П-78
60233

ISSN 0131—1905

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

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

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ „СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК“ ИМЕНИ А. А. САРКИСОВА

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Сборник научных трудов

Ташкент 1987

П-78

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

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

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

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Сборник научных трудов

Научно-техническая САНИИРИ БИБЛИОТЕКА

Ташкент 1987

В сборнике научных трудов, подготовленном институтом "Средазгипроводхлопок", рассматриваются современные конструкции гидромелиоративных систем и их элементы в проработках института, вопросы выбора оптимальных проектных решений, дальнейшего развития автоматизации водораспределения и экономного использования водных ресурсов, а также методы изысканий и исследований для обоснования проектов на примере крупных массивов орошения в аридной зоне.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.А.Духовный (отв.редактор), А.А.Кадыров, У.У.Умаров, Г.С.Цуриков (зам.редактора, Средазгипроводхлопок), Т.М.Шапошникова, Х.И.Якубов

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.Е.Духовской, И.Л.Калинин (ответственный за выпуск), Л.К.Калинин, Е.Н.Макушенко, Ф.Ш.Мухамеджанов, Б.Я.Нейман, Э.Л.Окуличкозарин, Ф.В.Серебренников, Н.М.Солохин, Г.С.Цуриков, Ф.Я.Эйнгорн, Л.В.Эпштейн

© Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации (САНИИРИ), 1987

УДК 626.862.4:532.5.001.2

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

ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В НЕОДНОРОДНО-СЛОИСТЫХ ГРУНТАХ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Разработанные к настоящему времени методы расчета параметров горизонтального дренажа, расположенного на различных высотных отметках в силу глубины его заложения или рельефа местности, ограничиваются в основном рассмотрением водоносных комплексов однопластового строения /I...3/. Вместе с тем неоднородно-слоистое строение грунта, наличие прослоев со слабо- или хорошопроницаемыми свойствами характеризуют обычно природные условия проектируемых объектов горизонтального дренажа, в частности на территории Джизакской и Каршинской степей. Кроме этого, неустановившийся режим фильтрации грунтовых вод (ГВ) в указанных условиях предопределяет неритмичную работу элементов дренажных устройств - вплоть до полного отключения. Учет отмеченных факторов при расчетах параметров дренажа, прежде всего для двухпластовых фильтрационных систем, имеющих трехслойное (в том числе со средним слабо- или хорошопроницаемым слоем) или четырехслойное строение (где выделяется случай, когда слабопроницаемый слой расположен между слоями хорошей проводимости), позволяет оценить гидродинамическую роль отдельных прослоев слабо- и хорошопроницаемых пород, их влияние в условиях расчлененного рельефа при установившемся и неустановившемся режимах фильтрации.

С этой целью рассмотрена гидродинамическая модель

неустановившейся фильтрации ГВ в неоднородно-слоистых грунтах. На основании аналитического решения разработаны алгоритмы расчета и компьютерная программа, что позволило провести ряд вычислительных экспериментов. В качестве примера на орошаемой территории с расчлененным рельефом выбран профиль, заключенный между двумя понижениями (логами), по которым, как правило, проложены коллекторы.

I°. При двухпластовом строении дренируемой толщи неустановившаяся фильтрация ГВ со свободной поверхностью к конечному числу элементов КДС описывается системой уравнений:

$$k_x^{(i)} \frac{\partial^2 H^{(i)}}{\partial x^2} + k_z^{(i)} \frac{\partial^2 H^{(i)}}{\partial z^2} = Q^{(i)}(x,z,t), \quad i=\overline{1,4}. \qquad (I)$$

Здесь и ниже верхний индекс параметра i говорит о принадлежности его к i-му слою: $k_x^{(i)}$ и $k_z^{(i)}$ – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие коэффициента фильтрации, м/сут; $H^{(i)}(x,z,t)$ – напор ГВ, м; $Q^{(i)}(x,z,t)$ – интенсивность стоков (элементов КДС), расположенных в данном слое, м^3/сут на метр, моделирование которых проводится согласно [2]; x и z –соответственно горизонтальная и вертикальная координаты, м; t – время, сут.

На свободной поверхности ГВ инфильтрационное питание (испарение) задается линеаризованным условием

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = -k_z^{(1)} \frac{\partial h}{\partial z} + w(x,t)\Big|_{z=h^\circ(x)}, \qquad (2)$$

где μ – коэффициент водоотдачи (недостатка насыщения); $h(x,t)$ – уровень ГВ, м; $w(x,t)$ – модуль инфильтрационного питания (испарение), м/сут, который определяется выражением

$$w(x,t)=\sum_{j=1}^{N_w} w_j[\sigma(x-x_{w2j-1})-\sigma(x-x_{w2j})][\sigma(t-t_{j-1})-\sigma(t-t_j)], \qquad (3)$$

где N_w – число интервалов; w_j – интенсивность инфильтрационного питания (испарения) на интервале $[x_{w2j-1}, x_{2j}]$ в момент времени $t\in[t_{j-1},t_j]\subset[0,T]$, T –продолжительность расчетного периода; $\sigma(x)$ – единичная функция Хевисайда.

Выбор зависимости для $h^\circ(x)$ дан в [2].

На контакте слоев задается условие равенства напоров

и потоков, начальное положение уровня грунтовых вод (УГВ) аппроксимируется кусочно-постоянной функцией $h_e(x)$.

Если принять расположение элементов КДС в пределах покровного (первого) слоя, УГВ будет определяться выражением

$$h(x,t)=H^{(1)}(x,z,t)\Big|_{z=h^\circ(x)}. \qquad (4)$$

При расчетах горизонтального дренажа в этом случае достаточно знать выражение для напора ГВ $H^{(1)}(x,z,t)$, которое получено из решения системы (I) с использованием последовательного применения интегрального преобразования Лапласа по t [4] и конечного интегрального преобразования по координате x [5]. Опуская промежуточные выкладки, запишем выражение для напора ГВ в покровном слое:

$$H^{(1)}(x,z,t)=H_I^{(1)}(x,z,t)+H_{II}^{(1)}(x,z,t)+H_{III}^{(1)}(x,z,t), \qquad (5)$$

где для наглядности выделены слагаемые, учитывающие влияние следующих факторов: $H_I^{(1)}(x,z,t)$ – начального и граничных условий по x; $H_{II}^{(1)}(x,z,t)$ – инфильтрационного питания (испарения); $H_{III}^{(1)}(x,z,t)$ – элементов КДС, причем

$$H_I^{(1)}(x,z,t)=h_2^{(1)}-\frac{1}{L}\sum_{n=1}^{\infty}\cos[x\omega_n]\{A_n^+e^{(z-h^\circ)\omega_n}+A_n^-e^{(2M_2-h^\circ-z)\omega_n}\}U_4(n)e^{-R_nt},$$

$$H_{II}^{(1)}(x,z,t)=\frac{1}{L}\sum_{n=1}^{\infty}\cos[x\omega_n]\{A_n^+e^{(z-h^\circ)\omega_n}+A_n^-e^{(2M_2-h^\circ-z)\omega_n}\}\frac{1-e^{-R_nt}}{U_2(n)}U_3(n),$$

$$H_{III}^{(1)}(x,z,t)=\frac{1}{k^{(1)}}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\cos[x\omega_n]}{U_2(n)}\Bigg\{\sum_{i_д=1}^{N_д}q_{i_д}^{(1)}\cos[x_{i_д}^{(1)}\omega_n]\Phi[z,z_{i_д}^{(1)},\omega_n]+$$
$$+\sum_{i_K=1}^{N_K}\frac{q_{i_K}^{(1)}\cos[\bar{x}_{i_K}^{(1)}\omega_n]\sin[\frac{1}{2}\Delta x_{i_K}^{(1)}\omega_n]}{\Delta x_{i_K}^{(1)}\omega_n}\Phi[z,z_{i_K}^{(1)},\omega_n]\Bigg\}.$$

Здесь $h_2^{(1)}=H^{(1)}(x,z,t)\big|_{x=L}$; $\omega_n=\frac{\pi}{2L}(2n-1)$; $k^{(i)}=k_x^{(i)}=k_z^{(i)}$;

$$U_1(n)=\omega_n\{A_n^+-A_n^-e^{-2(h^\circ-M_2)\omega_n}\};\ U_2(n)=k^{(1)}\omega_n^2\{A_n^++A_n^-e^{-2(h^\circ-M_2)\omega_n}\};$$

$$U_3(n)=2\sum_{i=1}^{N_w}w_i[\sin(x_{w2i}\omega_n)-\sin(x_{w2i-1}\omega_n);\quad R_n=U_2(n)/U_1(n);$$

$$U_4(n)=2\Big\{(-1)^{n+1}h_2^{(1)}-\sum_{i=1}^{N_e}\frac{h_{e_{i+1}}+h_{e_i}}{2}[\sin(x_{e_{i+1}}\omega_n)-\sin(x_{e_i}\omega_n)]\Big\}/U_1(n);$$

$$\Phi[z,z^\circ,\omega_n]=k^{(1)}\omega_n\{A^+[e^{-|z-z^\circ|\omega_n}+e^{-(2h^\circ-z-z^\circ)\omega_n}]+A^-[e^{-[2(h^\circ-M_2)+|z-z^\circ|]\omega_n}+e^{(2M_2-z-z^\circ)\omega_n}]\}+$$

$+R_n\{A^+[e^{-|z-z^0|\omega_n}-e^{-(2h^0-z-z^0)\omega_n}]-A^-[e^{-|2(h^0-M_2)-|z-z^0|]\omega_n}-e^{(2M_2-z-z^0)\omega_n}]\}$;

$\Delta x_{i_K}^{(1)}=x_{2i_K}^{(1)}-x_{2i_K-1}^{(1)}$; $\bar{x}_{i_n}^{(1)}=\frac{1}{2}(x_{2i_K}^{(1)}+x_{2i_K-1}^{(1)})$; $Q_{i_Д}^{(1)}, Q_{i_K}^{(1)}$ и $(x_{i_Д}^{(1)}, z_{i_Д}^{(1)}), (x_{2i_K}^{(1)}, x_{2i_K-1}^{(1)}, z_{i_K}^{(1)})$ – соответственно расходы и местоположение дрен ($N_{ДР}$) и коллекторов (N_K). $M_2 = m_2+m_3+m_4$; m_2, m_3, m_4 – мощности соответственно второго, третьего и четвертого слоев, м.

Следует заметить, что вид выражения (5), в данном случае для напора ГВ в покровном слое, при действии отмеченных факторов является общим, т.е. не зависит от слоистости пласта. Параметры пласта (коэффициент фильтрации и мощность) входят только в коэффициенты $A_n^{\pm}$, которые меняются в зависимости от числа слоев. Соответственно будет меняться величина M_2 – сумма мощностей слоев ниже покровного. Такой же вывод сделан при решении задач фильтрации в неоднородно-слоистых пластах в [6].

При трехслойном строении области фильтрации расчетного профиля коэффициенты $A_n^{\pm}$ имеют вид

$$A_n^{\pm} = k^{(1)} A_I \pm k^{(2)} A_{II},$$

где

$$A_I = 8e^{-(m_2+m_3)\omega_n}\{k^{(2)}ch(m_3\omega_n)ch(m_2\omega_n)+k^{(3)}sh(m_3\omega_n)sh(m_2\omega_n)\},$$

$$A_{II} = 8e^{-(m_2+m_3)\omega_n}\{k^{(2)}ch(m_3\omega_n)sh(m_2\omega_n)+k^{(3)}sh(m_3\omega_n)ch(m_2\omega_n)\}.$$

Наиболее простой вид коэффициентов при однослойном строении

$$A_n^{\pm} = 8k^{(1)}.$$

Расчеты по размещению элементов КДС и их функционированию в условиях неустановившегося режима фильтрации ГВ проводятся по программам, разработанным для ЭВМ ЕС в системе ОС. Результаты расчета содержат информацию о расходах дренажных устройств и УГВ по всему фрагменту как в условиях установившегося, так и неустановившегося режимов фильтрации.

2^0. Расчетный профиль протяженностью (L) 2100 м характеризуется перепадами высотных отметок земной поверхности 6м (рис.I) и выраженным горизонтальным участком порядка 200 м у левой границы. Ось горизонтальной координаты (ox) проходит по нижней границе профиля, ось вертикальной координаты (oz) совпадает с его левой границей.

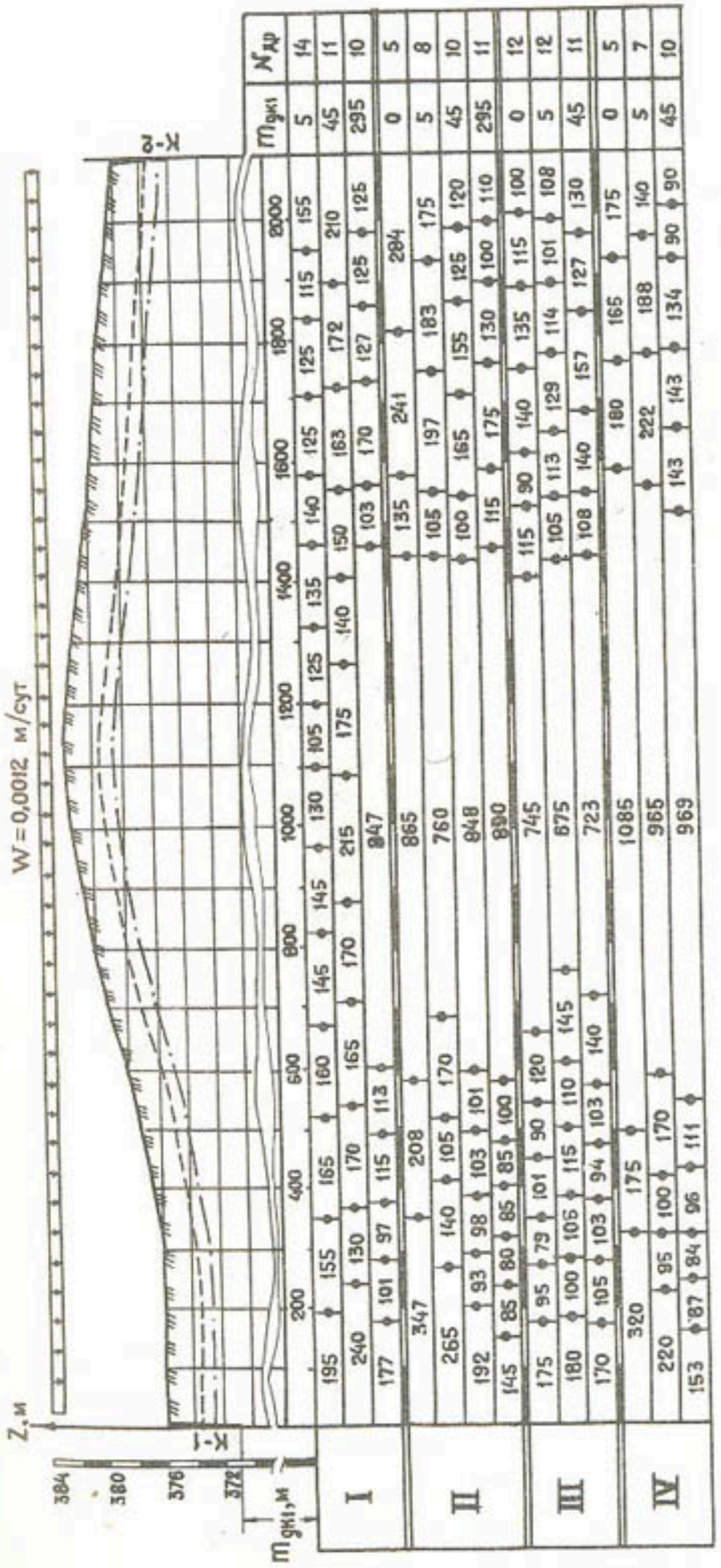


Рис.I. Междренные расстояния и расположение дрен в зависимости от m_{gk} и строения фильтрационной системы: —·— – глубина заложения, $N_{ДР}$ – число и ◆ – местоположение дрен; – – – проектная глубина УГВ

По границам профиля, являющимся естественными понижениями, проложены коллекторы, усиливающие дренированность орошаемой территории. Коллекторы различной глубины заложения: слева коллектор К-I – проектная глубина заложения $h_{к1}$ =5 м, ширина по дну $b_{к1}$ = I,5 м, наполнение $\hbar_{к1}$ =0,75м; справа – К-2, у которого $h_{к2}$ = 4,5 м, $b_{к2}$ = I м, $\hbar_{к2}$ =0,5 м. Дрены имеют одинаковую глубину заложения $h_{др}$ =3,25 м. Проектный уровень грунтовых вод $h_{пр}$ =2,4 м, расчетная нагрузка на дренаж w =0,0012 м/сут, причем на расстоянии до 20 м от оси коллекторов нагрузка принимается равной нулю (зона отчуждения).

Проведем расчеты по размещению дрен на профиле в зависимости от величины $m_{дк1}$ (мощность первого слоя от дна коллектора К-I до водоупора или, в случае многослойного строения, до границы второго слоя) и неоднородно-слоистого грунта. Последовательно рассматриваются однопластовая дренируемая толща одно- и двухслойного строения и двухпластовая трех- и четырехслойного строения, содержащая слабопроницаемый прослой. Для однослойного пласта ($k^{(1)}$= 0,25 м/сут) сравнительная наглядность полученных результатов при $m_{дк1}$ =5м; 45 м; 295 м показана на рис.I. Увеличение значения $m_{дк1}$ влечет за собой не только уменьшение числа дрен, но и "разрядку" их в зоне с наибольшей высотной отметкой поверхности земли (средняя зона профиля). Дальнейшее увеличение $m_{дк1}$ до 295 м несущественно сказывается на сокращении числа дрен (только на одну) по сравнению с $m_{дк1}$ =45 м, но в их размещении наблюдается смещение в сторону коллекторов с уменьшением расстояния между дренами. Таким образом, водовмещающая толща однослойного пласта играет заметную роль при размещении дренажа.

Результаты расчета дренажа для двухслойного пласта в зависимости от $m_{дк1}$, когда рассмотренный выше однородный пласт подстилается хорошопроводимым слоем проводимостью $T_2 = k^{(2)} \cdot m_2$ = 50 м^2/сут ($k^{(2)}$=I0 м/сут, m_2 = 5 м), приведены также на рис.I. В этом случае обращает на себя внимание бездренажная зона значительной протяженности в средней зоне профиля, дрены группируются в зонах коллекторов К-I и К-2. Увеличение мощности покрова $m_{дк1}$ приводит к постепенному росту числа дрен и их "сгущению" в зонах коллекторов. Здесь особо выделен вариант размещения дрен, когда К-I прорезает

покров ($m_{дк1}$ =0) и вскрывает хорошопроницаемый слой. Дренирующая способность коллектора возросла, число дрен сократилось до пяти. Следует отметить, что расчеты ($m_{дк1}$ =5м), проведенные при постоянной проводимости второго слоя (T_2 =50 м^2/сут), но с различными сочетаниями значений параметров ($k^{(2)}$=25 м/сут, m_2 =2 м и $k^{(2)}$=2 м/сут, m_2=25м), показали практическое совпадение результатов.

Аналогичные расчеты ($m_{дк1}$= 0; 5; 45 м) выполнены для трехслойного пласта, когда хорошопроницаемый слой отделяется от покровного слабопроницаемым прослоем. Параметры слоев: $k^{(1)}$ =0,25 м/сут; $k^{(2)}$= 0,0I м/сут; m_2 =I м; $k^{(3)}$= I0 м/сут; m_3=5 м. При $m_{дк1}$= 0 выделяется бездренажный участок протяженностью 745 м в средней зоне профиля, дрены сосредоточиваются у коллекторов. Размещение дрен аналогичное с размещением для двухслойного пласта, но число дрен существенно возросло (I2 против 5).

Другие варианты ($m_{дк1}$ =5; 45 м) отражают также заметное влияние прослоя как на число дрен, так и размещение их по профилю в сравнении с однослойным или двухслойным пластом (рис.I). Особый интерес представляет вариант расчета ($m_{дк1}$= = 5 м), когда уменьшено значение коэффициента фильтрации прослоя до $k^{(2)}$= 0,000I м/сут.

Размещение дрен по этому профилю взято по расчету ($m_{дк1}$= 5 м) для однослойного пласта – число дрен I4. Сравнение результатов расчета для пласта трехслойного строения с указанным слабопроницаемым прослоем и однослойного пласта показывает заметное различие УГВ в зонах коллекторов: в случае однослойного строения он ниже – прослой в условиях установившегося режима фильтрации не явился водоупором.

Пласт четырехслойного строения (двухпластовый) получен из рассмотренного выше двухслойного добавлением прослоя (m_3 =I м, $k^{(3)}$= 0,00I м/сут) и хорошопроницаемого слоя проводимостью T_4 = 50 м^2/сут = 5 м/сут х I0 м. Число дрен во всех вариантах ($m_{дк1}$ =0; 5; 45 м) не изменилось в сравнении с результатами расчета для двухслойного строения пласта, да и размещение дрен сохранило свою "картину" – изменились междренные расстояния. Прослой (m_3 =Iм, $k^{(3)}$=0,00I м/сут) не стал водоупором, и потому "добавка" вызвала отмеченные изменения (рис.I). Уменьшение фильтрационных свойств прослоя ($k^{(3)}$=0,000I м/сут) также не определило его водо-

упором в условиях установившегося режима фильтрации.

Нередко в природных условиях встречаются водоносные комплексы с наличием прослоя из хорошопроницаемых пород. Вернемся к пласту однослойного строения($m_{дк1}$ =45м, $k^{(1)}$ =0,25м/сут), для которого характерно равномерное размещение дрен по профилю (рис.I).

Оценим роль наличия внутри указанного пласта хорошопроницаемого прослоя проводимостью T_2 =5 $м^2$/сут (m_2 =Iм, $k^{(2)}$ = 5 м/сут) для случаев $m_{дк1}$ = 5 и 25 м , т.е. прослоя, заключенного между слоями различной мощности с коэффициентом фильтрации 0,25 м/сут.

Вариант расчета $m_{дк1}$ =5м: число дрен сокращается (9 против II), и относительно равномерно увеличиваются расстояния между ними по сравнению с однородным пластом. При расположении прослоя ниже ($m_{дк1}$ =25 м) число дрен также меньше (I0 дрен) (рис.2).Следует отметить, что проведенные расчеты для варианта $m_{дк1}$ =5м, когда при сохранении проводимости хорошопроницаемого слоя изменены его параметры $k^{(2)}$=I0 м/сут, m_2= 0,5 м, подтверждают количество и размещение дрен при $k^{(2)}$= 5 м/сут, m_2 =I м. Результаты расчетов при установившемся режиме фильтрации показывают значимость учета в условиях расчлененного рельефа неоднородно-слоистого строения дренируемой толщи, в частности, наличие даже маломощных слабо- и хорошопроницаемых прослоев.

Расположение элементов КДС на разных высотных отметках в силу рельефа местности орошаемого массива или глубины заложения определяет особенность их функционирования - осушаться (выключаться), например, в межполивной период, затем во время полива вновь включаться в работу. Отмеченный фактор рассмотрен в [7] при однопластовом фильтрационном строении водоносного комплекса. В условиях многослойного строения грунта интересен вопрос оценки гидродинамической роли слабопроницаемых прослоев при неустановившемся режиме фильтрации.

С этой целью были выполнены соответствующие расчеты в привязке к проектному водному режиму, характерному для почвенно-климатической зоны Ц-П-Б почвенно-мелиоративной области "в", У гидромодульного района, для которого определены следующие данные о водоподаче: вегетационный период - норма 5700 $м^3$/га, предпахотный полив - норма 700$м^3$/га,влагозарядко-

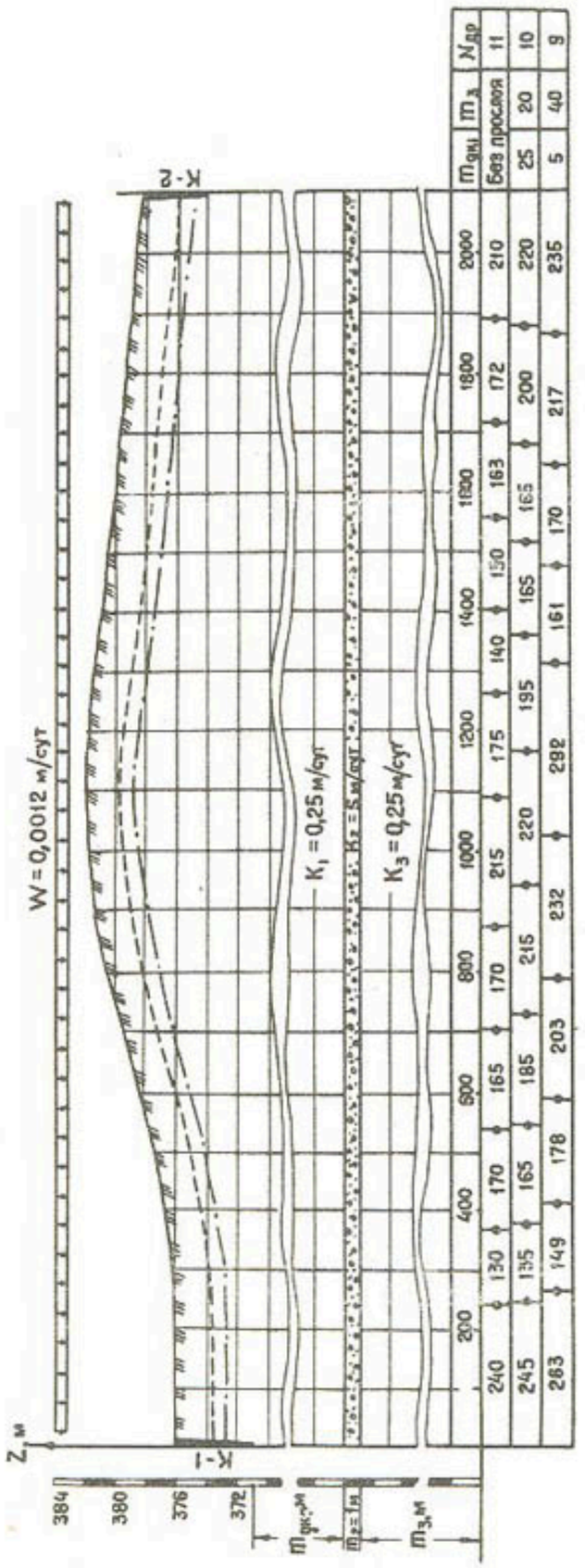


Рис.2. Междренные расстояния и расположение дрен (♦) в зависимости от глубины залегания ($m_{дк1}$) хорошопроницаемого прослоя:-·—·- глубина заложения и $N_{др}$ - число дрен;— — -ректная глубина УГВ

вые и промывные поливы – норма 2300 м^3/га. С учетом этих показателей и среднемноголетних метеорологических данных в разрезе года выделим пять периодов, каждый из которых характеризуется продолжительностью, сроками, интенсивностью инфильтрационного питания (восходящими или нисходящими потоками в зоне аэрации)(рис.3).

Во всех рассматриваемых ниже расчетных случаях начальная глубина УГВ по всему профилю принималась равной 3 м. Коэффициент водоотдачи (недостатка насыщения) μ =0,I93.

Сначала расчеты выполнены для профилей ($m_{дк1}$ =5м) однослойного и трехслойного строения. Причем профиль трехслойного строения, как и выше, получен из однослойного добавлением слабопроницаемого прослоя (m_2 =Iм, $k^{(2)}$=0,000I м/сут) и хорошопроницаемого слоя (m_3= 5м, $k^{(3)}$=I0 м/сут). Размещение дрен по профилям (I4 дрен) взято из расчета,выполненного для условий установившегося режима, когда отмечено, что указанный слабопроницаемый прослой не является водоупором. По результатам расчетов прослеживается в течение года динамичная работа дренажных устройств. На рис.3 это показано для дренажных устройств, расположенных на различных участках профиля. Отмечается практическое совпадение изменений расходов, что определяет также совпадение УГВ на конец расчетного года. Тем самым в условиях неустановившегося режима фильтрации слабопроницаемый прослой проявил себя водоупором.

Между тем этот факт не подтверждается данными о динамике расходов дренажных устройств, показанными на рис.4,которые отражают результаты расчетов в разрезе года для профилей двухслойного и четырехслойного строения ($m_{дк1}$=5м). Двухслойный пласт определяется покровом ($k^{(1)}$=0,25 м) и нижним хорошопроницаемым слоем (m_2 =5 м, $k^{(2)}$=I0 м/сут).Четырехслойный получен, как и при расчетах в условиях установившегося режима фильтрации, добавлением слабопроницаемого прослоя (m_3 =Iм, $k^{(3)}$=0,000I м/сут) и еще одного хорошопроницаемого слоя (m_4 =I0м, $k^{(4)}$=5 м/сут). Размещение дрен принято для обоих профилей по данным расчета для двухслойного пласта (8 дрен) в условиях установившегося режима.

