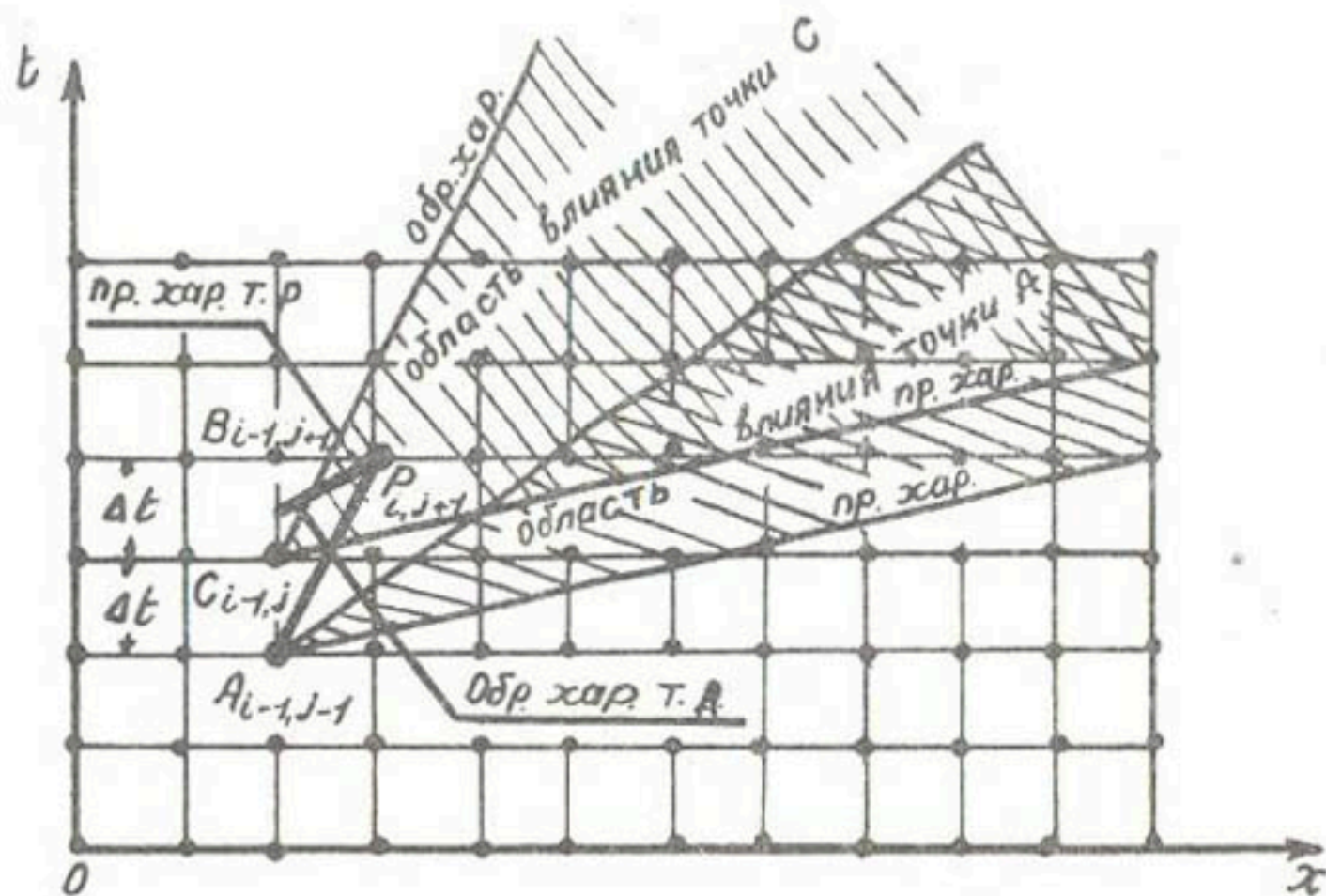


Рис. 2. Области влияния в $x-t$ - пространстве.

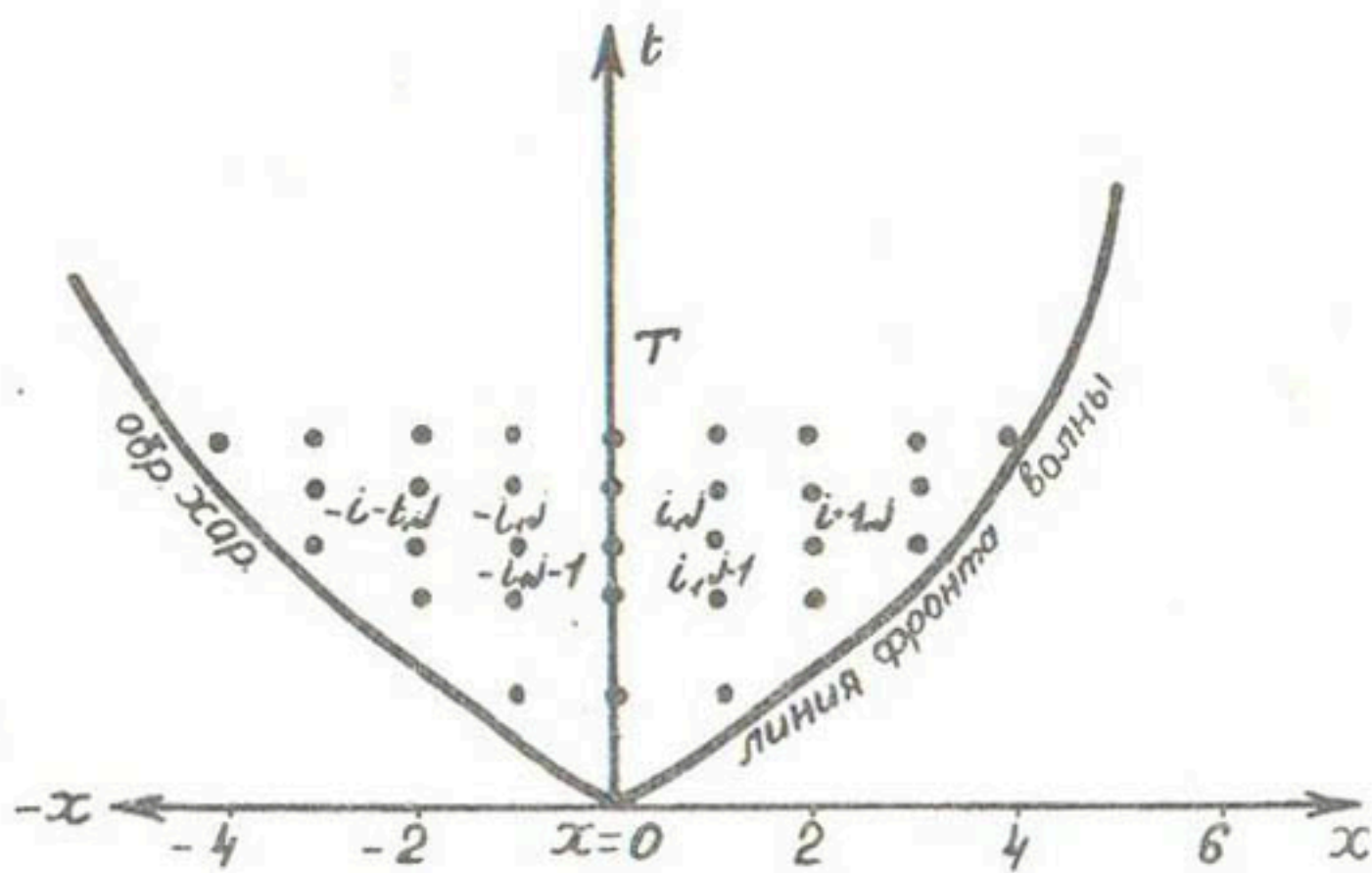


Рис. 3. Дискретизация возмущенной области.

Представим конечно-разностные схемы для разных режимов.

Ниже створа плотины $x = 0$ (рис.3), т.е. при $x > 0$ производные заменяются отношением конечных разностей следующим образом:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_{i,j-1} - f_{i-1,j-1}}{\Delta x}, \quad \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_{i,j} - f_{i,j-1}}{\Delta t}, \quad (II)$$

в створе плотины и выше $x \leq 0$:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_{i-1,j-1} - f_{i-2,j-1}}{2\Delta x}, \quad \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_{i,j} - f_{i,j-1}}{\Delta t}. \quad (I2)$$

Подставляя значения производных в исходную систему (I) получаем расчетные формулы для $U_{i,j}$ и $\omega_{i,j}$ (здесь индекс i соответствует значению $x = i\Delta x$, а j - моменту $t = j\Delta t$).

При $x > 0$:

$$U_{i,j} = U_{i,j-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[U_{i,j} (U_{i,j-1} - U_{i-1,j-1}) + \right. \\ \left. + \frac{C_{i,j-1}^2}{\omega_{i,j-1}} (\omega_{i,j-1} - \omega_{i-1,j-1}) \right] + g\Delta t A_{i,j-1}, \\ \omega_{i,j} = \omega_{i,j-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\omega_{i,j-1} (U_{i,j-1} - U_{i-1,j-1}) + \right. \\ \left. + U_{i,j-1} (\omega_{i,j-1} - \omega_{i-1,j-1}) \right];$$

при $x \leq 0$:

$$U_{-i,j} = U_{-i,j-1} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left[U_{-i,j-1} (U_{-i+1,j-1} - U_{-i-1,j-1}) + \right. \\ \left. + \frac{C_{-i,j-1}^2}{\omega_{-i,j-1}} (\omega_{-i+1,j-1} - \omega_{-i-1,j-1}) \right] + g\Delta t A_{-i,j-1}, \\ \omega_{-i,j} = \omega_{-i,j-1} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left[\omega_{-i,j-1} (U_{-i+1,j-1} - U_{-i-1,j-1}) + \right. \\ \left. + U_{-i,j-1} (\omega_{-i+1,j-1} - \omega_{-i-1,j-1}) \right], \quad (I3)$$

где

$$A_{i,j-1} = i_0 - \frac{U_{i,j-1}^2}{\frac{1}{n^2} \left(\frac{\omega_{i,j-1}}{b_i + 2h_{i,j-1}\sqrt{1+m^2}} \right)}, \quad A_{-i,j-1} = i_0 - \frac{U_{-i,j-1}^2}{\frac{1}{n^2} \left(\frac{\omega_{-i,j-1}}{b_i + 2h_{-i,j-1}\sqrt{1+m^2}} \right)}.$$

Для определения скорости течения U на фронте волны из первого уравнения системы (I) получаем расчетную формулу:

$$U_{i,j} = U_{i,j-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[U_{i-1,j-1} (U_{i,j-1} - U_{i-1,j-1}) + \frac{C_{i-1,j-1}^2}{\omega_{i-1,j-1}} (\omega_{i,j-1} - \omega_{i-1,j-1}) \right] + g \Delta t A_{i-1,j-1}. \quad (I4)$$

Линия фронта волна представлена ломаной линией, которая строится по ходу решения. Для расчетного значения Δt определяется первое значение скорости U на фронте волны U_i , затем из условия (5) — направление линии.

Левая граница области решения также является ломаной, которая строится по ходу решения.

По описанной схеме расчета при соответствующих начальных и граничных условиях произведены расчеты трансформации волны прорыва на участке реки в случае внезапного разрушения плотины как для сухого русла, так и при наличии воды в нём.

Расчеты проводили и для модели водохранилища с тем же участком реки, на котором осуществлялись расчеты для натурн. Расчеты для модели производились с целью их проверки путём сравнения с экспериментальными данными для той же модели, построенной в открытой лаборатории НИИЗЛиГ, на которой велись экспериментальные исследования перемещения волны прорыва при внезапном разрушении плотины.

РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЛНЫ ПРОРЫВА НА МОДЕЛИ

Поперечное сечение модели приведено к трапецеидальной форме, для которой площадь поперечного сечения $\omega = (b + mh)h$,

где

b — ширина русла по дну; h — глубина потока;
 m — коэффициент откосов; коэффициент Шези C
 определяется по формуле Манинга

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (15)$$

гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}; \quad (16)$$

скорость распространения возмущений

$$c = \sqrt{\frac{B}{b + 2mh}}; \quad (17)$$

$$A = i_0 - \frac{U^2}{\frac{1}{n^2} \left(\frac{\omega}{b + 2h\sqrt{1+m^2}} \right)^{4/3}}. \quad (18)$$

Величина расчетного шага $\Delta x = 1,25$ м.

Для определения начальных значений U и ω через каждые 1,25 м на модели от створа плотины вверх и вниз путём измерений получены поперечные профили, продольные уклоны, а также глубина в водохранилище до разрушения. В створе плотины до разрушения $h = 10$ см, $n = 0,013$
 Δt определяется из условия:

$$\Delta t_j = \frac{1,25}{\max(U_{i,j-1} + C_{i,j-1})}, \quad (19)$$

где $U_{i,j-1}$ и $C_{i,j-1}$ находят по ходу решения.

Это дало возможность вычислить скорости U , ω и глубину h через каждые 1,25 м по всему участку в период трансформации волны прорыва; получить расчетные графики изменения глубины во всех створах и продольные профили через каждое расчетное значение Δt (рис.4).