Приведенные результаты (расчетный период – год) для оценки влияния слабопроницаемого прослоя в условиях неустановившегося режима фильтрации при различных фильтрационных строениях

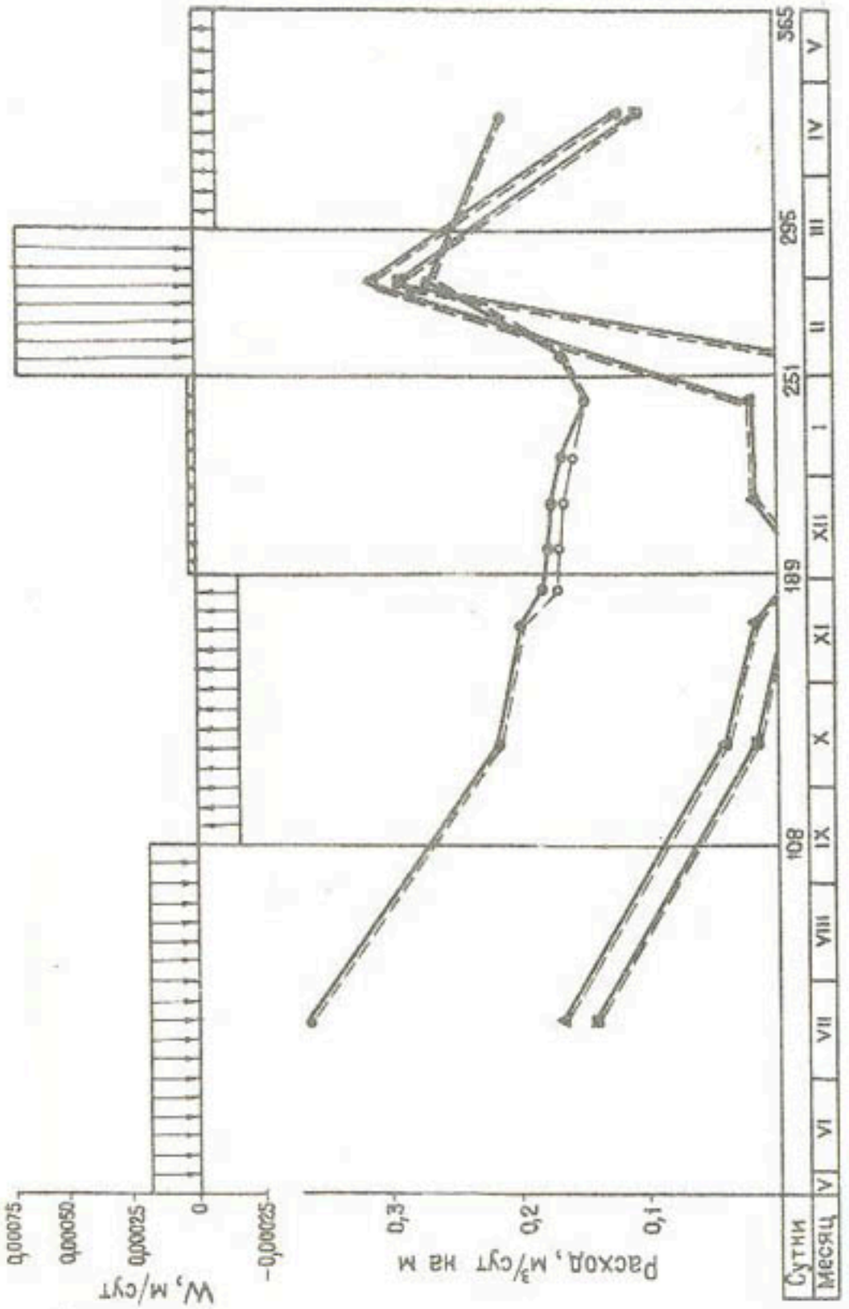


Рис.3. Динамика работы коллектора К-2 (○ и ●), дрен № I (▲) и № 9 (■) при однослойном (——) и трехслойном (– – – –) строении пласта

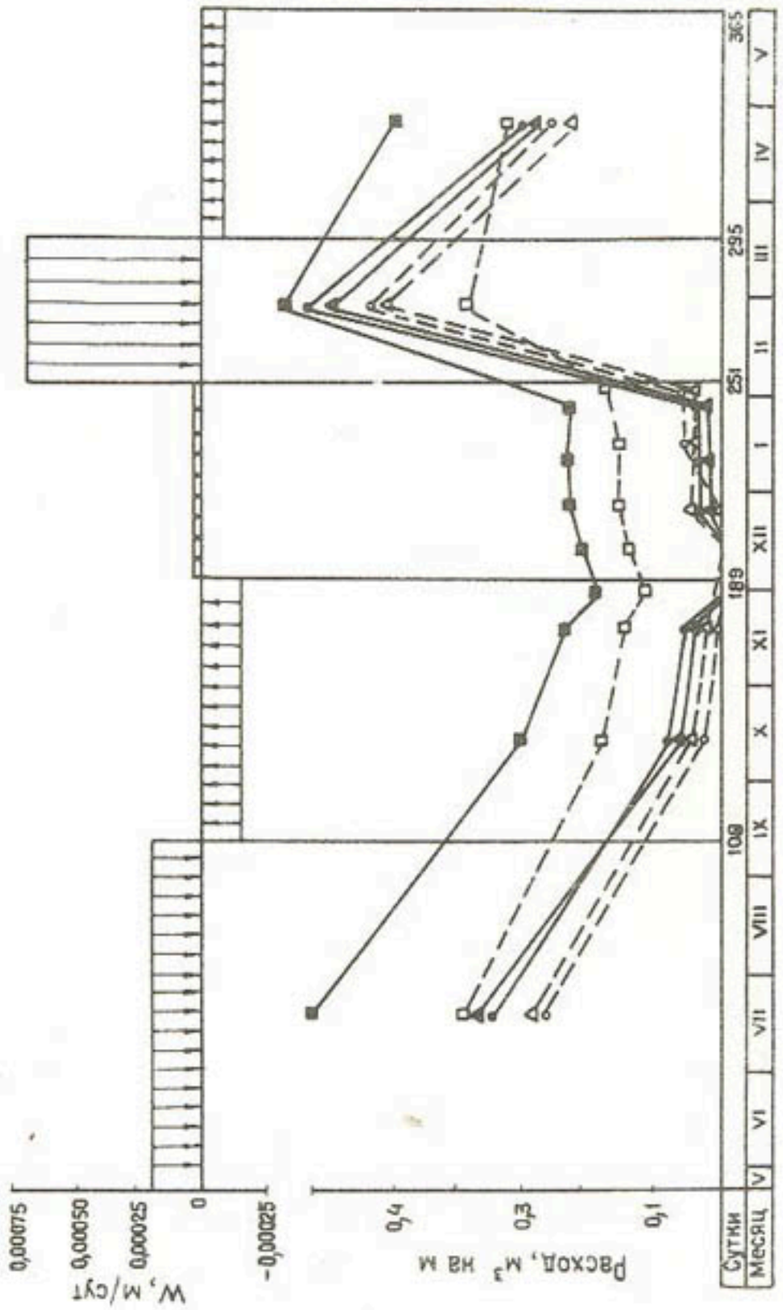


Рис.4. Динамика работы коллектора К-I (■ и □), дрен № 4 (○ и ●) и 7 (▲ и △) при двухслойном (———) и четырехслойном (– – – –) строении пласта

пласта не дают однозначного ответа. Слабопроницаемый прослой мощностью I м и с коэффициентом фильтрации 0,000I м/сут при трехслойном строении пласта показал себя водоупором, он же при четырехслойном строении, являясь разделяющим между хорошопроницаемыми слоями, уже не является им. Каждый конкретный случай будет определять действие слабопроницаемого прослоя в зависимости от его мощности, коэффициента фильтрации и расположения, оценить которое можно, используя результаты теоретических исследований раздела I и разработанных по ним компьютерных программ.

Использованная литература

I. Гольцов Ю.Я. Расчет горизонтального дренажа различного уровня заложения - Тр.ТИИИМСХ, Ташкент, I98I, вып.I2I, с.40-47.

2. Гольцов Ю.Я., Пылев Н.П., Серебренников Ф.В. Расчет параметров горизонтального дренажа. - Гидротехника и мелиорация, I985, № 6, с.44-47.

3. Насонов В.Г., Закс И.А. Регулирование уровня грунтовых вод горизонтальным дренажем в условиях расчлененного рельефа.- Науч .тр.САНИИРИ, Ташкент,I98I, вып.I66, с.74-86.

4. Лаврентьев М.М., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. - М.:Наука, I973.-736 с.

5. Лыков А.В., Иванов А.В. Конечные интегральные преобразования и их применение к решению задач теплопроводности. - В кн.: Тепло- и массообмен в процессах испарения.- М.: Изд-во АН СССР, I958.

6. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. - Киев: Наукова думка, I98I.-284 с.

7. Гольцов Ю.Я. Прогноз динамики работы дренажных устройств в период вегетации с учетом рельефа местности.- Науч .тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент,I984. -Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов, с.3-I0.

УДК 626.862.7(575.I92)
Б.Ж.Куманов
канд.техн.наук,гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

ОЦЕНКА МЕЛИОРАТИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ДРЕНАЖА НА ПЛОЩАДИ I ОЧЕРЕДИ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ КАРШИНСКОЙ СТЕПИ

Земли I очереди орошения Каршинской степи приурочены к аллювиальной, аллювиально-пролювиальной равнинам дельты р.Кашкадарьи и частично - к пролювиальной покатой и пролювиальной расчлененной равнинам. Орошаемые земли перечисленных равнин характеризуются своеобразным геофильтрационным строением:

I) аллювиальная и аллювиально-пролювиальная - однопластовым, двух- и трехпластовым многослойным и редко - двух- и многослойным беспластовым;

2) пролювиальная покатая - двухслойным с прослоями и линзами песков;

3) пролювиальная расчлененная - беспластовым, состоящим из лессов и лессовидных суглинков мощностью до 30 м и более.

В условиях такого разнообразного геофильтрационного строения для каждого геоморфологического района требуется применение определенного вида дренажа с соответствующими конструкциями, технологией строительства и режимом эксплуатации.

В вышеназванных геофильтрационных районах в пределах активной зоны влияния систематического дренажа встречаются два комплекса водоносных горизонтов: четвертичных и неоген-древнечетвертичных отложений, между которыми существует тесная гидравлическая связь. Пьезометрический уровень водоносных горизонтов неоген-древнечетвертичных отложений либо совпадает с уровнем грунтовых вод, либо превышает его на 0,2...0,5 м.

Питание грунтовых вод в сложившихся условиях происходит за счет инфильтрации с орошаемых полей и фильтрационных потерь из ирригационной сети. Подземный приток практи-

чески равен оттоку. Расход грунтовых вод идет на суммарное испарение и дренажный отток.

В зависимости от геофильтрационного строения площадей в контуре I очереди орошения Каршинской степи согласно переутвержденному проектному заданию принят систематический горизонтальный, комбинированный и вертикальный дренаж. Площади под горизонтальным дренажем составили II9,7, комбинированным - 56,62 и вертикальным - 23,68 тыс.га.

В настоящее время на основной части рассматриваемой территории построен систематический горизонтальный и вертикальный дренаж. Комбинированный дренаж, хотя его эффективность на опытно-производственных системах доказана и разработана технология строительства и методика эксплуатации, широкого производственного применения в условиях Каршинской степи не получил.

Значительная часть построенного систематического горизонтального дренажа по различным причинам не функционирует, систематический вертикальный дренаж работает с КПД 0,3...0,4. А на староорошаемых землях систематический дренаж в основном отсутствует, функционируют только магистральные, межхозяйственные и внутрихозяйственные коллекторы. Несмотря на это, в пределах площади I очереди орошения Каршинской степи сохраняется относительное мелиоративное благополучие: не наблюдается вторичного засоления на орошаемых землях, происходит постепенное опреснение грунтовых вод и вымыв солей из грунтов зоны аэрации.

Необходимо отметить, что аналогичная картина наблюдается на площади центрального массива Голодной степи. В этом случае правомерен вопрос: правильно ли запроектирован и построен систематический дренаж на вышеназванных массивах? Если правильно,то почему в условиях неудовлетворительной работы и даже при отсутствии закрытого горизонтального дренажа на орошаемых землях сохраняется мелиоративное благополучие? Видимо, при проектировании систематического дренажа согласно нормативным документам не все природные факторы могут быть учтены. Они устанавливаются только анализом результатов опытно-производственных исследований на построенных системах, которые проведены за последние 20 лет на орошаемых землях Каршинской и Голодной степей.

Данные этих исследований показали, что в методике проектирования до настоящего времени:

Научно-техническая

I) не учитывается дренирующее действие коллекторов, они рассматриваются как водоотводящие каналы;

2) расчеты дренажа выполняются по стационарному режиму фильтрации, хотя на орошаемых землях в течение года режим фильтрации грунтовых вод нестационарный;

3) применяется неоптимальная схема расположения закрытого горизонтального дренажа, не учитывающая расчлененность рельефа;

4) норма осушения принимается как постоянная величина на весь год, хотя она изменяется в больших диапазонах в течение года.

Ниже рассматриваются названные неучтенные факторы при проектировании дренажа и дается оценка влияния их на параметры дренажа.

Результаты исследований мелиоративной эффективности построенных и нормально функционирующих коллекторов и к ним подключенных дрен показывают, что основную часть нагрузки на дренаж принимают коллекторы. В табл.I приведены главные показатели систематического дренажа по некоторым целинным совхозам Каршинской степи, полученные А.В.Толстуновым.

Таблица I

Показатели коллекторно-дренажной сети по совхозам № 6,9,I0,II,2I,22

Наименование	Расход, л/с	Удельный приток, л/с.м		Дренажный модуль, л/с.га	Общий дренажный модуль, л/с.га
		на всей длине	на рабочей длине		
I	2	3	4	5	6
		Совхоз № 6			
Коллектор	I90,0	0,0036	-	0,022	0,0325
Дрена	85,2	0,000297	0,00059	0,0I0	
		Совхоз № 9			
Коллектор	342,0	0,0090	-	0,046	0,0605
Дрена	I07,0	0,00049	0,00099	0,0I45	
		Совхоз № I0			
Коллектор	530,0	0,0I69	-	0,093	0,096
Дрена	I7,2	0,000I87	0,000354	0,003	

I	2	3	4	5	6
		Совхоз № II			
Коллектор	432,0	0,00987	-	0,056	0,0758
Дрена	I53,5	0,000435	0,000636	0,0I95	
		Совхоз № 2I			
Коллектор	745,0	0,025	-	0,099	0,II37
Дрена	II0,0	0,00087	0,00I23	0,0I48	
		Совхоз № 22			
Коллектор	554,0	0,0II7	-	0,0778	0,0792
Дрена	I0,0	0,000495	0,00I68	0,00I4	

Из нее видно, что при совместной работе коллекторов и дрен дренажный модуль коллекторов в зависимости от геофильтрационного строения орошаемых территорий превышает в 2...30 раз дренажный модуль дрен. Основная часть расхода дрен приходится лишь на вегетационный период. Максимальные расходы дрен наблюдаются в августе. В невегетационный период дрены не работают или работают с незначительным расходом. Такая картина особенно отчетливо проявляется на площадях, где фильтрационная схема представлена одно- и двухпластовым строением, а внутрихозяйственные коллекторы вскрывают пласт песков. В этих условиях при совместной работе дрен и коллекторов дрены работают только в период высокого положения грунтовых вод, т.е. при поливах, а остальное время - дрены сухие. Следовательно, в таких случаях необходимость в дренах отпадает, так как одни коллекторы справляются с нагрузкой на дренаж. Например, такая картина наблюдалась на опытно-производственном участке в совхозе "Пахтакор",где построенные дрены через 300...400 м работали с небольшими расходами в начале вегетационных поливов. Основная часть грунтовых вод, формирующихся за счет инфильтрации поливных вод, дренируется в августе-сентябре (рис.I). С ноября по март, в связи с глубоким залеганием грунтовых вод,дрены сухие. Это объясняется тем, что в результате дренажного действия коллекторов грунтовые воды в зимний период (декабрь-февраль) залегают ниже уровня заложения дрен.

В совхозе "Ленин Юлы",где геофильтрационное строение представлено однопластовой двухслойной системой с мощностью покровных отложений I0...20м, коллекторы, заложенные через I...2 км, в настоящее время обеспечивают мелиоративное благополучие земель

без закрытого горизонтального дренажа. Под влиянием только коллекторов уровень грунтовых вод, поднявшийся за вегетационный период, полностью снижается до ноября-декабря (рис.2). При этом дренажный модуль коллекторов составляет 0,07...0,I7л/с.га.

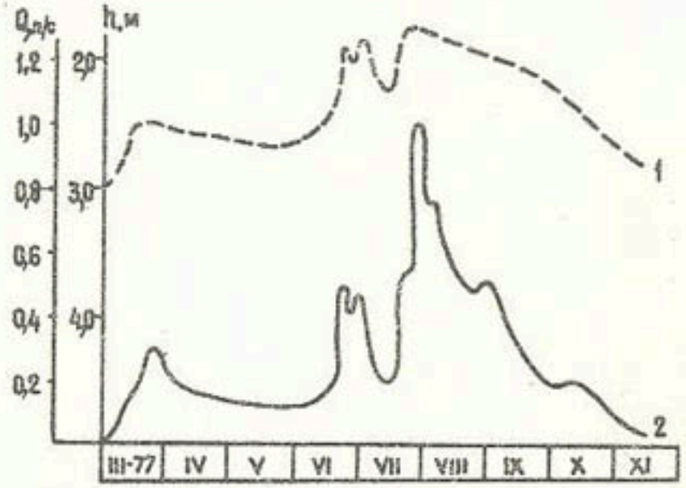


Рис.I. Режим уровня грунтовых вод и расхода дрены Д-9;
I-УГВ; 2- расход

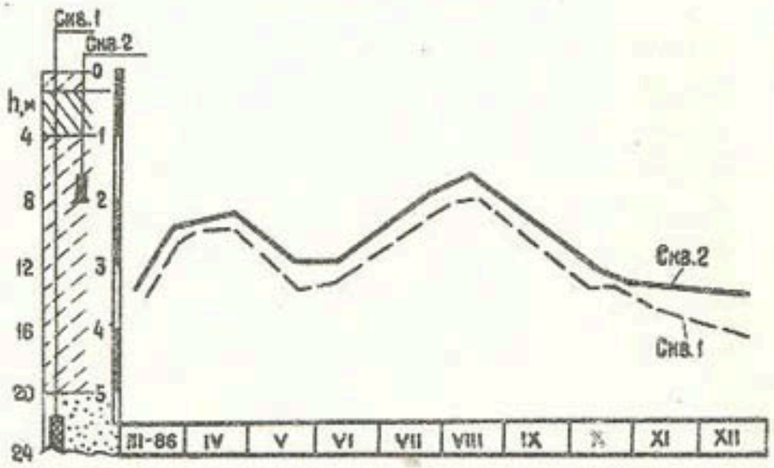


Рис.2. Режим уровня грунтовых вод орошаемых земель

Необходимо отметить, что для эксплуатационного периода среднее значение проектного модуля дренажа земель I очереди Каршинской степи 0,I5 л/с.га, а фактически наблюдаемый в настоящее время общий модуль дренажа (коллекторов, дрен и скважин вертикального дренажа) для всей этой площади составляет: для валовой площади-0,I3 л/с.га; площади нетто-0,I6 л/с.га (табл.I).

По отдельным целинным совхозам(№ 6,9,I0,II,2I,22)общий модуль дренажа (коллекторы и дрены) за I977-I978 гг.составил 0,0325 ...0,II37 л/с.га. Несмотря на то, что фактически наблюдаемый общий модуль дренажа в рассматриваемых совхозах ниже проектного, на орошаемых землях этих хозяйств в тот период поддерживалось мелиоративное благополучие. Это в условиях, когда на данной территории дренажная сеть еще не полностью построена и значительная часть имеющегося дренажа по различным причинам не работает.

В настоящее время доля дренажного стока от водоподачи составляет 25...30% (табл.2). Дополнительные мероприятия по переустройству коллекторно-дренажной сети в будущем могут привести к увеличению доли дренажного стока. Отсюда вывод: модуль дренажа, заложенный в проекте, завышен и мощность систематического дренажа I очереди орошения Каршинской степи предусмотрена с большим запасом. Поэтому в будущем в проектных проработках необходимо пересмотреть мощность дренажа с учетом дренирующей способности коллекторов.

В пересоставленном проектном задании расчеты параметров дренажа для земель Каршинской степи, как и для других массивов, выполнены по стационарному режиму фильтрации. При этом за действующий напор принята разница напоров между глубиной заложения дрены и нормой осушения, равной 2,4...2,6м. Если глубина заложения дрен 3,20 м, то величина действующего напора составляет 0,6...0,8 м. Фактически на орошаемых землях в период вегетации в связи с высоким положением грунтовых вод значение действующего напора резко возрастает. В вегетационный период уровень грунтовых вод может находиться на глубине I...I,5 м и величина действующего напора составит I,7...2,2 м. При таких напорах расходы дрен и коллекторов соответственно возрастут. В этот период основное количество инфильтрационных вод дренируется в коллекторы и дрены (рис. I...5), а также резко возрастет зона влияния дренажных сооружений. Поэтому расчет дренажа по установившемуся режиму фильтрации приводит к увеличению густоты горизонтального дренажа. Допустим, что расходы дрен, коллекторов и скважин-усилителей зависят от действующего напора, т.е.от положения уровня грунтовых вод относительно глубины заложения дренажных сооружений. При этом зависимость расхода от действующего напора является параболической, а не

Таблица 2

Водоподача и дренажный сток с земель
I очереди орошения Каршинской степи, $м^3/га$

Наименование	По месяцам						Средне-месячное значение	За год
	XI	I	III	У	УП	IX		
	XII	II	IУ	УI	УШ	X		
Удельный водозабор с I га валовой площади	378,93	353,49	I393,36	799,44	2247,4I	I835,74	I06,58	I2822,9I
	232,49	437,I7	803,9I	I693,35	2203,90	444,72		
Удельный водозабор с I га площади нетто	478,52	446,40	I759,57	I009,55	2838,00	23I8,2I	I349,50	I6I94,I6
	293,59	552,00	I0I5,I9	2I38,40	2783,I3	56I,60		
Дренажный сток с I га валовой площади	2I4,95	I90,75	397,82	463,62	424,06	467,75	343,70	4I24,3I
	I66,76	I83,7I	45I,70	370,77	47I,96	320,96		
Дренажный сток с I га площади нетто	27I,44	240,88	502,37	585,47	535,5I	590,68	433,9I	5206,98
	2I0,59	232,00	570,48	468,22	594,47	404,68		

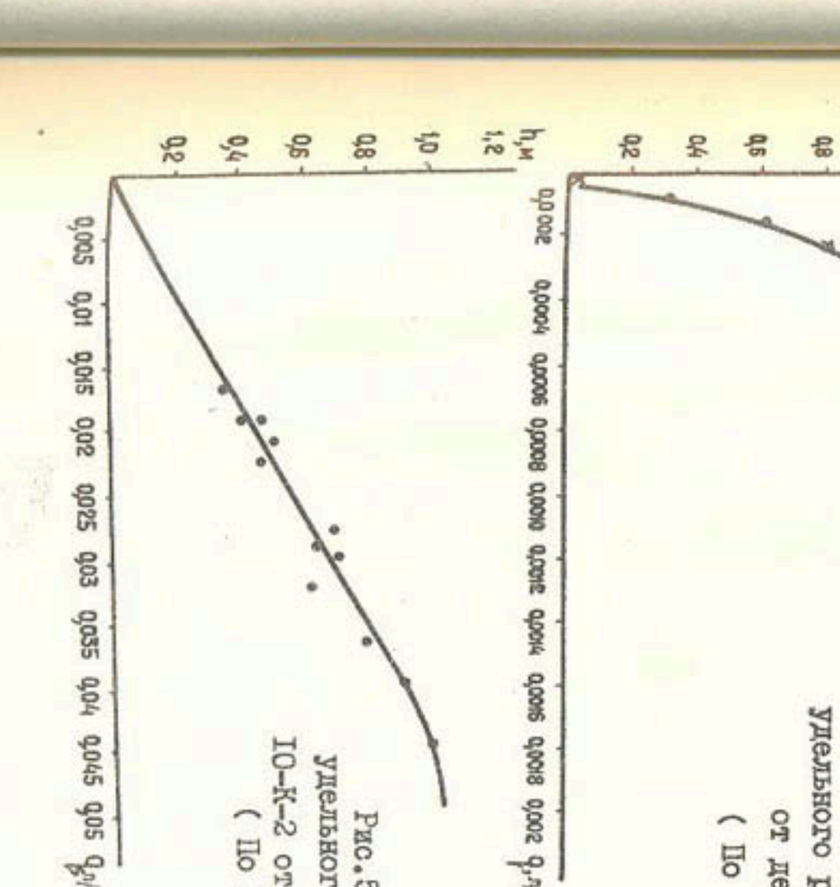


Рис.3. Графики зависимости расхода (Q) от действующего напора (h)

Рис.4. График зависимости удельного расхода дрены Д-267 от действующего напора (По А.В.Толстунову)

Рис.5. График зависимости удельного расхода коллектора IO-К-2 от действующего напора (По А.В.Толстунову)

прямой, выражающейся формулой

$$y = \pm 2x^{1/2} \quad (1) \qquad \text{или} \qquad x = \frac{1}{4}y^2. \quad (2)$$

Для нашего случая $q = \frac{1}{4}h^2$, (3)

где q - расход дрен, $м^3$/сут; h - действующий напор, м.

Как видно из формулы (3), принимаемое постоянное значение действующего напора h за основу расчета параметров дренажа не соответствует действительности, наблюдаемой на орошаемых землях (рис.3,4). Есть и другое предложение по этому вопросу: в расчетах принимать средневегетационное значение действующего напора.

Такой способ тоже не отражает истинную картину работы дренажа и может быть применен только для приближенных расчетов расстояний между коллекторами и скважинами-усилителями, у которых зависимость расхода от действующего напора до определенной величины представляет прямую линию (рис.5,6).

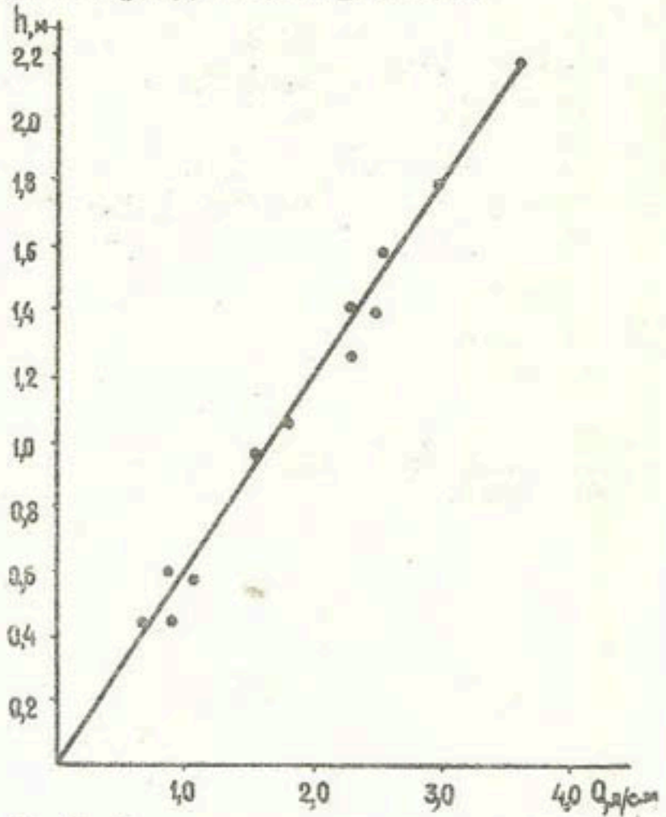


Рис.6. График зависимости расхода скважины-усилителя $Д_у$-I от действующего напора (По А.В.Толстунову)

До настоящего времени в практике проектирования применяется схема расположения дрен по потоку грунтовых вод, направленному в сторону коллектора, хотя ее нецелесообразность доказана результатами натурных исследований [1].

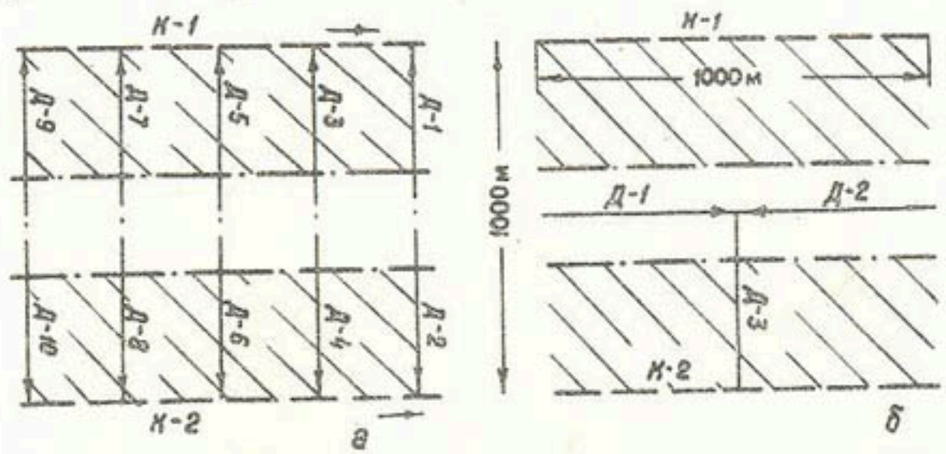


Рис.7. Схемы расположения систематического дренажа: а - применяемая; б - рекомендуемая; ▨ - зона, дренируемая коллектором

На рис.7 приведены схемы расположения закрытых горизонтальных дрен на равнинной местности с однопластовым двухслойным строением с покровными отложениями мощностью 6м, применяемая в практике проектирования и рекомендуемая. Как видно из рисунка, эффективность от применения рекомендуемой схемы огромная. В этом случае полностью учитывается дренирующее действие коллекторов и в итоге в несколько раз сокращается общая протяженность закрытых дрен.

В данное время границы освоения целинных земель вышли за пределы аллювиальных равнин и постоянно переходят на пролювиальные волнистые равнины и предгорья, где орошаемые земли приурочены к расчлененному в различной степени рельефу. Расчлененностью рельефа в условиях близкого залегания грунтовых вод формируется своеобразный режим фильтрации, что потребует особого подхода при расчете и расположении дренажа по отношению к элементам расчлененного рельефа. На рис.8 приведены графики положения уровня грунтовых вод в разные периоды года на орошаемой расчлененной местности, из которых видно, какая часть элемента дренирована, т.е. где грунтовые воды залегают глубже 2,6м и не требуется дренаж, а на какой части грунтовые воды в течение года не снижаются,

залегают на глубине 2...2,5 м и где необходим усиленный дренаж. В проектах же не учитываются эти особенности режима формирования грунтовых вод и дрены закладываются по уклону. Следовало бы при любых параметрах дренажа закрытые дрены закладывать поперек уклона, чем можно увеличить эффективность дрен и сократить их протяженность.

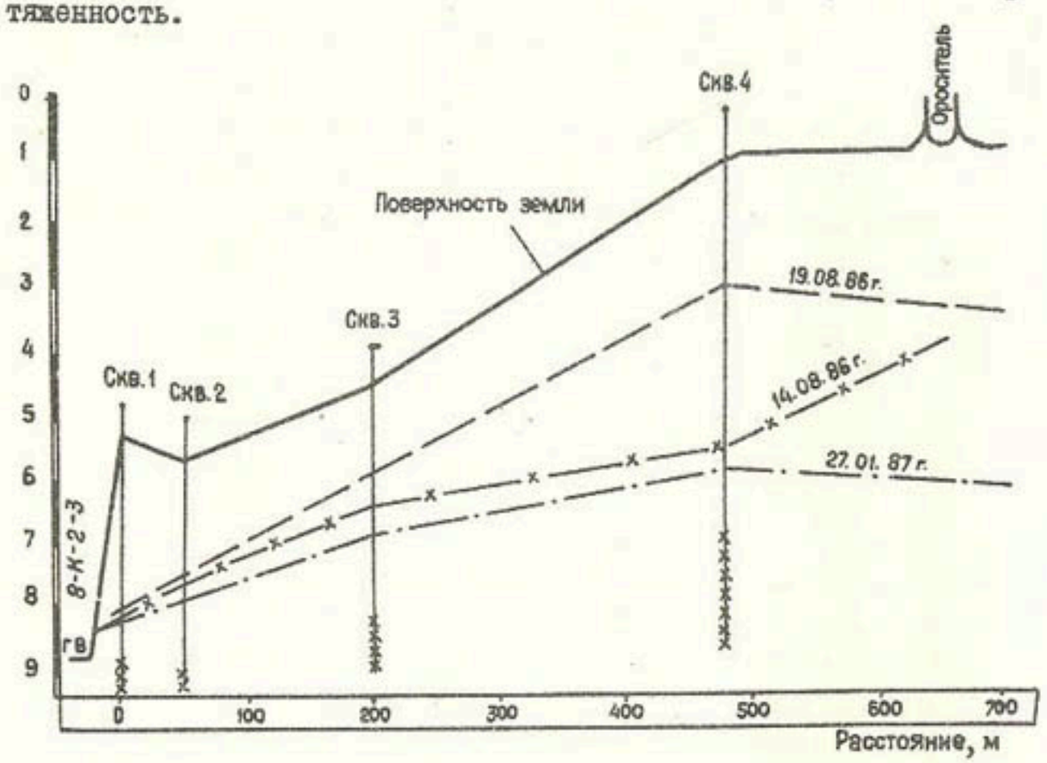


Рис.8. Положение УГВ в различные периоды года на орошаемой расчлененной местности

Результаты двухлетних исследований, проведенных в совхозе № 8, подтверждают вышесказанное.

В условиях аллювиальных и аллювиально-пролювиальных равнин со слоистым строением разреза с песчаными пластами, залегающими на глубине 10...20м, самым эффективным видом дренажа является комбинированный, представляющий собой коллекторы со скважинами-усилителями. Методика расчета комбинированного дренажа приведена в нормативных документах [2]. В табл.3 помещены результаты расчета горизонтального и комбинированного дренажа для различных геофильтрационных условий.

При большой мощности покровных отложений, как правило, проектируется систематический дренаж и вся нагрузка рассчитывается на закрытый горизонтальный дренаж, что приводит к увеличению мощности дренажа. В последующем, при эксплуатации, по различным причинам большая часть дрен выходит из строя. На их месте в результате смыва поливными водами образуются глубокие промоины и небольшие овраги, в связи с чем значительная часть орошаемых земель выходит из оборота, закрытые дрены перестают работать, а коллекторы заиливаются. В итоге водопонизительная способность систематического горизонтального дренажа резко снижается.

Во избежание таких нежелательных последствий предлагается более удобный в эксплуатации и экономичный в строительстве вариант систематического дренажа для вышеприведенных геофильтрационных схем - коллектор со скважинами-усилителями вместо систематического горизонтального дренажа. Преимущества предлагаемого варианта в следующем:

1) отпадает необходимость строительства дрен на полях;

2) исключаются ежегодные затраты на восстановление и чистку дрен;

3) не потребуется отчуждение земель под их строительство;

4) намного сократятся затраты на строительство дренажа;

5) строительство и восстановление скважин-усилителей можно производить в любое время года.

В табл.3 приведены результаты расчета параметров по видам дренажа для однопластовой двухслойной геофильтрационной схемы при шаге скважин-усилителей 100м. Из таблицы видно, что во всех случаях расстояние между коллекторами с усилителями составляет около 1000м, а экономическая эффективность от замены закрытых горизонтальных дрен с усилителями и без усилителей представлена в табл.4.