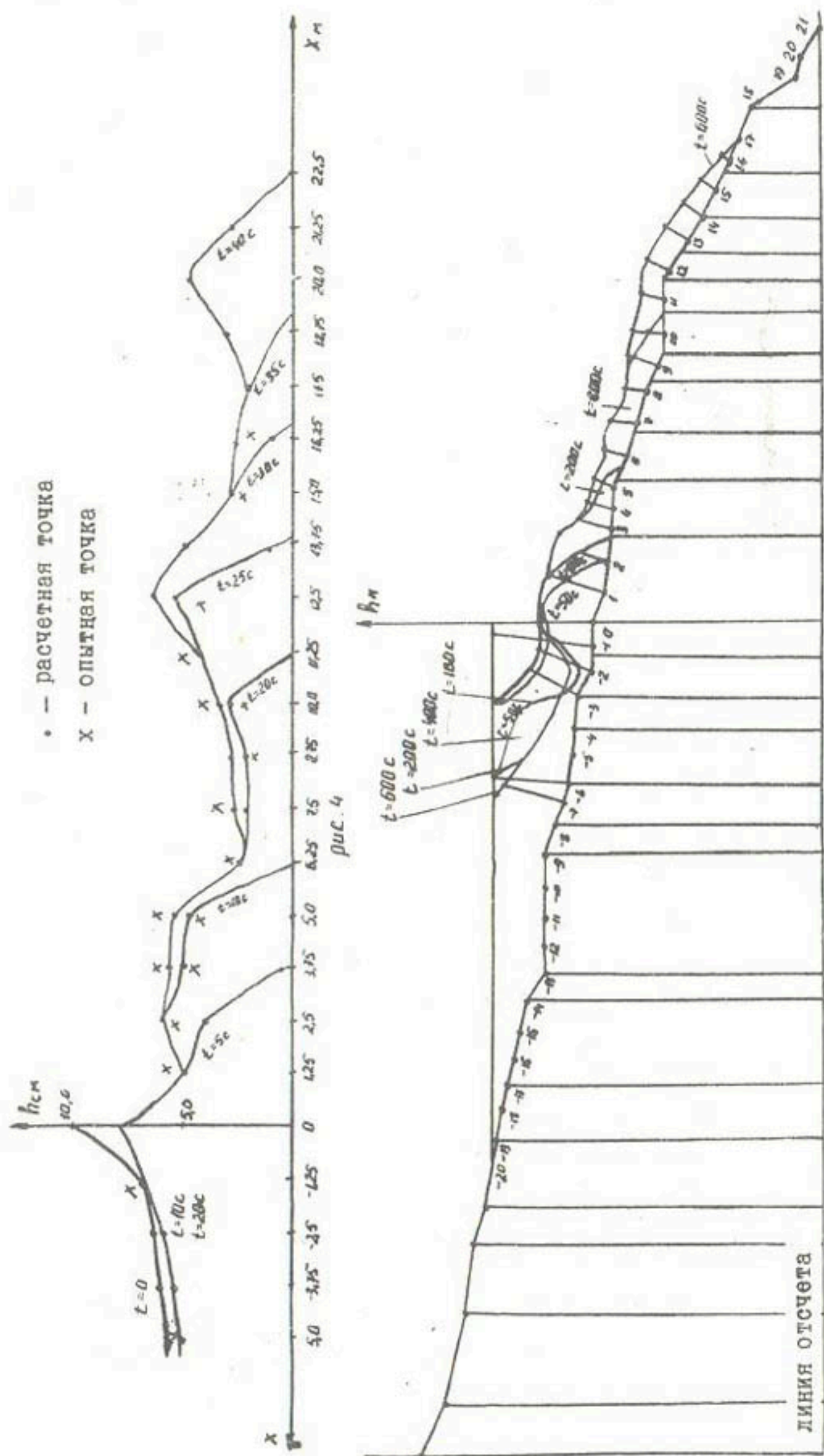


Рис. 4,5. Сравнительные результаты численного и физического экспериментов по формированию и движению волны прорыва.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальная установка имеет следующий вид: на модели, в различных створах выше и ниже плотины, установлены электродные датчики, соединенные с осциллографом, на котором при прохождении волны прорыва через данный створ фиксируется изменение глубин по времени. Разрушение плотины осуществляется внезапным снятием щита, установленного в створе плотины. В результате уровень воды в водохранилище снижается, а волна прорыва распространяется вниз по течению. Экспериментальные значения глубин нанесены на расчетные продольные профили (рис.4).

Полученные расчетные формулы можно использовать для расчета течения при разрушении конкретного объекта в натурных условиях. Одновременно были построены графики изменения глубин и продольные профили в период прохождения волны прорыва по сухому руслу (рис.5).

Аналогичные расчеты производились и в период трансформации волны прорыва при наличии воды в русле. В данном случае для расхода Q в створе плотины строится свободная поверхность по методу Павловского [3], которая является начальным условием задачи.

Для этого случая также получены продольные профили для различных моментов при прохождении волны прорыва над поверхностью воды, а также построены графики изменения глубин с течением времени в различных створах. Все расчеты и для модели, и для природы произведены на ЭВМ "Раздан-2".

Список использованной литературы

1. Стокер Дж.Дж. Волны на воде.- М.: Изд-во Иностранной литературы, 1959.- 617 с.
2. Gunge J.A. Calcul de propagation des ondes de rupture de Barrage.- La Houille Blanche, 1970, N 1.
3. Чертоусов М.Д. Гидравлика.- Л.: Госэнергоиздат, 1957.- 640 с.

Ю.С.Клименко
(НИЭИ при Госплане УзССР)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОВЕДЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Под воздействием возмущающих факторов функционирование систем различной природы может выходить за установленные границы. К числу возмущающих факторов в экстремальных условиях следует отнести землетрясение, сель, оползни, паводковые воды и т.д. Влияние этих факторов на основные фонды систем приводит к разрушению сооружений, оборудования и механизмов, потерям персонала. Следствием этого является снижение функциональных возможностей системы или прекращение её функционирования как системы.

Немалый практический интерес в этой связи представляют задачи, связанные с выявлением границ устойчивости и прогнозированием условий функционирования системы при воздействии на неё возмущающих факторов. Постановка и решение таких задач может найти применение при разработке инженерно-технических мероприятий, повышающих устойчивость функционирования объектов отрасли народного хозяйства в условиях аварийных ситуаций и стихийных бедствий.

Рассмотрим это на примере мелиоративной системы.

При выделении системы для неё можно составить множество описаний, отображающих подход субъекта, который в зависимости от стоящих перед ним целей и задач наблюдает и анализирует эту систему. Множество способов выделения суперсистемы, системы и её элементов, а также связанных с ними свойств целостности приводит к выделению множества связей и отношений между суперсистемой, системой и элементами системы $[I]$. С этих позиций субъекту, поставившему перед собой задачу описать систему для тех или иных практических потребностей, необходимо выделить суперсистему, систему, элементы системы и установить связи и отношения

взаимодействия системы с её элементами и суперсистемой.

В социально-экономическом плане мелиоративная система является элементом более крупной суперсистемы - агро-промышленного комплекса (АПК). Основное назначение ряда отраслей, входящих в АПК, - обеспечение условий для устойчивого сельскохозяйственного производства. К одному из факторов устойчивости такого производства относится водный режим земель.

В условиях аридной зоны недостаток влаги снижает уровень сельскохозяйственного производства (растениеводства). В связи с этим требуются решения задачи, связанные с выявлением роли мелиоративных (водохозяйственных) мероприятий и прогнозированием их влияния на сельскохозяйственное производство при воздействии возмущающих факторов.

В аридной зоне водохозяйственные эксплуатационные предприятия (ВЭП), к числу которых относятся областные производственные управления водного хозяйства, реализуют основной технологический процесс, связанный с забором воды из источника, подачей её по магистральным каналам, резервированием в водохранилищах, распределением и подачей воды до точек выдела потребителям. ВЭП одновременно осуществляют функции управления производственно-хозяйственной деятельностью по обеспечению нормального функционирования основного технологического процесса.

ВЭП представляет собой целостную систему, с определенными отношениями между ее элементами. Функционирование ВЭП в основном подчинено годовому циклу производства продукции растениеводства. В каждый данный момент времени оно находится в некотором состоянии, последовательный набор которых характеризует его поведение.

При наличии математической модели и проведении с её помощью экспериментов на ЭВМ можно вычислять состояние элементов и связей, гомоморфно отображающих реальное ВЭП. Набор множества состояний системы может дать информацию для составления прогноза о состоянии и поведении ВЭП при воздействии возмущающих факторов.

Для исследования поведения ВЭП на ЭВМ и составления на этой основе прогнозов разработана модель, имитирующая мелиоративную систему. В основу модели положены производственно-технологические процессы, происходящие на орошаемых массивах, и описанные в работе [2].

При разработке модели исходили из того, что народно-хозяйственное планирование ведётся для административно-территориальных единиц (республика, область, район), а также учитывался тот факт, что мелиоративная система на областном уровне является объектом управления трех суперсистем — областного агропромышленного объединения (ОАПО), областного производственного управления сельского хозяйства (ОПУСХ) и областного производственного управления водного хозяйства (ОПУВХ). Поэтому мелиоративная система в имитационной модели рассматривается как система, состоящая из межхозяйственной части, эксплуатацию которой осуществляет ВЭП, и внутрихозяйственной, основные элементы которой находятся в ведении агропромышленных предприятий (АПП). Это позволяет в имитационной модели выделять блоки, моделирующие отдельно ВЭП и АПП, и учитывать связи между блоками в виде входов и выходов существенных параметров. ВЭП и АПП в блоках рассматриваются как системы, состоящие из управляющих подсистем и объектов управления. Для модели ВЭП объектом управления является межхозяйственная часть, а для модели АПП — внутрихозяйственная.

В моделях ВЭП и АПП объекты управления представлены в виде систем трёх взаимосвязанных элементов: ресурсов, производственно-технологических процессов и готовой продукции [3]. Входом этих систем являются потоки трудовых ресурсов и материально-вещественные потоки ресурсов, выходом — материально-вещественные потоки готовой продукции. Производственно-технологические процессы переводят вход системы в выход.

В основе формализации производственно-технологических процессов мелиоративной системы лежит метод системной динамики [4], который позволяет, опираясь на базовые элементы, составить формальное описание различных по содержа-

нию процессов мелиоративной системы и связать их в единую систему причинно-следственных взаимодействий, отвечающих целям и задачам функционирования мелиоративной системы как в границах ВЭП, так и АПП.

Для гомоморфного описания объектов управления ВЭП и АПП использованы следующие базовые элементы, характеризующие производственно-технологическое преобразование ресурсов в готовую продукцию:

п о т о к и, отображающие те или иные производственно-технологические процессы (поступление или движение ресурсов, информационную оценку процессов или ресурсов);

у р о в н и, представляющие систему показателей, которыми количественно характеризуются рассматриваемые потоки в статике;

т е м п ы, указывающие на скорость увеличения или уменьшения процессов, отображаемых потоками;

ф у н к ц и и решений, определяющие закон изменения темпов;

к а н а л ы информации, соединяющие функции решений с уровнями и темпами.

На основе базовых элементов производственно-технологические процессы разделяются на отдельные элементы. Это позволяет применять модели воздействия как для оценки состояния этих элементов после воздействия возмущающих факторов, так и для оценки потерь обслуживающего персонала.

На разработанной имитационной модели мелиоративной системы рассмотрим блок, моделирующий функционирование ВЭП. В реальном ВЭП для модели объекта управления выделяют:

потоки, отображающие технологический процесс движения водных ресурсов от водозабора до потребителей и отвода коллекторно-дренажного стока;

потоки, отражающие производственные процессы по ремонту основных фондов и по очистке каналов от наносов;

информационный поток заявок потребителей на воду (или потребность в водных ресурсах);

информационные потоки, связанные с накоплением наносов в каналах, изменением качества воды и коэффициента

полезного действия системы по тракту водоподачи, поступлением и убытием из системы основных фондов и трудовых ресурсов, поступлением и расходом финансовых и материально-технических ресурсов.

Для демонстрации метода представлена диаграмма функционирования гипотетического ВЭП (рисунок), на которой показаны потоки и их взаимодействие через каналы информации.

Для количественной оценки указанных потоков принимаются показатели, которые характеризуются следующими системными уровнями:

У1 - объём недоподаваемой потребителям воды, тыс.м³;

У2 - объём воды в каналах от водозабора до точек выдела потребителям, тыс.м³;

У3 - объём стока в коллекторно-дренажной сети от точек его поступления из внутрихозяйственной сети до точек сброса из системы, м³;

У4 - коэффициент полезного действия системы по тракту водоподачи;

У5 - объём наносов, выпадающих в каналах и коллекторах, тыс.т;

У6 - объём работ, выполненных по очистке каналов и коллекторов, тыс.м³, или тыс.т;

У7 - имеющиеся в наличии материально-технические ресурсы, тыс.руб;

У8 - имеющиеся в наличии основные фонды, млн.руб;

У9 - объём подлежащих ремонту основных фондов, тыс.руб;

У10 - наличие финансовых ресурсов на эксплуатационные расходы, млн.руб;

У11 - среднесписочная численность производственного персонала, тыс.чел.

На диаграмме (рисунок) модель управляющей подсистемы отражена:

блоком 1, который представляет модель воздействия и позволяет формировать управляющие воздействия для темпов, регулирующих потери персонала и основных фондов;

блоком 2, который осуществляет настройку основного технологического процесса под параметры конкретной системы

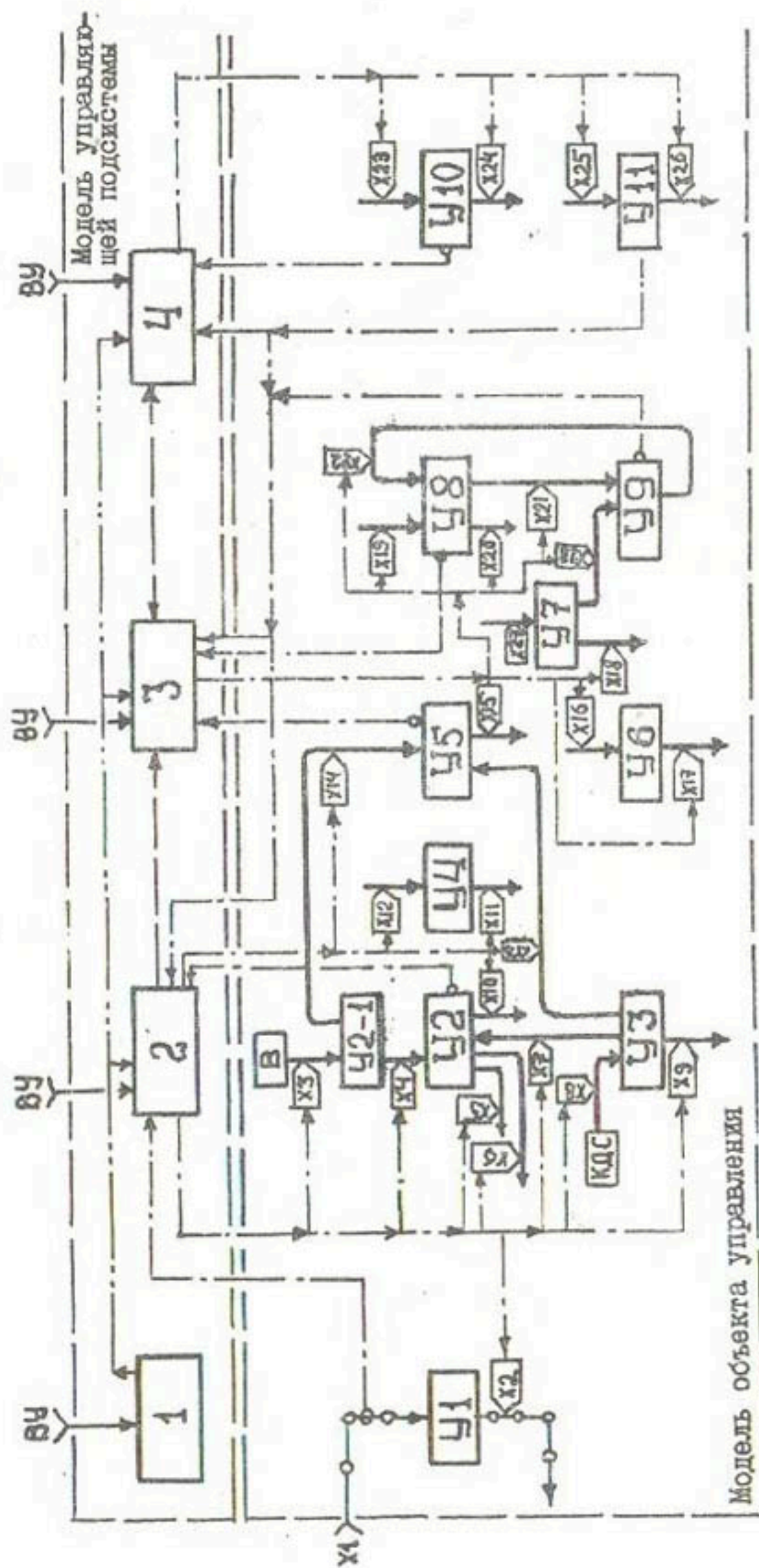


Диаграмма функционирования модели водохозяйственного
эксплуатационного предприятия:

- 1 - блок управления;
- У1 - системный уровень;
- У5 - темп, регулирующий скорость потока;

- $\rightarrow$ - информационный поток;
- $\rightarrow$ - материальный поток;
- $\rightarrow$ - направление информационных взаимодействий;
- $\rightarrow$ - внешние управляющие воздействия;

- В - источник водозабора;
- КДС - приведенный источник коллекторно-дренажного стока.

и формирует управляющие воздействия при заданных стратегиях управления по распределению воды потребителям;

блоком 3, посредством которого настраиваются и задаются стратегии управления производственными процессами по ремонту основных фондов и по очистке каналов от наносов;

блоком 4, через который настраиваются и регулируются процессы расходования финансовых и материальных ресурсов, движения трудовых ресурсов в системе, а также задаются стратегии управления этими процессами.

Рассмотрим для иллюстрации метода отдельные фрагменты модели.

В реальное ВЭП от потребителей поступают оперативные заявки на воду. Эти заявки выполняются полностью или с отклонениями. На диаграмме процесс поступления (темп $X1$, $\text{м}^3/\text{сут}$, $\text{м}^3/\text{дек}$, $\text{м}^3/\text{мес}$) и выполнения заявок (темп $X2$) отображен информационным потоком заявок и связанным с ним системным уровнем $U1$ (тыс.м^3), который фиксирует отклонения в водоподаче.

Количественное значение уровня $U1$, т.е. объем недоподанной потребителям воды, рассчитывается с учетом текущих заявок потребителей ($X1$), объема водоподачи, определенного системным планом (VU), фактической водности источника (B) и принятой стратегии управления распределением воды между потребителями ($X2$).

Темпом $X2$ моделируется выработанное в блоке 2 решение об объемах фактической водоподачи потребителям. При воздействии на основные фонды (гидротехнические сооружения, оборудование, механизмы), а также производственный персонал задаваемых в блоке I возмущающих факторов моделируется снижение уровня фондов ($U8$) и персонала ($U11$) через темпы $X20$, $X21$ и $X26$.

Численные значения о сохранившихся фондах и персонале через каналы информации от уровней $U8$ и $U11$ поступают в блоки 2, 3 и 4, где осуществляется проверка предельных условий и формируются управляющие воздействия для темпов, регулирующих тракт водоподачи (прекращение или снижение уровня водо-

подачи) и ремонт (текущий, капитальный) основных фондов. Задание через блоки 3 и 4 стратегий управления аварийно-восстановительными и ремонтными работами, а также поступлений в систему дополнительных трудовых и материально-технических ресурсов моделирует восстановление функциональной способности по тракту водоподачи.

Формальное описание функционирования ВЭП, по совокупности выделенных на диаграмме (рисунок) причинно-следственных взаимодействий блоков, системных уровней и темпов, проводят путём набора базовых уравнений: основных (уровней и темпов), вспомогательных и начальных условий. Используя приёмы численных методов, базовыми уравнениями осуществляется сведение математической задачи, описывающей функционирование ВЭП, к конечномерной. Это достигается переходом от функции непрерывного аргумента ($y = f(x)$, $x \in [a, b]$) к функциям дискретного ($y_i = f(x_i)$, $i = \overline{0, N}$). Пространство $H = \{f(x)\}$ на отрезке $a \leq x \leq b$ введением конечного множества точек (сетки) $\omega = \{x_i$, $i = 0, 1, \dots, N$, $x_0 = a$, $x_N = b$, $x_i < x_{i+1}\}$ заменяется конечномерным (размерности $N + 1$) пространством $H_{N+1} = \{y_i, 0 \leq i \leq N\}$, где вместо функции $f(x)$, найденной для всех $x \in [a, b]$ представлена сеточная функция $y_i = f(x_i)$ целочисленного аргумента i ($i = 0, 1, \dots, N$). С этих позиций основные уравнения уровней, количественно отображающие те или иные показатели процессов ВЭП для момента времени t_i ($t_0, t_1, \dots, t_N$), анализируются как разностные уравнения первого порядка / 5 / с постоянными коэффициентами

$$A_0(i) \cdot y_i - A_1(i) \cdot y_{i+1} = f(i), \quad A_0(i) \neq 0, \quad A_1(i) \neq 0 \quad (1)$$

Переход от уравнения (1) к уравнению вида

$$y_{i+1} = y_i + f(i) \cdot B_0(i), \quad (2)$$

где $B_0(i) = -1/A_0(i)$, $f(i)$ – заданные сеточные функции; это позволяет решение $y(i)$ определять однозначно при $i > i_0$, если при $i = 0$ задано значение $y_0 = y(0)$. Рассматривая

($f(i) \cdot B_0(i)$) как производную правой разности первого порядка

$$\Delta Y_i = f(i) \cdot B_0(i) = Y_{i+1} - Y_i, \quad (3)$$

определяем её между узлами ($t_i, \dots, t_i$) сетки с расстоянием $\Delta t = t_{i+1} - t_i = \text{const}$. Производная ΔY_i , вместо уравнения (3), вычисляется по уравнению

$$\Delta Y_i = f(i) \cdot B_0(i) = \Delta t \cdot x_i^{(e)}, \quad (4)$$

где $x_i^{(e)}$ - темп, указывающий скорость изменения анализируемого потока для i -го момента времени.

Основное уравнение уровня (2) с учетом (3) и (4) примет вид

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta t \cdot x_i^{(e)}. \quad (5)$$

Входящий в уравнение (5) темп $x_i^{(e)}$ определяется основным уравнением

$$x_i^{(e)} = F_i(B_i^{(m)}), \quad (6)$$

где $F_i(B_i^{(m)})$ - функция оператора $B_i^{(m)}$.

Операторам $B_i^{(m)}$ соответствуют решения вспомогательных уравнений, объединяющих ограничения или процедуры принятия решений.

Например, для указанного выше системного уровня Y_2 , основное уравнение имеет вид

$$Y_{2,i+1} = Y_{2,i} - \Delta t \cdot (X_{4,i} + X_{7,i} - X_{5,i} - X_{6,i} - X_{10,i}), \quad (7)$$

где $Y_{2,i+1}$ - значение уровня Y_2 для шага расчета $i+1$, тыс.м³;
 $Y_{2,i}$ - значение уровня Y_2 для шага i , тыс.м³;
 Δt - интервал времени между i и $i+1$, сут, дек и т.д.;
 $X_{4,i}$ - темп поступления воды в систему через нижний бьеф головного водозаборного сооружения, м³/с/дек;
 $X_{5,i}$ - темп подачи воды потребителю через j -й водовыдел, м³/с/дек;

III

- $X6_i$ — темп подачи воды через $j + I$ водовыдел, $m^3/c/дек$;
 $X7_i$ — темп забора воды из коллекторно-дренажной сети и подачи её в тракт водоподачи системы для условий маловодного года, $m^3/c/дек$;
 $X10_i$ — темп потери воды в системе на фильтрацию, испарение, сбросы и др., $m^3/c/дек$.

В блоке 2 для темпа $X4_i = B1_i$ формируется из вспомогательных уравнений оператор

$$B1_i = (B2_i - B3_i - BU_i) . \quad (8)$$

- где $B2_i$ — оператор проверки ограничений на темп водозабора из внешнего источника, $m^3/c/дек$;
 $B3_i$ — оператор проверки ограничений для темпа поступления наносов, $m^3/дек$;
 BU_i — планируемый для шага i водозабор из внешнего источника в тракт водоподачи системы, $m^3/c/дек$.

В свою очередь операторы

$$\begin{aligned}
 B2_i &= B4_i \cdot B5_i \cdot B6_i \cdot B7 ; \\
 B3_i &= 864 \cdot KI_i \cdot B2_i / K2 .
 \end{aligned}$$

Для оператора $B4_i$ проверяется условие

$$B4_i = \begin{cases} 0, & \text{если } K3 \cdot U11_i < K4, \\ 1, & \text{если } K3 \cdot U11_i \geq K4. \end{cases}$$

Имеются другие вспомогательные уравнения, в которых методом пересечения или объединения событий и ограничений собираются все факторы, необходимые для численного решения уравнения (8). Аналогично для темпов $X5_i$, $X6_i$, $X7_i$ и $X10_i$ существует система вспомогательных уравнений, решение которых в конечном счете позволяет вернуться к решению уравнения (7).

Построенная на изложенных принципах имитационная модель гипотетического ВЭП содержала 28 уравнений системных уровней, 62 уравнения темпов и 63 вспомогательных уравнения. По разработанному алгоритму составлена программа на языке

ПД/1. Прогон программы на ЭВМ ЕС-1033 с исходными данными для контрольного примера показал работоспособность алгоритма и возможность проведения на имитационной модели ВЭП экспериментов по апробации различных стратегий управления.

В условиях, когда нельзя четко сформулировать критерии и цели управления, описанный способ моделирования ВЭП позволяет более точно предсказать возможное течение процесса и финальное состояние изучаемой системы. Это достигается путем постановки машинного эксперимента над моделью на ЭВМ и получения информации о пространстве состояний системы.

При отработке на модели различных стратегий управления ВЭП, путём прогона её на ЭВМ, системы уравнений для уровней $(y_i^{(k)}, k = \overline{1, K})$, вспомогательных уравнений $(B_i^{(m)}, m = \overline{1, M})$ и уравнений темпов $(X_i^{(e)}, e = \overline{1, L})$ решаются для моментов времени $/ t_0, t_1, \dots, t_N /$, разделённых интервалом Δt . При t_0 задаются начальные значения уровней $(Y_0^{(k)})$ и темпов $(X_0^{(e)})$. На основе этого для момента времени t_1 в первую очередь решаются уравнения $(Y_1^{(k)})$, затем вспомогательные $(B_1^{(m)})$ и, наконец, уравнения темпов $(X_1^{(e)})$.