Из вышеизложенного можно сделать выводы:

1. Общий модуль дренажа на площади I очереди орошения Каршинской степи в настоящее время близок к проектному, хотя весь объем дренажа, предусмотренный проектом, еще не построен и значительная часть построенного систематического дренажа не работает. Следовательно, мощность дренажа в проекте принята с большим запасом по следующим причинам:

- при проектировании систематического дренажа не учитывается дренирующее действие коллекторов, несмотря на то, что в составе систематического дренажа они выполняют основную функцию;

Таблица 3

Расчет параметров разных видов дренажных сооружений

Геофильтрационная схема	Мощность покровных отложений (m_1), м	Мощность пласта песков (m_2), м	Коэффициент фильтрации покровных отложений (K_1), м/сут	Коэффициент фильтрации песков (K_2), м/сут	Вид дренажного сооружения	Глубина заложения дренажа, м	Нагрузка на дренаж (W), м/сут	Междренное расстояние, м
Однопластовая двухслойная	4	5	0,4	I5	Дрена	3,20	0,00I	233
"	4	5	0,4	I5	Коллектор	4,50	0,00I	7I0
"	I0	5	0,4	I5	Дрена	3,20	0,00I	I92
"	I0	5	0,4	I5	Коллектор	4,50	0,00I	622
"	I0	5	0,4	I5	Коллектор с усилителями	I5,00	0,00I	980
"	I5	5	0,4	I5	Дрена	3,20	0,00I	I80
"	I5	5	0,4	I5	Коллектор	4,50	0,00I	592
"	I5	5	0,4	I5	Коллектор с усилителями	20,0	0,00I	990
"	20	5	0,4	I5	Дрена	3,20	0,00I	I74
"	20	5	0,4	I5	Коллектор	4,50	0,00I	577
"	20	5	0,4	I5	Коллектор с усилителями	25,00	0,00I	998

Таблица 4

Расчет экономической эффективности разных видов дренажных сооружений

Геофильтрационная схема	Мощность покровного слоя, м	Мощность пласта песков, м	Коэффициент фильтрации покровных отложений, м/сут	Коэффициент фильтрации песков, м/сут	Вид дренажного сооружения	Кол-во дренажа на I00га	Стоимость единицы дренажа, руб.	Стоимость дренажа на I00га, руб.
Однопластовая двухслойная	I0	5	0,4	I5	Горизонтальный закрытый	4000м	I8,I	72400
"	I0	5	0,4	I5	Комбинированный	I500м I5 скв.	I8,I 55I	35415
"	I0	5	0,4	I5	Коллекторы со скважинами-усилителями	I0 скв.	55I	55I0
"	I5	5	0,4	I5	Горизонтальный закрытый	4800 м	I8,I	86880
"	I5	5	0,4	I5	Комбинированный	2000 м 20 скв.	I8,I 55I	47220
"	I5	5	0,4	I5	Коллекторы со скважинами -усилителями	I0 скв.	55I	55I0
"	20	5	0,4	I5	Горизонтальный закрытый	4800м	I8,I	86880
"	20	5	0,4	I5	Комбинированный	2000 м 20 скв.	I8,I 700	50200
"	20	5	0,4	I5	Коллекторы со скважинами-усилителями	I0	700	7000

- расчет параметров дренажа выполняется по стационарному режиму фильтрации грунтовых вод,хотя в течение года режим их фильтрации на орошаемых территориях нестационарный;

- не учитывается расчлененность рельефа при расчете параметров систематического дренажа;

- применяется нерациональная схема расположения закрытых горизонтальных дрен.

2. Необходимо разработать методику расчета параметров дренажа, учитывающую нестационарность режима фильтрации грунтовых вод на орошаемых массивах в течение года.

3. На расчлененной местности расчеты параметров дренажа необходимо выполнить с учетом естественной дренированности грунтовых вод, вызванной рельефом местности орошаемых территорий. При этом расчеты дренажа должны быть увязаны со схемой расположения дренажных сооружений. Закрытые горизонтальные дрены эффективнее располагать поперек потока грунтовых вод, направленного по уклону местности.

4. В слоистых системах аллювиальных равнин со сравнительно неглубоким залеганием песчаных пластов (I0...20 м) для мелиорации орошаемых земель нет необходимости в применении закрытого горизонтального и вертикального дренажа. Систематический закрытый горизонтальный дренаж должен применяться как вынужденная мера в беспластовых системах, а вертикальный - для защиты поселков и городов от подтопления грунтовыми водами. Для орошаемых территорий достаточно применение коллекторов со скважинами-усилителями с шагом 50...I00м, расположенными вдоль коллекторов и подключенными к ним. Расстояние между коллекторами около I000м. Переход от систематического горизонтального дренажа к коллекторам со скважинами-усилителями позволит получить значительную экономию средств.

Использованная литература

I.Нейман Б.Я. Об оптимальном размещении закрытых дрен на массивах новоосваиваемых земель Узбекистана.-Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент,1983. Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем, с.II9-I23.

2.СССР.Минводхоз. Мелиоративные системы и сооружения.Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования. ВСН 33-2.2.03-86. Введено 0I.0I.87.-М.,I986.-I54с.

УДК 626.862:556.36(575.I72)

Б.Я.Нейман, канд.геол.-минерал. наук, гл.геолог отд. (Средазгипроводхлопок)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДРЕНАЖУ ЗЕМЕЛЬ КЫРККЫЗСКОГО МАССИВА ККАССР

Кырккызский массив площадью около 34 тыс.га расположен на слаборасчлененной равнине в краевой части древней дельты Амударьи,примыкающей к песчаной пустыне Кызылкум. Общий уклон поверхности земли с востока на запад составляет в среднем 0,00013, увеличиваясь на отдельных участках до 0,0003, а местами на площади в несколько тысяч гектаров уклон отсутствует. Равнина имеет четко выраженное двухслойное строение: покровный слой -глинистые грунты мощностью от I до I0м, редко более,подстилаются песками мелкозернистыми мощностью от 5 до 20м,залегающими на дочетвертичных практически водоупорных породах - песчаниках, глинах. Кое-где покровный слой отсутствует,с поверхности залегают пески, подверженные ветровой эрозии.

В покровном слое распространены преимущественно слабопроницаемые слоистые грунты(суглинки и глины)с коэффициентом фильтрации $K_ф$=0,I...0,005 м/сут. Пески характеризуются значениями $K_ф$=5...I5 м/сут и проводимости Т=50...300, редко менее 50м^2/сут.

Грунтовые воды повсеместно соленые, сульфатно-хлоридные. До орошения земель (в I974 г.)они залегали на глубине более I0 м.

Отмеченные условия предопределили практическую бесстоточность массива и крайне неблагоприятную обстановку для развития поливного земледелия. В проекте,составленном Средазгипроводхлопком в I974 г., намечалось обеспечить мелиоративное благополучие земель системой дренажа, рассчитанной на полную сработку инфильтрационного питания грунтовых вод оросительной водой и предотвращение подъема их уровня выше критической глубины (≈2,5м).На территории массива запроектирован систематический дренаж двух типов: I) горизонтальный, преимущественно закрытый, и комбинированный - коллекторы,дрены (местами глухие трубопроводы) с подключаемыми к ним через 50...I00 м скважинами-усилителями пере-

текания (в совхозах № I, частично № 2 и 6 на площади около 9 тыс.га; 2)вертикальный - скважины глубиной до 50 м, откачивающие воду в специальные водоотводы (в совхозах № 3...5, частично № 2 и 6 на площади около 20 тыс.га).

Орошение земель началось в 1974 г. За прошедшие годы почти полностью освоены земли совхозов № I...4.В настоящее время завершается строительство оросительной системы в совхозе № 6.

При строительстве имели место серьезные упущения. Не была выдержана необходимая очередность строительства. Намечалось построить вначале водосборно-сбросные тракты (ВСТ-I,ВСТ-2) и основные открытые коллекторы с насосными станциями для перекачки воды в Аязкалинский отводящий канал, затем дренажную сеть (включая скважины) и в последнюю очередь оросительную сеть.

Вопреки этому при необеспеченном отводе дренажно-сбросных вод за пределы массива началось быстрое освоение земель из временной оросительной сети. В результате в местных понижениях образовались многочисленные озера, заполненные сбросной водой.

Обильное (до 5000 $м^3$/га в год) инфильтрационное питание грунтовых вод при избыточной водоподаче вызвало быстрый подъем их уровня и последующее развитие процессов вторичного засоления земель.

В обводненных грунтах осложнилось строительство дренажа: в песках проявились плывунные свойства,а супесчано-суглинистые грунты приобрели пластичную и текучую консистенцию. При отсутствии магистральных водоотводов и поднявшемся до глубины I...2 м уровне грунтовых вод строительство коллекторов и дрен проектной глубиной 3...5 м значительно осложнилось,а дренажное действие, предусмотренное проектом, стало невозможным. В итоге не были построены и скважины-усилители перетекания.

При строительстве скважин вертикального дренажа не удалось применить предусмотренное проектом бурение с обратной промывкой, исключающее кольматацию песков водоносного горизонта. Технология строительства скважин с прямой промывкой несовершенна. На сегодня нет достаточно надежной конструкции скважин и технологии их строительства,гарантирующих длительный и устойчивый водоотбор погружными насосами с коэффициентом полезной работы, близким к проектному. Все это привело к тому, что освоенные без дренажа земли интенсивно засоляются и выходят из сельхозоборота.

Из изложенного видно,что в сложившейся обстановке не удастся в ближайшие несколько лет построить запроектированную систему дренажа и обеспечить ее надежную эксплуатацию. Поэтому возникла необходимость исследований и разработки других возможных решений по дренажу земель. Ниже предлагается одно из таких решений. Оно, по мнению автора работы, обеспечит дренированность массива и мелиоративное благополучие орошаемых земель при наименьших затратах времени и средств.

Рассмотрим рекомендуемую систему дренажа.

На всем массиве площадью 34 тыс.га предлагается применить систему открытого горизонтального дренажа, включающую:

I) межхозяйственные и внутрихозяйственные коллекторы-сбросы глубиной от 4 до 6 м с самотечным отводом или с машинной перекачкой воды в водосборно-сбросные тракты ВСТ-I и ВСТ-2,строительство которых в настоящее время завершается;

2) самотечные открытые дрены глубиной от 2 до 4 м,впадающие в эти коллекторы, с искусственными разгрузочными "окнами" в дне дрен, где необходимо.

Открытые коллекторы-сбросы намечаются разместить только в тяжелых грунтах- глинах и суглинках, обладающих твердой и полутвердой консистенцией в водонасыщенном состоянии, что обеспечит устойчивость откосов и дна их при строительстве и эксплуатации. Места размещения коллекторов рекомендуется выбирать на основе специально составленной карты мощности покровных отложений (рис.I).

Самотечные открытые дрены, исходя из гесфильтрационного строения мелиорируемых частей массива,предлагаются двух типов (рис.2):

I тип - открытые дрены глубиной 2...3м;

II тип - открытые дрены глубиной 3,5 м, усиленные разгрузочными "окнами", вскрывающими пески в дне дрен.

I тип дрен рекомендуется применить на территории с двухслойным строением при мощности покровного слоя до 3 м, т.е. когда дном дрен почти повсеместно будут вскрыты пески нижнего слоя, что определит максимально возможное водопонизительное действие дрен.

II тип дрен предлагается применить в условиях двухслойного строения, когда мощность покровного слоя превышает 3,5 м, т.е.

когда дрены зависают в покровном слое и, следовательно, обладают минимальным водопонизительным действием. Этот тип дрен намечается повсеместно усилить разгрузочными "окнами" в подстилающий песчаный слой.

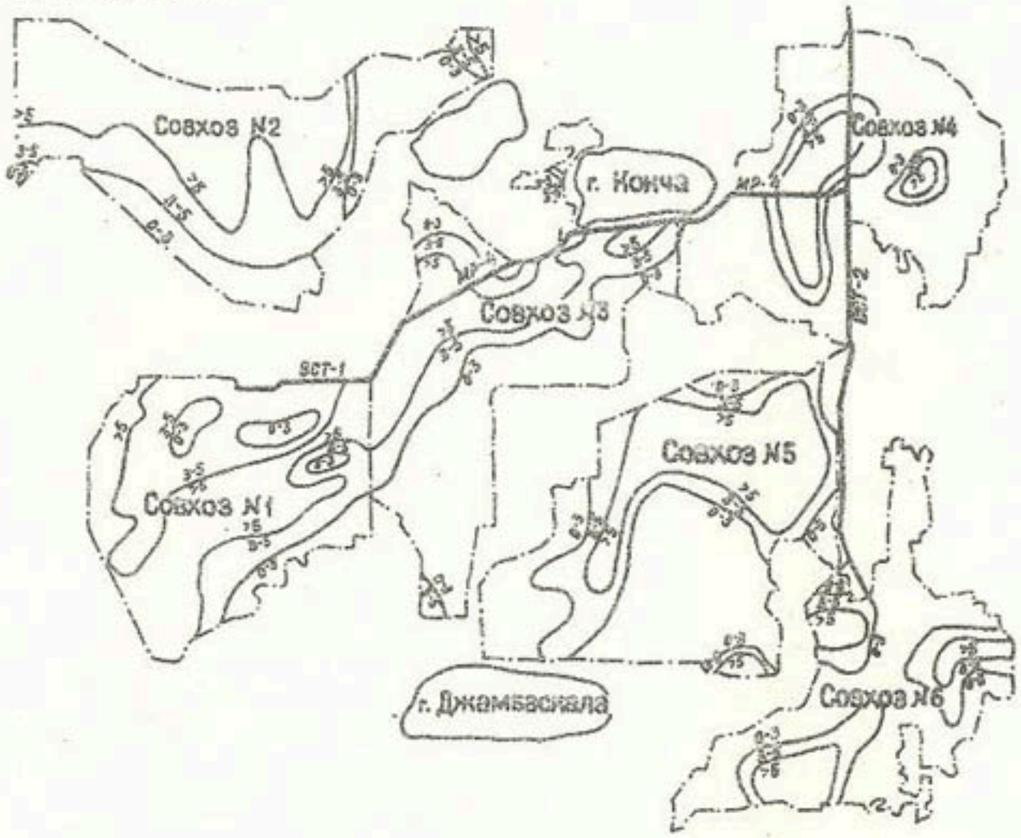


Рис.I. Карта мощности покровных отложений: 0–3 – от 0 до 3м; 3–5 – от 3 до 5 м; >5 – более 5 м

Конструкция "окон" простейшая:

– при мощности покровного слоя до 7м – щели в дне дрен произвольной формы площадью в несколько квадратных метров, откапываемые экскаватором с небольшими (0,2...0,5 м) переборами, которые затем заполняются до уровня дна дрены галечно-гравийным или щебенистым природным грунтом;

– при мощности покрова более 7 м – круглые отверстия диаметром около I м, устраиваемые заблаговременно путем бурения скважин по трассам дрен с заданным шагом и заглубляемые в песок на 0,5...Iм. Нижняя часть их (до 3 м) засыпается фильтрующим грун-

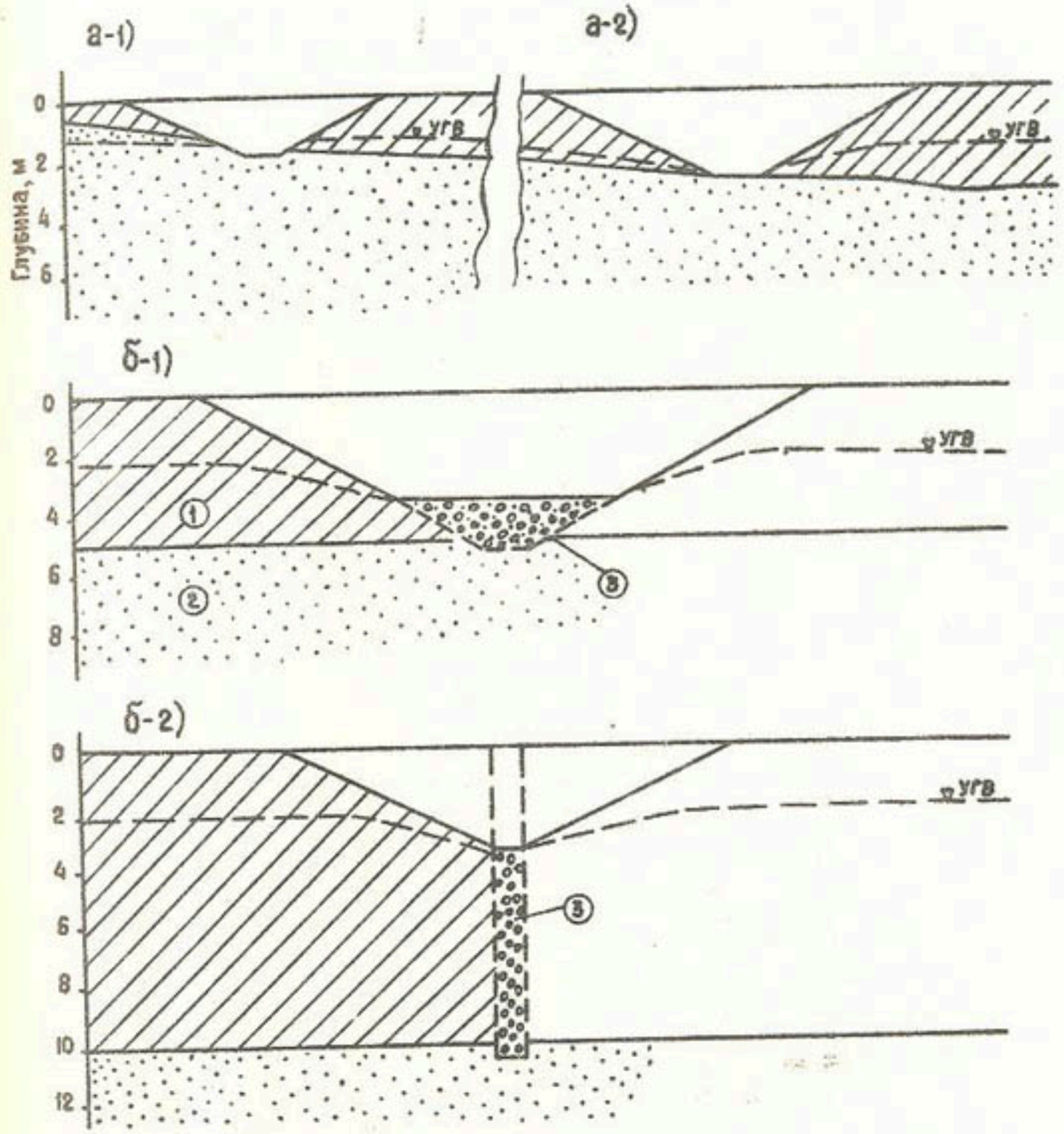


Рис.2. Схемы предлагаемых типов дренажа: а–I) – I тип, дрены глубиной 2 м, критическая глубина УГВ I,5м; а–2) – I тип, дрены глубиной 3м, критическая глубина УГВ 2...2,5м; б–I) – II тип, дрены с разгрузочными "окнами" в виде щелей; б–2)– II тип, дрены с разгрузочными "окнами" в виде круглых отверстий; ① – глинистые грунты, ②– пески, ③ – галечно-гравийные и щебенистые грунты

том (рис.2).

На основе карты районирования территории массива по мощности покровного слоя глинистых грунтов (рис.I) подсчитаны площади применения каждой схемы (табл.I).

Таблица I

Распределение площадей в совхозах по мощности покровных глинистых грунтов

№ совхоза	Площадь, га	В том числе при мощности покрова,м		
		0...3	3...7	более 7
I	5675	I025	3I00	I550
2	5250	I600	I650	2000
3	4925	2575	I600	750
4	5050	3975	750	325
5	6500	3475	I350	I675
6	4350	2800	975	575
Всего, га	3I750	I5450	9425	6875
%	I00	48	30	22

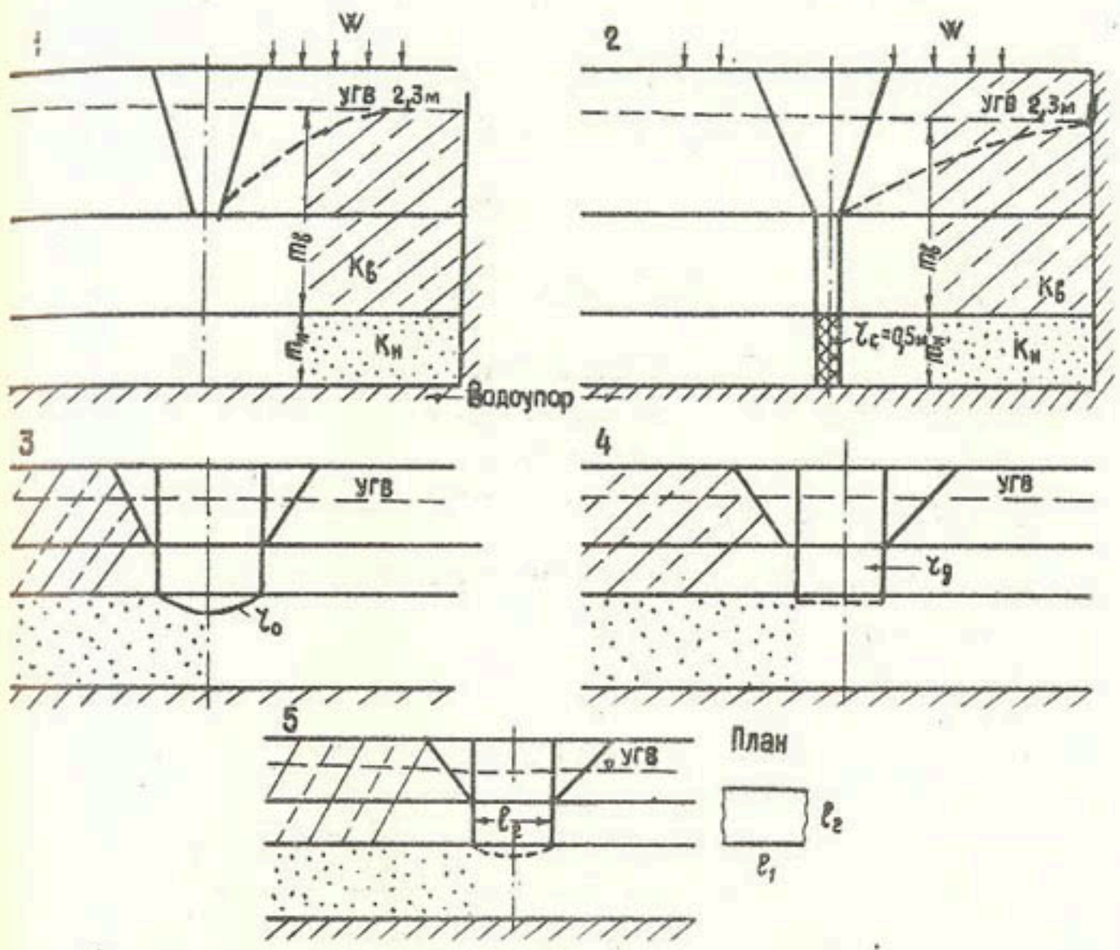
Как видно, общая площадь возможного применения I типа дрен на массиве составляет I5450 га, или 48% от общей площади, а II типа дрен – I6300 га, или 52%, в том числе с разгрузочными "окнами" в виде щелей 9425 га (30%), в виде круглых отверстий 6875 га (22%). Рассмотрим отдельно параметры предлагаемых двух типов дренажа.

Расчеты параметров рекомендуемой дренажной системы II типа выполнены по известным формулам В.М.Шестакова для пяти расчетных схем (рис.3):

I – открытая дрена глубиной 3,5 м, зависающая в покровном слое (для общего сравнения с разгрузочными "окнами");

2 – висячая открытая дрена глубиной 3,5 м, как в схеме I, с усилителями перетекания в виде совершенных скважин, полностью вскрывающих песчаный слой (как принято в проектах совхозов № I, 2,6);

3,4,5 – висячая открытая дрена глубиной 3,5м (как в схеме I) с разгрузочными "окнами" в виде полусферы (схема 3), круга (схема 4) и щели (схема 5) в дне дрены.



Формулы для расчета междренных расстояний:

для схемы 1 – „глухой":

$$L_{нg} = 0{,}73 \frac{K_н}{K_б} m_б \cdot \ell_g \frac{8 m_б^\circ}{\pi d}$$

$$L = 4\left[\sqrt{L_{нd}^2 + \frac{T \cdot H^\circ}{2W}} - L_{нd}\right]$$

для схемы 1 – при вскрытии нижнего слоя:

$$L_{нg} = 0{,}73\, m_н \cdot \ell_g \frac{2 m_н}{\pi d}$$

$$T = K_н\, m_н + K_б\, m_б\,; \quad H^\circ = H_1^\circ - \frac{W}{K_б} m_б^\circ\,;$$

для схемы 2: $L_{кd} = \frac{L_{нd} \cdot L_c}{L_{нd} + L_c}$; $L_c = \sigma \cdot f_к$;

$$f_к = 0{,}366\, \ell_g \frac{\sigma}{\pi d c} \qquad L = 4\left[\sqrt{L_{кd}^2 + \frac{T \cdot H^\circ}{2W}} - L_{кd}\right];$$

для схем 3, 4, 5:

$$L_{нd}^\circ = \frac{\sigma}{2\pi}\left[\frac{m_н}{T^\circ} 0{,}58 - \ell_n \frac{8\pi \cdot m_н}{\sigma}\right]; \quad L = 4\left[\sqrt{L_{нd}^2 \frac{TH^\circ}{2W}} - L_{нd}\right];$$

для схемы 4:

$$\gamma_o = \frac{2}{\pi} \gamma_g\,;$$

для схемы 5:

$$\gamma_o = \alpha(\ell_1 + \ell_2)\,; \quad \alpha = 0{,}29$$

Рис.3. Расчетные схемы

Исходные данные для всех схем расчета дрен II типа приняты следующие:

$W = I,5xI0^{-3}$ м^3/сут.м^2 (наибольшая возможная величина инфильтрационного питания грунтовых вод при избыточной водоподаче);

$H_I^o = I,I8$ м (при наибольшей норме осушения 2,3 м и глубине дрен 3,5 м);

$K_в = 0,05$ м/сут (среднее минимальное значение для тяжелых глинистых грунтов);

$K_н = 8$ м/сут (среднее минимальное значение, полученное по данным кустовых откачек из песков дренажного слоя);

$m_н = 5$ м (минимальное значение);

$r_d = 0,5$; $r_o = 0,5$ м (скважины роторного бурения диаметром I020 мм);

$l_1 = I$ м, $l_2 = 3$ м (щель в дне коллектора или дрены длиной 3 м, шириной I м);

$\alpha = 0,30$.

Междренные расстояния (м) при различных мощностях покровного слоя ($m_в^o$,м) по расчетным схемам приведены в табл.2

Таблица 2

$m_в^o$,м	Междренные расстояния (м) по расчетным схемам				
	I висячая	2	3	4	5
5	I28	607	3I0	2I9	492
7	67	587	296	208	474
I0	36	557	275	I92	447
I5	I7	506	238	I64	399

Как видно из таблицы, дренажное действие разгрузочных "окон" мало отличается от более сложных по конструкции и дорогостоящих совершенных скважин-усилителей перетекания.

Устройство таких "окон", вскрывающих пески в дне коллекторов и дрен через 50м (без заглубления в пески, вызывающего заплывание обводненных выемок), значительно сокращает густоту горизонтальных дрен. Надежность эксплуатации предлагаемой системы дренажа не вызывает сомнения, так как восходящие токи воды из "окна" в дрену полностью исключат возможность ее заиливания. Автор работы многократно наблюдал, как такие "окна" в выемках

коллекторов, вскрывающих среди глинистых грунтов линзы песков, являются основными очагами устойчивого притока грунтовых вод.

Предлагаемый I тип дренажа—открытые дрены глубиной 2...3м, вскрывающие дном пески, рассмотрим подробнее.

Из табл.I видно, что на половине площади совхозов Киркизского массива мощность покровного слоя глинистых грунтов не превышает 3 м. На большей части этой территории грунтовые воды в настоящее время залегают на глубине до 2 м (43%) и 2...3 м (I8%), что определяет вышеотмеченные трудности при строительстве дренажа проектной глубиной около 3,5 м, обеспечивающего заданную критическую глубину грунтовых вод 2...2,5 м в проектном режиме орошения, который определен действующим в институте "Средазгипроводхлопок" нормативом (табл.3). Оросительные нормы, рассчитанные по этому нормативу, заложены во всех проектах освоения целинных земель Узбекистана, выполненных Средазгипроводхлопком в последние I5 лет.

Таблица 3

Распределение площадей в совхозах по глубине залегания УГВ

№ совхоза	Общая площадь, га	Площади при глубине залегания УГВ (м)			
		0...2	2...3	3...5	5...I0
I	5675	5200	400	75	-
3	4925	2375	I375	600	575
5	6500	I500	2000	I700	I300
6	4350	25	I50	575	3600
Всего, га	2I450	9I00	3925	2950	5475
%	I00	43	I8	I4	25

Таблица 4

Параметры предлагаемых типов открытого дренажа на Киркызском массиве

Параметры	Совхоз						
	№ I	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	ВСЕГО
I	2	3	4	5	6	7	8
Общая площадь	5675	5250	4925	5050	6500	4350	3I750

I	2	3	4	5	6	7	8
I тип- дрены глубиной 2...3 м							
Площадь,га	I025	I600	2575	3975	3475	2800	I5450
Междренья, м	435	435	435	435	435	435	435
Удельная протяженность, м/га	23	23	23	23	23	23	23
Общая протяженность, км	23,6	36,8	59,2	9I,4	79,9	64,4	355,3
II тип-дрены глубиной 3,5 м с "окнами" через 50 м							
а)в виде щелей Ix3 м							
Площадь, га	3I00	I650	I600	750	I350	975	9425
Междренья, м	480	480	480	480	480	480	
Удельная протяженность, м/га	2I	2I	2I	2I	2I	2I	
Общая протяженность, км	65,I	34,6	33,6	I5,6	28,4	20,5	I97,8
Общее количество "окон"	I302	693	672	3I5	567	4I0	3959
б) круглые отверстия диаметром I м							
Площадь,га	I550	2000	750	325	I675	575	6875
Междренья, м	I92	I92	I92	I92	I92	I92	
Удельная протяженность, м/га	52	52	52	52	52	52	
Общая протяженность, км	80,6	I04,0	39,0	I6,9	87,I	26,0	
Общее количество "окон"	I6I2	2080	780	338	I742	520	7072

В обычных грунтах(супесях,суглинках пылеватых, лессах) эти нормы исследованы, т.е.натурными наблюдениями установлено, что при соблюдении критической глубины грунтовых вод 2...2,5 м обеспечивается устойчивое благополучие орошаемых земель при наименьшем, близком к проектному, расходе оросительной воды.

Для маломощных тяжелых грунтов-глин, тяжелых суглинков,залегающих на песках, пока нет опытных данных об оптимальной глубине залегания грунтовых вод при орошении земель в аридной зоне. В дельтах рек Амударьи, Сырдарьи, Кашкадарьи и Зарафшана она в проектах принимается условно такой же, как для обычных грунтов. Однако в настоящее время общепризнано, что по величине

испарения через почву и высоте капиллярного подъема глины ближе подходят к пескам, чем к обычным супесчано-суглинистым грунтам. Иными словами, принятая в проектах орошения земель Кыркызского массива критическая глубина залегания грунтовых вод, бесспорно, требует коррективов и уточнения в зависимости от состава, мощности и водно-физических свойств покровных глинистых грунтов. Такие работы в настоящее время начаты в институте "Средазгипроводхлопок" и САНИИРИ.

На основе многолетних эпизодических наблюдений за режимом грунтовых вод на орошаемых землях в дельте Амударьи предлагаем на всей площади, где мощность покровных глинистых грунтов не превышает 2 м,принять критическую глубину грунтовых вод равной I,5 м, т.е. на 0,5...0,8 м выше проектной. Тогда в рекомендуемом I типе дренажа, даже при наименьшей глубине открытых коллекторов и дрен(2 м) напор в междреньях составит около 0,5 м. При глубине дрен 2,5...3 м и напоре в междреньях 0,5 м критическая глубина сохранится равной проектной (2...2,5м).

Расчетные междренные расстояния для таких условий, подсчитанные по вышеприведенным формулам (рис.3) и исходным данным, при $m_н$=5...I5м составили 3I6...5I9 м (I9...32 м/га), а в среднем 435 м (23 м/га).

Обобщенная характеристика предлагаемой системы дренажа на Кыркызском массиве приведена в табл.4 . Эту систему, бесспорно, требуется исследовать на нескольких ключевых участках в процессе корректирования проекта орошения земель рассматриваемой территории.

УДК 626.8:658.0I2.I22

Ф.В.Серебренников,
канд.техн.наук, нач.отд.
(Средазгипроводхлопок)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ОРОШЕНИЯ В ГРАНИЦАХ РЕЧНОГО БАССЕЙНА

При построении основных математических моделей в качестве предпосылки принимается, что в результате решения оптимизационных задач более высокого иерархического уровня известен состав

первых очередей реконструкции объектов мелиоративного назначения и ввода под орошение новых земель на территории каждой оросительной системы, принадлежащей рассматриваемому речному бассейну.