Значения $(Y_1^{(k)}, B_1^{(m)}, X_1^{(e)})$ служат исходными данными для расчетов в точке t_1 , где повторяется последовательность расчетов, которые проводились в точке t_0 . В точке t_1 теперь определяются значения $Y_2^{(k)}, B_2^{(m)}$ и $X_2^{(e)}$ для точки t_2 . При продолжении счета последовательность определения $Y_i^{(k)}, B_i^{(m)}$ и $X_i^{(e)}$ повторяется с шагом Δt до t_N .

В каждой точке t_i можно выводить на печать значения $Y_i^{(k)}, B_i^{(m)}, X_i^{(e)}$ в последовательности, предусмотренной планом эксперимента. Одновременно, на основе значений $Y_i^{(k)}, B_i^{(m)}$ и $X_i^{(e)}$, можно производить вычисления технико-экономических показателей, характеризующих ту или иную сторону производственно-хозяйственной деятельности ВЭП как в нормальных, так и в экстремальных условиях [3, 6].

Постановка с помощью модели имитационного эксперимента на ЭВМ и отработка на ней различных стратегий управления

ВЭП позволяет подготавливать для лиц, принимающих решения, прогнозную информацию о состоянии и поведении системы под воздействием управляющих и возмущающих факторов.

Список использованной литературы

1. Садовский В.Н. Основания общей теории систем.- М.: Наука, 1974. с.265.
2. Костяков А.Н. Основы мелиорации.- М.: Сельхозгиз, 1960. с.662.
3. Экономический анализ хозяйственной деятельности
Под ред. А.Д.Шеремета.- М.: Экономика, 1979, с.376.
4. Форрестер Дж. Кибернетика промышленного предприятия.- М.: Прогресс, 1970. с.401.
5. Самарский А.А. Введение в численные методы.- М.: Наука, 1982. с.272.
6. Солнышков Ю.С. Обоснование решений.- М.: Экономика, 1980. с.168.

Г.И.Афанасия, Л.Ф.Усенко, Э.Д.Шагалова,
Л.Ф.Жуков
(БелНИИВХ)

МИГРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ^{137}Cs В НЕКОТОРЫХ ПОЧВАХ БЕЛОРУССКОЙ ССР

Большой научный интерес с точки зрения охраны окружающей среды представляет сравнение закономерностей миграции радионуклидов в почвогрунтах. Сложность решения проблемы заключается в том, что радионуклиды по-разному сорбируются почвогрунтами как в начальные периоды выпадений, так и в последующие сроки их взаимодействия. Характер связи радионуклидов с почвогрунтами существенно зависит от механического и минералогического состава последних / 1 /.

На миграционную способность радионуклидов оказывают влияние и внешние, и внутренние факторы миграции. К внутрен-

ним факторам миграции относят физико-химические свойства изотопов, в связи с чем обнаруживаются некоторые различия в скорости миграции долгоживущих, опасных для живых организмов, радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs , из которых наиболее подвижен стронций-90. Однако в некоторых почвогрунтах микроколичества радиоцезия могут мигрировать с необычайно высокой скоростью, мало чем уступающей скорости миграции стронция-90 / 2, 3 /.

Сорбционная способность различных по механическому составу почвогрунтов относительно микроколичеств цезия-137 и возможность его вымыва растворами нейтральных солей из пахотного слоя (основной зоны концентрирования корневой системы растений) изучена ещё недостаточно полно. В связи с изложенным целью наших исследований являлось изучение процессов сорбции-десорбции цезия-137 на типичных для Белорусской ССР почвогрунтах.

При проведении эксперимента использовали следующие почвенные разности: дерново-подзолистая, легкосуглинистая, развивающаяся на лесовидном суглинке; дерново-подзолисто-супесчаная, развивающаяся на песках, низинный осоково-тростниковый торф; кварцевый песок (контроль). Как следует из данных табл. I, наибольшее количество частиц размером 0,005 мм и менее, обеспечивающих высокую сорбцию радиоцезия, характерно для суглинка.

Т а б л и ц а I

Гранулометрический состав почв

Наименование пробы	Содержание фракций, %								
	5...2	2...1	1...0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	0,1...0,005	0,05...0,01	0,01...0,005	<0,005
Песок	-	-	1,2	50,0	48,8	-	-	-	-
Супесь	0,6	1,1	2,7	16,8	33,0	25,7	14,5	2,5	3,1
Суглинок	-	0,2	0,6	0,8	0,8	25,2	52,5	12,9	7,0

О содержании в почвогрунтах катионов в подвижной форме (обменная и водорастворимая) можно судить по данным табл. 2

Агрохимическая характеристика проб почвы

Наименование пробы	Гигроскопи- ческая вла- га, %	рН водн.	Содержание катионов, мг. экв./100			
			Са	Мg	Na	К
Супесь	1,106	4,45	1,60	1,31	0,17	0,46
Суглинок	1,530	6,30	6,99	2,08	0,48	0,49
Торф	14,133	4,75	59,03	7,17	1,26	0,69

Наибольшее количество кальция и магния содержится в торфяной и суглинистой почвах. Подвижный калий, химический аналог цезия, содержится примерно в равных количествах в супесчаной и суглинистой почвах и несколько больше — в торфяной.

Сорбционная способность почвогрунтов относительно радиоцезия исследовалась в двух сериях опытов на шести образцах.

До начала промывки срок взаимодействия образцов почвогрунтов с радиоцезием составлял по сериям: 1-я — 130 суток, 2-я — 3 суток.

Образцы нарушенной структуры приготавливали путём загрузки расчетных навесок почвогрунтов в 20-сантиметровые пластмассовые стаканы, составленные из разборных колец высотой 20 и внутренним диаметром 118 мм. Предварительно почвогрунты освобождали от камней и корешков, песок в целях удаления неорганических примесей обрабатывали 0,1N раствором HCl затем промывали дистиллированной водой до исчезновения следов хлора.

Влияние УГВ на водный режим почв моделировали в почвенных образцах с помощью встроенных в днища стаканов камер-капилляриметров, запитываемых из нижерасположенных коло с дистиллированной водой. О достижении равновесного распределения влаги в образцах с изолированными верхними торцами судили по показаниям тензиометров и прекращению убыли воды

из колоб. Влажность почвогрунтов при этом определяли по результирующему изменению веса образцов в верхнем односантиметровом слое термостатно-весовым методом.

В освободившийся объём верхнего односантиметрового слоя образцов помещали соответствующие почвогрунты с требуемой влажностью, в которые на намеченный по сериям предварительный срок взаимодействия вносили по 20 мкКи цезия-137. После этого приступали к промывке почвенных образцов 0,1н. раствором $KSCl$. Раствор к образцам подавали с помощью поставленных на них камер-капилляриметров, запитываемых из сосудов Мариотта. Изменяя высоту закрепления последних на штативах, регулировали интенсивность промывки образцов, которую в опытах поддерживали (в зависимости от вида почвогрунта) в интервале 3,33...34,05 мм/сут.

В процессе промывки каждые сутки в 2-3-кратной повторности отбирали пробы фильтрата на радиометрирование, которое осуществляли на установке УМФ-1500 М с фоном 2,5...3,0 имп/мин и ошибкой определения не более 15 %.

По окончании промывки образцов исследуемых почвогрунтов определяли значения коэффициентов распределения в них цезия-137 (табл.3), необходимые для проведения прогнозных расчетов миграции / 4 /.

Максимальные значения коэффициентов распределения в большинстве случаев получены для верхних слоёв образцов. Исключением является торфяная почва в первой серии опытов, в которой наблюдаются два максимума концентрирования радиоцезия в твёрдой фазе: в верхней и нижней части образцов. Иной по сравнению со второй серией опытов характер межфазного распределения радиоцезия в торфе можно объяснить большим влиянием на него режима промывок. Неидентичное межфазное распределение радиоцезия установлено также в опытах с суглинком.

Вертикальное распределение ^{137}Cs , сложившееся в результате промывок почвенных образцов, приведено в табл.4. В большинстве опытов наблюдается максимальное закрепление радиоцезия в верхнем односантиметровом слое образцов с резким снижением содержания его с глубины 5...6 см. Однако во-

Т а б л и ц а 3

Коэффициент распределения радиоцезия в системе "твердая фаза почвы -
- суспензия", г/мл

Но- мер слоя	Песок		! Суглинок		! Торф		! Супесь		! Суглинок		! Торф	
	длительный срок взаимодействия						краткий срок взаимодействия					
	I	! УГ	! III	! У	! П	! ИУ	! У	! УГ	! ИИ	! ИУ	! I	! III
I	8,4	12,2	81,1	27,4	93,6	1754	27,9	27,2	40,1	88,8	540	363
2	0,84	0,70	37,0	14,1	79,6	249	8,1	7,4	9,4	15,6	110	24,1
3	1,4	2,4	12,3	2,3	20,1	77,5	4,7	7,5	7,7	14,9	19,0	18,6
4	1,3	1,6	0,3	5,2	61,6	79,3	3,5	11,8	6,9	10,0	18,4	36,6
5	0,4	1,7	0,8	7,2	22,8	48,1	2,3	14,8	4,7	10,5	9,8	10,4
6	0,7	1,1	0,2	5,1	5,4	62,3	1,9	20,7	3,2	8,5	9,0	10,7
7	0,3	1,0	0,6	6,1	6,6	42,3	2,1	22,0	1,6	10,0	7,7	25,3
8	0,2	1,1	1,0	4,8	4,8	85,1	1,2	5,8	2,2	2,0	3,0	19,4
9	0,2	1,5	3,3	4,2	161	232	2,3	13,1	1,2	7,6	1,9	3,6
10	0,1	0,8	4,0	3,5	172	114	1,6	26,2	0,8	2,6	2,2	8,3
II	0,1	0,2	5,7	1,4	572	78	1,1	1,9	0,8	3,9	3,2	6,9
Объём десорбента, мм												
310	413	130	280	215	278	2179	1651	1624	1037	1440	1086	
Интенсивность вымыва, мм/сут.												
9,69	12,52	3,33	8,00	7,96	7,13	34,05	27,07	26,63	20,33	23,61	21,29	

второй серии опытов с суглинистым и супесчаным образцами радиоцезий довольно равномерно распределился по их профилю, что связано с иначе сложившимся режимом промывок. Значит, и в естественных условиях поступивший из атмосферы радиоцезий в зависимости от складывающегося водного режима может закрепиться преимущественно в верхнем тонком слое почвы или довольно равномерно распределиться по глубине пахотного слоя.

В табл. 5 приведены осредненные результаты опытов, из которых следует, что 37...50 % внесенных микроколичеств радиоцезия закрепляется в твердой фазе песка и супесчаной почвы (при указанных объемах десорбента). Остальная доля внесенного в них радиоцезия вымывается раствором за пределы пахотного слоя. Данные этой таблицы указывают также на высокую сорбционную способность торфа и суглинков в отношении микроколичеств радиоцезия. Его закрепление в твердой фазе этих почв может составлять 86,0...99,5 % от внесенного количества. Даже при кратковременном взаимодействии радиоцезия с указанными почвогрунтами увеличение объемов их промывок незначительно (на 12,4 и 3,7 % в торфе и суглинке соответственно) увеличивает его десорбцию. И хотя при этом наибольшие значения коэффициента распределения получены для торфа, однако радиоцезий из него десорбируется легче, чем из суглинка.

Таким образом, микроколичества радиоцезия эффективно вымываются из пахотного слоя толщиной 20 см почв легкого механического состава (песок, супеси), слабо десорбируются из торфяной и суглинистой почвы. На характер распределения радиоцезия в грунтах оказывает влияние режим промывок (интенсивность, объем). Закрепление выпавшего радиоцезия в почвах может быть как поверхностным, так и довольно равномерным по глубине пахотного слоя. На прочность закрепления радиоцезия в почве существенное влияние оказывает срок их взаимодействия. Наибольшие коэффициенты распределения получены (в порядке снижения) для торфа, суглинка, супеси и песка. Величина коэффициента распределения зависит также от режима промывок почв.

Содержание ¹³⁴CS в твёрдой фазе почвы
после десорбции, % от внесенного

Почва	Номер серий	Номер колонки	Содержание в твёрдой фазе, %	Среднее со- держание, %
Песок	I	I	66,8	63,1
	I	VI	59,4	
Супесь	II	VI	72,9	50,0
	II	У	27,0	
Суглинок	I	У	99,7	99,5
	I	III	99,4	
Суглинок	II	II	97,0	95,8
	II	IV	94,7	
Торф	I	II	99,8	98,3
	I	IV	96,9	
Торф	II	III	92,4	85,9
	II	I	79,5	

Проведенные исследования показывают, что дезактивация загрязненных радиоцезием почв раствором нейтральных солей, например хлористого калия, может быть применена на почвах легкого минерального состава. Кроме того, ввиду высокой сорбционной способности торфов и суглинков относительно радиоцезия целесообразно использовать их в виде добавок на почвах легкого механического состава.

Полученные нами результаты исследований проясняют в некоторой степени радиационную обстановку, сложившуюся на территории Полесья на почвах легкого механического состава и маломощных торфянисто-песчаных.

Список использованной литературы

1. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. — М.: Атомиздат, 1974.
2. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Новиков Н.Я. Глобальные выпадения ^{137}Cs , ^{90}Sr и человек. — М.: Атомиздат, 1974.
3. Прохоров В.М., Чай Дань Ин. Диффузия цезия-137 в почве. Радиохимия, 1963, т.5, № 6.
4. Прохоров В.М., Фрид А.С. Влияние солевой концентрации почвенного раствора на скорость диффузии в почве микроколичеств стронция. Радиохимия, 1965, т.УП, вып.4.
5. Марей А.Н. и др. Особенности поступления глобальных ^{137}Cs и ^{90}Sr по пищевым цепям в Полесье. Гигиена и санитария, 1969, № 1.