Кроме этого, принимаются следующие предпосылки, учитываемые при построении рассматриваемой подсистемы моделей:

- для всех оросительных систем имеется общий источник орошения и известен лимит на объемы используемых водных ресурсов; потребность других водопотребителей считается удовлетворенной;
- для каждой оросительной системы разработаны варианты сельскохозяйственного освоения земель нового орошения и варианты реконструкции отдельных ее частей (в привязке к отдельным хозяйствам), в которых учтены изменения во времени урожайности сельскохозяйственных культур, объемов валового сбора, объемов используемых ресурсов и т.д.;
- вектор технических параметров оросительной системы задан единственным образом (т.е.для каждого варианта считаются неизменными организация территории, структура севооборотов, конструкции и КПД оросительной сети, параметры дренажа и т.п.).

Сначала остановимся на математической постановке задачи оптимизации очередности ввода новых земель под орошение.

Обозначим через t_0 год начала освоения капитальных вложений в связи с подготовкой базы стройиндустрии и т.п. к предстоящему орошению новых земель на i-й оросительной системе, через t_I-год начала ввода хозяйственных единиц в сельскохозяйственное производство, через t_2-год завершения ввода хозяйственных единиц, через t_3-год достижения расчетной мощности i-й оросительной системы, через t_4-последний год расчетного периода.

В границах речного бассейна пусть имеется J оросительных систем ($i=\overline{1,J}$). На территории каждой i-й оросительной системы за период ввода, т.е.за время с $t=t_I$ по $t=t_2$, вводится в сельскохозяйственное использование N_i хозяйственных единиц, образующих первую очередь. Следовательно, текущий номер хозяйственной единицы можно обозначить через n_i, однако для упрощения записи в дальнейшем условимся опускать индекс i при N_i и n_i, а также с номером хозяйства отождествлять его специализацию. По этим же соображениям для периода ввода хозяйственных единиц принимается отдельный отсчет времени, обозначаемый через τ, причем $\tau \in /1,2,\dots, t_2-t_1+1/$. Согласно принятым обозначениям $\tau=1$,

$\tau=2$ и т.д., что соответственно означает первый год ввода, второй год и т.д. Общая продолжительность ввода одинакова для любой оросительной системы и составляет $\tau_в = t_2 - t_I + 1$ лет.

В качестве переменной, подлежащей определению, целесообразно принять $x_i^{n\tau}$, которая может иметь всего два значения: $x_i^{n\tau}=1$, если в году $\tau=\tau_к$ в границах i-й оросительной системы вводится в сельскохозяйственное использование хозяйственная единица, которой присвоен номер n; $x_i^{n\tau}=0$ – в противном случае, при этом $\tau \neq \tau_к$; $\tau \in \{1,2,\dots,\tau_в\}$.

Условимся также, что мощность строительных организаций известна на период ввода, поэтому для любой i-й оросительной системы на каждый год ввода τ считается заданным число хозяйств, которые должны быть введены в сельскохозяйственное использование в год $\tau=\tau_к$. Обозначим это число через n_{oi}^{τ}, причем в соответствии с изложенным $\sum_{\tau=1}^{\tau_в} n_{oi}^{\tau} = N$. Если рассматривать какой-либо фиксированный год ввода τ, то для него в свете предыдущего справедливо равенство $\sum_{n=1}^{N} x_i^{n\tau} = n_{oi}^{\tau}$, $(\tau=\tau_к)$.

Каждое из хозяйств, включенное в процесс сельскохозяйственного производства за период ввода, производит продукцию как в год ввода, так и в дальнейшем, причем объем продукции, нарастая, по истечении некоторого времени достигает максимального значения. В связи с этим обозначим через q_{ij}^{nt} объем продукции вида j, получаемый в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы на землях хозяйств под номером n, начавшего функционировать в год ввода τ. Далее через $Q_{ij}^{n\tau}$ обозначим максимальный объем продукции вида j, получаемый в границах i-й оросительной системы на землях хозяйства под номером n, введенного в год τ, при достижении этим хозяйством расчетной мощности.

Следует уточнить, что под расчетным периодом понимается временной интервал $t \in /t_I, t_4/$, причем в период ввода число хозяйственных единиц, включаемых в процесс сельскохозяйственного производства, нарастает в границах интервала $/1, N/$. За пределами периода ввода число хозяйственных единиц не меняется и соответствует составу первой очереди, определенной для данной оросительной системы. Поэтому при построении математической модели задачи оптимизации очередности ввода новых земель под орошение следует различать два интервала $t_1 \leqslant t < t_2$ и $t_2 \leqslant t \leqslant t_4$,

чтобы не допустить путаницы при интерпретации отдельных зависимостей.

Как отмечалось выше, в каждый год ввода τ в общем случае может быть включено в процесс сельскохозяйственного производства несколько хозяйственных единиц. Поэтому можно говорить об объеме продукции вида j, полученном в t-м году расчетного периода всеми хозяйствами, введенными в год τ. Представим этот объем в виде $\sum_{n=1}^{N} x_i^{n\tau} q_{ij}^{n\tau t}$. Однако в любой год t расчетного периода, если $t_2 \le t \le t_4$, сельскохозяйственную продукцию производят все хозяйства, введенные за время с t_1 по t_2, т.е. за весь период ввода. Этот суммарный объем продукции вида j, полученный в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы всеми введенными в сельскохозяйственное производство хозяйственными единицами, аналитически запишем

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_в} \sum_{n=1}^{N} x_i^{n\tau} q_{ij}^{n\tau t} = Q_{ij}^t, \quad t_2 \le t \le t_4, \quad \tau_в = t_2 - t_1 + 1. \qquad (I)$$

Если же t принадлежит интервалу $t_1 \le t < t_2$, то в формуле (I) следует заменить верхний предел суммирования для первого слева знака суммы с $\tau_в = t_2 - t_1 + I$ на $\tau_в = t - t_1 + I$. Необходимо также помнить, что $x_i^{n\tau} = I$, если $\tau = \tau_к$ и $x_i^{n\tau} = 0$, если

$$\tau \ne \tau_к, \quad \tau_к \in \{1, 2, \ldots, \tau_в\}.$$

Функционирование каждого хозяйства связано не только с производством продукции того или иного наименования, но и с затратами определенных объемов ресурсов различного вида (например, с расходованием водных ресурсов). Обозначим поэтому через $\rho_{is}^{n\tau t}$ объем ресурса вида s, израсходованного хозяйством под номером n в процессе сельскохозяйственного производства в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы, если это хозяйство было введено в год τ. Тогда с учетом всего сказанного выше можно записать следующее выражение:

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_в} \sum_{n=1}^{N} x_i^{n\tau} \rho_{is}^{n\tau t} = б_{is}^t, \quad t_2 \le t \le t_4, \quad \tau_в = t_2 - t_1 + 1, \qquad (2)$$

где через $б_{is}^t$ обозначен суммарный объем ресурса вида s, израсходованный в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы всеми хозяйствами, включенными за время с t_I по t_2 в процесс сельскохозяйственного производства.

По аналогии с (I) для интервала $t_1 \le t < t_2$ в формуле (2)

меняется вид записи для верхнего предела суммирования с $\tau_в = t_2 - t_1 + 1$ на $\tau_в = t - t_1 + 1$.

Следует также учитывать, что функционирование каждого хозяйства связано еще и с вынужденным выделением так называемых техногенных выбросов. Пример такого выброса - дренажный сток, насыщенный токсичными солями и различными вредными веществами. В этой связи обозначим через $f_{il}^{n\tau t}$ объем техногенного выброса вида l, вызванный функционированием хозяйства под номером n в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы, если это хозяйство было введено в год τ. По аналогии с (I) и (2) запишем равенство

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_в} \sum_{n=1}^{N} x_i^{n\tau} f_{il}^{n\tau t} = F_{il}^t, \quad t_2 \le t \le t_4, \quad \tau_в \le t_2 - t_1 + 1, \qquad (3)$$

где F_{il}^t -суммарный объем техногенного выброса вида l, образованный в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы в результате функционирования всех хозяйств, включенных за время с t_I по t_2 в процесс сельскохозяйственного производства.

Как и в предыдущих случаях, в формуле (3) для интервала $t_1 \le t < t_2$ следует записать над первым знаком суммы верхний предел суммирования в виде $\tau_в = t - t_1 + 1$.

Введенные выше обозначения позволяют следующим образом сформулировать рассматриваемую оптимизационную задачу. На временном интервале $t \in [t_I, t_2]$ требуется найти такую совокупность упорядоченных множеств ($x_i^{n\tau}$), чтобы был достигнут максимум народнохозяйственного эффекта:

$$z\left(\left(x_i^{n\tau}\right)\right) = \sum_{i=1}^{J} \sum_{t=t_1}^{t_4} f_i^t\left(\left(x_i^{n\tau}\right)\right) \beta_t \to \max \qquad (4)$$

и выполнялись следующие ограничения в течение всего расчетного периода:

$$\sum_{i=1}^{J} Q_{ij}^t \ge Q_j^t, \quad \sum_{i=1}^{J} б_{is}^t \le б_s^t, \quad \sum_{i=1}^{J} F_{il}^t \le F_l^t, \qquad (5)$$

причем

$$x_i^{n\tau} \in \{0,1\}, \quad t_1 \le t \le t_4, \quad i = \overline{1,J}, \quad n = \overline{1,N},$$

$$\tau_в = t_2 - t_1 + 1, \qquad x_i^{n\tau} \begin{cases} 1, \tau = \tau_к, & \tau \in \{1, 2, \ldots, \tau_в\} \\ 0, \tau \ne \tau_к, & \tau_к \in \{1, 2, \ldots, \tau_в\} \end{cases}.$$

Через Q_j^t, b_s^t и F_ℓ^t в (5) обозначены соответственно контрольные значения объемов продукции вида j, ресурса вида s, техногенного выброса вида ℓ в t-м году расчетного периода, принятые для земель нового орошения в границах речного бассейна.

В целевой функции (4) через β_t обозначен коэффициент дисконтирования, служащий для приведения экономических показателей, вычисленных для разных лет, к сопоставимому по времени виду.

Для определения народнохозяйственного эффекта в каждом году t расчетного периода $t_1 \le t \le t_4$ от реализации на интервале $t \in [t_1, t_2]$ совокупности упорядоченных множеств ($x_i^{m\tau}$) используется следующая зависимость [1,2]:

$$f_i^t\left(\left(x_i^{m\tau}\right)\right) = \sum_{j=1}^{J} Q_{ij}^t z_j^t - \left(K_i^t + C_i^t\right) - \sum_{s=1}^{S} b_{is}^t v_s^t - \sum_{i=1}^{J} F_{i\ell}^t V_\ell^t \quad , \qquad (6)$$

где K_i^t – капитальные вложения в водохозяйственное строительство и сельскохозяйственное освоение в t-м году на объектах i-й оросительной системы; C_i^t – текущие затраты, связанные с функционированием введенных хозяйственных единиц; z_j^t, v_s^t и V_ℓ^t – соответственно замыкающие затраты на продукцию вида j, экономическая оценка вида s, плата за единицу техногенного выброса вида ℓ в t-м году расчетного периода, $j = \overline{1,J}$, $s = \overline{1,S}$, $\ell = \overline{1,L}$.

Введенные обозначения и математическая модель (1)...(6) позволяют перейти к следующей более сложной по своему содержанию оптимизационной задаче, а именно, к обоснованию очередности реконструкции оросительной системы. Желая сохранить методическое единство в записи математической модели, введенные выше обозначения будем интерпретировать следующим образом. Пусть, как и ранее, в границах речного бассейна имеется J оросительных систем ($i = \overline{1,J}$). Через t_0 обозначим год начала освоения капитальных вложений в связи с подготовкой к предстоящим работам по реконструкции i-й оросительной системы, t_1 – год начала работ по реконструкции, t_2 – год завершения работ, t_3 – год достижения расчетной мощности i-й оросительной системы, t_4 – последний год расчетного периода.

На территории каждой оросительной системы за период с $t = t_1$ по $t = t_2$ предстоит провести работы по реконструкции M_i хозяйственных единиц в соответствии с составом установленных ранее очередей. Через m обозначим текущий номер хозяйства,

в границах которого должны быть осуществлены работы по реконструкции. С номером m будем отождествлять специализацию хозяйства. Примем отдельный отсчет времени для периода реконструкции, введя переменную $t \in [1,2,\dots,t_2 - t_1 + 1]$. Очевидно, что общая продолжительность периода реконструкции (в годах) составляет $\tau_p = t_2 - t_1 + 1$.

Так как хозяйства и до проведения работ по реконструкции, и после них производят сельскохозяйственную продукцию, то для удобства записи аналитических выражений целесообразно ввести индекс α, который в случае $\alpha = 1$ означает, что на территории хозяйства были осуществлены работы по реконструкции, в случае $\alpha = 2$ – нет.

В качестве переменной, подлежащей определению, принимается $x_i^{\alpha m\tau}$, которая при фиксированном m может иметь попарно два значения: $x_i^{1m\tau} = 1$, $x_i^{2m\tau} = 0$, если в году $\tau = \tau_к$ на территории хозяйства под номером m проведены работы по реконструкции, и $x_i^{1m\tau} = 0$, $x_i^{2m\tau} = 1$ – в случае, когда $\tau \ne \tau_к$. Следовательно

$$\sum_{\alpha=1}^{2} x_i^{\alpha m\tau} = 1, \quad x_i^{\alpha m\tau} \in \{0,1\}, \quad \alpha \in \{1,2\}, \quad \tau_к \in \{1,2,\dots,\tau_p\}.$$

На период реконструкции известна ежегодная мощность строительных организаций m_{oi}. Очевидно, $\sum_{\tau=1}^{\tau_p} m_{oi}^{\tau} = M$, кроме того, при фиксированном τ справедливо равенство $\sum_{m=1}^{M} x_i^{m\tau} = m_{oi}^{\tau}$, $(\tau = \tau_к)$.

Каждое из хозяйств, прошедших в году $\tau = \tau_к$ реконструкцию, начинает с этого года в новых условиях производить сельскохозяйственную продукцию. Вместе с тем часть хозяйств еще остается вне работ по реконструкции, хотя и продолжает производить продукцию. Поэтому для общности обозначим через $q_{ij}^{m\tau t}$ объем продукции вида j, получаемый в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы на землях хозяйства под номером m, причем учитывается отдельно случай, когда $\tau = \tau_к$ и когда $\tau \ne \tau_к$.

Как и прежде, под расчетным периодом понимается временной интервал $t \in [t_1, t_4]$, причем в границах интервала $t \in [t_1, t_2]$ количество хозяйственных единиц, включаемых в работы по реконструкции, меняется в пределах $1 \le m \le M$. Если же $t \in [t_2, t_4]$, то всегда $m = M$, так как во всех хозяйствах, отнесенных к первой очереди, завершены работы по реконструкции. Поэтому при построении математической модели следует различать такие временные интервалы, как $t_1 \le t < t_2$ и $t_2 \le t \le t_4$.

Условимся в дальнейшем все построения вести в привязке к некоторому году t расчетного периода, каждый раз оговаривая, какому временному интервалу он принадлежит.

Поскольку в общем случае в период реконструкции соответствующие работы выполняются одновременно на территории нескольких хозяйственных единиц, то есть основание говорить об общем объеме продукции вида j, полученном в t-м году расчетного периода всеми хозяйствами, в которых работы по реконструкции были осуществлены в год $\tau = \tau_к$. По аналогии с предыдущим выразим этот объем как $\sum_{m=1}^{M} x^{\alpha m \tau} q_{ij}^{m\tau t}$ $(\alpha = 1)$.

Рассмотрим далее год t расчетного периода, принадлежащий временному интервалу $t \in [t_2, t_4]$, и запишем следующим образом объем продукции вида j, произведенный в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы всеми хозяйствами, в которых были осуществлены работы по реконструкции ($\tau = \tau_к$):

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_p} \sum_{m=1}^{M} x_i^{\alpha m \tau} q_{ij}^{m\tau t} = Q_{ij}^{t\alpha}, \qquad (7)$$

$$t_2 \le t \le t_4, \quad \tau_p = t_2 - t_1 + 1, \quad \alpha = 1.$$

Для временного интервала $t_I \le t < t_2$ в выражении (7) следует заменить верхний предел суммирования для первого слева знака суммы на $\tau_p = t - t_1 + I$.

Выражение (7) сохраняет силу и для хозяйств, которые не были вовлечены в работы по реконструкции, с той лишь разницей, что следует рассматривать только временной интервал $t_1 \le t < t_2$ и что $\tau \in \{1, 2, \ldots, \tau_к - 1\}$, $\tau_к \in \{1, 2, \ldots, \tau_p\}$, $\tau_p = t - t_1 + 1$, $\tau \ne \tau_к$, $\alpha = 2$.

Общий объем продукции вида j, полученный всеми хозяйствами в границах i-й оросительной системы в t-м году расчетного периода, в общем случае можно записать как

$$Q_{ij}^{t} = \sum_{\alpha=1}^{2} Q_{ij}^{\alpha t}, \qquad \text{если } t_1 \le t < t_2,$$

и

$$Q_{ij}^{t} = Q_{ij}^{\alpha t}, \quad \alpha = 1, \qquad \text{если } t_2 \le t \le t_4. \qquad (8)$$

Производство сельскохозяйственной продукции в хозяйствах до реконструкции и после нее связано с расходованием определенных объемов ресурсов различного вида. С учетом изложенного ранее есть основание через $\rho_{is}^{m\tau t}$ обозначить объем ресурса вида s, израсходованный хозяйством под номером m для производственных

нужд в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы, причем следует различать случаи, когда $\tau = \tau_к$ и $\tau \ne \tau_к$. По аналогии с (7) запишем следующее равенство ($\tau = \tau_к$):

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_p} \sum_{m=1}^{M} x_i^{\alpha m \tau} \rho_{is}^{m\tau t} = b_{is}^{t\alpha},$$

$$t_2 \le t \le t_4, \quad \tau_p = t_2 - t_1 + 1, \quad \alpha = 1, \qquad (9)$$

где через $b_{is}^{t\alpha}$ обозначен общий расход ресурса вида s в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы всеми хозяйствами, в которых были осуществлены работы по реконструкции.

Если рассматривать временной интервал $t_1 \le t < t_2$, то в выражении (9) следует изменить верхний предел суммирования по τ на $\tau_p = t - t_I + I$.

Для хозяйств, не вовлеченных в работы по реконструкции, выражение (9) сохраняет силу при условии, что рассматривается временной интервал $t_1 \le t < t_2$ и выполняются условия

$$\tau \in \{1, 2, \ldots, \tau_к - 1\}, \quad \tau_к \in \{1, 2, \ldots, \tau_p\}, \quad \tau_p = t - t_1 + 1, \quad \tau \ne \tau_к, \quad \alpha = 2.$$

По аналогии с (8) общий объем ресурса вида s, израсходованный всеми хозяйствами в границах i-й оросительной системы в t-м году расчетного периода, можно представить как

$$b_{is}^{t} = \sum_{\alpha=1}^{2} b_{is}^{\alpha t}, \qquad \text{если } t_1 \le t < t_2,$$

и

$$b_{is}^{t} = b_{is}^{\alpha t}, \quad \alpha = 1, \qquad \text{если } t_2 \le t \le t_4. \qquad (10)$$

Как до реконструкции, так и после нее производство сельскохозяйственной продукции связано с вынужденным выделением техногенных выбросов (дренажный сток, поступление в грунтовые воды нитратов, гербицидов и т.п.). Имея это в виду, обозначим через $f_{il}^{m\tau t}$ объем техногенного выброса вида l, вызванный функционированием хозяйства под номером m в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы ($\tau = \tau_к$ и $\tau \ne \tau_к$).

С учетом выражений (7) и (9) запишем ($\tau = \tau_к$):

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_p} \sum_{m=1}^{M} x_i^{m\tau} f_{il}^{m\tau t} = F_{il}^{t\alpha}, \qquad (11)$$

$$t_2 \le t \le t_4, \quad \tau_p = t_2 - t_1 + 1, \quad \alpha = 1,$$

где $F_{il}^{t\alpha}$ – общий объем техногенного выброса вида l, образованный в t-м году расчетного периода в границах i-й оросительной системы в результате выполнения производственной программы

всеми хозяйствами, вовлеченными в работы по реконструкции за период с t_I по t_2.

Для временного интервала $t_1 \le t < t_2$ в выражении (II) верхний предел суммирования по τ следует заменить на $\tau_p = t - t_1 + I$.

Если на том же временном интервале $t_1 \le t < t_2$ ограничиться рассмотрением хозяйственных единиц, еще не вовлеченных в работы по реконструкции, то выражение (2) остается в силе при $\tau \in \{1,2,\dots,\tau_K - 1\}, \tau_K \in \{1,2,\dots,\tau_p\}, \tau_p = t - t_1 + 1, \tau \neq \tau_K, \alpha = 2$.

Как и раньше, общий объем техногенного выброса вида ℓ, произведенный всеми хозяйствами в границах i-й оросительной системы в t-м году расчетного периода, в аналитической форме можно представить так:

$$F_{i\ell}^{t} = \sum_{\alpha=1}^{2} F_{i\ell}^{\alpha t}, \quad \text{если } t_1 \le t < t_2, \qquad (I2)$$

и

$$F_{i\ell}^{t} = F_{i\ell}^{\alpha t}, \ \alpha = 1, \quad \text{если } t_2 \le t \le t_4.$$

Приведенные выше зависимости (7)...(I2) и обозначения дают основание следующим образом сформулировать рассматриваемую задачу оптимизации очередности реконструкции. На временном интервале $\tau \in [t_1, t_2]$ требуется найти такую совокупность упорядоченных множеств ($x_i^{m\tau}$), чтобы был достигнут максимум народнохозяйственного эффекта:

$$Z\left((x_i^{\alpha m\tau})\right) \sum_{i=1}^{J} \sum_{t=t_1}^{t_2-1} \sum_{\alpha=1}^{2} f_i^{\alpha t}\left((x_i^{\alpha m\tau})\right) \beta_t + \sum_{i=1}^{J} \sum_{t=t_2}^{t_4} f_i^{\alpha t}\left((x_i^{\alpha m\tau})\right) \beta_t \to \max \qquad (I3)$$

и выполнялись следующие ограничения:

на интервале $t_1 \le t < t_2$, $\alpha \in \{1,2\}$

$$\sum_{i=1}^{J} \sum_{\alpha=1}^{2} Q_{ij}^{\alpha t} \ge Q_j^t, \ \sum_{i=1}^{J} \sum_{\alpha=1}^{2} b_{is}^{\alpha t} \le b_s^t, \ \sum_{i=1}^{J} \sum_{\alpha=1}^{2} F_{i\ell}^{\alpha t} \le F_\ell^t, \qquad (I4)$$

на интервале $t_2 \le t \le t_4$, $\alpha = 1$

$$\sum_{i=1}^{J} Q_{ij}^{\alpha t} \ge Q_j^t, \ \sum_{i=1}^{J} b_{is}^{\alpha t} \le b_s^t, \ \sum_{i=1}^{J} F_{i\ell}^{\alpha t} \le F_\ell^t, \qquad (I5)$$

причем $\sum_{\alpha=1}^{2} x_i^{\alpha m\tau} = 1$, $x_i^{\alpha m\tau} \in \{0,1\}$, $\alpha \in \{1,2\}$, $i = \overline{1,J}$, $m = \overline{1,M}$,

$$x_i^{\alpha m\tau} = \begin{cases} I, \text{когда } \tau = \tau_K \text{ и } \alpha = 1 \text{ (или } \tau \neq \tau_K \text{ и } \alpha = 2), \\ 0, \text{когда } \tau \neq \tau_K \text{ и } \alpha = 1 \text{ (или } \tau = \tau_K \text{ и } \alpha = 2), \end{cases}$$

$\tau \in \{1,2,\dots,\tau_p\}$, $\tau_K \in \{1,2,\dots,\tau_p\}$, $\tau_p = t_2 - t_1 + 1$.

В (I3)...(I5) все обозначения известны из предыдущего изложения, причем по-прежнему в целевой функции β_t – коэффициент

дисконтирования.

Для определения народнохозяйственного эффекта в каждом году t расчетного периода от реализации на интервале $t \in [t_1, t_2]$ совокупности упорядоченных множеств ($x_i^{m\tau}$) используются следующие зависимости:

на интервале $t_1 \le t < t_2$, $\alpha \in \{1,2\}$

$$f_i^{\alpha t}\left((x_i^{m\tau})\right) = \sum_{j=1}^{J} \sum_{\alpha=1}^{2} Q_{ij}^{\alpha t} z_j^t - \left(K_i^t + C_i^t\right) - \sum_{s=1}^{S} \sum_{\alpha=1}^{2} b_{is}^{\alpha t} r_s^t - \sum_{\ell=1}^{L} \sum_{\alpha=1}^{2} F_{i\ell}^{\alpha t} V_\ell^t, \qquad (I6)$$

на интервале $t_2 \le t \le t_4$, $\alpha = 1$

$$f_i^{\alpha t}\left((x_i^{m\tau})\right) = \sum_{j=1}^{J} Q_{ij}^{\alpha t} z_j^t - \left(K_i^t + C_i^t\right) - \sum_{s=1}^{S} b_{is}^{\alpha t} r_s^t - \sum_{\ell=1}^{L} F_{i\ell}^{\alpha t} V_\ell^t, \qquad (I7)$$

причем по поводу обозначений в (I6) и (I7) остаются в силе пояснения к формуле (6).

Рассмотренные выше математические модели (I)...(6) и (I3)...(I7) служат основой для построения более общей математической модели оптимизации очередности реконструкции оросительных систем и ввода под орошение новых земель в границах речного бассейна.

С учетом всего предыдущего математическая постановка оптимизационной задачи сводится к следующему. На временном интервале $t \in [t_1, t_2]$ требуется найти такую совокупность упорядоченных множеств ($x_i^{n\tau}$) и ($x_i^{m\tau}$), чтобы был достигнут максимум народнохозяйственного эффекта:

$$Z\left((x_i^{n\tau}),(x_i^{\alpha m\tau})\right) = \sum_{i=1}^{J} \sum_{t=t_1}^{t_2} f_i^{t}\left((x_i^{n\tau})\right) \beta_t + \sum_{i=1}^{J} \sum_{t=t_1}^{t_2-1} \sum_{\alpha=1}^{2} f_i^{\alpha t}\left((x_i^{\alpha m\tau})\right) \beta_t + \qquad (I8)$$

$$+ \sum_{i=1}^{J} \sum_{t=t_2}^{t_4} f_i^{\alpha t}\left((x_i^{\alpha m\tau})\right) \beta_t \to \max$$

и выполнялись следующие ограничения:

на интервале $t_1 \le t < t_2$, $\alpha \in \{1,2\}$

$$\sum_{i=1}^{J} \left(Q_{ij}^{t} + \sum_{\alpha=1}^{2} Q_{ij}^{\alpha t}\right) \ge Q_j^t, \ \sum_{i=1}^{J} \left(b_{is}^{t} + \sum_{\alpha=1}^{2} b_{is}^{\alpha t}\right) \le b_s^t, \ \sum_{i=1}^{J} \left(F_{i\ell}^{t} + \sum_{\alpha=1}^{2} F_{i\ell}^{\alpha t}\right) \le F_\ell^t, \qquad (I9)$$

на интервале $t_2 \le t \le t_4$, $\alpha = 1$

$$\sum_{i=1}^{J} \left(Q_{ij}^{t} + Q_{ij}^{\alpha t}\right) \ge Q_j^t, \ \sum_{i=1}^{J} \left(b_{is}^{t} + b_{is}^{\alpha t}\right) \le b_s^t, \ \sum_{i=1}^{J} \left(F_{i\ell}^{t} + F_{i\ell}^{\alpha t}\right) \le F_\ell^t, \qquad (20)$$

причем $x_i^{n\tau} \in \{0,1\}$

$$x_i^{n\tau} \begin{cases} I, \text{когда } \tau = \tau_K, \tau \in \{1,2,\dots,\tau_6\} \\ 0, \text{когда } \tau \neq \tau_K, \tau_K \in \{1,2,\dots,\tau_6\} \end{cases}$$

$$\sum_{\alpha=1}^{2} x_i^{\alpha m\tau} = 1, \quad x_i^{\alpha m\tau} \in \{0,1\}, \quad \alpha \in \{1,2\},$$

$$x_i^{\alpha m\tau} \begin{cases} I, \text{когда } \tau = \tau_K \text{ и } \alpha = 1 \text{ (или } \tau \neq \tau_K \text{ и } \alpha = 2), \tau \in \{1,2,\dots,\tau_p\} \\ 0, \text{когда } \tau \neq \tau_K \text{ и } \alpha = 1 \text{ (или } \tau = \tau_K \text{ и } \alpha = 2), \tau_K \in \{1,2,\dots,\tau_p\} \end{cases}$$

$\tau_б = \tau_р = t_2 - t_1 + 1$, $i = \overline{1,J}$, $n = \overline{1,N}$, $m = \overline{1,M}$.

Уместно отметить, что в ограничениях (I9) и (20) через Q_j^t, $б_s^t$ и F_ℓ^t соответственно обозначены общие для всех оросительных систем контрольные значения объемов продукции вида s, ресурса вида j, техногенного выброса вида ℓ в t-м году расчетного периода, которым должно соответствовать производство сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях в границах речного бассейна ($j = \overline{1,J}$, $s = \overline{1,S}$, $\ell = \overline{1,L}$).

В целевой функции (I9) β_t - коэффициент дисконтирования.

Для определения народнохозяйственного эффекта в каждом году t расчетного периода от реализации на интервале $t \in [t_1, t_2]$ совокупности упорядоченных множеств ($x_i^{n\tau}$) и ($x_i^{m\tau}$) используются следующие зависимости:

на интервале $t_1 \le t < t_2$, $\alpha \in \{1,2\}$,

$$f_i^t((x_i^{n\tau})) + f_i^{\alpha t}((x_i^{\alpha m\tau})) = \sum_{j=1}^{J}(Q_{ij}^t + \sum_{\alpha=1}^{2} Q_{ij}^{\alpha t}) z_j^t - (K_i^t + C_i^t) - \sum_{s=1}^{S}(б_{is}^t + \sum_{\alpha=1}^{2} б_{is}^{\alpha t}) v_s^t - \sum_{\ell=1}^{L}(F_{i\ell}^t + \sum_{\alpha=1}^{2} F_{i\ell}^{\alpha t}) v_\ell^t, \quad (2I)$$

на интервале $t_2 \le t \le t_4$, $\alpha = 1$,

$$f_i^t((x_i^{n\tau})) + f_i^{\alpha t}((x_i^{\alpha m\tau})) = \sum_{j=1}^{J}(Q_{ij}^t + Q_{ij}^{\alpha t}) z_j^t - (K_i^t + C_i^t) - \sum_{s=1}^{S}(б_{is}^t + б_{is}^{\alpha t}) v_s^t - \sum_{\ell=1}^{L}(F_{i\ell}^t + F_{i\ell}^{\alpha t}) v_\ell^t, \quad (22)$$

где K_i^t - капитальные вложения в водохозяйственное строительство и сельскохозяйственное освоение при орошении новых земель и проведении работ по реконструкции в t-м году в границах i-й оросительной системы; C_i^t - текущие затраты, связанные с функционированием хозяйственных единиц в t-м году в границах i-й оросительной системы, остальные обозначения были пояснены ранее.

На первый взгляд приведенная математическая постановка задачи оптимизации очередности реконструкции оросительных систем и ввода под орошение новых земель (I8)...(22) является результатом механического сложения двух предыдущих случаев (I)...(6) и (7)...(I7), каждый из которых в отдельности был ограничен либо вопросами оптимизации очередности ввода под орошение новых земель, либо аналогичными вопросами реконструкции оросительных систем.

Однако это не так. Наличие правых частей ограничений в (I9) и (20), общих для всех оросительных систем в границах речного бассейна, независимо от принадлежности объектам нового орошения

или объектам реконструкции, придает рассматриваемой оптимизационной задаче качественно новое содержание. Действительно, принятая запись ограничений (I9) и (20) предполагает в целом наиболее рациональное распределение между оросительными системами и, следовательно, между принадлежащими этим системам объектами орошения и реконструкции потребных объемов производства продукции вида j, допустимых объемов потребления ресурса вида s и допустимых объемов выделения техногенного выброса вида ℓ. Тем самым, результатом оптимизационных расчетов явится всесторонне сбалансированный вариант развития орошения на перспективу в границах речного бассейна с обеспечением оптимального соотношения между объемами работ по реконструкции и вводу новых земель под орошение на территории каждой оросительной системы.