К.В.Громыко, канд.биол.наук
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ
ЗАРАЖЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РВ, ОВ И БС
ДЛЯ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Очередной Пленум ЦК КПСС от 23.10.84 г. принял постановление о долговременной программе мелиорации, повышении эффективности использования мелиорированных земель в целях повышения продовольственного фонда страны. Постановление направлено на всемерное развитие АПК и его главного звена — сельского хозяйства. Повышение роли мелиорированных земель в народнохозяйственном развитии страны увеличивает их значимость в оборонном потенциале, в связи с чем возникает необходимость разработки мероприятий, обеспечивающих повышение устойчивости их функционирования в военное время.

Орошаемое земледелие немыслимо без развитой оросительной мелиорации, представляющей комплекс хозяйственных, инженерных и организационных мероприятий, направленных на доставку и равномерное распределение воды. Устойчивость функционирования орошаемого земледелия во многом зависит от устойчивости функционирования оросительной мелиорации и, в частности, оросительной сети (ОС). Отсюда следует, что повышение устойчивости функционирования ОС в военное время является необходимым требованием повышения устойчивости функционирования орошаемого земледелия.

Анализ характера современной войны показывает, что она будет характеризоваться массированным применением средств массового поражения (СМП) на всей территории противника, особенно в густонаселенных промышленных центрах, крупных городах и на других категоризованных объектах. Собственно ОС, характеризующиеся большой пространственной протяженностью, вероятнее всего, не будет целью непосредственного ядерного, химического или бактериологического на-

падения. Но одним из последствий такого нападения на категоризированные объекты является их заражение РВ, ОВ и БС. Это обуславливает необходимость разработки мероприятий, направленных на повышение устойчивости функционирования ОС в условиях заражения агентами СМП. Однако прежде чем приступать к разработке подобных мероприятий, необходимо достаточно четко установить степень угрозы, которую представляет тот или иной вид заражения для устойчивости функционирования ОС и орошаемого земледелия. С этой точки зрения рассмотрим некоторые особенности заражения ОС агентами СМП.

При наземном взрыве ядерной бомбы мощностью 1 Мт заражению РВ может подвергнуться территория до 2500 км^2 , при единичном нападении ОВ типа V-газы — до $60-250 \text{ км}^2$, при бактериологическом нападении — до 1600 км^2 . Расстояние между очагом поражения ОВ и районом, где будет сохраняться наименьшая эффективная доза, только в редких случаях превышает несколько десятков километров, тогда как при заражении РВ и БС оно может достигать нескольких сотен километров / 1 /. Практически заражению РВ и БС может подвергнуться любая ОС, так как глубина фронта заражения при ядерном и бактериологическом нападении заведомо будет превышать удаленность их от того или иного категоризованного объекта, в то время как заражению ОВ — преимущественно ОС, расположенные вблизи этих объектов. Следовательно, по масштабности заражения эти средства можно расположить в последовательности: $\text{РВ} > \text{БС} > \text{ОВ}$.

Основной источник заражения ОС — аэрозольные облака (радиоактивные, химические и бактериологические). При заражении РВ в следе радиоактивного облака формируется наиболее четко обозначенный очаг заражения. Это вызвано тем, что РВ жестко адсорбируются элементами почвы и воды и практически не выносятся за территорию первоначального очага заражения. При заражении ОВ образуется менее четко обозначенный очаг заражения, поскольку ОВ менее жестко адсорбируются элементами внешней среды, могут образовывать вторичные облака заражения и т.д. Наиболее размазанный очаг зараже-

ния образуется при бактериологическом заражении, так как БС отличаются высокой подвижностью во внешней среде, обладают способностью к активному образованию вторичных очагов заражения, могут распространяться инфицированными людьми, животными, а также организмами - переносчиками инфекции. Следовательно, по степени локализации очага заражения агенты СМП можно расположить в последовательности:

$$РВ > ОВ > БС.$$

Одним из специфических свойств радиоактивного, химического и бактериологического заражения является визуальная скрытность этого процесса. Но поскольку заражение РВ является следствием ядерного нападения, мощного воздействия, которое не может остаться незамеченным, то в данном случае правильней будет говорить о внезапности ядерного нападения, чем о внезапности и скрытности заражения РВ. Заражение ОВ может произойти скрытно, но сам факт нападения благодаря быстрому проявлению последствий этого заражения (отравление людей и т.д.) обнаружится в течение небольшого периода времени. Поэтому фактор внезапности и скрытности заражения может относиться только к очагу первоначального заражения, для более или менее удаленных районов он может быть сведён к минимуму. Заражение БС может протекать очень скрытно, при этом внезапность нападения из-за сложности обнаружения БС, а также проявления признаков поражения через длительный (инкубационный) период времени будет наиболее высокая. В этой скрытности и внезапности заражения заключается особая опасность бактериологического нападения. Следовательно, по признаку скрытности и внезапности агенты СМП можно расположить в последовательности: $БС > ОВ > РВ.$

В процессе заражения на РВ, ОВ и БС воздействует целый комплекс экологических факторов, по спектру действия которых этот процесс можно подразделить на два периода: аэрозольный и постаэрозольный. В аэрозольный период главную роль играют метеорологические факторы - ветер, температура, влажность и т.д., в постаэрозольный - температура

и факторы среды заражения – минерализация, активная реакция, состав биоценоза и т.д. Все эти факторы не оказывают практического влияния на устойчивость РВ, так как они представляют собой частицы почвы, конструкции боеприпаса и т.д., получившие радиоактивный заряд, распад которого протекает по физическим законам, не зависящим от условий внешней среды.

ОВ – это химические компоненты, в той или иной степени подвергающиеся воздействию физико-химических факторов внешней среды; БС – патогенные микроорганизмы, не приспособленные к существованию во внешней среде и поэтому подвергающиеся воздействию как физико-химических, так и биологических факторов. Следовательно, по устойчивости к воздействию факторов внешней среды агенты СМП можно расположить в последовательности: $РВ > ОВ > БС$.

Радиоактивное заражение местности со временем быстро изменяется и через 10 часов уменьшается в 10 раз, через сутки – в 24 раза, а спустя 2 недели составляет всего 0,1 % от начального значения. Наибольшую опасность РВ представляют в первые несколько дней, в течение которых выделяется до $3/4$ суммарной дозы внешнего облучения / 2 /. Длительность заражения местности ОВ в значительной степени зависит от температурных условий и колеблется летом от нескольких часов до нескольких недель, зимой может достигать нескольких месяцев / 3 /. БС, несмотря на свою чувствительность к воздействию факторов внешней среды, способны длительное время (от нескольких недель до нескольких месяцев и даже лет) сохранять в воде и почве свою жизнеспособность и патогенные свойства / 4 /. Следовательно, по способности создавать длительные очаги заражения агенты СМП можно расположить в последовательности:

$БС > ОВ > РВ$.

Задача ОС – обеспечение водопотребителей заданным количеством воды требуемого качества в установленные сроки / 5 /. Заражение ОС агентами СМП не способно нарушить технологический процесс водораспределения, так как не ока-

зывает прямого механического или физического воздействия на гидротехнические сооружения и водные ресурсы, оно влияет на качественную сторону процесса – подачу воды требуемого качества. В этих условиях причиной нарушения устойчивости функционирования ОС станет образование зараженного объема воды. Рассмотрим степень опасности, которую представляют РВ, ОВ и БС для этого объема воды и орошаемого земледелия.

Сами по себе РВ, ОВ и БС не изменяют физико-химических показателей качества воды и в этом отношении она остаётся пригодной для целей орошения. Угроза заражения проявляется в поражающем воздействии РВ, ОВ и БС на обслуживающий персонал, сельскохозяйственных рабочих и местное население, а также воздействию РВ на сельскохозяйственные культуры. Выше уже говорилось, что функцией ОС является доставка и распределение воды по орошаемой территории, следовательно, в процессе функционирования ОС зараженный объем воды будет отведен на орошение, т.е. распределён по определённой орошаемой территории.

предположим, что канал трапецеидальной формы с параметрами: ширина по поверхности – 20 м, ширина по дну – 10 м, глубина – 5 м, подвергся радиоактивному заражению на участке длиной 5 км. В этом случае заражению подвергнется 10 га открытой поверхности воды, а объем зараженной составит, примерно, 375 тыс. м³. При норме орошения 1000 м³/га этим объемом можно оросить 375 га полей. В результате то количество РВ, которое выпало на 10 га водной поверхности, рассредоточится на площади, равной 375 га, т.е. количество РВ, приносимое водой, составит всего около 3 % от исходной концентрации РВ в следе облака заражения. А если учесть, что период добегания зараженного объема воды до орошаемого поля может составить несколько суток, в течение которых концентрация РВ будет уменьшаться (как за счёт естественного распада, так и за счёт их осаждения и адсорбции), то количество РВ составит всего десятые и даже сотые доли процента. Этот пример гипотетического расчёта

наглядно показывает, что по сравнению с плотностью аэрозольного заражения орошаемых полей плотность заражения, создаваемая заражённой водой, пренебрежительно мала и не составит на общем фоне практической угрозы.

При орошении водой, содержащей большую концентрацию высокотоксичных ОВ, плотность заражения может превысить допустимые нормы и вызвать поражение незащищённых людей. Но особенно опасно заражение ОС бактериологическими средствами, поскольку распространение заражённой ими воды приведёт к образованию огромного очага бактериологического заражения, в котором даже единичные случаи инфекционного заболевания могут вызвать развитие эпидемии. Причём в силу высокой вирулентности и инфекционности даже очень малые концентрации БС в течение длительного времени могут создавать эпидемиологическую опасность. Следовательно, по степени угрозы агенты СМП можно расположить в последовательности: $БС > ОВ > РВ$.

Оценим в баллах степень опасности, которую будут представлять РВ, ОВ и БС при заражении ОС. В таблице приведены результаты этой оценки, наивысший балл соответствует наибольшей степени опасности. Как видно из таблицы, по сумме баллов наибольшую степень опасности для ОС представляют БС, наименьшую — РВ.

Т а б л и ц а

Оценка степени опасности заражения ОС агентами СМП

Показатели	Баллы		
	РВ	ОВ	БС
Масштабность заражения	3	1	2
Локализация очага заражения	1	2	3
Скрытность процесса заражения	1	2	3
Устойчивость к воздействию факторов внешней среды	3	2	1
Длительность опасного периода заражения	1	2	3
Степень угрозы при заражении водных ресурсов	1	2	3
Всего	10	11	15

Эта градация степени опасности и должна определять приоритет в разработке мероприятий по повышению устойчивости функционирования ОС в условиях заражения агентами СМП. Причем, говоря о разработке мероприятий для ОС, следует иметь в виду, что они относятся к магистральным и межхозяйственным каналам, так как при заражении действующей внутрихозяйственной ирригационной сети из-за ее рассредоточенности и приближения к полям говорить о проведении каких-либо мероприятий не имеет смысла. В этих условиях зараженная вода неизбежно попадет на орошаемые поля и изменить это положение практически невозможно.

Из изложенного вытекает, что заражение оросительных систем РВ не представляет для орошаемого земледелия опасности, требующей разработки особых мероприятий, даже в зонах, уровень радиации которых составит тысячи Рентген. Это объясняется невысокой плотностью заражения, создаваемого зараженной водой, а также тем, что радиоактивное загрязнение в указанных зонах будет состоять из крупных фракций, на долю которых приходится подавляющая часть радиоактивности. При заражении ОС основная часть этих РВ, по фракционному составу соответствующая среднему и крупному песку и гравию, осядет в каналах и практически не попадет на орошаемые поля. Поэтому в большинстве случаев при заражении РВ оросительные системы могут продолжать свою деятельность без проведения особых мероприятий.

Выше уже говорилось, что вероятность заражения оросительных систем БС выше, чем ОВ, опасному заражению которыми могут подвергнуться каналы, находящиеся в нескольких десятках километров от объекта химического нападения, тогда как более удаленные системы получают столь незначительную концентрацию ОВ, что она практически не представит реальной опасности. Масштабность заражения оросительных систем БС значительно выше, как и опасность, которую они будут представлять в случае бактериологического заражения.

Отсюда следует, что основное внимание при разработке мероприятий по повышению устойчивости функционирования ОС в условиях применения СМП должно уделяться БС.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть, что изложенные выводы не распространяются на зараженную территорию, в том числе орошаемые массивы, а ограничиваются исключительно только оценкой степени опасности заражения водных ресурсов ОС как источника водоснабжения для орошаемого земледелия.

Список использованной литературы

1. Химическое и бактериологическое оружие и последствия его возможного применения.-М.: Международные отношения, 1970.- 156 с.
2. Зеленский К.П., Круглов В.Т., Титов В.В. Защита животных от средств массового поражения.-М.: Знание, 1970.- 49 с.
3. Стерлин Р.Н., Емельянов В.И., Зимин В.И. Химическое оружие и защита от него.-М.: Гражданская оборона, 1971.- 52 с.
4. Бажинов А.Г. Биологическое оружие и защита от него.- М.: Гражданская оборона, 1971.-51 с.
5. Берзин А.К., Козлов Г.В., Козлова Л.Н. Методологические вопросы в исследованиях устойчивости функционирования гидромелиоративных систем.- В кн.: Исследования и прогностические расчеты качества воды и устойчивости гидромелиоративных систем.- Труды/ВНИИГМ, 1979, вып.6, с.15 - 36.

К.В.Громико, канд.биол.наук,
Н.А.Виноградова, О.В.Гузъ
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ
БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ

Бактериологические средства (БС) — это возбудители тяжелых инфекционных заболеваний и высокотоксичные вещества бактериологического происхождения, поражающее действие которых направлено на активное инфекционное заражение людей, животных и растений.

БС характеризуются рядом специфических особенностей, отличающих их от других видов оружия массового поражения: скрытностью и избирательностью поражающего действия; способностью к активному распространению и образованию рецидивных очагов заражения;

высокой поражающей активностью и длительностью действия.

Перечисленные свойства БС обуславливают огромную потенциальную поражающую действенность этого вида оружия, способного вызвать колоссальные потери и привести к непредвиденным последствиям. Даже в мирное время борьба с эпидемиологическими очагами заражения требует больших затрат сил и средств, которые в военное время усугубятся экстремальностью условий и масштабностью заражения. Все это определяет БС как одно из опаснейших оружий поражения людских резервов и дезорганизации тыла воюющих стран.

В условиях современной войны оросительные системы (ОС), характеризующиеся пространственной протяженностью, не представляют собой цели непосредственного бактериологического нападения, однако, их заражение явится непрямым следствием такого нападения на категоризованные объекты. Высокая вероятность заражения при бактериологическом нападении обуславливается огромной поражающей масштабностью этого вида оружия.

Основным источником заражения ОС станут бактериологические аэрозоли.

Во внешней среде БС подвергаются воздействию целого ряда физико-химических и биологических факторов, которые в конечном счете вызывают их отмирание. В аэрозольном состоянии на них оказывают влияние метеорологические факторы — температура, влажность, солнечная радиация и т.д., в воде и почве — минерализация, активная реакция, состав биоценоза и др.

По спектру воздействия этих факторов процесс бактериологического заражения можно подразделить на аэрозольный и постаэрозольный периоды. Длительность естественно-го самоочищения зависит от природы бактерий и условий внешней среды и может колебаться в больших пределах: от нескольких недель до нескольких месяцев и даже лет. Для ОС наиболее опасными могут стать возбудители инфекционных заболеваний, способные длительное время сохраняться во внешней среде и передаваться водным и воздушным путями. К биологическим средствам, которые по своим свойствам (резистентность, вирулентность, инфекционность, контагиозность) и способу передачи заболевания представляют для ОС наибольшую эпидемиологическую угрозу, следует в первую очередь отнести возбудителей чумы, холеры, туляремии, сибирской язвы, сапа, мелиоидоза, брюшного тифа, дизентерии и ботулизма.

Задачей функционирования ОС является обеспечение водопотребителей заданным количеством воды требуемого качества в установленные сроки. Под устойчивостью функционирования понимается способность ОС сохранять или восстанавливать свои функции в военное время [1].

Бактериологическое заражение ОС не способно нарушить технологический процесс водообеспечения, поскольку не оказывает прямого механического или физического воздействия на гидротехнические сооружения и водные ресурсы. Нарушение этого процесса может явиться лишь следствием поражения и выхода из строя обслуживающего персонала. Однако,

не оказывая непосредственного воздействия на количественную сторону водообеспечения, заражение ОС отражается на качественной стороне этого процесса. Образование зараженного объема воды ставит ОС в условия, не позволяющие обеспечить подачу воды требуемого качества, т.е. воды, не зараженной БС. Следовательно, факторами нарушения устойчивости функционирования ОС при бактериологическом заражении является поражение обслуживающего персонала и образование зараженного объема воды.

Восстановление функционирующей способности ОС достигается путем проведения противобактериологических мероприятий, направленных на ликвидацию или уменьшение поражающего действия БС. Отсюда вытекает, что повышение устойчивости функционирования ОС в условиях бактериологического заражения есть суть мероприятий, проведение которых обеспечивает их защиту от заражения и обеззараживание и тем самым сохраняет или восстанавливает способность ОС удовлетворять водопотребителей заданным количеством в установленные сроки не зараженной БС воды. Эти мероприятия включают:

- защиту обслуживающего персонала и местного населения от поражающего действия БС;
- предохранение водных ресурсов от заражения;
- использование резервных источников водоснабжения;
- обеззараживание зараженного объема воды и гидротехнических сооружений.

Основные принципы защиты обслуживающего персонала и местного населения от поражающего действия БС изложены в работах [2, 3].

При бактериологическом нападении предохранение ОС от заражения является одним из основных направлений сохранения ее функционирующей способности. Предохранение предполагает прямую защиту водных ресурсов, а также предотвращение увеличения масштабов бактериологического заражения. В зависимости от бактериологической обстановки оно достигается:

защитой водных ресурсов от аэрозольного заражения;
 предохранением ОС от вторичных источников заражения;
 изоляцией ОС от зараженного водоемисточника;
 изоляцией зараженного объема воды.

Идея защиты водных ресурсов ОС от аэрозольного заражения состоит в создании на их поверхности защитных пленок, временно изолирующих их от зараженной атмосферы. Авторами работы изучалась возможность использования в этих целях нефтяных пленок, которые при достаточной толщине способны предохранять воду от аэрозольного заражения БС. Важно подчеркнуть, что нефтяные пленки жестко адсорбируют бактерии, которые даже при сильном перемешивании, не десорбируют в водную толщу.

Т а б л и ц а I

Эффективность защиты воды нефтяными пленками от
 аэрозольного заражения тест-бактериями

Концентрация нефти, 2 мл/см	Плотность заражения, кл/см ²	Численность тест-бактерий в воде, кл/мл		
		3 через часа	24 через часа	после пере- мешивания
0,007	1200	50	20	15
0,014	1200	30	10	10
0,018	1200	10	2	2
0,220	1600	0	0	0

После прохождения аэрозольного облака заражения нефтяные пленки можно легко удалить с поверхности воды, подвергнуть их обеззараживанию или сжечь. В качестве защитных пленок можно использовать также пленки, создаваемые органическими и полимерными соединениями, защитные свойства которых должны составить предмет особого изучения. Для удаления этих пленок с поверхности воды могут быть использованы специальные устройства, применяемые для очистки портовых акваторий от нефтяного загрязнения.

Как уже отмечалось, основным источником заражения ОС являются бактериологические аэрозоли. Кроме того, они могут быть заражены стоками инфицированных вод, смывами зараженной почвы и т.д. И хотя вторичные источники не способны вызвать широкомасштабного заражения, однако, могут создать локальные очаги заражения, которые в силу специфических особенностей БС составят эпидемиологическую угрозу.

Защита от этих источников заражения должна основываться на регулярном контроле за техническим состоянием ОС, проведении аварийно-ремонтных работ и обеззараживании внешних очагов заражения. Повышая уровень защиты водных ресурсов от заражения БС, эти мероприятия будут содействовать повышению устойчивости функционирования ОС.

При своевременном обнаружении бактериологического заражения источника водоснабжения предохранение ОС может быть достигнуто простым перекрытием головных водозаборных сооружений и прекращением подачи зараженной воды. Продолжительность этого периода будет зависеть от типа водоисточника: если это река — он продлится несколько суток, если водохранилище — значительно дольше. Дело в том, что в реке створ водозабора ОС подвергается заражению только во время прохождения волны заражения, после чего качество воды быстро восстанавливается, тогда как в водохранилище из-за замедленного водообмена заражение длительное время сохраняется в чаше водоема.

При аэрозольном заражении в каналах ОС образуется зараженный объем воды (назовем его волной заражения), который по мере продвижения по системе изменяет свои параметры. Прогностический расчет трансформации волны заражения по магистральному каналу Южногостепской ирригационной системы показал, что при формировании в голове канала волны заражения длиной 5 км к концу канала она увеличивается до 30–50 км. Соответственно возрастает масштабность заражения ОС, что в конечном счете приводит к нарушению устойчивости их функционирования. В подобных условиях повышение устойчивости функционирования ОС может быть достигнуто в резуль-

тате изоляции зараженного объема воды из общего водооборота. Это мероприятие предотвратит распространение заражения, очистит путь для пропуска не зараженной или обеззараженной воды. Оно включает:

- сброс зараженной воды в аккумулирующую емкость;
- локализацию зараженной воды в каналах;
- отвод зараженной воды на орошаемые поля.

Основные принципы изоляции зараженного объема воды методом сброса и локализации достаточно подробно излагаются в ряде работ [4, 5, 6]. Мы остановимся только на некоторых аспектах метода изоляции зараженного объема воды отводом его на орошение.

Почва орошаемых полей обладает способностью адсорбировать бактерии, причем, интенсивность этого процесса зависит от ее механического состава. Исследования адсорбционной способности сероземных почв Голодной степи Узбекистана показали, что почва, содержащая 28 % физической глины, адсорбирует 76,7-90,0 % бактерий, почва, содержащая 50,2 % глины, - 89,0-97,0 и почва с 66,4 % глины - 91,1-99,9 %. Зависимость адсорбционной способности почвы от ее механического состава подтвердили опыты с почвенными колонками (табл.2).

Т а б л и ц а 2

Адсорбция бактерий почвенной колонкой (h - 25 см)
при норме полива 3000 м³/га

Физическая глина, %	Исходная числен- ность бак- терий, млн кл/мл	Численность бактерий в фильтрате через сутки, кл/мл					
		1		2		3	
		1	2	3	4	5	6
20,0	135	0	0,5	69 000	15 000	5 500	1 500
31,1	1380	0	0,0	240	45	0	0

Следовательно, при отводе зараженной воды на орошаемые поля необходимо учитывать механический состав грунтов. В связи с этим недопустим отвод зараженной воды на поля, грун-

ты которых содержат менее 20 % физической глины, так как при этом возможно заражение грунтовых вод. Опасность состоит в том, что если почва обладает относительно высокой самоочищающей способностью, то в грунтовых водах она значительно ниже. Так, если кишечная палочка в почке выживает около 90 суток, то в грунтовых водах — 200–400 суток [7]. Поэтому миграция БС в подземные воды может привести к их длительному заражению, борьба с которым практически невозможна.

В то же время отвод зараженной воды на поля, почва которых содержит высокий процент физической глины, приведет к концентрации БС в ее верхних слоях, обладающих наибольшей самоочищающей активностью, и где можно проводить мероприятия по ее обеззараживанию.

Таковы некоторые аспекты метода изоляции зараженного объема воды отводом его на орошаемые поля. Решение этого вопроса требует более детального изучения адсорбционных свойств почв, закономерностей трансформации бактериологического заражения в почвах, выноса его в дренажные и грунтовые воды.

При бактериологическом заражении сохранение функциональной способности ОС может быть достигнуто за счет использования не зараженных резервных источников водоснабжения. Наиболее защищенными от БС являются артезианские воды, которые в военное время предназначаются для обеспечения хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако если по физико-химическим показателям они не будут соответствовать требованиям, предъявляемым к воде хозяйственно-питьевого назначения, или при избытке их можно использовать на орошение. На орошение могут использоваться и другие подземные воды, которые по каким-либо причинам не пригодны для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Источниками резервного водоснабжения могут служить внутрисистемные водоемы, защищенные от аэрозольного заражения нефтяными пленками и т.д., а также не подвергшиеся заражению водные слои зараженных водоисточников. При аэрозольном

заражении на поверхности водоемов образуется бактериологический слой, миграция которого вглубь водоема обуславливает заражение всей его водной толщи. Поскольку этот процесс длительный, нижние слои воды остаются не зараженными, и практически пригодны для потребления. Миграция бактериологического заражения в толщу воды может происходить за счет собственного движения бактерий и вертикального перемещения водных масс.

Исследования миграции бактериологического заражения за счет собственного движения микроорганизмов показали, что скорость его проникновения в разные слои воды достигает следующих значений:

0 - 20 см - 2 см/ч;
20 - 40 см - 1,7 см/ч;
40 - 60 см - 1,4 см/ч.

С увеличением глубины скорость миграции бактериологического заражения уменьшается. Экстраполируя эту тенденцию, можно теоретически рассчитать время заражения водной толщи (табл.3). Естественно, что при этом необходимо учитывать температурные условия, конвекционную циркуляцию, роль термического клина и т.д. Этим вопросам не уделяется специального внимания в настоящей работе, но в силу их значимости они должны стать предметом особых исследований.

Т а б л и ц а 3

Заражение водоема за счет собственного движения
бактерий

Глубина, м	! Скорость мигра- ! ции, см/ч	! Время заражения, ч
0,0 - 0,5	1,7	29,9
0,5 - 1,0	1,3	38,4
1,0 - 1,5	0,8	62,5
1,5 - 2,5	0,5	100,0

Ветровое перемешивание водных масс играет решающую роль в процессе распространения заражения. Сила ветрового перемешивания воды с увеличением глубины быстро затухает и практически прекращается на глубине, равной половине длины волны [8]. Исходя из этого, глубину заражения можно принять равной половине длины волны и на основании этого рассчитать глубину проникновения заражения (табл.4).

Т а б л и ц а 4

Заражение водоема при ветровом перемешивании
водных масс

Высота волны, м	Длина волны, м	Глубина заражения, м
0,1	1,5	0,8
0,4	6,0	3,0
0,8	12,0	6,0
1,0	15,0	7,5
1,5	22,5	11,0

Отсюда видно, что в штилевую погоду нижние слои воды могут длительное время оставаться не зараженными, а в глубоководных водоемах-даже после значительного волнения. Этот резерв не зараженной воды в условиях бактериологического заражения ОС может в какой-то степени решить проблему дефицита водных ресурсов.