Остановимся далее на одном частном случае, представляющем самостоятельный интерес. Пусть рассматривается задача оптимизации очередности работ по реконструкции существующих объектов мелиоративного назначения и ввода под орошение новых земель в границах одной оросительной системы. Из решения задачи более высокого иерархического уровня известны составы первых очередей реконструкции и ввода земель в привязке к хозяйственным единицам, нумерация и специализация которых считается заданной. Обозначим через J общее количество хозяйственных единиц в границах оросительной системы, для которых предстоит установить очередность работ по реконструкции и вводу земель. Условимся ставить в соответствии номера $i = 1, 2, \ldots, m$ хозяйствам, которые создаются на новых землях, и номера $i = m+1, m+2, \ldots, J$, - на территории которых предстоит выполнить работы по реконструкции.

Введем следующие переменные, подлежащие определению:

- x_i^τ, которая принимает значение I, если в году $\tau = \tau_n$ вводится в сельскохозяйственное использование хозяйственная единица под номером i, $x_i^\tau = 0$. В противном случае $(\tau \ne \tau_к)$, $i = 1, 2, \ldots, m$;
- $x_i^{\alpha\tau}$, которая при фиксированном i может принимать попарно два значения: $x_i^{1\tau} = 1$, $x_i^{2\tau} = 0$, если в году $\tau = \tau_к$ на территории хозяйства под номером i проведены работы по реконструкции: $x_i^{1\tau} = 0$, $x_i^{2\tau} = 1$. В противном случае $(\tau \ne \tau_к)$, $i = m+1, m+2, \ldots, J$.

Для временного интервала $t_2 \le t \le t_4$ выразим следующим образом объем продукции вида j, произведенный в t-м году расчетного

периода всеми введенными в сельскохозяйственное производство хозяйственными единицами:

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_6}\sum_{i=1}^{m} x_i^{\tau}\, q_{ij}^{\tau t} = Q_{j6}^{t} . \qquad (23)$$

Аналогичное выражение запишем для объема продукции вида j, произведенного в t-м году расчетного периода всеми хозяйствами, в которых были осуществлены работы по реконструкции ($\alpha=1$):

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_p}\sum_{i=m+1}^{J} x_i^{\alpha\tau}\, q_{ij}^{\tau t} = Q_{jp}^{\alpha t} . \qquad (24)$$

Для временного интервала $t_1 \le t < t_2$ в выражениях (23) и (24) следует заменить верхний предел суммирования для первого слева знака суммы на $t_в = t_p = t - t_1 + 1$.

Выражением (24) можно воспользоваться и для записи объема продукции вида j, произведенной хозяйствами в пределах временного интервала $t_1 \le t < t_2$ до того, как они были вовлечены в работы по реконструкции. При этом следует иметь в виду, что $\tau \in \{1,2,\dots,\tau_к-1\}$, $\tau_к \in \{1,2,\dots,\tau_p\}$, $\tau_p = t - t_1 + 1$, $\tau \neq \tau_к$, $\alpha = 2$.

С учетом сказанного выше общий объем продукции вида j, полученный в t-м году расчетного периода всеми хозяйствами, включенными в план работы по реконструкции и введенными под орошение на новых землях, можно представить в виде

$$\left.\begin{aligned} Q_{j(бр)}^{t} &= Q_{jб}^{t} + \sum_{\alpha=1}^{2} Q_{jp}^{\alpha t}, && \text{если } t_1 \le t < t_2, \\ \text{и}\quad Q_{j(бр)}^{t} &= Q_{jб}^{t} + Q_{ip}^{\alpha t}, \ \alpha = 1, && \text{если } t_2 \le t \le t_4. \end{aligned}\right\} \qquad (25)$$

Аналогичным образом записываются соответствующие выражения для объемов использованных ресурсов и объемов произведенных техногенных выбросов.

Действительно, для временного интервала $t_2 \le t \le t_4$ с учетом (23) выражение для объема ресурса вида s, израсходованного в t-м году расчетного периода всеми введенными в сельскохозяйственное производство хозяйственными единицами, представим в виде

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_б}\sum_{i=1}^{m} x_i^{\tau}\, \rho_{is}^{\tau t} = б_{sб}^{p t} . \qquad (26)$$

Соответственно выражение для объема ресурса вида s, израсходованного в t-м году расчетного периода всеми хозяйствами, в которых были выполнены работы по реконструкции ($\alpha=1$), запишется как

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_p}\sum_{i=m+1}^{J} x_i^{\alpha\tau}\, \rho_{is}^{\tau t} = б_{sp}^{\alpha t} . \qquad (27)$$

Как и ранее, для временного интервала $t_1 \le t < t_2$ в выражениях (26) и (27) следует заменить верхний предел суммирования для первого слева знака суммы на $\tau_б = \tau_p = t - t_1 + 1$.

Выражение (27) остается справедливым и для записи объема ресурса вида s, израсходованного хозяйствами, которые еще не были вовлечены в работы по реконструкции в пределах временного интервала $t_1 \le t < t_2$. Однако в данном случае $\tau \in \{1,2,\dots,\tau_к-1\}$, $\tau_к \in \{1,2,\dots,\tau_p\}$, $\tau_p = t - t_1 + 1$, $\tau \neq \tau_к$, $\alpha = 2$.

Общий объем ресурса вида s, израсходованный в t-м году расчетного периода всеми хозяйствами, вошедшими в состав первых очередей реконструкции и ввода земель, с учетом (25) запишем следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} б_{s(бр)}^{t} &= б_{sб}^{t} + \sum_{\alpha=1}^{2} б_{sp}^{\alpha t}, && \text{если } t_1 \le t < t_2, \\ \text{и}\quad б_{s(бр)}^{t} &= б_{sб}^{t} + б_{sp}^{\alpha t}, \ \alpha = 1, && \text{если } t_2 \le t \le t_4. \end{aligned}\right\} \qquad (28)$$

В такой же последовательности приведем зависимости для определения объема техногенного выброса вида l, вызванного функционированием хозяйственных единиц в границах оросительной системы в t-м году расчетного периода.

Для временного интервала $t_2 \le t \le t_4$ имеем:

- в случае ввода новых земель

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_б}\sum_{i=1}^{m} x_i^{\tau}\, f_{il}^{\tau t} = F_{lб}^{t} , \qquad (29)$$

- в случае выполнения работ по реконструкции

$$\sum_{\tau=1}^{\tau_p}\sum_{i=m+1}^{J} x_i^{\alpha\tau}\, f_{il}^{\tau t} = F_{lp}^{\alpha t} . \qquad (30)$$

Для временного интервала $t_1 \le t < t_2$ в этих формулах следует заменить верхний предел суммирования по τ на $\tau_б = \tau_p = t - t_1 + 1$.

Выражением (30) можно воспользоваться и для определения объема техногенного выброса вида l, произведенного хозяйствами в пределах временного интервала $t_1 \le t < t_2$ до того, как они были включены в работы по реконструкции. В данном случае, как и ранее, следует помнить, что $\tau \in \{1,2,\dots,\tau_к-1\}$, $\tau_к \in \{1,2,\dots,\tau_p\}$, $\tau_p = t - t_1 + 1$, $\tau = \tau_к$, $\alpha = 2$.

Для определения общего объема техногенного выброса вида l, произведенного в t-м году расчетного периода всеми хозяйствами, вошедшими в состав первых очередей реконструкции и ввода

земель, получены зависимости:

$$\left.\begin{aligned} F^t_{\ell(\delta\rho)} &= F^t_{\ell\delta} + \sum_{\alpha=1}^{2} F^{\alpha t}_{\ell\delta}, && \text{если } t_1 \le t < t_2, \\ F^t_{\ell(\delta\rho)} &= F^t_{\ell\delta} + F^{\alpha t}_{\ell\delta}, \ \alpha=1, && \text{если } t_2 \le t \le t_4. \end{aligned}\right\} \quad (31)$$

Приведенные выше зависимости дают основание следующим образом сформулировать рассматриваемую оптимизационную задачу. На временном интервале $t \in [t_1, t_2]$ требуется найти такую совокупность упорядоченных множеств (x_i^{τ}) и ($x_i^{\alpha\tau}$), чтобы был достигнут максимум народнохозяйственного эффекта:

$$Z\left((x_i^{\tau})(x_i^{\alpha\tau})\right) = \sum_{t=t_1}^{t_4} f^t_{\delta}\left((x_i^{\tau})\right)\beta_t + \sum_{t=t_1}^{t_2-1}\sum_{\alpha=1}^{2} f^{\alpha\tau}_{\rho}\left((x_i^{\alpha\tau})\right)\beta_t + \sum_{t=t_2}^{t_4} f_{\rho}\left((x_i^{\alpha\tau})\right)\beta_t \to \max \quad (32)$$

и выполнялись следующие ограничения:

на интервале $t_1 \le t < t_2$, $\alpha \in \{1,2\}$

$$\left(Q^t_{j\delta} + \sum_{\alpha=1}^{2} Q^{\alpha t}_{j\rho}\right) \ge Q^t_j, \quad \left(b^t_{s\delta} + \sum_{\alpha=1}^{2} b^{\alpha t}_{s\rho}\right) \le b^t_s, \quad \left(F^t_{\ell\delta} + \sum_{\alpha=1}^{2} F^{\alpha t}_{\ell\delta}\right) \le F^t_{\ell}, \quad (33)$$

на интервале $t_2 \le t \le t_4$, $\alpha = 1$

$$Q^t_{j\delta} + Q^{\alpha t}_{j\rho} \ge Q^t_j, \quad b^t_{s\delta} + b^{\alpha t}_{s\rho} \le b^t_s, \quad F^t_{\ell\delta} + F^{\alpha t}_{\ell\delta} \le F^t_{\ell}, \quad (34)$$

причем $x_i^{\tau} \in \{0,1\}$

$$x_i^{\tau} = \begin{cases} 1, \text{ когда } \tau = \tau_k, \ \tau \in \{1,2,\dots,\tau_\delta\} \\ 0, \text{ когда } \tau \ne \tau_k, \ \tau_k \in \{1,2,\dots,\tau_\delta\} \end{cases}$$

$\sum_{\alpha=1}^{2} x_i^{\alpha\tau} = 1$, $x_i^{\alpha\tau} \in \{0,1\}$, $\alpha \in \{1,2\}$,

$$x_i^{\alpha\tau} = \begin{cases} 1, \text{ когда } \tau = \tau_k \text{ и } \alpha = 1 \text{ (или } \tau \ne \tau_k \text{ и } \alpha = 2), \tau \in \{1,2,\dots,\tau_\rho\} \\ 0, \text{ когда } \tau \ne \tau_k \text{ и } \alpha = 1 \text{ (или } \tau = \tau_k \text{ и } \alpha = 2), \tau_k \in \{1,2,\dots,\tau_\rho\} \end{cases}$$

$\tau_\delta = \tau_\rho = t_2 - t_1 + 1$, $i = \overline{1,J}$.

В ограничениях (33) и (34) через Q^t_j, b^t_s и F^t_ℓ обозначены общие данные для этой оросительной системы: контрольные значения объемов продукции вида j, ресурса вида s, техногенного выброса вида ℓ в t-м году расчетного периода, которым должно соответствовать производство сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях ($j = \overline{1,J}$, $s = \overline{1,S}$, $\ell = \overline{1,L}$).

В целевой функции через β_t по-прежнему обозначен коэффициент дисконтирования.

Входящие в целевую функцию (32) члены служат для определения народнохозяйственного эффекта в каждом году t расчетного

периода от реализации на интервале $t \in [t_1, t_2]$ совокупности упорядоченных множеств (x_i^{τ}) и ($x_i^{\alpha\tau}$). С этой целью используются следующие зависимости:

на интервале $t_1 \le t < t_2$, $\alpha \in \{1,2\}$

$$f^t_{\delta}\left((x_i^{\tau})\right) + f^{\alpha t}_{\rho}\left((x_i^{\alpha\tau})\right) = \sum_{j=1}^{J}\left(Q^t_{j\delta} + \sum_{\alpha=1}^{2} Q^{\alpha t}_{j\rho}\right) z^t_j - \left(K^t_i + C^t_i\right) - \sum_{s=1}^{S}\left(b^t_{s\delta} + \sum_{\alpha=1}^{2} b^{\alpha t}_{s\rho}\right) r^t_s - \sum_{\ell=1}^{L}\left(F^t_{\ell\delta} + \sum_{\alpha=1}^{2} F^{\alpha t}_{\ell\delta}\right) v^t_{\delta}, \quad (35)$$

на интервале $t_2 \le t \le t_4$, $\alpha = 1$

$$f^t_{\delta}\left((x_i^{\tau})\right) + f^{\alpha t}_{\rho}\left((x_i^{\alpha t})\right) = \sum_{j=1}^{J}\left(Q^t_{j\delta} + Q^{\alpha t}_{j\rho}\right) z^t_j - \left(K^t_i + C^t_i\right) - \sum_{s=1}^{S}\left(b^t_{s\delta} + b^{\alpha t}_{s\rho}\right) r^t_s - \sum_{\ell=1}^{L}\left(F^t_{\ell\delta} + F^{\alpha t}_{\ell\delta}\right) v^t_{\delta}, \quad (36)$$

где все обозначения известны из предыдущего изложения.

Приведенная математическая постановка оптимизационной задачи в случае ее численной реализации обеспечивает наиболее рациональное распределение во времени потребных объемов производства продукции вида j, допустимых объемов потребления ресурса вида s и допустимых объемов выделения техногенного выброса вида ℓ между хозяйственными единицами, включенными в состав первых очередей реконструкции существующих объектов мелиоративного назначения и ввода новых земель под орошение.

Рассмотренную оптимизационную задачу (32)...(36) можно свести далее к частным случаям определения оптимальной очередности или только реконструкции существующих объектов мелиоративного назначения, или ввода новых земель. Выполнить это не представляет затруднений, поэтому в целях экономии места соответствующие зависимости здесь не приводятся.

Представляет несомненный интерес остановиться на методе решения описанной в данном разделе оптимизационной задачи и ее частных случаев.

Чтобы показать возможность решения данной оптимизационной задачи каким-либо конкретным методом, необходимо выполнить соответствующее обоснование. С этой целью введем ряд обозначений, а именно: через n^{τ}_i обозначим номер хозяйственной единицы в границах i-й оросительной системы, которая в год $\tau = \tau_k$ или вводится в сельскохозяйственное использование, или включается в работы по реконструкции. В данном случае не представляет принципиального значения, попадает хозяйство под ввод или под реконструкцию, так как это обстоятельство можно учесть через нумера-

цию, например принять, что номерами $n=1,2,\ldots,к$ отмечены хозяйства, для которых устанавливается очередность ввода земель под орошение, а номерами $n=к+1,\ К+2,\ldots,N$ – хозяйства, на территории которых должны проводиться работы по реконструкции.

Обозначим далее через $Z(n_i^{\tau}, \tau_к, t)$ народнохозяйственный эффект от производственной деятельности хозяйственной единицы под номером n_i^{τ} в t-м году расчетного периода, если хозяйство было введено или реконструировано в году $\tau=\tau_к$. Количественно указанный эффект определяется по формуле (21) или (22) и т.п. Если для данного хозяйства просуммировать годовые значения эффекта за весь расчетный период от t_1 до t_4, то получим суммарный народнохозяйственный эффект за расчетный период $T=t_4-t_1+1$:

$$Z^{\tau}(n_i,\tau_к)=\int_{t_1}^{t_4} z(n_i^{\tau},\tau_к,t)\,dt\ . \qquad (37)$$

Так как $\tau_к\in\{1,2,\ldots,\tau\}$, где при τ для общности опущен индекс "в" или "р", то в зависимости от принятого к рассмотрению года $\tau_к$ для данного хозяйства можно получить набор из τ значений $Z^{\tau}(n_i,\tau_к)$. Другими словами, следует рассчитать суммарный народнохозяйственный эффект на каждый год начиная от t_1 и до t_2 включительно для всех хозяйственных единиц, фигурирующих в оптимизационных расчетах.

Тем самым будет получено множество значений $Z^{\tau}(n_i,\tau_к)$, которое целесообразно далее представить в виде матрицы $//Z^{\tau}n_i,\tau_к//$. Элементами матрицы, следовательно, являются значения $Z^{\tau}(n_i,\tau_к)$, причем n_i выступает в качестве индекса, указывающего номер строки, а $\tau_к$ – в качестве индекса, указывающего номер столбца.

В случае, если n_i численно равно $\tau_к$, имеет место квадратная матрица, представленная на рисунке.

Суть определения очередности, например, ввода отдельных хозяйственных единиц за период с t_1 по t_2 ($\tau=t_2-t_1+1$) заключается в установлении последовательности элементов матрицы $//Z\,n_i\tau_к//$ начиная с первого столбца слева и до последнего справа таким образом, чтобы не встречался более одного раза любой из элементов одной и той же строки и при этом обеспечивался бы максимум суммы значений $Z^{\tau}(n_i,\tau_к)$.

Требование, согласно которому ни один из элементов строки матрицы не должен встречаться более одного раза в искомой

последовательности значений $Z^{\tau}(n_i,\tau_к)$, имеет под собой четкую логическую основу, а именно: ни одно хозяйство не может быть введено (или включено в работы по реконструкции) более одного раза.

n_i \ $\tau_к$	1	2	3	4		τ
1	$Z(1,1)$	$Z(1,2)$	$Z(1,3)$	$Z(1,4)$		$Z(1,\tau_к)$
2	$Z(2,1)$	$Z(2,2)$				
3	$Z(3,1)$	$Z(3,2)$				
4	$Z(4,1)$					
n_i	$Z(n_i,1)$	$Z(n_i,2)$				$Z(n_i,\tau_к)$

Поиск оптимальной траектории для матрицы, изображенной на рисунке, может быть успешно осуществлен с помощью метода ветвей и границ [2, с.109-125].

Следует отметить, что матрицу $//Z^{\tau}n_i\tau_к//$, где число строк и столбцов не совпадает, можно дополнить до квадратной введением дополнительных элементов, которым придаются значения ∞.

Разработанные математические модели во многом уже получили численную реализацию на ЭВМ. Однако необходимо довести работу в этом направлении до создания взаимосвязанной системы программных средств реализации математических моделей и их информационного обеспечения в целях комплексного решения вопросов оптимизации развития орошения в бассейне Аральского моря с учетом складывающейся напряженной водохозяйственной обстановки в этом

регионе.

Использованная литература

I. Воропаев Г.В., Гофман К.Г., Коповец Б.И., Райнин В.Е. Основные принципы экономического сопоставления планово-проектных вариантов в мелиорации и водном хозяйстве и формирование критерия выбора. - Водные ресурсы, I980, № 2, с.92-I00.

2. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей. Пер. с англ. - М.: Мир, I984.- 496 с.

УДК 63I.4I2

А.М.Зейлигер, канд.техн.наук, доц. (МГМИ)
А.Н.Морозов, гл.спец. (Средазгипроводхлопок)

РАСЧЕТ ОСНОВНОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ КАРШИНСКОЙ СТЕПИ ПО ДАННЫМ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Разработка проектов орошения и освоения земель на современном техническом уровне немыслима без математических методов прогноза водного и солевого режимов почв.

Эффективное использование этих методов в значительной мере сдерживается отсутствием достоверных параметров, характеризующих разнообразные почвы, отличающиеся гранулометрическим и минералогическим составом, а также плотностью. В предлагаемой работе приводится методика оценки основной гидрофизической характеристики почв по материалам стандартного гранулометрического анализа.

Водно-физические свойства порового пространства в моделях влагопереноса учитываются с помощью ряда функций, характеризующих его способность удерживать в себе и проводить через себя поровый раствор. В наиболее простой модели одномерного влагопереноса Ричардса-Клютта, имеющей вид

$$\frac{\partial W(\Psi)}{\partial(\Psi)} \cdot \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} K(\Psi)\left[\frac{-\partial \Psi(x,t)}{\partial x} + 1\right], \qquad (I)$$

где Ψ - капиллярно-сорбционный потенциал порового раствора, W - влажность почвы, x, t - соответственно пространственная и временная координаты, содержатся функция $W(\Psi)$, именуемая часто основной гидрофизической характеристикой (ОГХ), и функция $K(\Psi)$, связывающая коэффициент влагопроводности со степенью заполнения порового пространства раствором. Обе эти характеристики, называемые также гидростатической и гидродинамической, определяются полевыми и лабораторными экспериментальными методами. Однако сложность методик проведения экспериментов, их длительность, ограниченность диапазонов измерения и приближенность способов интерпретации заставляют в ряде случаев искать более простые и надежные способы нахождения интересующих функций.

Среди работ, посвященных модельному описанию ОГХ, можно выделить группы, основанные на однотипных подходах. Наиболее распространен подход, использующий выявленные по экспериментальным данным регрессионные связи. К этой группе работ относятся модели, приведенные в исследованиях Гунты и Ларсона [I], а также Мироненко и др.[2]. Иной подход, базирующийся на модельном представлении почвы в виде набора капилляров, в работах Ариа и Париса [3], а также Аверкампа и Парланжа [4]. В ряде отечественных исследований, например Мичурина [5,6] и Железного [7], для описания ОГХ применяется экспериментальная информация об удельной поверхности твердой фазы почвы.

В настоящей работе приводятся основные положения модели строения порового пространства минеральных почв и результаты сравнения рассчитанных с ее помощью гидростатических характеристик ряда почв Каршинской степи для диапазона влажностей от полной влагоемкости до максимальной гигроскопичности с материалами фактических измерений.

Ранее [8] была предложена следующая достаточно простая модель строения относительно бесструктурной, неагрегированной почвы, в которой не отмечается закономерного взаимного расположения элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) между собой. В ней принимается, что ЭПЧ, слагающие скелет почвы, расположены хаотично, без определенной микрозакономерности. Считается, что в любом элементарном представительном объеме (ЭПО) модельного почвенного пространства средняя величина объема порового пространства, отнесенная к массе заключенных в ней ЭПЧ, равна известной величине

коэффициента пористости почвы (ε). При таком условии весь объем порового пространства распределяется между фракциями ЭПЧ следующим образом:

$$\varepsilon_i = \varepsilon \frac{f_i W_{ni}}{\sum_{i=1}^{N} f_i W_{ni}} , \qquad (2)$$

где ε_i – удельный объем порового пространства, отнесенный к ЭПЧ i-й фракции гранулометрического состава; f_i – относительное массовое содержание в почвенном скелете ЭПЧ i-й фракции; W_{ni} – массовая влажность i-й фракции ЭПЧ при полном ее насыщении водой; N – количество фракций ЭПЧ.

Структура выражения (2) такова, что для монофракционного состава почвы удельный объем, приходящийся на эту фракцию, равен всему поровому объему, а при увеличении или уменьшении последнего будет соответственно изменяться и удельный объем.

Считается, что определенный по (2) удельный объем порового пространства, связанный с ЭПЧ i-й фракции, может заполняться поровым раствором только лишь под действием капиллярно-сорбционных сил, обусловленных взаимодействием с частицами, входящими в состав этой фракции. Следовательно, масса влаги, приходящаяся на единицу массы твердой фазы, содержащейся в ЭПО при некотором значении капиллярно-сорбционного потенциала, может быть определена выражением

$$W(\Psi) = K \sum_{i=1}^{N} f_i \frac{M_i^B(\Psi)}{M_i} , \qquad (3)$$

где M_i^B – масса влаги, содержащейся в удельном объеме i-й фракции ЭПЧ; M_i – масса частиц i-й фракции ЭПЧ; K – коэффициент плотности укладки

$$K = \varepsilon / \sum_{i=1}^{N} f_i W_{ni} . \qquad (4)$$

В справедливости существования равенства (3) можно убедиться, соответствующим образом интерпретируя эксперименты Мичурина и Лытаева [5], Штенгеля [9] и Фиеса [10], которые посвящены выявлению влияния на ОГХ содержания песчаной, пылеватой и илистой фракций в почвенных образцах, полученных смешением этих фракций в различных пропорциях. В результате обработки экспериментальных ОГХ с помощью линейных регрессионных уравнений было показано наличие устойчивой связи между влажностью, соответствующей определенному значению капиллярно-сорбционного потенциала, и массовой долей каждой из использованных в эксперименте фракций ЭПЧ.

Для выполнения расчетов с применением приведенных выражений необходима информация об отношении в правой части выражения (3), которое представляет собой ОГХ i-й фракции ЭПЧ. С этой целью удобно воспользоваться взаимно дополняющими экспериментальными данными Роде [11], Мичурина [5,6], Воронина [12]. Некоторые из них помещены на рис.I. Для удобства вычислений экспериментальные данные отдельных гранулометрических фракций были аппроксимированы рядом алгебраических зависимостей.

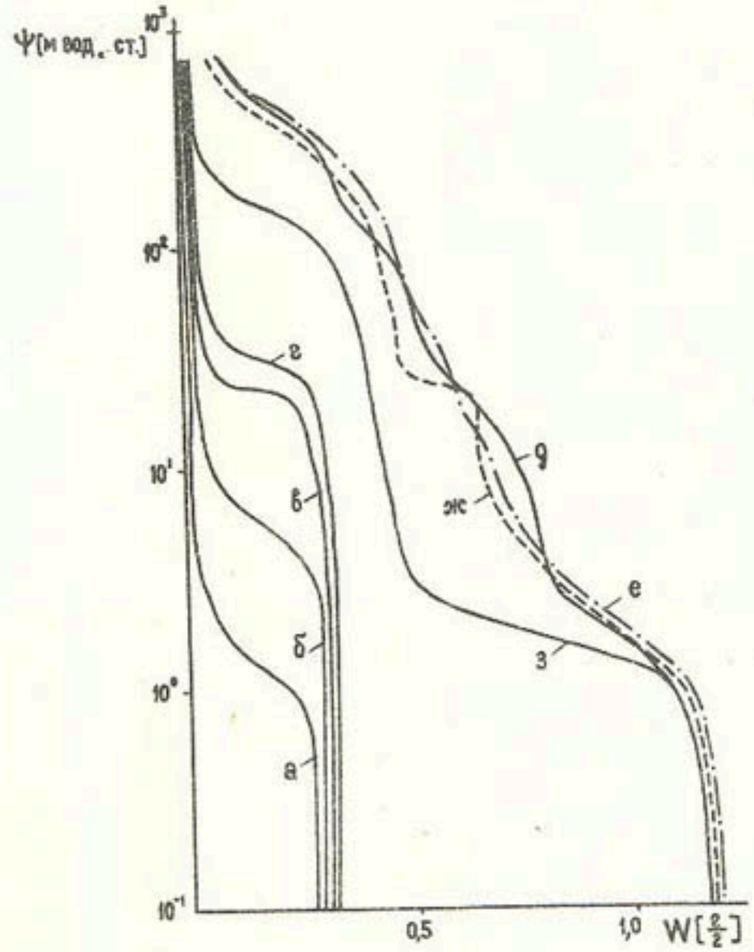


Рис.I. Экспериментальные основные гидрофизические характеристики фракций гранулометрического состава [5,6,11,12]: а) мелкий песок (0,10...0,05 мм); б) крупная пыль (0,05...0,01мм); в) средняя пыль (0,01...0,005 мм); г) мелкая пыль (0,005... 0,001 мм); д) ил (0,001 мм); е) бентонит (0,001 мм); ж) монтмориллонит (0,001 мм); з) каолинит (0,001 мм)

Таблица I

Значения коэффициентов эмпирических выражений, аппроксимирующих ОГХ фракций гранулометрического состава почвы

Фракция, мм	№ формулы	Коэффициент						
		$W_п$	B	C	$W_{мг}$	E	F	G
Гравий (3,0–I,0)	5	0,2204	0,3587	0,9098	0,0000	0,2726	0,56I7	–
Крупный песок (I,0–0,5)	6	0,2402	0,3935	I,2399	0,0000	–	–	–
Средний песок (0,5–0,25)	6	0,2559	0,4075	I,2720	0,0000	–	–	–
Мелкий песок (I) (0,25–0,I)	6	0,2650	I,4682	I,4558	0,0000	–	–	–
Мелкий песок (2) (0,I–0,05)	7	0,2760	I,78I0	2,56II	0,030I	28,562	0,63I5	0,0028
Крупная пыль (0,05–0,0I)	7	0,2957	9,388I	I2,I00	0,0325	79,906	0,7258	0,0044
Средняя пыль (0,0I–0,005)	7	0,3233	26,024	6,3I02	0,0632	38,022	0,5984	0,I00I
Мелкая пыль (0,005–0,00I)	7	0,3239	34,267	8,9559	0,0754	47,265	0,5507	0,0I82
Ил 0,00I	7	I,2I2I	49,250	0,63II	0,3002	I,3384	5,0372	0,30I4
Бентонит 0,00I	7	I,207I	76,456	0,6530	0,3220	0,8I62	I,8027	0,4220
Монтмориллонит 0,00I	7	I,2666	27,830	0,4I85	0,2830	0,I493	I4,579	0,2350
Каолинит 0,00I	7	I,2327	I,7I8	4,497I	0,034I	90,7580	0,4257	0,6094

Таблица 2

Некоторые характеристики почв Каршинской степи

Гранулометрический состав почвы	№ образца	Пористость, %	Объемная масса, г/см^3	Гранулометрический состав фракций ЭПЧ, α (мм)								
				3–I	I,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,I	0,I–0,05	0,05–0,0I	0,0I–0,005	0,005–0,00I	меньше 0,00I
Песок	I	43	I,59	0,0	20,0	20,3	44,3	7,I	5,6	I,0	0,I	I,6
Супесь	2	42	I,48	2,2	3,0	3,0	20,0	20,4	36,4	2,0	7,6	7,6
	3	48	I,32	0,0	2,0	3,0	I0,I	28,2	37,6	5,2	6,4	7,2
Суглинок средний	4	40	I,53	5,4	4,0	3,4	I7,7	I9,I	24,0	6,4	I0,4	I5,0
	5	40	I,49	0,0	0,0	0,0	2,0	0,4	55,6	2,4	I8,0	2I,6
Глина	6	42	I,59	0,0	4,0	0,7	I,6	0,5	24,0	29,2	I9,2	24,0

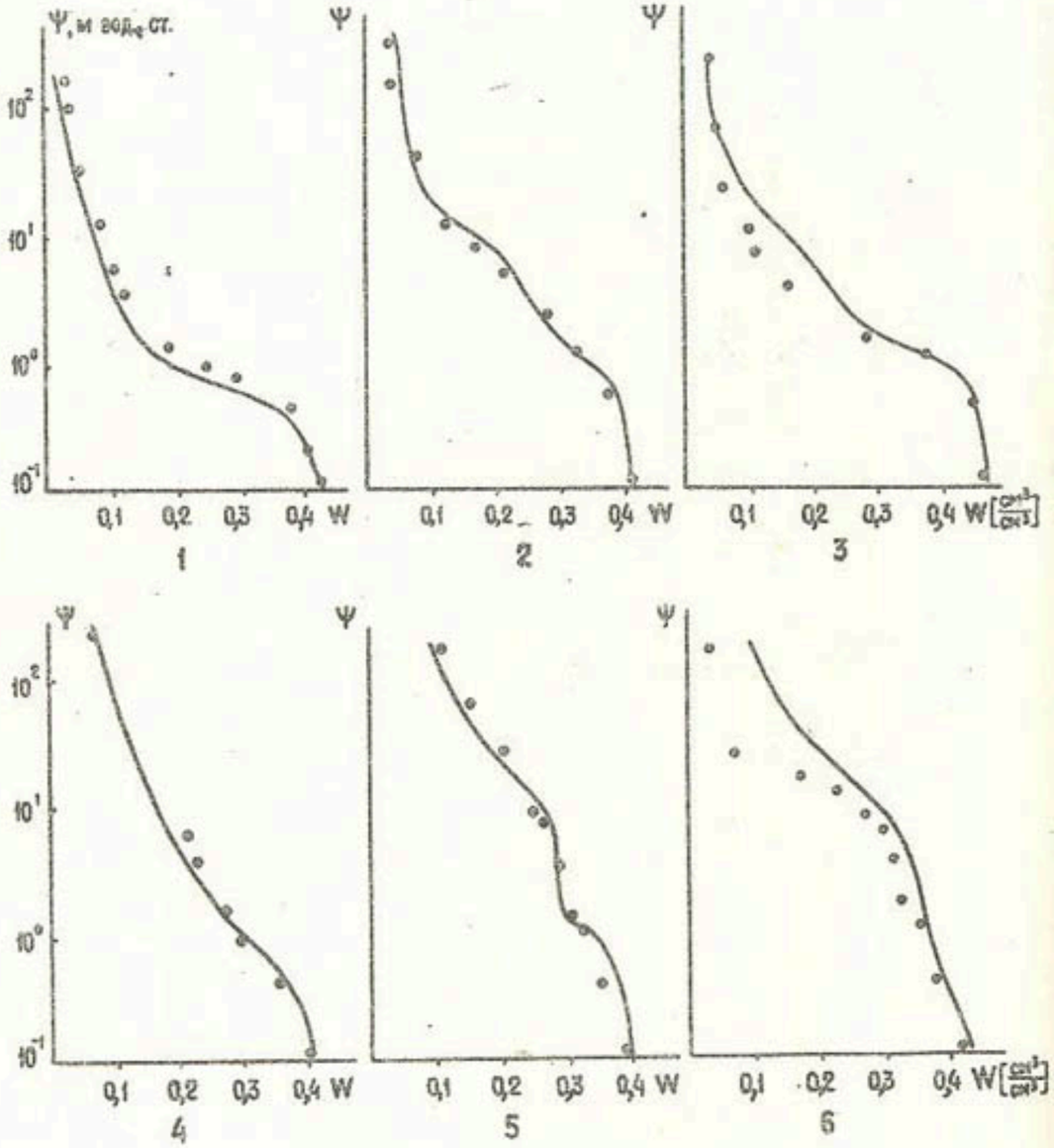


Рис.2. Экспериментальные (I) и рассчитанные (2) ОГХ почв, характеристики которых приведены в табл.2: I – песок; 2,3 – супесь; 4,5 – суглинок средний; 6 – глина

Для гравелистой фракции (3...I мм) эта зависимость записывается в виде:

$$W=(W_п-W_{мг})\exp\left[F-\left(\frac{\Psi}{B}\right)^C\right]+W_{мг}\ . \qquad (5)$$

Для песков с крупностью от I до 0,I мм:

$$W=(W_п-W_{мг})\exp\left[-\left(\frac{\Psi}{B}\right)^C\right]+W_{мг}\ . \qquad (6)$$

Для грунтов с диаметром фракций мельче 0,I мм:

$$W=(W_п-W_{мг}-G)\exp\left[-\left(\frac{\Psi}{B}\right)^C\right]+W_{мг}\exp\left[-\left(\frac{\Psi}{B}\right)^E\right]+G\ . \qquad (7)$$

При этом использовались следующие обозначения:

$W_{мг}$ – массовая гигроскопическая влажность, соответствующая эквивалентному капиллярно-сорбционному давлению Ψ =300 м вод.ст., B,C,E,F – эмпирические коэффициенты.