Все мероприятия, о которых говорилось выше, направлены на обеспечение сохранения функционирующей способности ОС при бактериологическом заражении. Восстановление этой деятельности достигается путем обеззараживания зараженного объема воды и гидротехнических сооружений. Поскольку при бактериологическом нападении заражению БС могут подвергнуться большие объемы воды, находящиеся в различных районах, это предъявляет особые требования к методам их обеззараживания. Они должны:

обладать мобильностью, т.е. быть способными к применению их на любых участках ОС;
 основываться на использовании недефицитных веществ при обеззараживании больших объемов воды;
 иметь доступную для местных условий технологию и не требовать сложной техники и оборудования;
 обеспечивать надежную очистку воды от БС.

Анализ существующих методов обеззараживания воды показал, что большинство из них разработано для обработки воды на водоподготовительных станциях, требуют стационарного оборудования, малопроизводительны и поэтому практически не пригодны для использования в условиях бактериологического заражения ОС. Для обеззараживания зараженных объемов воды наиболее пригоден традиционный химический метод, основанный на бактерицидном действии некоторых веществ производных хлора. Ограниченность набора методов борьбы с бактериологическим заражением обуславливает необходимость разработки новых или модификации существующих, которые по своему содержанию отвечали бы специфическим условиям ОС. Разработка этих методов может проводиться по следующим направлениям:

обеззараживание, основанное на использовании физических или физико-химических факторов — физические методы;
 обеззараживание, основанное на использовании бактерицидного действия химических веществ — химические методы;

обеззараживание, основанное на использовании антибактериальных биологических факторов — биологические методы;

обеззараживание, основанное на комплексном использовании антибактериальных факторов — комплексные методы.

Рассмотрим основные положения некоторых методов обеззараживания, которые, на наш взгляд, могут использоваться для борьбы с бактериологическим заражением ОС. Из методов обеззараживания физического направления следует выделить сорбционный метод, основанный на способности некоторых веществ (глина, уголь, ионообменные смолы, известь, гидроокиси алюминия и т.д.) активно адсорбировать бактерии. Замутнение

воды подобными адсорбентами с последующим их осаждением приведет к ее очищению от БС, но при этом сами бактерии не теряют своих патогенных свойств.

Авторы работы изучали адсорбционные свойства местного угля, шлаков, андезитной муки, глины, алебастры и цемента. Результаты исследований показали, что степень очистки воды составила 82–99,9 %. По результативности очистки эти вещества можно расположить в такой последовательности: цемент, шлаки, андезитная мука, алебастр, уголь и глина. Наибольший очищающий эффект оказывал цемент, обладающий высокой адсорбционной емкостью и изменяющий рН воды в щелочную сторону.

Анализ литературных данных, а также собственные исследования показали, что при достаточно высокой плотности замутнения можно достичь наибольшей степени очистки. Поэтому можно говорить о перспективности этого метода борьбы с бактериологическим заражением вод ОС. Однако широкое его внедрение требует длительных исследований в области изучения известных и поиска новых местных адсорбентов, определения оптимальной концентрации, обеспечивающей высокий эффект очистки и т.д.

При электролизе водных растворов хлоридов на аноде выделяется свободный хлор, который, как известно, обладает сильным бактерицидным действием. Этот эффект положен в основу электролитического метода обеззараживания воды. В настоящее время существует ряд отечественных бездиафрагменных электролитических установок типа "Каскад", "Струя", "Поток" и др., позволяющих получать гипохлорит натрия из раствора поваренной соли или высокоминерализованных вод [9]. В передвижном варианте эти установки могут быть использованы для обеззараживания зараженных объемов воды, причем в качестве источника хлоридов могут служить минерализованные коллекторно-дренажные воды.

В последние годы получили широкое применение диафрагменные электролизаторы, так называемые активизаторы воды, характеризующиеся тем, что рабочая камера этих установок перегородивается диафрагмой, благодаря которой обрабатываемая

вода разделяется на "положительную" со стороны анода и "отрицательную" со стороны катода. Активная реакция "положительной" воды смещается до pH, равной 1-2; при наличии хлоридов здесь выделяется свободный хлор. В "отрицательной" воде pH изменяется до 10-12, в этой части в осадок выпадают гидроокиси металлов. Обеззараживание происходит во всем объеме обрабатываемой воды, но в "положительной" ее части за счет выделения свободного хлора оно протекает значительно активней.

Результаты экспериментальных исследований показали, что обработка слабоминерализованных и высокоминерализованных сульфатных вод приводит к снижению численности бактерий на 3-4 порядка, но не дает полного эффекта очистки. Наибольший эффект обеззараживания воды достигается, когда иона хлора в обрабатываемой воде содержится не менее 1,0 г/л (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Эффективность обеззараживания воды диафрагменной электролитической установкой

Исходная концентрация бактерий, тыс. кл/мл	Концентрация иона хлора, г/л	Сила тока, Ам	Напряжение тока, В	Численность бактерий, тыс. кл/мл		
				+	-	через 24 ч в "+"
320	0,7	7	40	0,02	0,9	0,008
	0,7	14	60	0,001	0,4	-
400	1,4	15	40	0,008	0,7	-
	1,4	25	60	0,0004	0,4	-
570	2,1	20	40	0,00001	0,4	-
	2,1	30	60	-	0,4	-

Обеззараживание слабоминерализованных и бедных хлоридами вод может осуществляться за счет внесения хлоридов, требуемой концентрации ионов хлора или смешением их с сильноконцентрированной хлорной водой, получаемой при электро-

лизе высокоминерализованных хлоридных вод.

Диафрагменные установки могут работать в проточном регулируемом режиме с выходом той или иной воды до 90–95 %. Возможность перестройки работы этих установок на максимальный выход "положительной" воды может дать высокие результаты ее обеззараживания. Получаемую при электролизе хлорную воду можно использовать для обеззараживания широкого круга объектов – гидротехнических сооружений, оборудования и т.д. Все это говорит о перспективности разработки этого метода, для завершения которого требуются специальные исследования по установлению оптимальных параметров процесса обеззараживания, определению требований к составу минерализации исходной воды и т.д.

Для обеззараживания воды химическими методами используются производные хлора – хлорная известь, хлорамин, ДТС ГК, монохлорамин Б. Применение этих веществ обусловливается тем, что одним из требований к обеззараживанию воды хозяйственно-питьевого назначения является сохранение ее исходного качества. Этому как раз и способствует остаточный хлор, обладающий свойством относительно быстро улетучиваться из воды, которая в результате восстанавливает свой органолептические признаки.

Для воды оросительного назначения, особенно в военное время, это требование не является определяющим. Поэтому для обеззараживания ОС могут использоваться табельные обеззараживающие вещества, применение которых не допустимо для обеззараживания воды хозяйственно-питьевого назначения (формалин, фенол, нафтизол, лизол и др.). Однако в военное время возможен острый дефицит этих веществ, их явный недостаток для обеззараживания зараженных объемов воды. Все это диктует необходимость изыскания местных веществ, обладающих бактерицидным действием, использование которых позволит решить данную проблему. Для обеззараживания ОС это могут быть ядохимикаты, дефолианты, минеральные удобрения, а также продукты или отходы местных промышленных производств.

Экспериментальные исследования бактерицидной активности бутифоса, дефолианта хлопчатника показали, что при его концентрации 300 мг/л кишечная палочка погибает через 3 суток, при 800 мг/л — через 2. Рогор при концентрации 600 мг/л убивает бактерии в течение 4, при 1000 мг/л — 1 суток. Бактерицидное действие этих веществ подтверждает возможность использования нетабельных подручных дезинфицирующих веществ для обеззараживания зараженных объемов воды ОС.

Биологические методы обеззараживания основаны на использовании действующих в природе сил, обуславливающих процесс естественного самоочищения воды от патогенной микрофлоры, — микробного антагонизма, бактерицидного действия протококковых зеленых микроводорослей, внедрения водными организмами и бактериофагии. Исследования антибактериальной активности этих факторов показали, что в качестве действующего начала биологического метода обеззараживания можно использовать бактерицидный эффект зеленых микроводорослей и бактериофагию микроорганизма *бделловибрио* бактериоворус.

Зеленые протококковые микроводоросли — *хлорелла*, *сценедесмус* и *анкиistroдесмус* в процессе жизнедеятельности выделяют бактерицидные вещества, убивающие санитарно-показательные и патогенные микроорганизмы. Активность этого процесса зависит от физиологического состояния водорослей, их концентрации и температурного режима. Проведенные исследования показали, что при оптимальных условиях развития и исходной концентрации водорослей 0,1–0,2 г/л (3–5 млн. кл/мл) через 4–7 суток происходит обеззараживание воды. Уменьшение исходной концентрации, как и ухудшение условий развития водорослей, значительно удлиняет срок очищения воды или даже не завершает его. Показателем нормального течения жизнедеятельности организмов может служить динамика роста концентрации водорослей, численность которых в течение 4–7 суток должна увеличиться в 7–8 раз и достичь 20–40 млн. кл/мл.

Использование бактерицидного эффекта для обеззараживания воды осуществляется путем массовой интродукции микроводорослей в зараженный объем воды и создания там условий, благоприятствующих их интенсивному развитию.

Мощным фактором самоочищения воды от патогенной микрофлоры является бактериофагия. Но если вирусным бактериофагам присуща строгая специфичность в выборе бактерии-жертвы, то микроорганизм бделловибрио бактериоворус способен паразитировать на широком спектре грамотрицательных бактерий, в том числе и на возбудителях эпидемиологических инфекций. Это свойство бделловибрио можно положить в основу при разработке метода обеззараживания воды, сущность которого заключается в интродукции данного паразита в зараженные БС объемы воды.

Результаты экспериментальных исследований со штаммами бделловибрио показали, что он обладает высокой лизирующей активностью: при исходной численности тест-бактерий 5-10 млн.кл/мл в течение 3-5 суток он снижает ее на 3-4 порядка. Увеличение исходной плотности бделловибрио способствовало более интенсивной и глубокой очистке воды. Однако при уменьшении численности бактерии-хозяина этот паразит переходит на сапрофитный тип питания или впадает в цистообразное состояние. Это свойство бделловибрио обуславливает необходимость при разработке биологического метода обеззараживания стимулировать сокращение процесса очистки воды до того момента, пока он не успевает еще потерять своей паразитической активности. Отсюда вытекает, что основной задачей при разработке этого метода является формирование в зараженном объеме воды высокой исходной плотности бделловибрио, для чего необходимы высококонцентрированные культуры этого бактериофага.

Биологические методы обеззараживания не обеспечивают полную очистку воды от БС, вследствие чего их можно называть методами частичного обеззараживания, поскольку в воде сохраняется остаточная концентрация БС. В мирное время любое нахождение патогенных бактерий, независимо от назна-

чения воды, классифицирует ее как зараженную. Это положение для военного времени, видимо, требует пересмотра, так как даже в мирное время известны случаи обнаружения патогенных бактерий в естественных водоисточниках, которые тем не менее не подвергаются изоляции и используются в народном хозяйстве.

Такой подход к классификации зараженности при бактериологическом нападении приведет практически к выбраковыванию всех вод. Поэтому классификацию зараженности необходимо проводить дифференцированно, учитывая концентрацию, вид БС и назначение водных ресурсов. Например, инфекционная доза холеры составляет $10^6 - 10^{11}$ клеток, чумы и туляремии — 10–100, т.е. вирулентность возбудителей чумы, туляремии и холеры различается на 4–9 порядков. Отсюда и концентрация, представляющая эпидемиологическую опасность, для возбудителей чумы, туляремии и холеры будет разной. Это относится и к оценке назначения водных ресурсов: для вод хозяйственно-бытового пользования не допускается остаточная концентрация БС, но в определенных условиях она разрешается для вод оросительного назначения.

При таком подходе к классификации зараженности для обеззараживания водных ресурсов ОС могут быть использованы биологические и другие методы частичного обеззараживания, как, например, сорбционный.

Другим подходом к применению методов частичного обеззараживания является сочетание их с традиционными химическими методами. Это, так называемый, комплексный метод, основанный на использовании нескольких методов очистки: биологического и химического; сорбционного и химического; сорбционного, биологического и химического. Сущность этого метода заключается в том, что методами частичного обеззараживания снижается численность БС, остаточная их концентрация уничтожается бактерицидными веществами. Проведение комплексного метода обеззараживания обеспечит надежность этого процесса и уменьшит расход обеззараживающих веществ, так как эффект обеззараживания и потребность в дезинфицирующих

веществах зависит от исходной концентрации БС.

Обеззараживание гидротехнических сооружений, оборудования и т.д. проводится обычными табельными средствами и методами, применяемыми для обеззараживания промышленных и гражданских сооружений [10].

В заключение отметим, что изложенные в данной работе основные положения мероприятий, повышающих устойчивость функционирования ОС в условиях бактериологического заражения, требуют теоретической и экспериментальной доработки, методического обоснования и должны стать предметом дальнейших исследований.