В табл.I приведены найденные для них значения коэффициентов.

Заметим, что модель, ввиду ее аддитивного характера, позволяет учитывать минералогический состав илистой фракции, а также изменение гидрофильности, связанное с отдельными минералами, происходящее ввиду изменения состава поглощенных катионов.

Проверка применимости предложенной модели для расчета ОГХ проводилась сопоставлением экспериментальных характеристик ряда почв Каршинской степи, измеренных на мембранных прессах в лаборатории отдела мелиоративных исследований института "Средазгипроводхлопок" имени А.А.Саркисова, с рассчитанными по описанной выше методике по данным о гранулометрическом составе, пористости и объемной массе исследованных образцов (табл.2). Расчеты выполнены по разработанной для ЭВМ программе. На рис.2 приведены экспериментальные и рассчитанные ОГХ, показывающие в общем удовлетворительный характер воспроизведения первых вторыми.

В результате проведенного сопоставления можно сделать вывод о возможности использования в практике предложенной методики расчета ОГХ минеральных бесструктурных почв по данным имеющихся анализов гранулометрического состава в случае отсутствия данных прямых опытов.

Использованная литература

I. Gunta S.C., Larcon W.E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. Water Res., 1979, v.19,N6, p.1633-1635.

2. Мироненко Е.В., Пачепский Я.А., Щербаков Р.А. Аппроксимация и предсказание кривых водоудерживания почв.– В кн.: Матема-

тические методы в задачах петрофизики и корреляции. - М.: Наука, I983, с.90-98.

3. Arya L.M., Paris J.F. A physicoempirical model predict the soil moisture characteristic from particle size distribution and bulk density data. Soil Sci.Soc.Am.J.,1981,v.45,p.1023-1030.

4. Havercamp R.,Parlange J.Y. Predicting water Retention curves from particle size distribution.
Soil Sci.,1982.

5. Мичурин Б.Н., Лытаев Н.А. Водоудерживающая способность дисперсных систем. - Сб.трудов по агрономической физике, вып.I4.- Л.: Колос, I967, с.55-67.

6. Мичурин Б.Н. Энергетика почвенной влаги. -Л.:Гидрометеоиздат, I975. - I40 с.

7. Железный Б.В. Термодинамическая теория водоудерживающих свойств почв. - Почвоведение, I984, № 5, с.27-36.

8. Зейлигер А.М., Исаев А.С. Сравнение зависимостей капиллярно-сорбционного потенциала и коэффициента влагопроводности от влажности почвы, полученных с помощью полевого, лабораторного и расчетных методов. - В сб.: Оптимизация процессов комплексного мелиоративного регулирования. - М., I985, с.72-82.

9. Stengel P. Relation entre le retrait et le potentiel de l'eau dans les melanges smectidelimon. Compte Rendu Acad.,Sc. Paris,1981,t.293,Ser.A,p.465-468.

I0. Fies J.P. Role de la texture dans les processus d'organisation structurale. 11 Congres JSSS, Edmonton, 1978, v.3, p.361-368.

II. Родэ А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т.I.- Л.: Гидрометеоиздат, I965. - 653 с.

I2. Воронин А.Д. Структурно-энергетическая концепция гидрофизических свойств почв и ее практическое применение. - Почвоведение, I980, № I2, с.35-46.

УДК 626.842:62I.646.3

В.К.Архангельский, руковод. группы
В.С.Попов, нач.отд.
(Средазгипроводхлопок)

ЗАТВОР-РЕГУЛЯТОР ДЛЯ МАЛОНАПОРНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИЗ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Закрытые оросительные системы (ЗОС), имея ряд преимуществ перед открытыми, являясь более прогрессивными и отличаясь повышенными эксплуатационными качествами, находят все большее распространение в практике гидромелиоративного строительства. Однако широкое внедрение ЗОС с применением трубопроводов диаметром более 400 мм сдерживается отсутствием специальной запорно-регулирующей арматуры, отвечающей требованиям эксплуатации, простоты и возможности изготовления на любом ремонтно-механическом заводе системы Минводхоза СССР.

В настоящее время на трубах диаметром 400...800 мм в качестве запорно-регулирующей арматуры используются поворотные дисковые затворы, заимствованные из систем питьевого водоснабжения, имеющие, благодаря конструктивным особенностям, небольшие габариты и сравнительно малый вес.

Поворотный затвор состоит из корпуса с водопропускным отверстием, равным диаметру условного прохода трубопровода. В отверстии на горизонтальной диаметрально расположенной оси закреплен дисковый затвор. Для уменьшения гидравлического сопротивления он выполнен в виде чечевицы.

Поворотные дисковые затворы привлекли внимание тем, что обладают преимуществами перед другими видами запорной арматуры, а именно:

- сравнительно малые габаритные размеры;
- высокая эксплуатационная надежность в абсолютно чистой и пресной воде;
- достаточно надежное перекрытие водопропускного отверстия затвора за счет имеющегося резинового уплотнения;
- относительно небольшие усилия, прилагаемые к рукоятке управления запорным механизмом.

Однако при всех этих преимуществах поворотные затворы малонапорных трубопроводов не лишены недостатков. К наиболее существенным можно отнести:

- завышенный запас прочности, так как выпускаемые конструкции рассчитаны на I и I,6 МПа при максимально необходимом рабочем давлении в низконапорных железобетонных трубах 0,2 МПа и асбестоцементных 0,3 МПа;
- сложность демонтажа для ремонта опорных конструкций и затвора, замены резинового уплотнения, а также последующего монтажа отремонтированного затвора или установки нового;
- повышенный износ опорных частей из-за наличия в оросительной воде твердой составляющей и растворенных солей;
- возможность возникновения гидравлического удара в трубопроводе при резком перекрытии отверстия диском;
- отсутствие плавной регулирующей способности, т.е. дисковые затворы практически работают в двух режимах - полное перекрытие отверстия и открытое состояние;
- ограничения по диаметру условного прохода.

Предприятиями Минводхоза СССР освоен выпуск поворотных затворов с $Д_у$ до 400 мм. Затворы большего диаметра изготовляются другими специализированными ведомствами, которые практически не поставляют свою продукцию на нужды ирригации.

Перечисленные недостатки вызывают необходимость создания такой конструкции, которая, исключая их, отвечала бы следующим требованиям:

- простота геометрических форм, позволяющая изготовлять затворы на любом металлообрабатывающем предприятии, и надежность конструкции;
- сравнительно малая металлоемкость;
- доступность к рабочим органам, подлежащим ремонту, или возможность их замены без демонтажа конструкции в целом;
- возможность регулирования подаваемого расхода в расчетных пределах;
- создание малых усилий на приводе механизма управления затвором;
- конструктивная простота и надежность механизма управления.

С учетом этих требований в институте "Средазгипроводхлопок" разработан облегченный вентиль с цилиндрическим затвором для низконапорных (0,3 МПа) труб большого диаметра - до 2000 мм.

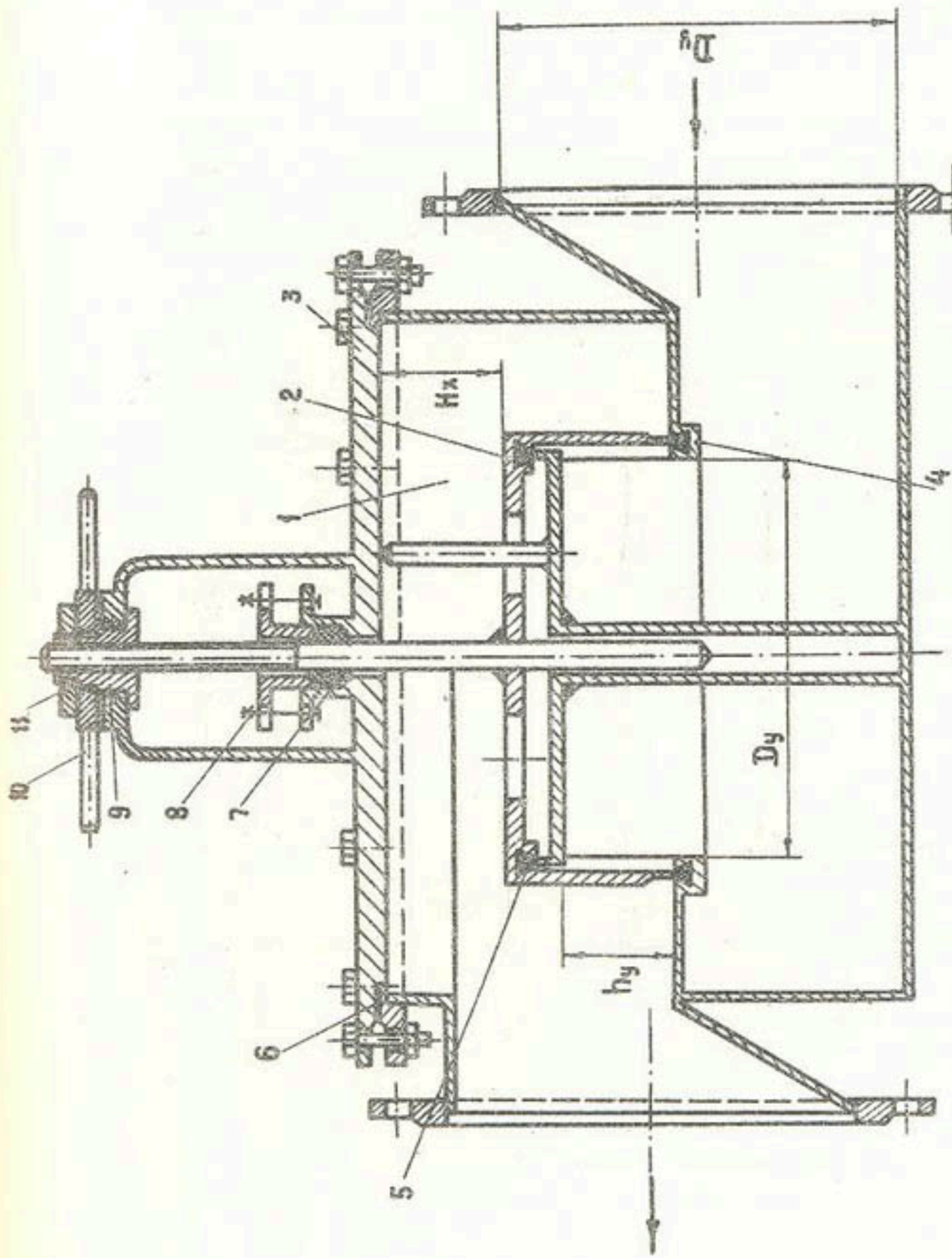


Рис.I. Затвор-регулятор для малонапорных ЗОС (в разрезе)

Предлагаемая конструкция состоит из сварного корпуса I, в котором размещен сварной цилиндрический затвор 2.

В верхней части корпуса имеется крышка 3 с сальниковой втулкой и П-образным стояком грузоподъемного механизма.

Корпус вентиля представляет собой сварной цилиндр с плоским дном и фланцем 6 в верхней торцовой части цилиндра. Цилиндр разделен на две части внутренней перегородкой с центральным отверстием, диаметр которого принят равным диаметру условного прохода трубопровода.

По периметру отверстия в утолщении на перегородке устроен трапецеидальный паз для резинового кольца 4. В поперечном сечении укладываемое в паз резиновое кольцо может иметь круглую, трапецеидальную или прямоугольную формы.

Над отверстием в перегородке корпуса на высоте $h_y \geqslant 0{,}25Д_у$ размещается тарелка с вертикальным бортом. На ней вертикально закреплен короткий стержень. Площадь цилиндрического пространства между перегородкой и тарелкой близка к площади живого сечения трубопровода. В центре тарелки имеется сквозное отверстие, по размеру совпадающее с полостью отрезка трубы, упирающейся в дно корпуса. Тарелка с отрезком трубы центрируется в отверстии перегородки радиально расположенными пластинами, которых должно быть не менее трех. Края пластин привариваются к внутренней поверхности отверстия перегородки, тарелке и трубе. Последняя является направляющей для штока и создает дополнительную жесткость конструкции.

Для входа и выхода водного потока в цилиндрическом корпусе устроены два одинаковых по размеру прямоугольных отверстия. Одно в нижней части корпуса, другое - в верхней. Максимальный угол выреза отверстий $\leqslant 180^{\circ}$. С помощью короткого прямоугольного патрубка каждое отверстие выводится на касательную плоскость к наружной поверхности цилиндра корпуса. К прямоугольному патрубку крепится переходный патрубок, плавно сопрягающий входное и выходное отверстия корпуса с трубопроводом.

Для подключения затвора к трубопроводу предусмотрены фланцевые соединения, но могут быть разработаны и другие приспособления, отвечающие требованиям герметичности стыков.

При проектировании корпуса вентиля размеры плоских деталей и развертка цилиндрического корпуса назначаются и подсчитываются согласно элементарным правилам геометрии.

Затруднение может вызвать расчет и построение развертки переходного патрубка со смещенными осями, в основаниях которых прямоугольник и круг. Поэтому в статье приводятся принципы геометрического расчета и построения развертки (рис.2 и 3).

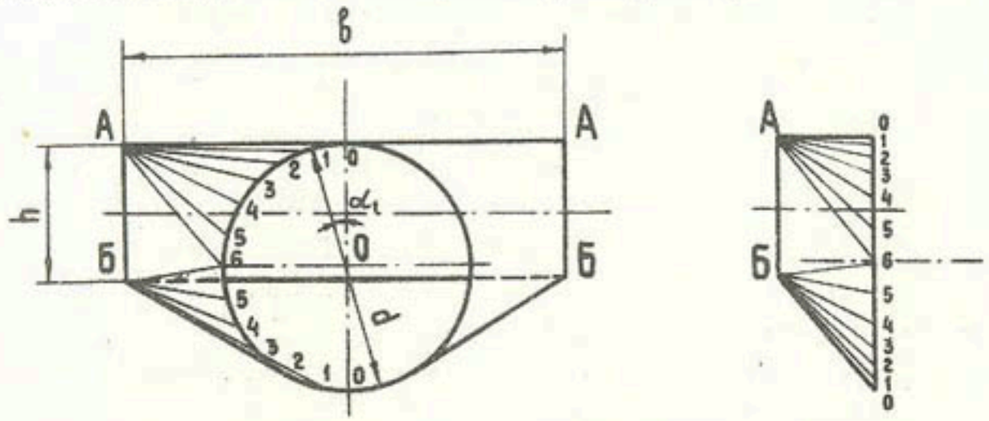


Рис.2. Патрубок с квадратом и кругом в основаниях

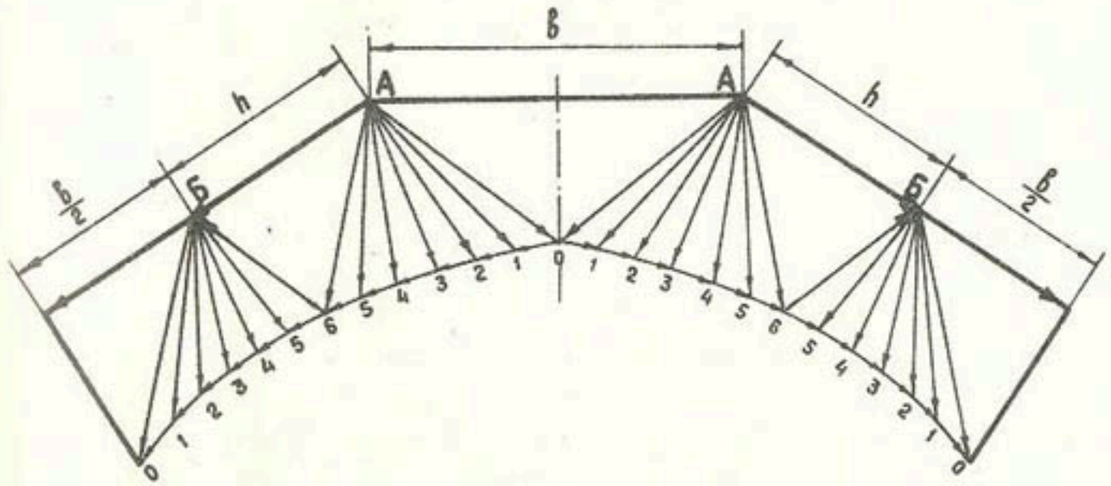


Рис.3. Развертка патрубка с квадратом и кругом в основаниях

Для расчета левая сторона полукруга от оси (рис.2) разбивается на две четверти - верхнюю и нижнюю. Дуга каждой четверти делится на шесть равных частей. Угол между точками разбивки равен 15°. Проекции лучей, соединяющих вершину А прямоугольного отверстия с точками $n = 0,1,2,3,4,5,6$ на дуге окружности, определяются по формуле

$$A_n = \sqrt{\left[\frac{d}{2}(1-\cos\alpha_n)\right]^2 + \left(\frac{в}{2} - \frac{d}{2}\sin\alpha_n\right)^2}\ , \qquad (I)$$

где d – диаметр круглого отверстия;

$\alpha_n = 0,\ 15^0,\ 30^0,\ 45^0,\ 60^0,\ 75^0,\ 90^0$;

b – ширина прямоугольного отверстия;

h – высота прямоугольного отверстия.

Действительный размер луча A_n находится из формулы

$$A_n = \sqrt{\ell^2 + \sqrt{\left[\frac{d}{2}(1-\cos\alpha_n)\right]^2 + \left(\frac{b}{2} - \frac{d}{2}\sin\alpha_n\right)^2}}, \qquad (2)$$

где ℓ – длина переходного патрубка.

Построение развертки (рис.3) выполняется следующим образом:

– на листе плотной бумаги или тонкого металла (жесть) откладывается отрезок, равный ширине прямоугольного отверстия;

– из точек А–А этого отрезка циркулем делаются встречные засечки и фиксируют точку пересечения 0;

– вправо и влево от этой точки циркулем откладываются отрезки, равные длине дуги угла α_1 окружности d;

– затем делаются встречные засечки лучом А–I. При пересечении дуг лучей А–I и 0–I получается точка I;

– таким же образом находятся и все остальные точки.

На развертке радиусы засечек указаны стрелками. Построение проводится вправо и влево от осевой линии либо строится одна из половин, вторая вычерчивается по контуру первой.

Цилиндрический затвор 2 включает цилиндр с утонченным книзу торцом, крышку и шток. С внутренней стороны крышки вплотную к стенке по диаметру выбирается трапецеидальный паз под резиновое кольцо 5 такой же формы, как и у перегородки корпуса. Вокруг оси в крышке высверливается несколько отверстий. Через центральное отверстие пропущен шток, имеющий в верхней части трапецеидальную резьбовую нарезку. Гладкий (нижний) конец штока свободно входит в полость трубы. Зазор между штоком и трубой не должен превышать 2...3 мм. Диаметр цилиндрического затвора принимается равным диаметру оси трапецеидального паза перегородки корпуса, а диаметр тарелки корпуса равным диаметру оси трапецеидального паза крышки затвора.

Перекрывая пространство под тарелкой, нижний торец цилиндра входит в трапецеидальный паз перегородки корпуса, а торец вертикальной стенки тарелки корпуса – в трапецеидальный паз крышки цилиндрического затвора. Вертикальность внутренних стенок цилиндрического затвора и наружной поверхности краев тарелки обеспечивает минимум зазора между ними, который принимается

равным 2...5 мм. Толщина стенок в торцах цилиндрического затвора и краев тарелки корпуса на высоте, равной глубине трапецеидального паза, принимается в зависимости от диаметра условного прохода от 2 до 6 мм.

Установка затвора в корпусе осуществляется после запрессовки резиновых колец в трапецеидальные пазы. По составу резина должна быть упругой и эластичной, позволяющая при сравнительно малых прижимных усилиях обеспечить надежность перекрытия отверстия.

После установки затвора корпус закрывается крышкой, которая накладывается на резиновую прокладку фланца и прижимается к нему болтами с гайками через соосные отверстия в крышке и фланце. Количество отверстий – четное. В центре крышки предусмотрено отверстие с втулкой, имеющей уширение для сальниковой набивки. В верхней части сальниковой втулки симметрично расположены ушки с прорезями для болтов. Диаметр отверстия, через которое пропущен шток, на 0,5...1,0 мм больше диаметра штока.

Размер уширения под сальниковую набивку определяется на основании эмпирических зависимостей и исходя из конструктивных соображений. Величина уширения должна быть не менее 3...4 мм и не более 30 мм. Обычно принимается от $1{,}5\sqrt{d}$ до $2{,}5\sqrt{d}$, где d – диаметр штока. Высота уширения зависит от давления среды, и ее рекомендуется принимать $(3...5)S$.

Сальниковая набивка 7, если ее не поджимать сверху, не будет выполнять своих функций. Поэтому на шток надевается подвижная втулка 8, имеющая в верхней части два симметрично расположенных ушка с прорезями для стягивающих болтов.

Долговечность сальника зависит от качества обработки контактирующей с сальником поверхности штока. Она должна быть гладкой и чистой. В связи с этим ее необходимо либо предохранять от ржавчины антикоррозийным покрытием, либо изготавливать шток из нержавеющей стали.

Над сальниковым узлом на П–образном стыке располагается грузовая винтовая пара. Расстояние от сальниковой набивки до грузовой гайки 9 равно высоте открытия затвора с учетом глубины трапецеидального паза. Грузовая гайка помещается в гнезде ригеля П–образной стойки, которая жестко прикреплена к крышке корпуса. Осевое перемещение гайки ограничивается прямоугольным буртиком на ее нижней наружной поверхности. Высота трущейся части гайки

без учета толщины буртика принимается на 0,5...I,0 мм больше высоты гнезда ригеля. Выше ригельной части гайка имеет два ступенчатых перехода с мелкой метрической резьбой: нижняя ступень - с правой, верхняя - с левой нарезкой. На нижнюю ступень наворачивается рукоятка IO, на верхнюю - гайка II, закрепляющая рукоятку.

Определение габаритов винтовой пары с рукояткой производится по максимальному осевому усилию, действующему на винт. Осевая сила винта достигает наибольшей величины в момент закрытия цилиндрического затвора, при этом одновременно прижимаются:

- торец цилиндра к резиновому уплотнению перегородки корпуса;
- резиновое уплотнение крышки цилиндра к торцу края тарелки.

Составляющие осевой силы:

- давление воды на крышку затвора. Площадь давления зависит от зазора между стенками цилиндра и тарелки (зазор 3...5 мм). Составляющая сила направлена вверх по оси штока;
- упругость резинового уплотнения - составляющая сила направлена вверх;
- масса затвора - составляющая направлена вниз;
- подсос запирающихся поверхностей - наибольшая величина направляющей силы в начальный момент открытия затвора направлена вниз;
- давление воды на внутреннюю вертикальную стенку цилиндра затвора уравновешивается.

При конструировании вентиля с цилиндрическим затвором и назначении размеров основных элементов в основу должны быть положены следующие требования:

- отсутствие уменьшения площади живого сечения в любом поперечном сечении вентиля по отношению к сечению трубопровода, т.е. условие одинаковости условного прохода трубопровода и вентиля;
- обеспечение плавности подхода потока к запорному устройству и на выходе из него;
- простота изготовления конструкции при ее статической и гидравлической надежности;
- широта диапазона регулирования процускаемого расхода;

- значительное снижение тяговых усилий, необходимых для управления запорным устройством;
- уменьшение металлоемкости конструкции по сравнению с выпускаемой промышленностью запорной арматурой;
- возможность демонтажа механизма управления и запорного устройства для осмотра и ремонта без снятия корпуса вентиля с трубопровода.

УДК 626.842:62I.646.97
В.С.Попов, нач.отд.
В.П.Закутский, руковод.группы
Т.Я.Саушкина, руковод.группы
(Средазгипроводхлопок)

ЗАЩИТА ТРУБЧАТЫХ ВОДОВОДОВ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ ЗАСОРЕНИЯ И ЗАИЛЕНИЯ

В настоящее время основное направление развития водного хозяйства в засушливых районах страны - это разработка мероприятий по бережному, экономному расходованию оросительной воды, налаживание и внедрение средств измерения количества разбираемых на орошение расходов, автоматизация процессов водораспределения вплоть до самых низших звеньев оросительной сети и в конечном итоге - создание такой оросительной системы, которая была бы надежным в эксплуатации, легко и точно управляемым органом в деле получения устойчивых запрограммированных урожаев сельскохозяйственных культур.

Закрытая оросительная сеть (ЗОС) в полной мере могла бы удовлетворять тем требованиям, которые предъявляются к проектируемой технически совершенной оросительной системе.

Однако накопленный опыт строительства и эксплуатации закрытых трубопроводов на землях нового орошения в Голодной, Джизакской и Каршинской степях убеждает в том, что ЗОС не оправдывает возлагавшихся на нее надежд из-за многочисленных просчетов при строительстве (отступления от проекта) и эксплуатации (отсутствие грамотных, квалифицированных кадров). Да и проектные решения необходимо совершенствовать. Особенно это относится к разработке

конструкций арматуры и сооружений на трубопроводах, при проектировании которых следует применять новейшие достижения в данной области.

Несмотря на то, что первые закрытые оросительные системы построены в Голодной степи более 20 лет назад, водохозяйственная практика не располагает четкими рекомендациями по их эксплуатации. Главсредазирсовхозстроем была признана необходимость создания такой инструкции. Вспомогательным материалом для составления инструктивного документа явились результаты выполненной в отделе гидравлических исследований (ОГИ) института "Средазгипроводхлопок" работы по изучению заиления и засорения трубопроводов закрытой оросительной сети.

Защита трубчатого водовода от засорения и заиления, содержание его в "чистоте" является основным требованием для обеспечения эффективной работы трубопровода. Несоблюдение этого условия может не только свести на нет все его высокие эксплуатационные показатели, но и вывести из строя. Поэтому разработке мероприятий по борьбе с засорением и заилением трубопроводов следует уделить первоочередное внимание.

При решении вопроса о применении на орошаемом массиве того или иного типа оросительной сети (открытой, закрытой или комбинированной) необходимо выполнить технико-экономическое обоснование различных вариантов сети. Естественно, в сравниваемые варианты должны быть включены элементы, удовлетворяющие техническому совершенству системы, а при определении составляющих суммы затрат - стоимость (или учтенная каким-то образом эффективность) сэкономленной воды и уменьшенных под отвод пахотных земель. Если по экономическим и техническим соображениям выбирается вариант закрытой самонапорной оросительной сети, проектировщику надлежит проверить, обеспечивают ли уклоны местности такую скорость движения воды в трубопроводе, которая превышала бы некоторую критическую скорость, предотвращающую его заиление.

Предельную незаиляющую скорость рекомендуется определять по формулам Г.М.Зиликова /1,2/ и В.С.Кнороза /3/ предварительно имея характеристику транспортируемого трубопроводом потока: необходимо знать количество содержащихся во взвешенном состоянии наносов (мутность потока) и среднюю гидравлическую крупность, зависящую от фракционного состава наносов.

По приводимым ниже формулам определяется незаиляющая скорость в трубопроводе:

$$v_{кр} = \sqrt{0{,}00002\,\omega^{0.25}\rho\delta g\frac{1}{\lambda}}$$ - формула Г.М.Зиликова,

$$v_{кр} = \omega\sqrt{\rho\left(\frac{D}{d_{ср}}\right)^{3{,}5}}$$ - формула В.С.Кнороза,

где ω - гидравлическая крупность, соответствующая среднему диаметру наносов, м/с; ρ - мутность потока, кг/м^3; g - ускорение свободного падения, 9,81 м/с^2; λ - коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода в зависимости от материала применяемых труб; ρ - весовое содержание твердого материала, отнесенное к весовому содержанию воды в рассматриваемом объеме гидросмеси, %; D - внутренний диаметр трубопровода.

Эти формулы имеют границы применимости, установленные авторами и уточненные другими исследователями. На основании натурных наблюдений Г.Ю.Шейнкина /4/ и лабораторных исследований, проведенных в ОГИ Средазгипроводхлопка, можно рекомендовать

- при незначительном содержании (порядка 0...2%) в наносах частиц крупнее 0,1 мм применять формулу Г.М.Зиликова в пределах мутности потока до 5,0 кг/м^3 и средней гидравлической крупности наносов до 0,0029 м/с;

- при содержании во взвешенных наносах более 20% частиц крупнее 0,1 мм применима формула В.С.Кнороза при любой мутности потока.

Следует заметить, что в пробах воды, взятых нами из трубопроводов в обследуемых совхозах Каршинской и Джизакской степей, преобладали наносы с содержанием частиц крупнее 0,1 мм в количестве от 5 до 30% общего состава, т.е. в условиях орошения названных массивов для определения незаиляющей скорости применима формула В.С.Кнороза.

При определении уклона, обеспечивающего незаиляющую скорость воды в трубопроводе, проектировщик должен предусмотреть и такие факты, что в незаиляющемся трубопроводе могут возникнуть ситуации неполного опорожнения его, заполнение протечками через неплотно закрываемые затворы или другие случаи, когда поток теряет скорость и наносы начинают выпадать в осадок, т.е. трубопровод заиливается, и заложить уклон трубопровода достаточным для самопромыва отложившихся наносов. С целью определения скорости, необходимой для размыва отложившихся наносов (размывающей скорости), ВНИИГи Мом /2/ предложена формула

$$v_p = \left(A - \frac{1}{BT^{1,2}+C}\right)\sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_н} k m_1 m_2}\ ,$$

где k – коэффициент неоднородности отложившихся наносов (I,2... I,02); m_1 – коэффициент условия работы, когда поток несет взвешенные наносы в коллоидном состоянии в количестве более 0,I% (I,2...I,4); m_2 – коэффициент условия работы, когда поток несет донные корродирующие наносы (0,8...0,75); $\frac{\lambda}{\lambda_н}$ – отношение коэффициента гидравлических сопротивлений материала чистого трубопровода к этому же коэффициенту заиленного наносами трубопровода. В зависимости от материала трубопровода следует принимать для труб

железобетонных	$I,4\ Д^{0,I34}$
стальных	$I,3I Д^{0,II7}$
чугунных	$I,22Д^{0,I47}$
асбестоцементных	$I,5\ Д^{0,II4}$

Т – время уплотнения наносов, сут.

Применяемые в этой формуле коэффициенты A,B и C – функции от P, характеризующие содержание (в долях единицы) мелкопесчаной фракции размером 0,I...0,05 мм в общем составе наносов:

$A = 3,I-3P;$

$B = 0,00084\ e^{I8(P-0,6)}+0,0I5;$

$C = 0,II\ e^{I3(P-0,6)}+I.$

Приведенных зависимостей достаточно для проектирования незаиляющихся и самопромывающихся трубопроводов.

На основании гидравлических исследований и расчетов нами предложены графики зависимости $G=f(h)$ и $W=f(h)$ для различных диаметров асбестоцементных трубопроводов. Зависимость $G=f(h)$, приведенная на рис.I, характеризует интенсивность промывки трубопровода различными скоростями потока при условии, что находящиеся в трубопроводе наносные отложения имеют средний диаметр фракционного состава $d_{ср}$ =0,08 мм. Такой состав характерен для большинства проб, взятых из трубопроводов на территории Джизакской и Каршинской степей.

Зная свойственную тому или иному расходу интенсивность промывки, высоту слоя отложений (h), которую замеряют через поливные гидранты, можно определить продолжительность промывки и объем промывной воды.

Для вспомогательных подсчетов связи массы наносов и толщины их слоя составлены графики зависимости $W=f(h)$, приведенные

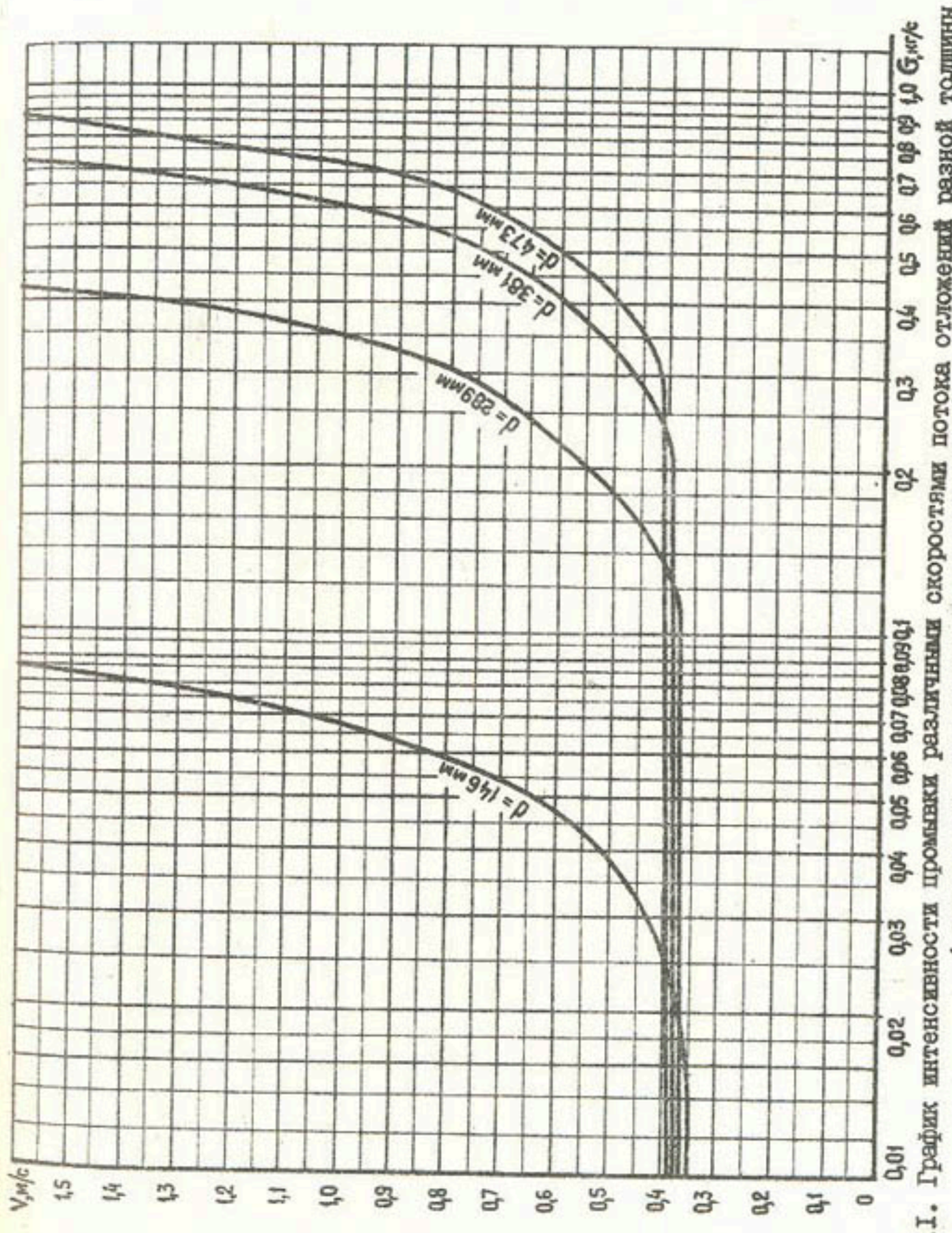


Рис.I. График интенсивности промывки различными скоростями потока отложений разной толщины (при среднем диаметре отложений 0,08 мм)

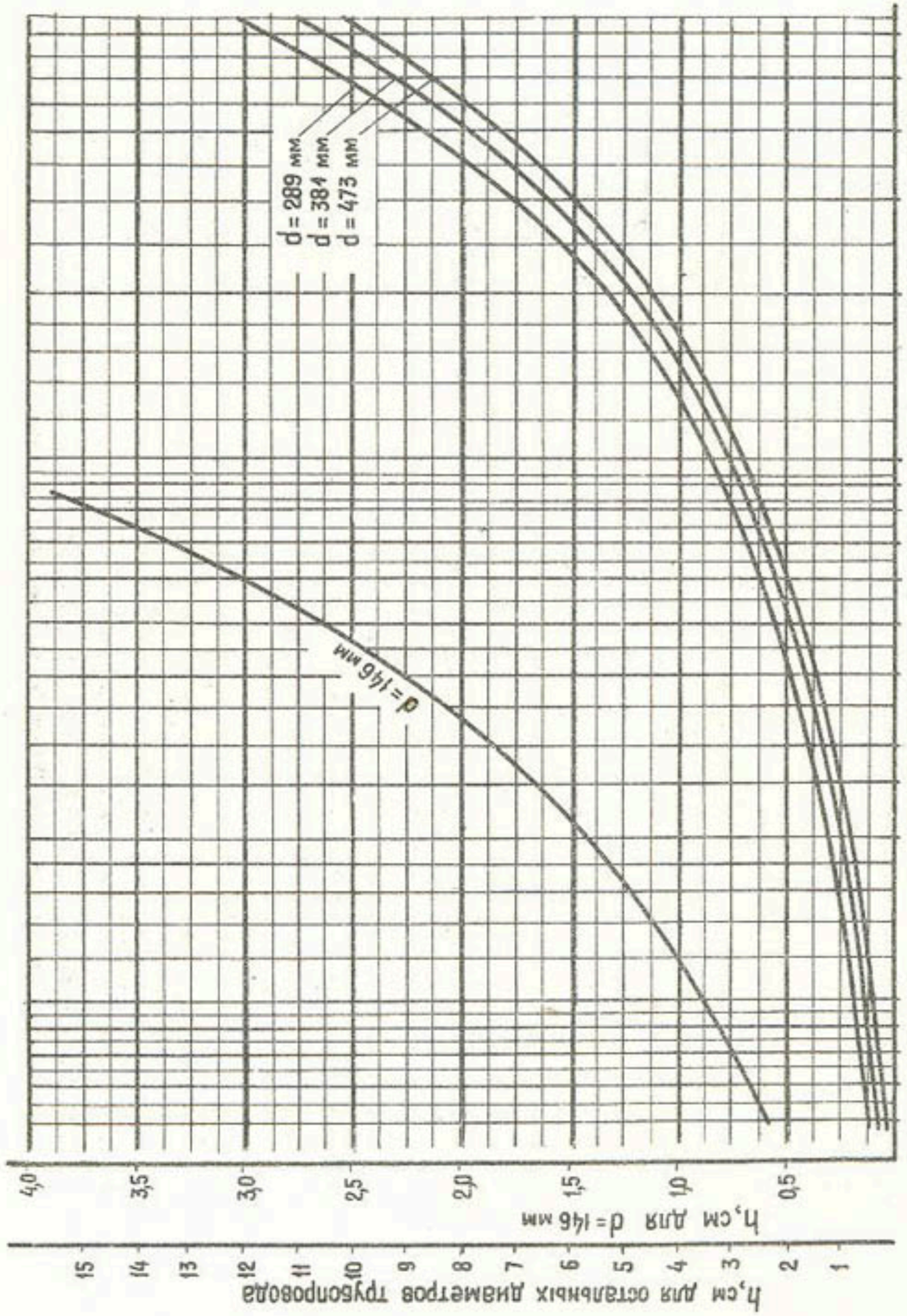


Рис.2. График зависимости массы отложившихся в трубопроводе наносов от толщины слоя отложений

на рис.2. Они выполнены на основании подсчета площади сегментов (заиляемых частей общей площади сечения трубопровода). Объем заиления определен для трубы длиной 100м, а масса наносов - для условия, что объемный вес отложения γ = 2,45 т/м^3.

Пример расчета нормы промывки закрытого трубопровода

Необходимо определить, какими расходами и за какое время можно промыть трубопровод, состоящий из двух участков: длина первого - 400 м, диаметр - D_1 = 473 мм, длина второго - 420 м, диаметр-D_2 =381 мм. Средняя толщина отложений на первом участке h_1=3,5 см, на втором h_2=9,5 см.

Принимая во внимание, что эффективная промывка начинается при скоростях более 0,5 м/с (см.рис.1), задаемся скоростью промывного расхода v_1=0,7 м/с. Этой скорости соответствует расход первого участка трубопровода Q =0,123 м^3/с. По графику на рис.1 находим, что интенсивность промывки при скорости 0,7 м/с в трубопроводе D_1 =473 мм будет достигать G_1 =0,59 кг/с. По графику на рис.2 определяем, что при толщине отложений в 3,5 см на 100-метровой длине будет накоплено 1250 кг наносов, тогда на первом участке содержится W_1 =1250x4 = 5000 кг наносов. Чтобы смыть этот объем наносов заданной интенсивностью промывки, необходимо время $T_I = \frac{W_1}{G_1} = \frac{5000}{0,59}$ = 8480 с, или 2,35ч.

На втором участке трубопровода при толщине отложений 9,5 см и его длине 420 м наносов содержится (по графику на рис.2):

$$W_2 = 5200x4,2 \approx 21900 \text{ кг.}$$

Этот объем смывается тем же расходом, который проходил и по первому участку, но скорость на втором участке из-за меньшего диаметра будет 1,08 м/с и соответствующая ей интенсивность промывки G_2 =0,63 кг/с. Время промывки

$$T_2 = \frac{W_2}{G_2} = \frac{21900}{0,63} \approx 34600\text{с, или } \approx 9,6\text{ч.}$$

Общий объем промывной воды ΣQ =0,123 м^3/с x 9,6 ч. $\approx$4250м^3.

Защита трубопровода от засорения заключается в принятии специальных мер, направленных на предотвращение попадания в трубопровод плавающего мусора или влекомых по дну подводящего канала донных наносов.

Для защиты трубопровода от плавающего мусора обязательно должны устанавливаться решетки перед водозабором в трубопровод. Конструкция решетки зависит от величины водозаборного сооружения и засоренности канала мусором. Но во всех случаях предпочтительнее вертикальное расположение прутьев круглого сечения из стали I0...I4 мм с установкой их через 80...I00 мм. Следует помнить, что забитая мусором решетка отрицательно влияет на пропускную способность ее. Потери напора на чистой решетке рекомендуется определять, принимая коэффициент сопротивления $\xi = 0{,}05$. Специальными исследованиями доказано, что засоренная решетка увеличивает коэффициент сопротивления до 4,I /5/. Поэтому вопрос об обязательной регулярной очистке решетки должен быть поставлен строжайшим образом перед эксплуатационниками.

Особого внимания заслуживает вопрос о защите трубопровода от плавающего мусора при водозаборе из лоткового распределителя.

Конструкция мусороудерживающей решетки на лотковом канале предложена ОГИ Средазгипроводхлопка (рис.3).

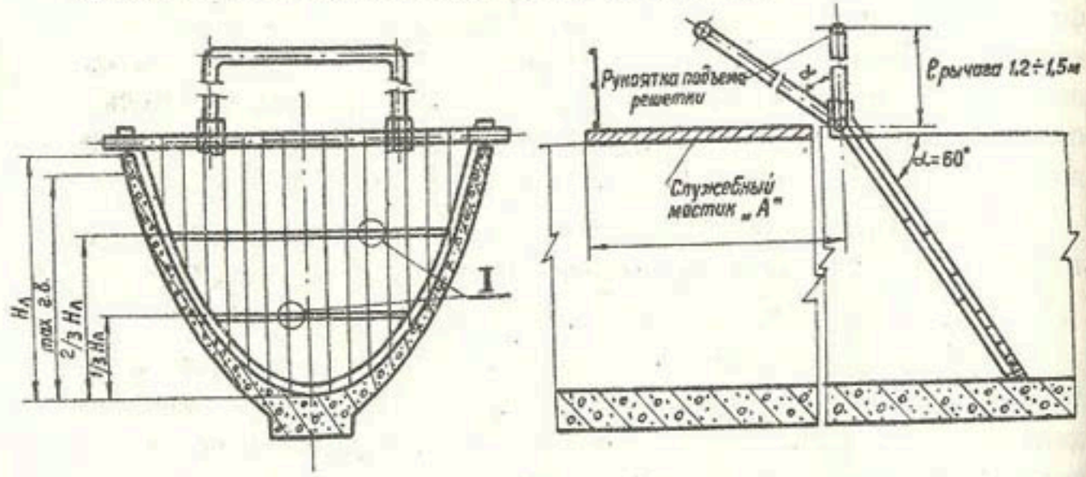


Рис.3. Схема конструкции мусороудерживающей решетки при водозаборном сооружении из лотка в трубопровод

Решетка навешивается на горизонтальную ось, уложенную поверх лотка. Угол установки решетки 60°. Масса - около 7 кг. Решетка для очистки вручную (рукояткой) поднимается из воды. Желательно совместить створ установки решетки со служебным мостиком, особенно при большой высоте лотка. Решетка на лотковом канале могла бы очищаться и автоматически, при помощи гидропривода, как то имеет место в опытном образце, выполненном в ВНПО "Радуга"

по образцу применяемого в США специального устройства и испытанном в совхозе № I0 "Пахтакор" /6/ (рис.4). Устройство работает следующим образом. Поток воды, проходя через решетку, оставляет на ней мусор и, попадая на лопатки рабочего колеса, приводит его во вращение. Колесо, в свою очередь, через цепную передачу приводит в движение транспортер, в результате чего скребки и щетки, двигаясь снизу вверх по поверхности решетки, собирают осевший мусор и сбрасывают его в приемный лоток, который очищается поливальщиком один-два раза в сутки. Недостатком рассмотренной конструкции является создание большого подпора (до 30 см) при установке этого устройства непосредственно в лоток. Потери напора можно снизить до I0 см, если очистное устройство установить в прямоугольной камере, сопрягаемой с лотком.

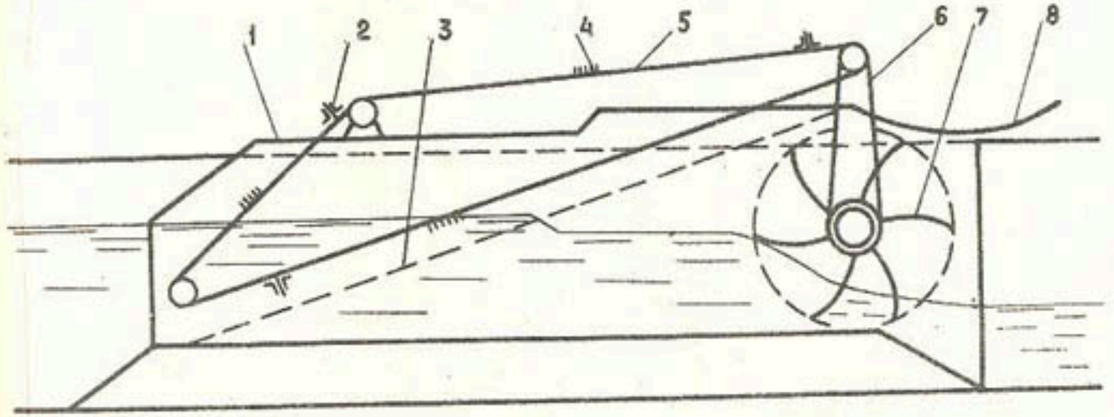


Рис.4. Схема конструкции мусорозащитной решетки с гидроприводом для ее очистки: I - корпус; 2 - скребки; 3 - решетка; 4 - щетки; 5 - транспортер; 6 - цепная передача; 7 - рабочее колесо; 8 - приемный лоток для мусора

Если выбор типа решетки связан с конкретными условиями в водозаборном сооружении, то вопрос защиты трубопровода от попадания в него плавающего мусора абсолютно однозначен - мусорозащитная решетка обязательна.

Защита трубопровода от попадания в него донных наносов предусматривается устройством донного порога перед водозабором в канал. Такие пороги проектируются во всех типах водозаборных

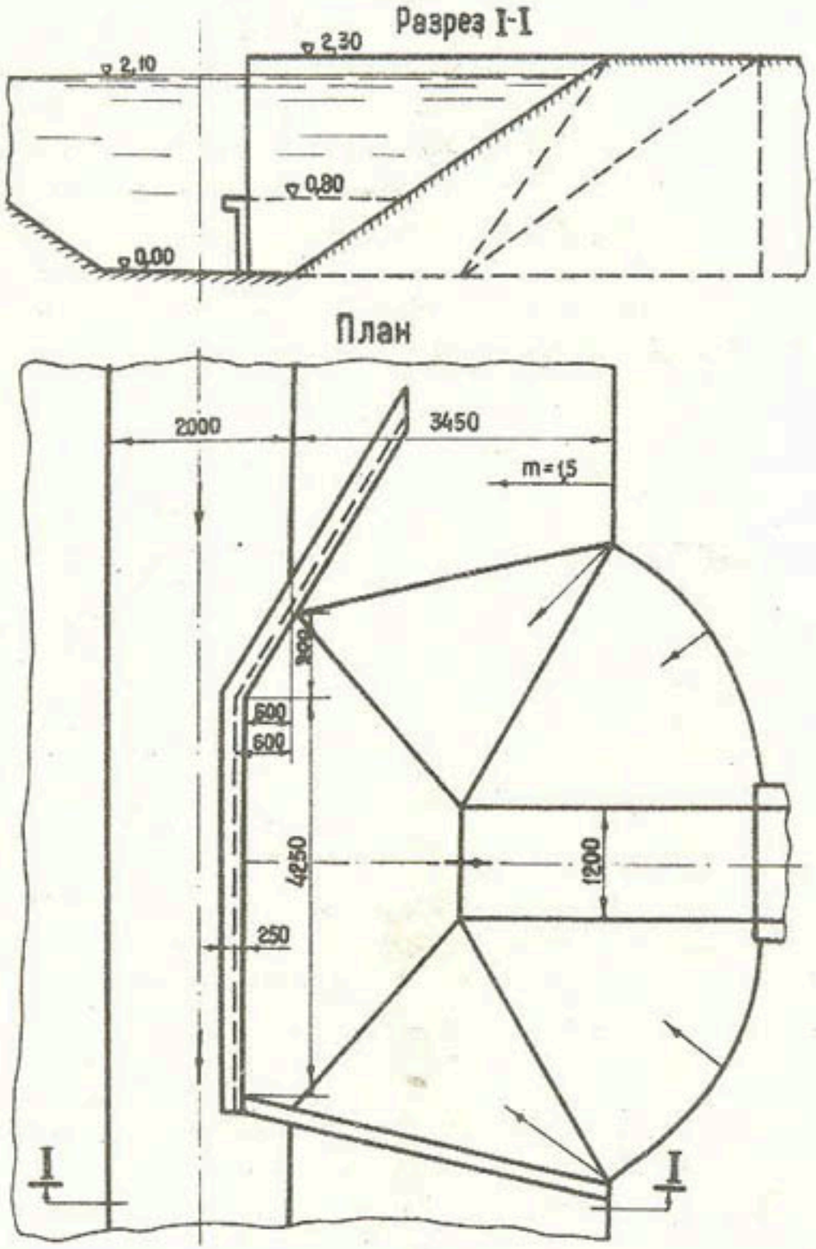


Рис.5. Схема водозаборного сооружения из канала в трубопровод диаметром 1200 мм с донным косорасположенным порогом для защиты трубопровода от донных наносов

сооружений: при отборе воды из каналов трапецеидального сечения и из параболических лотковых каналов.

Заслуживает внимания конструкция порога, предложенная Джамбульским гидромелиоративно-строительным институтом для каналов прямоугольного сечения [7] и переработанная Средазгипроводхлопком для применения на водозаборах из трапецеидальных каналов. Защитное приспособление входного оголовка от влекомых и части взвешенных наносов состоит из донного косорасположенного порога, устанавливаемого под углом к направлению течения потока магистрального канала в виде водосливной стенки определенной высоты и глухих продольной стенки и шпоры, расположенной под прямым углом к водоприемнику (рис.5). Порог обеспечивает отклонение донного потока к противоположному берегу, а продольная стенка в совокупности с задней способствуют увеличению коэффициента водозабора.

Таковы общие положения о способах и средствах защиты трубопроводов закрытой оросительной сети от засорения и заиления. Однако они не дадут должного эффекта без коренного изменения положения существующего состояния закрытой оросительной сети. Проведенные нами натурные обследования на землях некоторых совхозов в Каршинской и Джизакской степях показали, что на практике встречаются серьезные нарушения правил строительства и эксплуатации.

Вот наиболее характерные из них:

- часто не по проекту выполнены водозаборные сооружения из лотков в трубопровод. Как правило, отсутствуют наносоотбойный порог, автомат расхода и решетка, что в значительной мере затрудняет эксплуатацию трубопровода, способствует попаданию в него влекомых наносов и плавающего мусора;

- довольно часто у трубопроводов отсутствуют концевые участки, т.е. он обрывается за последним гидрантом, что затрудняет его промывку и создает условия для заиления;

- не налажен учет расходов воды, транспортируемой по лоткам, забираемой в трубопровод и подаваемой на поля через гидранты. Трубопровод нередко работает тактами, т.е. при полностью заполненном трубопроводе открывается только часть гидрантов, тогда в неработающей части происходит выпадение наносов в осадок; нерегулярны промывки трубопроводов, а если они проводятся, то без соблюдения надлежащих правил.

На основании обзорных литературных, а также выполненных

модельных и натурных исследований по закрытой оросительной сети и, в частности по вопросам, касающимся защиты трубчатых водоводов от заиления и засорения, необходимо признать, что закрытая оросительная сеть представляет собой систему, эффективная отдача от которой возможна только при всестороннем грамотном и заинтересованном отношении к ней.

Использованная литература

I. Золиков Г.М. Закрытые оросительные системы. - М.:Колос, I966. - I82 с.

2. Золиков Г.М. О размыве наносов в трубопроводах закрытой оросительной сети. - Тр.ВНИИГиМ, т.XXXУ, I960, с.98-I04.

3. Анисимов В.А., Золиков Г.М. Проэктирование и расчет оросительных систем. - М.,I960. - 240 с. (МСХ СССР).

4. Шейнкин Г.Ю., Сурин В.А., Горбунова Е.Н. Оросительная сеть с закрытыми трубопроводами.-М.: Колос, I965. - 222 с.

5. Пензин М.П., Терпигорев А.А. Очистка воды от мусора в оросительных каналах. - Гидротехника и мелиорация, I979, № 6, с.55-62.

6. Фролов С.С. Опыт применения сороудерживающих решеток на самотечно-напорных закрытых оросительных системах Средней Азии.- Современные проблемы мелиорации и пути их решения. - М., I973, с.II8-I29.

7. Жулаев Р.Ж., Долженко Б.Ф. Принципиальные пути организации борьбы с завлечением наносов в распределительные трубопроводы оросительных систем. - Тр.ТИИИМСХ, Ташкент, I978, вып.96, с.6-I5.

УДК 627.833

А.Р.Мансуров, гл.конструктор проекта
(ПКТБ "Узводприборавтоматика")
Р.И.Нагаев, гл.инж.проекта
(Средазгипроводхлопок)

О ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВИНТОВЫХ ЭЛЕКТРОПОДЪЕМНИКОВ ЗАТВОРОВ АВТОМАТИЗИРУЕМЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Разработка и промышленное производство простых по конструкции, удобных в эксплуатации и одновременно высокоэффективных электроподъемников затворов гидротехнических сооружений-регуляторов были и остаются актуальными задачами проблемы создания и внедрения технически совершенных гидромелиоративных систем (ГМС).

Этот вопрос имеет свою историю. Работа над созданием практичных конструкций винтовых подъемников затворов гидротехнических сооружений (ГТС) в Средней Азии началась с I924 г., когда по проектам Качанова были изготовлены первые образцы. В I93I и I947 гг. по проектам Э.Э.Пеплова сделаны подъемники с ручным приводом грузоподъемностью до 3,5 т. В I952 г. институт "Средазгипроводхлопок" их усовершенствовал. Был составлен каталог по грузоподъемности от 0,25 до 20т "Винтовые подъемники моделей В-55". В I960 г. взамен В-55 Средазгипроводхлопок разработал типовые винтовые подъемники моделей В-6I и ЭВ-6I.

Винтовые подъемники разрабатывались и другими проектными институтами, например Узгипроводхозом (модель ВУП) и Азгипроводхозом (модель ПЭУ).

Экспериментальные проектирование и внедрение первых автоматизированных ГТС на реках и магистральных каналах с использованием электроподъемников показали, что и сооружения, и их механооборудование не соответствовали достигнутому уровню науки и техники в гидромелиорации. Поэтому Средазгипроводхлопок разработал специфические требования к проектированию автоматизированных ГТС для создания и внедрения ирригационных систем с высокими показателями эффективности и качества водораспределения и водоучета на основе автоматизации технологических процессов.

В 1963 г. они были рассмотрены, одобрены расширенным техническим советом Средазгипроводхлопка с участием специалистов Минводхоза УзССР, ИВПиГ АН УзССР (ныне САНИИРИ), Узгипроводхоза, Узгипросельэлектро и приняты в качестве временных технических условий и норм проектирования автоматизированных ГТС ГМС до разработки и введения соответствующих общесоюзных нормативных документов.

В их составе содержались и специфические требования, обусловленные автоматизацией технологических процессов ГМС (в дальнейшем технологические требования), к подъемникам затворов, положенные в основу разработки типовых проектов винтовых электроподъемников /1/.

В связи с недостаточным опытом типового проектирования и промышленного производства электроподъемников для автоматизированных ГМС были осуществлены следующие мероприятия:

- разработаны (Средазгипроводхлопком) варианты экспериментальных подъемников моделей ЭВ, ЭВД-63 и В-64 /2/;
- изготовлена (заводом ТашГЭЗ, ныне ТОМРЭЗ) экспериментальная партия модели В-64 как более удачной;
- подъемники В-64 смонтированы и проверены в процессе двухлетней эксплуатации на ГТС магистрального канала им.С.М.Кирова.

В подъемниках В-64 была применена токовая защита электродвигателей и грузовых винтов от перегрузок.

Конструктивное решение подъемника обеспечило широкий набор различных скоростей перемещения затворов практически без изменения базовой конструкции, а также самую экономичную установленную мощность электродвигателей на единицу грузоподъемности, что отражено в приведенной ниже таблице.

Увеличение скорости достигалось заменой электродвигателей с "синхронной" частотой вращения с 1000 на 1500 (с одинаковыми посадочными местами), а уменьшение - заменой двухзаходной резьбы грузового винта и гайки на однозаходную.

Недостатки модели В-64: низкая скорость перемещения затвора вручную (рукояткой) и ненадежность токовой защиты грузовых винтов.

Разработанная в 1966-1968 гг. Средазгипроводхлопком модель В-66 была принята к освоению в промышленном производстве и широкому применению на гидромелиоративных системах /3/.

В типовом подъемнике В-66 сохранены достоинства и устранены

Грузоподъемность, т	Тип подъемника		Скорость перемещения затвора, см/мин		Мощность электродвигателя, кВт	Удельная и относительная мощность двигателя		Ширина, высота и напор глубинных колесных затворов (в среднем), м
	модель	марка (исполнение)	электродвигателем	вручную		кВт/т	%	
I	2	3	4	5	6	7	8	9
2,5	ЭВ-6I	2,5ЭВI	30,0	I4,4	I,0	0,40	I67	
3,0	ПЭУ	2А(Д)	4I,3	24,0	I,7	0,57	237	
2,5	В-64	2,5ЭВ	I,5/3,0	I,8/3,6	0,I2	0,05	2I	2,0xI,5x3,0
3,0	В-66	2,5ЭВТ	6,I	6,0	0,4	0,I3	54	
3,0	В-66	2,5ЭВУ	24,4	I2,0	0,8	0,27	II2	
2,5	В-73	2,5ЭВ	6,3/I2,5	7,I/I4,3	0,6	0,24	I00	
2,5	В-83	2,5ЭВ	6,3/I2,5	7,I/I4,3	0,6	0,24	I00	
2x3,0	ПЭУ	6А(Д)	4I,3	24,0	3,5	0,58	240	
2x2,5	В-64	5ЭВД	I,5/3,0	I,8/3,6	0,I8	0,04	I7	
2x2,5	В-66	5ЭВДТ	6,I	6,5	0,6	0,I2	50	3,0x2,0x4,0
2x2,5	В-66	5ЭВДУ	24,4	I3,0	I,3	0,26	I30	
2x2,5	В-73	5ЭВД	6,3/I2,5	5,6/II,I	I,0	0,20	I00	
2x2,5	В-83	5ЭВД	6,3/I2,5	5,6/II,I	I,2	0,24	I20	
4,0	ЭВ-6I	4ЭВI	I6,8/22,I	0,8/I,0	I,0	0,25	I25	
5,0	ПЭУ	3А(Д)	26,4	I,5	I,7	0,34	I70	

Продолжение таблицы

I	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0	В-64	5ЭВТ	4,2/8,4	2,3/4,6	0,4	0,08	40	2,0х2,0х6,0
5,0	В-64	5ЭВ	I0,2/I9,8	2,3/4,6	I,0	0,20	I00	
7,5	В-66	5ЭВ	I0,0/20,0	2,3/4,5	0,8	0,II	55	
5,0	В-73	5ЭВ	I0,0/20,0	3,3/6,7	I,0	0,20	I00	
5,0	В-83	5ЭВ	I0,0/20,0	3,3/6,7	I,2	0,24	I20	
2х6,0	В-55 исп.Ш	6ЭВД	I9,7	I,5	2,2	0,I8	I38	3,0х3,0х6,0;
2х5,0	ПЭУ	7А(Д)	4I,3	2,4	3,5	0,35	270	
2х5,0	В-64	I0ЭВДТ	4,2/8,4	I,I/2,3	0,4	0,04	3I	4,0х2,5х4,0
2х5,0	В-64	I0ЭВД	I0,2/I9,8	I,I/2,3	I,0	0,I0	77	
2х5,0	В-66	I0ЭВД	I0,0/20,0	2,6/5,3	I,3	0,I3	I00	
2х5,0	В-73	I0ЭВД	I0,0/20,0	2,6/5,3	I,3	0,I3	I00	
2х5,0	В-83	I0ЭВД	I0,0/20,0	2,6/5,3	I,7	0,I7	I30	
I0,0	ЭВ-6I	I0ЭВ	27,0	I,0	I,7	0,I7	I30	
7,5	ПЭУ	4А(Д)	25,2	I,5	2,2	0,29	223	
I0,0	В-64	I0ЭВТ	3,0/6,0	I,0/2,0	0,4	0,04	3I	2,5х2,5х6,0
I0,0	В-64	I0ЭВ	7,5/I5,0	I,0/2,0	I,0	0,I0	77	
I3,0	В-66	I0ЭВ	8,3/I6,7	2,I/4,2	I,3	0,I0	77	
I0,0	В-73	I0ЭВ	8,3/I6,7	2,I/4,2	I,3	0,I3	I00	
I0,0	В-83	I0ЭВ	I0,0/20,0	2,5/5,0	I,7	0,I7	I30	
2х7,5	ПЭУ	8А(Д)	25,2	I,5	5,0	0,33	330	
2хI0,0	В-64	20ЭВДТ	3,0/6,0	I,5	0,6	0,03	30	

Продолжение таблицы

I	2	3	4	5	6	7	8	9
2хI0,0	В-64	20ЭВД	7,5/I5,0	I,5	I,7	0,085	85	5,0х3,5х6,0
2хII,2	В-66	20ЭВД	8,3/I6,7	I,2/2,4	2,0	0,09	90	
2хI0,0	В-73	20ЭВД	8,3/I6,7	I,3/2,5	2,0	0,I0	I00	
2хI0,0	В-83	20ЭВД	8,3/I6,7	I,3/2,5	2,6	0,I3	I30	
20,0	В-73	20ЭВ	I0,0/20,0	I,7/3,3	2,0	0,I0	I00	3,5х3,5х7,0
20,0	В-83	20ЭВ	8,3/I6,7	I,7/3,3	2,6	0,I3	I30	

Примечание: Парные значения скоростей, например I0,0/20,0, соответственно для одно- и двухзаходной резьбы грузового винта.