Список использованной литературы

1. Берзин А.К., Козлов Г.В., Козлова Л.Н. Методические вопросы в исследованиях устойчивости функционирования гидромелиоративных систем.— В кн.: Исследования и прогностические расчеты качества воды и устойчивости гидромелиоративных систем. Труды/ВНИИГим, 1979, вып.6, с.15—36.
2. Бажинов А.Г. Биологическое оружие и защита от него.— М.: Гражданская оборона, 1971.— 51 с.
3. Безденежных И., Тыркова Е. Защита населения от бактериологического оружия.— М.: ДОСААФ, 1963.— 42 с.
4. Громыко К.В., Орлова А.П., Колтун Н.Д. Мероприятия по уменьшению опасности поражения Южногосподностепской системы биологическими средствами.— В кн.: Исследования и прогностические расчеты качества воды и устойчивости гидромелиоративных систем. Труды/ВНИИГим, 1976, вып.4, с.34—38.
5. Временные рекомендации по повышению устойчивости оросительно-обводнительных систем при воздействии оружия массового поражения.— М., 1978.— 34 с.
6. Хамидов Х.Н. Методика расчета локализации зараженного агентами оружия массового поражения объема воды в оросительно-обводнительных системах.— В кн.: Вопросы функцио-

нирования и математического моделирования гидромелиоративных систем в условиях воздействия оружия массового поражения. Труды/Среднеаз.НИИ ирригации, 1982, с.80-90.

7. Моложанова Е.И., Ордовская А.Е. Прогнозирование микробного самоочищения подземных вод.- Гигиена и санитария, 1975, № 8, с.23-28.
8. Жизнь пресных вод СССР.- М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950, т.3.- 456 с.
9. Медриш Г.Л., Тейшева А.Л., Басин Д.Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза.- М.: Стройиздат, 1982.- 80 с.
10. Акимов Н.И., Ильин В.Г. Гражданская оборона на объектах сельскохозяйственного производства.- М.: Колос, 1973.- 342 с.

РЕФЕРАТЫ

к сборнику научных трудов ДСП "Исследование функционирования и математическое моделирование водохозяйственных объектов и систем в условиях катастроф и стихийных бедствий".

УДК 681.3-523.8(083.3):626.8

Методика оценки инженерной обстановки на гидромелиоративной системе в условиях внешнего воздействия с использованием математических методов и ЭВМ. Борисова В.А., Шапаров В.Е.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП, с.3-13.

Рассматривается задача оценки инженерной обстановки на гидромелиоративной системе (ГМС) после воздействия ударной волны.

Оценка инженерной обстановки складывается из оценок состояния основных производственных фондов ГМС и сохранившихся ее производственных мощностей.

Состояние основных производственных фондов ГМС оценивается двумя показателями: степенью разрушения и относительным ущербом.

Производственные мощности ГМС характеризуют работоспособность системы в соответствии с состоянием производственных фондов. Для оценки сохранившихся производственных мощностей используется специальный показатель.

На основе данной методики разработана комплексная программа расчета на ЭВМ ЕС-1030 инженерной обстановки на ГМС после воздействия ударной волны.

Иллюстр.1, библи.3.

УДК 519.12:626.81

Оценка функциональной способности водохозяйственных объектов методами нечетких множеств. Тучин А.И., Марданова Н.Г.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

В статье рассматривается методика оценки функциональной способности водохозяйственных объектов в аварийных ситуациях. Дается разработка модели, основанной на принципе совместного использования информации экспертов и последовательной декомпозиции объекта.

Приводится классификация водохозяйственных объектов, а также алгоритм количественного определения состояния элементов водохозяйственных объектов в зависимости от величины параметра разрушения (параметры волн наводнения, силы землетрясения и т.п.). Введены функции ограничений на показатели функциональной способности ВХО; приведен пример построения функции ограничения на величину попуска в нижний бьеф по состоянию тоннельного водовыпуска. Приведены формулы определения полной вероятности уровня функциональной способности водохозяйственных объектов основных типов.

Иллюстр. 4, библи. 6.

УДК 556.18:355.08

Исследования возможности функционирования водохозяйственного комплекса после воздействия оружия массового поражения при условии проведения ремонтно-восстановительных работ. Акулов В.В.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Определены особенности функционирования водохозяйственного комплекса (ВХК) в речном бассейне в военное время. Выявлены показатели и критерий по оценке возможности функцио-

нирования ВХК при условии проведения ремонтно-восстановительных работ на водохозяйственных объектах после воздействия ОМП.

Иллюстр.3.

УДК 627.81

О показателе устойчивости функционирования отрасли по возможным запасам воды в водохранилищах в военное время. Акулов В.В., Галеева Л.А.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

По результатам анализа схем расположения водохранилищ в речном бассейне сделан вывод о неустойчивом функционировании их в военное время. Дана приближенная оценка показателя устойчивости функционирования водохранилищ, работающих в интересах орошаемого земледелия, определены возможные объемы воды в оставшихся водохранилищах после воздействия первичных и вторичных поражающих факторов ОМП.

Иллюстр.1, библи.2.

УДК 626.8

Устойчивость сооружений гидромелиоративных систем в экстремальных условиях. Вахонина Л.С.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Предлагается метод расчета с использованием программы "Супер" для ЭВМ "Минск-32". На конкретном примере продемонстрированы возможности программы "Супер" при расчете сооружения на устойчивость.

Рекомендуется детальный расчет сооружений на воздействие значительных ветровых нагрузок с целью более точного определения объема восстановительных работ.

Табл.1, иллюстр.1, библи.5.

УДК 532.5:519.2

Особенности численного исследования квазиодномерных задач гидродинамики в массовых переменных Лагранжа.

Тучин А.И.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Рассматриваются вопросы численного моделирования неустановившихся течений в открытых руслах. Приводится численная модель движения волны прорыва в открытых недеформируемых руслах, реализованная в массовых переменных Лагранжа. На примере этой модели рассматриваются вопросы потери счетной устойчивости алгоритма при различных режимах течения. Для разработанного алгоритма приводятся ограничения на максимальную величину шага по времени при численном интегрировании уравнений движения. Проанализированы варианты постановки граничных условий в массовых переменных Лагранжа.

Иллюстр.3, библи.12.

УДК 626.8

Особенности конструкций гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем в экстремальных условиях.

Емельянов Ф.И.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Приводится перечень сооружений и помещений гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем, которые могут быть приспособлены и использованы в экстремальных условиях, не исключая при этом работу сооружений по их прямому назначению.

Табл.1.

УДК 626.81:333

Сравнительная оценка принципов межхозяйственного вододеления. Мирзаев Н.Н.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Дан анализ различных принципов водораспределения в условиях дефицита оросительной воды: экономической оптимальности, пропорциональности, равного относительного ущерба. Показано, что практикуемый в орошаемом земледелии принцип пропорционального вододеления ставит в неравноценные условия, в смысле водообеспеченности, и вследствие этого хозяйства, расположенные на автоморфных почвах, несут более существенные ущербы от снижения водообеспеченности, чем хозяйства, расположенные на гидроморфных почвах. Вододеление на основе остальных принципов (за исключением принципа равного относительного ущерба) также приводит к дифференциации ущербов хозяйств. Наиболее предпочтительным в социально-экономическом плане является принцип равного относительного ущерба.

Табл. 2, иллюстр. 4, библи. 6.

УДК 631.671:519.2

Численное решение экономико-математической модели задачи оптимизации внутрихозяйственного вододеления при дефиците оросительной воды. Мирзаев Н.Н.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Рассматриваются вопросы повышения эффективности использования оросительной воды в хозяйствах на основе применения современных методов оптимального планирования и ЭВМ. Приведено численное решение экономико-математической модели задачи оптимизации внутрихозяйственного водопользования.

Оптимизация вододеления в условиях дефицита воды достигается в основном за счет дифференцированного снижения оросительных норм сельскохозяйственных культур. Сокращение орошаемых площадей в хозяйстве начинается при глубоком дефиците воды (40...50 %).

Табл.2, иллюстр.1, библи.5.

УДК 532.5:627.43:627.26

Прогноз процесса распластывания волны прорыва при внезапном разрушении плотины. Кристостурян И.Г., Микаелян В.Г., Оганесян Д.М.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Исследуются трансформация волны прорыва при внезапном разрушении плотины. Получены расчетные формулы с учетом режима течения, на основании которых вычислены как продольные профили, так и графики изменения глубин по времени в отдельных створах для всего промежутка времени прохождения волны прорыва по длине исследуемого участка водотока, начиная с момента разрушения.

Результаты расчетов проверены экспериментально.

Иллюстр.4, библи.3.

УДК 626.8:627.141+627.51

Имитационная модель для исследования поведения водохозяйственного эксплуатационного предприятия в экстремальных условиях. Клименко Ю.С.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Рассматривается один из подходов выделения мелиоративной системы и ее элементов в составе суперсистем – областного агропромышленного объединения (ОАПО), областного производст-

венного управления сельского хозяйства (ОПУСХ) и областного производственного управления водного хозяйства (ОПУВХ). Формализуются производственно-технологические процессы, происходящие в межхозяйственной части мелиоративной системы, которая находится в ведении ОПУВХ. Разработана имитационная модель, описывающая функционирование ОПУВХ. В основу модели положен метод системной динамики. Включение в состав модели блока, представляющего модель воздействия возмущающих факторов, позволяет имитировать состояние и поведение ОПУВХ в экстремальных условиях. Для модели разработан алгоритм и составлена программа на языке ПЛ/I.

Иллюстр. I, биол. 6.

УДК 631.413

Миграционная способность ^{137}Cs в некоторых почвах Белорусской ССР. Афанасик Г.И., Усенко Л.Ф., Шагалова Э.Д., Жуков Л.Ф.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Анализ процессов сорбции и десорбции ^{137}Cs на четырех типах почв Белорусской ССР указывает на высокую сорбционную способность торфов и суглинков относительно радиоцезия. Величина сорбции для них составляет 85,9...99,5 %, в то время как пески и супеси сорбируют 50,0...63,1 %. Характер вертикального распределения радиоцезия при его поверхностном внесении на почву зависит от режима промывок.

Табл. 5, биол. 5.

УДК 626.81

Оценка степени опасности заражения оросительных систем РВ, ОВ и БС для орошаемого земледелия. Громыко К.В.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

В статье, на основе анализа специфических особенностей заражения оросительных систем РВ, ОВ и ЕС, определяется степень угрозы, которую будут они представлять для орошаемого земледелия. Показано, что заражение оросительных систем РВ не требует осуществления особых мероприятий по их обеззараживанию; наибольшую угрозу оросительным системам и орошаемым территориям представит заражение ЕС, что обуславливает необходимость в разработке мероприятий, обеспечивающих повышение устойчивости их функционирования в условиях бактериологического заражения.

УДК 626.81:631.587:355.08

Пути повышения устойчивости функционирования оросительных систем в условиях бактериологического заражения.
Громыко К.В.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, ДСП.

Выделяются следующие пути повышения устойчивости функционирования оросительных систем:

защита обслуживающего персонала и населения от ЕС;
предохранение водных ресурсов от заражения ЕС;
использование резервных источников водоснабжения;
обеззараживание зараженного объема воды и гидротехнических сооружений.

Мероприятия подразделяются на мероприятия, обеспечивающие сохранение функционирующей деятельности оросительных систем и мероприятия, обеспечивающие восстановление этой деятельности. Рассматриваются основные положения этих мероприятий, показывается принципиальная возможность осуществления новых методов сохранения и обеззараживания водных ресурсов от бактериологического заражения.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Борисова В.А., Шаларов В.Е. – Методика оценки инженерной обстановки на гидромелиоративной системе в условиях внешнего воздействия с использованием математических методов и ЭВМ.... 3
2. Тучин А.И., Марданова Н.Г. – Оценка функциональной способности водохозяйственных объектов методами нечетких множеств 13
3. Акулов В.В. – Исследования возможности функционирования водохозяйственного комплекса после воздействия оружия массового поражения при условии проведения ремонтно-восстановительных работ 31
4. Акулов В.В., Галеева Л.А. – О показателе устойчивости функционирования отрасли по возможным запасам воды в водохранилищах в военное время 40
5. Вахонина Л.С. – Устойчивость сооружений гидромелиоративных систем в экстремальных условиях 45
6. Тучин А.И. – Особенности численного исследования квазиодномерных задач гидродинамики в массовых переменных Лагранжа 52
7. Емельянов Ф.И. – Особенности конструкций гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем в экстремальных условиях. 69
8. Мирзаев Н.Н. – Сравнительная оценка принципов межхозяйственного водододеления 74
9. Мирзаев Н.Н. – Численное решение экономико-математической модели задачи оптимизации внутрихозяйственного водододеления при дефиците оросительной воды 83

10. Кристостурян И.Г., Микаелян В.Г., Оганесян Д.М. –
Прогноз процесса распластывания волны про-
рыва при внезапном разрушении плотины . . . 91
11. Клименко Ю.С. – Имитационная модель для иссле-
дования поведения водохозяйственного
эксплуатационного предприятия в экстре-
мальных условиях 102
12. Афанасик Г.И., Усенко Л.Ф., Шагалова Э.Д.,
Жуков Л.Ф. – Миграционная способность
 $^{137}\text{Cs}_3$ в некоторых почвах Белорусской
ССР 113
13. Громыко К.В. – Оценка степени опасности зара-
жения оросительных систем РВ, ОВ и БС
для орошаемого земледелия 122
14. Громыко К.В., Виноградова Н.А., Гузь О.В. –
Пути повышения устойчивости функцио-
нирования оросительных систем в усло-
виях бактериологического заражения . . 130
- Р е ф е р а т ы 140

Сборник научных трудов "Исследование функционирования
и математическое моделирование водохозяйствен-
ных объектов и систем в условиях катастроф и сти-
хийных бедствий", Ташкент, САНИИРИ, ДСП, 1985.

Редакторы: Володина Д.Х., Меркина А.С., Ялфимова Е.Я.

Сдано в производство 23/XII-85г. Формат бумаги 60х90 1/16.
Усл.п.л.8. Тираж 100 экз. Заказ 1793.

Картфабрика института "Узгипрозем", Ташкент, Муками, 176.