основные недостатки В-64: повышена скорость перемещения затворов вручную (см.таблицу) и в дополнение к токовой защите применены так называемые грузовые реле. Экспериментальные грузовые реле включали блок витых пружин и микровыключатель, устанавливались на грузовых винтах. Пружины сжимались до усилия, равного расчетному посадочному, а микровыключатели настраивались на срабатывание при превышении этого усилия.

Испытания экспериментальных грузовых реле в 1967-1969 гг. на ГТС Кировканала подтвердили работоспособность и перспективность их применения в качестве надежного метода защиты. Основной их недостаток - трудоемкость изготовления и закаливания витых пружин из проволоки диаметром 15 мм, большой разброс упругости (жесткости) пружин при изготовлении и существенное изменение ее во времени в процессе эксплуатации.

Подъемники В-66 нашли широкое применение при реконструкции и строительстве новых водохозяйственных объектов.

По проектам Средазгипроводхлопка они внедрены при автоматизации ГТС Кировканала, Казалинского гидроузла на Сырдарье, Южного Голодностепского канала (ЮГК), системы Кокандского и Сары-Курганского гидроузлов на реке Сох и др. В их числе свыше 30 "спаренных" с целью повышения точности гидрометрии, сокращения аппаратуры и общей стоимости затрат на многопролетных сооружениях.

Подъемники В-66 различных исполнений и грузоподъемностей многократно подвергались всесторонним исследованиям на специальном стенде завода-изготовителя и в эксплуатационных условиях совместно с различной аппаратурой автоматики, телемеханики и гидрометрии, применявшейся в ирригационной практике, в том числе с авторегуляторами "Протос" и др.[4]. Было усовершенствовано грузовое реле. Вместо витых применен набор тарельчатых пружин, устанавливаемых на штоке, соединяемом с грузовой частью винтового подъемника (или с грузовым тросом канатного подъемника), внутри стакана, где располагаются также микровыключатель, регулировочная гайка с упорами и диафрагма [5].

По заданию Главтехупра Минводхоза СССР взамен подъемников В-66 на базе опыта их эксплуатации Средазгипроводхлопок в 1973 г. разработал типовой проект винтовых подъемников модели В-73 с повышением эксплуатационной надежности и КПД, унификацией базовой конструкции, сокращением металлоемкости и упрощени-

ем изготовления, монтажа и технического обслуживания [6].

Благодаря унификации вариантов исполнения подъемников с ручным и электроприводом на ранее смонтированных ручных подъемниках при последующей электрификации и автоматизации ГТС достаточно заменять редуктор с ручным приводом на редуктор с электроприводом (посадочные места те же).

В модели В-73 применены грузовые реле с тарельчатыми пружинами, опытно-промышленные образцы которых были проверены в условиях эксплуатации на плотине им.1 мая на реке Зарафшан, канале Иски-Ангар в Самаркандской области и др., а токовая защита грузовых винтов исключена как недостаточно надежная.

Для заводской настройки грузовых реле на расчетные усилия разработано, изготовлено и внедрено на ТОМРЭЗ специальное приспособление для регулировки грузового реле, даны краткие указания по его изготовлению и применению [6]. Оно рекомендуется также для регулировки и периодической проверки грузовых реле на объектах, особенно в случаях реконструкции ГТС и их мехоборудования, изменения условий эксплуатации (расчетных напоров, посадочных усилий) и т.п.

Параллельно с разработкой и совершенствованием типовых электроподъемников Средазгипроводхлопком совместно с другими организациями (СКБ "Газприборавтоматика", ИА АН Кирг ССР, САНИИРИ, ТашЗИПС, ЦБЭСРШ и ПКТБ "Узводприборавтоматика" Минводхоза УзССР, Гипроводхоз, Азгипроводхоз, управления эксплуатации каналов им.С.М.Кирова и ЮГК и др.) были разработаны, изготовлены и внедрены в эксплуатацию новые технические средства автоматики, телемеханики и гидрометрии, а также методы и системы автоматизированного контроля и управления технологическими процессами водораспределения и водоучета на ГМС. В их числе авторегуляторы "Протос"и "Янгиер", датчики ДПЗ, ДПУ, ДПМ1, ДПМ1-01, системы взаимосвязанного (каскадного) и "ассимметричного" регулирования, комплексные системы телемеханики "Гулистан" и ТМ-201, системы приборов "Ташкент", "Баку" и др.[7...9].

Датчик телеизмерения положения затвора типа ДПЗ, разработанный СКБ "Газприборавтоматика" по заданию и при участии Средазгипроводхлопка, изготовлялся Ташкентским заводом ирригационного приборостроения (ныне Головной завод объединения "Водремстроймаш") и ЦБ ЭСРШ с потенциометрическими (ДПЗ-1) и частотными или кодирующими (ДПЗ-2) преобразователями [7]. Он приме-

нен в типовом проекте В-73 в качестве местного указателя и датчика телеизмерения открытия затвора и сигнализации двух заданных положений, используемых, например, для автоматической остановки при достижении крайних точек диапазона его рабочего хода. Срабатывание сигнализатора нижнего положения рекомендуется настраивать в ДПЗ (и других аналогичных приборах) на I...3 см не доходя до упора затвора с последующим опусканием его на порог вручную. Как правило, это делается ограниченное число раз в году, и поэтому некоторое неудобство для эксплуатационного персонала окупается повышением безаварийности автоматизированных электроподъемников.

Результаты разработки, проектирования, внедрения и экспериментально-производственных исследований упомянутых устройств и методов автоматизации на объектах ГМС совместно с электроподъемниками моделей В-64, В-66 и В-73 позволили уточнить исходные технологические требования к техническим средствам и методам автоматизации, к электроподъемникам и к гидротехническим сооружениям, а также обеспечить обоснованное совершенствование их конструкций и повышение технико-экономической эффективности для последующей практики создания и внедрения автоматизированных ГМС.

В частности, разработка и исследование метода так называемого "асимметричного" авторегулирования уровней и расходов воды на ГМС, а также создание соответствующих авторегуляторов "Протос" и "Цульсар" обеспечивают при их применении одновременно: высокую точность авторегулирования заданных параметров технологических процессов, высокое быстродействие систем авторегулирования (САР) на ГТС при нормальных и аварийных возмущениях (т.е. эксплуатационную надежность и безопасность), существенное снижение требований к диапазону (ряду) скоростей перемещения затворов электроподъемниками /8...10/.

Авторегуляторы и САР с „асимметричным" регулированием, в зависимости от знака возмущения (или рассогласования между заданным и фактическим значениями) регулируемого параметра, обеспечивают различные коэффициенты усиления (т.е.длительности регулирующих импульсов и пауз) в разных направлениях перемещений затворов ГТС. Такой принцип их действия и соответствующая настройка работы позволяют достичь высокого качества автоматического регулирования технологических процессов водораспределения

при сравнительно простых авторегуляторах и методах расчета САР /4,8,9/.

По уточненным требованиям к электроподъемникам в модели В-73 сокращено общее число модификаций за счет исключения самых "тихоходных" (ниже 6 см/мин) и "быстроходных" (выше 20см/мин) исполнений, причем каждый из типоразмеров грузоподъемностью от 2,5 до 20 т может быть заказан и изготовлен с более высокой (при двухзаходной резьбе грузового винта и гайки) либо с более низкой (при однозаходной резьбе) скоростями перемещения затворов.

Расчет оптимальных скоростей перемещения затворов и настроек авторегуляторов, в зависимости от конкретных условий ГТС и принятого метода авторегулирования (симметричный, асимметричный), целесообразно выполнять с учетом рекомендаций /3,4,8/, а проектирование автоматизации водораспределения с применением упомянутых устройств и электроподъемников - в соответствии с руководством ВТР-П-IO-76 /II/ и рекомендациями типовых проектов /3,6,I2/.

Многие отраслевые механические заводы (Ташкентский, Псковский и др.) освоили промышленное производство подъемников моделей В-66 и В-73. С I967 г. их выпущено и внедрено на объектах свыше 2 млн.шт., в том числе свыше 250 тыс.шт. электроподъемников. По отзывам изготовителей и эксплуатационных организаций, конструкции их достаточно просты, надежны и эффективны в эксплуатации.

В настоящее время на основе подъемников В-73 Средазгипроводхлопком разработаны и осваиваются в промышленном производстве на 30 отраслевых заводах типовые подъемники модели В-83 в качестве единой конструкции для применения на ГМС СССР, а также для зарубежных объектов водохозяйственного строительства, проводимого нашей страной /I2/. В модели В-83 сохранены достоинства В-73, дополнительно снижена металлоемкость, применены датчики измерения типа ДПМI и указатели местного отсчета типа ДПМI-OI с сигнализаторами двух заданных положений /I3/.

Датчики-указатели ДПМI и ДПМI-OI разработаны, приняты с госприемочными испытаниями Госстандартом СССР и освоены в серийном производстве ПКТБ "Узводприборавтоматика" по заявкам В/О "Союзводпроект" и Средазгипроводхлопка взамен морально устаревших типа ДПЗ и других аналогичных.

Выводы

Многолетняя практика разработки, внедрения и эксплуатации экспериментальных и типовых винтовых электроподъемников затворов гидротехнических сооружений в комплексе с сопрягаемыми устройствами автоматики, телемеханики и гидрометрии подтвердила правильность принципиальных технических решений научно-исследовательских и проектных разработок института "Средазгипроводхлопок" по вопросам:

- формирования исходных технологических требований к гидротехническим сооружениям гидромелиоративных систем при их автоматизации, в том числе к электроподъемникам затворов;
- создания и промышленного производства высокоэффективных типовых винтовых электроподъемников затворов для автоматизированных ГМС;
- проектирования и внедрения автоматизированных ГМС с применением типовых электроподъемников и сопрягаемых с ними технических средств и методов автоматизации, телемеханизации и гидрометрии.

Винтовые электроподъемники моделей В-66, В-73, В-83 наиболее полно и эффективно удовлетворяют специфическим технологическим требованиям автоматизируемых гидромелиоративных объектов; достаточно просты, надежны, экономичны и удобны в освоении их промышленного производства, при монтаже и в эксплуатации.

При автоматизации гидромелиоративных систем, проектной привязке и эксплуатации типовых проектов электроподъемников и технических средств, а также методов автоматизации ГМС целесообразно учитывать вышеприведенные рекомендации и сведения.

Использованная литература

I. Мансуров А.Р.Технологические требования к электроподъемникам затворов автоматизированных гидротехнических сооружений.- В кн.: Материалы Всесоюзного семинара по автоматизации ирригационных систем (1967 г.).- М., 1970, т.3, с.242-246 (Минводхоз СССР).

2. Винтовые подъемники модели В-64 для затворов гидротехнических сооружений: Типовые проекты 820-4, 820-5, 820-6 и 820-7. - Ташкент: Средазгипроводхлопок, 1964.

3. Винтовые подъемники модели В-66 для затворов на гидротехнических сооружениях к типовым проектам 820-4/67, 820-5/67, 820-6/67 и 820-7/67: Типовые проекты № 820-4/67. Переработанное издание. - Алма-Ата: Госстрой СССР, Казахский филиал ЦИТП, 1968.

4. Мансуров А.Р. Расчет систем автоматического регулирования на оросительных каналах с применением устройства "Протос".- Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, 1971, вып.2,с.80-111.

5. А.С. 271764(СССР). Ограничитель грузоподъемности канатного подъемника. Ин-т "Средазгипроводхлопок". / Э.Э.Пеплов, Л.С. Косырев - Заявлено с приоритетом 28 января 1969 г. № 1303884/27-11. Опубликовано 26.05.1970 г., Б.И.,1970, № 18; Класс 35b, 3/16, МПК В 66с 15/00. - УДК 621.873.788.1.

6. Подъемники винтовые затворов гидротехнических сооружений грузоподъемностью до 20 тс модели В-73 (взамен подъемников В-66). Типовой проект 820-165. - Алма-Ата: Госстрой СССР, Казахский филиал ЦИТП, 1974.

7. Хамадов И.Б., Мансуров А.Р., Журавлев С.Г. Краткие технические характеристики средств учета и распределения воды для автоматизированных оросительных систем. - Ташкент: Узбекистан, 1975.-185 с.

8. Мансуров А.Р. О некоторых особенностях проектирования систем авторегулирования на ирригационных объектах.- Науч .тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, 1973, вып.4, с.3-13.

9. А.с.551617(СССР). Система регулирования уровня воды в ирригационном канале. Ин-т "Средазгипроводхлопок". /А.Р.Мансуров. - Заявлено с приоритетом 21.08.74, № 2054225/18-24. Опубликовано 25.03.77, Б.И., 1977, № 11; М.Кл.^{2} G05D 9/12.- УДК 681.128 (088.8).

10. Юлдашев А.Р. Комплекс приборов управления импульсными системами автоматического регулирования уровня воды "Пульсар" (КПА).- Информ.листок УзНИИНТИ. - Ташкент, 1985. № 85-89, УДК 627.8.034.43:53.083.72- Серия:70.85.39.-4 с.

11. Указания по проектированию оросительных систем.Ч.XII. Руководство по проектированию автоматизации водораспределения на оросительных системах ВТР-П-10-76.-Киев, 1978 (Минводхоз СССР) - 210 с.

12. Подъемники винтовые для затворов гидротехнических сооружений грузоподъемностью до 20 тс модели В-83 (взамен типового проекта 820-165). - Средазгипроводхлопок, 1983.

I3. Степунин Л.А. Датчик положения исполнительного механизма (без кодового преобразователя) пылебрызгозащищенного исполнения ДПМI-0I.Ш.BI. - Информ.листок УзНИИНТИ.- Ташкент, I986. № 86-II9. УДК 68I.I2I.2I.7 - Серия: 70.85.4I. - 4с.

УДК 5I9.688:626.I-5I9
Р.М.Ткменев, канд.техн.наук,
гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВОДОПОДАЧИ В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ

При автономном регулировании водоподачи в открытом канале основным звеном является участок от одного перегораживающего сооружения до другого с водовыпусками или без них. Работа участка характеризуется нестабильностью уровенного режима, вызванной изменениями водопотребления и водоподачи. Технологическая задача управления водоподачей на участке - поддержание баланса расходов в его начале и в конце, осуществляемое регулированием затворов граничных верхнего $a_н$ или нижнего $a_к$ перегораживающих сооружений по контролю уровня в начале $h_н$, в середине $h_с$ или в конце $h_к$ участка.

Большинство запроектированных и реализованных систем регулирования водоподачи из-за необоснованного выбора способа, технических средств и режима их работы имеют недостаточные динамическую устойчивость и точность работы и характеризуются непроизводительными потерями воды на сброс (при избыточном уровне в канале старшего порядка) или потерями воды на поле (при избыточном расходе через головное сооружение водовыпуска).

Для экономного расходования оросительной воды из канала и эффективной работы систем регулирования водоподачи необходимо обоснованно, в результате сравнительного анализа вариантов, выбрать способ регулирования баланса расходов, согласованный с длиной, уклоном и другими параметрами участка, а также соответствующие технические средства (автоматический регулятор)

для его реализации и определить оптимальный режим функционирования регулятора, аналогично согласованный с динамикой процессов в канале посредством расчета переменных параметров динамической настройки.

Поставленная задача может быть решена в результате сравнительного анализа режимов функционирования на участке канала возможных вариантов систем регулирования и технических средств, а также выбора наиболее эффективного и экономичного. Анализ динамики вариантов требует выполнения большого объема вычислительных работ, который может быть реализован на ЭВМ. Следовательно, разрабатываемые алгоритмы и программы расчета должны учитывать особенности статических и динамических свойств участка канала с гидросооружениями, затворов и их привода, способов и технических средств автоматического регулирования (датчик, регулятор, корректирующие устройства). Алгоритмы моделирования динамики предназначаются для расчетов переходных процессов, возникающих в результате действия как внешних возмущений, так и создаваемых управляющими воздействиями систем автоматического регулирования уровня. Возмущения подразделяются на изменение положения затворов $\Delta a_н(t)$ и $\Delta a_к(t)$ с учетом реальной скорости их перемещения $(v_з)$, изменение расхода в начале $\Delta Q_н(t)$ или в конце $\Delta Q_к(t)$ участка, изменение уровня на границах со смежными участками $\Delta h_2(t)$, $\Delta h_1(t)$.

На магистральных и межхозяйственных каналах наиболее распространены системы стабилизации уровня с импульсными (дискретными) регуляторами, воздействующими на электрический привод затворов гидросооружений. Дискретное перемещение затворов определяет многоступенчатый характер управления и возмущений.

С учетом приведенных особенностей динамика процессов на участке канала с перегораживающими сооружениями и работа корректирующих устройств регуляторов наиболее полно моделируются уравнениями, составленными по методу передаточных функций, а функционирование автоматических регуляторов дискретного действия - алгоритмическим методом.

Математическая модель участка канала, ограниченного двумя перегораживающими сооружениями, без учета отраженных волн высшего порядка описывается выражением отклонения уровня в любом створе канала [I]:

$$Z = \left\{ W_1 W_3 \exp\left[-(\tau'_{10} + \tau'_2)p\right] \frac{\gamma_{10}\gamma_2}{x_2} + W_1 \exp(-\tau'_1 p) \frac{\gamma_1}{x_2} \right\} \times$$

$$\times(N_н A_н + R_н Z_2 + Q_н) + \left\{ W_2 W_4 \left[-(\tau_1' + \tau_{20}')p \right] \frac{\gamma_1 \gamma_2}{x_1} - \right.$$

$$\left. - W_4 \exp(-\tau_2' p) \frac{\gamma_2}{x_1} \right\} (N_к A_к + R_к Z_1 + Q_к), \qquad (I)$$

где $Z = \frac{\Delta h}{h}$ – относительное отклонение глубины в любом створе канала; $A_i = \frac{\Delta a_i}{a_i}$ – относительное открытие затвора; $Z_i = \frac{\Delta h_i}{h_i}$ – относительное отклонение глубины со стороны примыкающего бьефа; τ_i – время запаздывания; $W_i = \frac{L_i p + K_i}{T_i p + 1}$ – передаточные функции объекта; L_i, K_i – передаточные коэффициенты объекта; T_i – постоянные времени объекта; γ_i, x_i – коэффициенты, характеризующие динамику процессов в объекте; $N_н$, $R_н$, $N_к$, $R_к$ – коэффициенты, характеризующие граничные условия в начале и в конце участка канала.

Для решения уравнения (I) необходимо привести его к оригиналу в виде аналитического выражения. Используя преобразование Лапласа [2], получим:

$$\frac{\Delta h}{h} = \left[f_{13}(t) + f_1(t) \right] \left(N_н \frac{\Delta a_н}{a_н} + R_н \frac{\Delta h_2}{h_2} + \frac{\Delta Q_н}{Q_н} \right) +$$

$$+ \left[(f_{24}(t) + f_4(t) \right] \left(N_к \frac{\Delta a_к}{a_к} + R_к \frac{\Delta h_1}{h_1} + \frac{\Delta Q_к}{Q_к} \right), \qquad (2)$$

где $f_{13}(t) = \frac{\gamma_{10} \gamma_2}{x_2} \left[K_1 K_3 + \frac{L_1 L_3 - T_1 (L_1 K_3 - L_3 K_1) + T_1^2 K_1 K_3}{T_1 (T_3 - T_1)} \right] \times$

$$\times e^{-\frac{t - (\tau_{10}' + \tau_2')}{T_1}} - \frac{L_1 L_3 - T_3 (L_1 K_3 + L_3 K_1 + T_3^2 K_1 K_3}{T_3 (T_3 - T_1)} e^{-\frac{t - (\tau_{10}' + \tau_2')}{T_3}},$$

$$f_1(t) = \frac{\gamma_1}{x_2} \left[\frac{L_1}{T_1} e^{-\frac{t - \tau_1'}{T_1}} - K_1 \left(e^{-\frac{t - \tau_1'}{T_1}} - 1 \right) \right],$$

$$f_{24}(t) = \frac{\gamma_1 \gamma_{20}}{x_1} \left[K_2 K_4 + \frac{L_2 L_4 - T_2 (L_2 K_4 + L_4 K_2) + T_2^2 K_2 K_4}{T_2 (T_4 - T_2)} \right] \times$$

$$\times e^{-\frac{t - (\tau_{20}' + \tau_1')}{T_2}} - \frac{L_2 L_4 - T_4 (L_2 K_4 + L_4 K_2) + T_4^2 K_2 K_4}{T_4 (T_4 - T_2)} e^{-\frac{t - (\tau_{20}' + \tau_1')}{T_4}},$$

$$f_4(t) = -\frac{\gamma_2}{x_1} \left[\frac{L_4}{T_4} e^{-\frac{t - \tau_2'}{T_4}} - K_4 \left(e^{-\frac{t - \tau_2'}{T_4}} - 1 \right) \right].$$

Математическая модель участка канала с непрерывным корректирующим контуром регулятора, состоящим из демпфера и дифференциатора, имеет вид [3]

$$Z = \left\{ W_1 W_3 W_п \exp\left[-(\tau_{10}' + \tau_2')p \right] \frac{\gamma_{10} \gamma_2}{x_2} - W_1 W_п \exp(-\tau_1' p) \frac{\gamma_1}{x_2} \right\} \times \qquad (3)$$

$$\times (N_н A_н + R_н Z_2 + Q_н) + \left\{ W_2 W_4 W_п \exp\left[-(\tau_{20}' + \tau_1')p \right] \times \right.$$

$$\left. \times \frac{\gamma_1 \gamma_{20}}{x_1} - W_4 W_п \exp(-\tau_2' p) \frac{\gamma_2}{x_1} \right\} (N_к A_к + R_к Z_1 + Q_к),$$

где $W_п = W_{дм} W_д = \frac{K_{дм}}{T_{дм} p + 1} \frac{K_д T_д p}{T_д p + 1} = \frac{K_{дм} K_д T_д}{T_{дм} T_д} \frac{p}{(p + \frac{1}{T_{дм}})(p + \frac{1}{T_д})}$

– передаточная функция демпфера и дифференциатора,

$W_i = \frac{L_i p + K_i}{T_i p + 1} = \frac{L_i}{T_i} \frac{p + K_i / L_i}{p + 1 / T_i}$

– передаточная функция объекта.

Применяя преобразование Лапласа [2], уравнение (3) приведем к оригиналу в виде аналитического выражения

$$\frac{\Delta h_н}{h} = \left[f_{13п}(t) + f_{1п}(t) \right] \left(N_н \frac{\Delta a_н}{a_н} + R_н \frac{\Delta h_2}{h_2} + \frac{\Delta Q_н}{Q_н} \right) +$$

$$+ \left[f_{24п}(t) + f_{4п}(t) \right] \left(N_к \frac{\Delta a_к}{a_к} + R_к \frac{\Delta h_1}{h_1} + \frac{\Delta Q_к}{Q_к} \right), \qquad (4)$$

где $f_{13п} = \frac{\gamma_{10} \gamma_2}{x_2} \frac{L_1 L_3 K_{дм} K_д}{T_1 T_3 T_{дм}} \times$

$$\times \left[\frac{\left(\frac{K_1}{L_1} - \frac{1}{T_1} \right) \left(\frac{K_3}{L_3} - \frac{1}{T_1} \right)}{\left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1} \right) \left(\frac{1}{T_{дм}} - \frac{1}{T_1} \right) \left(\frac{1}{T_д} - \frac{1}{T_1} \right)} e^{-\frac{t - (\tau_{10}' + \tau_2')}{T_1}} + \right.$$

$$+ \frac{\left(\frac{K_1}{L_1} - \frac{1}{T_3} \right) \left(\frac{K_3}{L_3} - \frac{1}{T_3} \right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3} \right) \left(\frac{1}{T_{дм}} - \frac{1}{T_3} \right) \left(\frac{1}{T_д} - \frac{1}{T_3} \right)} e^{-\frac{t - (\tau_{10}' + \tau_2')}{T_3}} + \frac{\left(\frac{K_1}{L_1} - \frac{1}{T_{дм}} \right) \left(\frac{K_3}{L_3} - \frac{1}{T_{дм}} \right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_{дм}} \right) \left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_{дм}} \right) \left(\frac{1}{T_д} - \frac{1}{T_{дм}} \right)} \times$$

$$\left. \times e^{-\frac{t - (\tau_{10}' + \tau_2')}{T_{дм}}} + \frac{\left(\frac{K_1}{L_1} - \frac{1}{T_д} \right) \left(\frac{K_3}{L_3} - \frac{1}{T_д} \right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_д} \right) \left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_д} \right) \left(\frac{1}{T_{дм}} - \frac{1}{T_д} \right)} e^{-\frac{t - (\tau_{10}' + \tau_2')}{T_д}} \right],$$

$f_{13п} = 0$ при $t < (\tau_{10}' + \tau_2')$,

$$f_{1п} = -\frac{\gamma_1}{x_1} \frac{L_1 K_{дм} K_д}{T_1 T_{дм}} \left[\frac{\frac{K_1}{L_1} - \frac{1}{T_1}}{\left(\frac{1}{T_{дм}} - \frac{1}{T_1} \right) \left(\frac{1}{T_д} - \frac{1}{T_1} \right)} e^{-\frac{t - \tau_1'}{T_1}} + \frac{\frac{K_1}{L_1} - \frac{1}{T_{дм}}}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_{дм}} \right) \left(\frac{1}{T_д} - \frac{1}{T_{дм}} \right)} \times \right.$$

$$\times e^{-\frac{t-\tau_1'}{T_{дм}}} + \frac{\frac{K_1}{L_1}-\frac{1}{T_д}}{\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_д}\right)\left(\frac{1}{T_{дм}}-\frac{1}{T_д}\right)} e^{-\frac{t-\tau_1'}{T_д}} \Bigg],$$

$f_{1п}=0$ при $t<\tau_1'$,

$$f_{4п} = -\frac{\delta_2}{x_1}\frac{L_4 K_{дм} K_д}{T_4 T_{дм}}\left[\frac{\frac{K_4}{L_4}-\frac{1}{T_4}}{\left(\frac{1}{T_{дм}}-\frac{1}{T_4}\right)\left(\frac{1}{T_д}-\frac{1}{T_4}\right)} e^{-\frac{t-\tau_2'}{T_4}} + \frac{\frac{K_4}{L_4}-\frac{1}{T_{дм}}}{\left(\frac{1}{T_4}-\frac{1}{T_{дм}}\right)\left(\frac{1}{T_д}-\frac{1}{T_{дм}}\right)} \times\right.$$

$$\left. \times e^{-\frac{t-\tau_2'}{T_{дм}}} + \frac{\frac{K_4}{L_4}-\frac{1}{T_д}}{\left(\frac{1}{T_4}-\frac{1}{T_д}\right)\left(\frac{1}{T_{дм}}-\frac{1}{T_д}\right)} e^{-\frac{t-\tau_2'}{T_д}} \right],$$

$f_{4п}=0$ при $t<\tau_2'$

$$f_{24п} = \frac{\delta_1 \delta_{20}}{x_1}\frac{L_2 L_4 K_{дм} K_д}{T_2 T_4 T_{дм}}\left[\frac{\left(\frac{K_2}{L_2}-\frac{1}{T_2}\right)\left(\frac{K_4}{L_4}-\frac{1}{T_2}\right)}{\left(\frac{1}{T_4}-\frac{1}{T_2}\right)\left(\frac{1}{T_{дм}}-\frac{1}{T_2}\right)\left(\frac{1}{T_д}-\frac{1}{T_2}\right)} e^{-\frac{t-(\tau_1'+\tau_{20}')}{T_2}} + \right.$$

$$+\frac{\left(\frac{K_2}{L_2}-\frac{1}{T_4}\right)\left(\frac{K_4}{L_4}-\frac{1}{T_4}\right)}{\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_4}\right)\left(\frac{1}{T_{дм}}-\frac{1}{T_4}\right)\left(\frac{1}{T_д}-\frac{1}{T_4}\right)} e^{-\frac{t-(\tau_1'+\tau_{20}')}{T_4}} + \frac{\left(\frac{K_2}{L_2}-\frac{1}{T_{дм}}\right)\left(\frac{K_4}{L_4}-\frac{1}{T_{дм}}\right)}{\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_{дм}}\right)\left(\frac{1}{T_4}-\frac{1}{T_{дм}}\right)\left(\frac{1}{T_д}-\frac{1}{T_{дм}}\right)} \times$$

$$\left. \times e^{-\frac{t-(\tau_1'+\tau_{20}')}{T_{дм}}} + \frac{\left(\frac{K_2}{L_2}-\frac{1}{T_д}\right)\left(\frac{K_4}{L_4}-\frac{1}{T_д}\right)}{\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_д}\right)\left(\frac{1}{T_4}-\frac{1}{T_д}\right)\left(\frac{1}{T_{дм}}-\frac{1}{T_д}\right)} e^{-\frac{t-(\tau_1'+\tau_{20}')}{T_д}} \right],\ f_{24п}=0 \text{ при } t<(\tau_1'+\tau_{20}').$$

Для реализации на ЭВМ уравнение (2) преобразовано в следующий вид:

$$\Delta h(t) = \left\{ \frac{h N_н}{a_н} \sum_{i=1}^{i_н} \left[f_{13}(t-t_i)+f_1(t-t_i)\right] \Delta a_{нi} + \right.$$

$$+\frac{h R_н}{h_2} \sum_{j=1}^{j_н} \left[f_{13}(t-t_j)+f_1(t-t_j)\right] \Delta h_{2j} +$$

$$\left. + \frac{h}{Q_н} \sum_{к=1}^{K_н} \left[f_{13}(t-t_к)+f_1(t-t_к)\right] \Delta Q_{нк} \right\} +$$

$$+ \left\{ \frac{h N_к}{a_к} \sum_{i_1=1}^{i_{1к}} \left[f_{24}(t-t_{i_1})+f_4(t-t_{i_1})\right] \Delta a_{кi_1} + \right.$$

$$+ \frac{h R_к}{h_1} \sum_{j_1=1}^{j_{1к}} \left[f_{24}(t-t_{j_1})+f_4(t-t_{j_1})\right] \Delta h_{1j_1} +$$

$$\left. + \frac{h}{Q_к} \sum_{к_1=1}^{K_{1к}} \left[f_{24}(t-t_{к_1})+f_4(t-t_{к_1})\right] \Delta Q_{кк_1} \right\} . \qquad (5)$$

Аналогично преобразуется и уравнение (4) для вычисления $\Delta h_п(t)$.

Блок-схема алгоритма вычисления динамики изменения уровня на участке канала при регулировании и действия корректирующих устройств по уравнениям (2),(4),(5) приведена на рис.I. В блоках I5,I6,20 вычисляется динамика объекта в створе регулирования с корректирующим контуром и без него, в блоке 2I моделируется работа одного из трех типов автоматических регуляторов, в блоке 22 определяется перемещение управляемого затвора при действии регулятора.

На рис.2 приведены блок-схемы алгоритмов моделирования автоматических регуляторов трех типов: а) релейно-импульсного (RI), б) дискретно-пропорционального (DP) (упрощенная модель) для условий небольших возмущений, в) дискретно-пропорционального (DPR) для условий любых возмущений. Каждый из алгоритмов регулятора учитывает переход уровня через зону нечувствительности E_I, E_4 и через зону возврата E_2, E_3, направление (знак) отклонения уровня и створ размещения датчика (в верхнем или в нижнем бьефе). В каждом цикле регулирования алгоритм вычисляет управляющее воздействие (импульс), перемещение затвора и длительность паузы.

Алгоритмы RI- и DP-регуляторов (рис.2,а,б) имеют одинаковую структуру и отличаются формулой вычисления длительности импульса и паузы. Перемещение регулируемого затвора и реакция объекта на него в RI- и DP-регуляторах вычисляются после окончания импульса.

Алгоритм DPR-регулятора основан на вычислении импульса, пропорционального отклонению уровня при ограничении (заданной при расчете) максимальной ширины импульса S_{max}, который при мо-

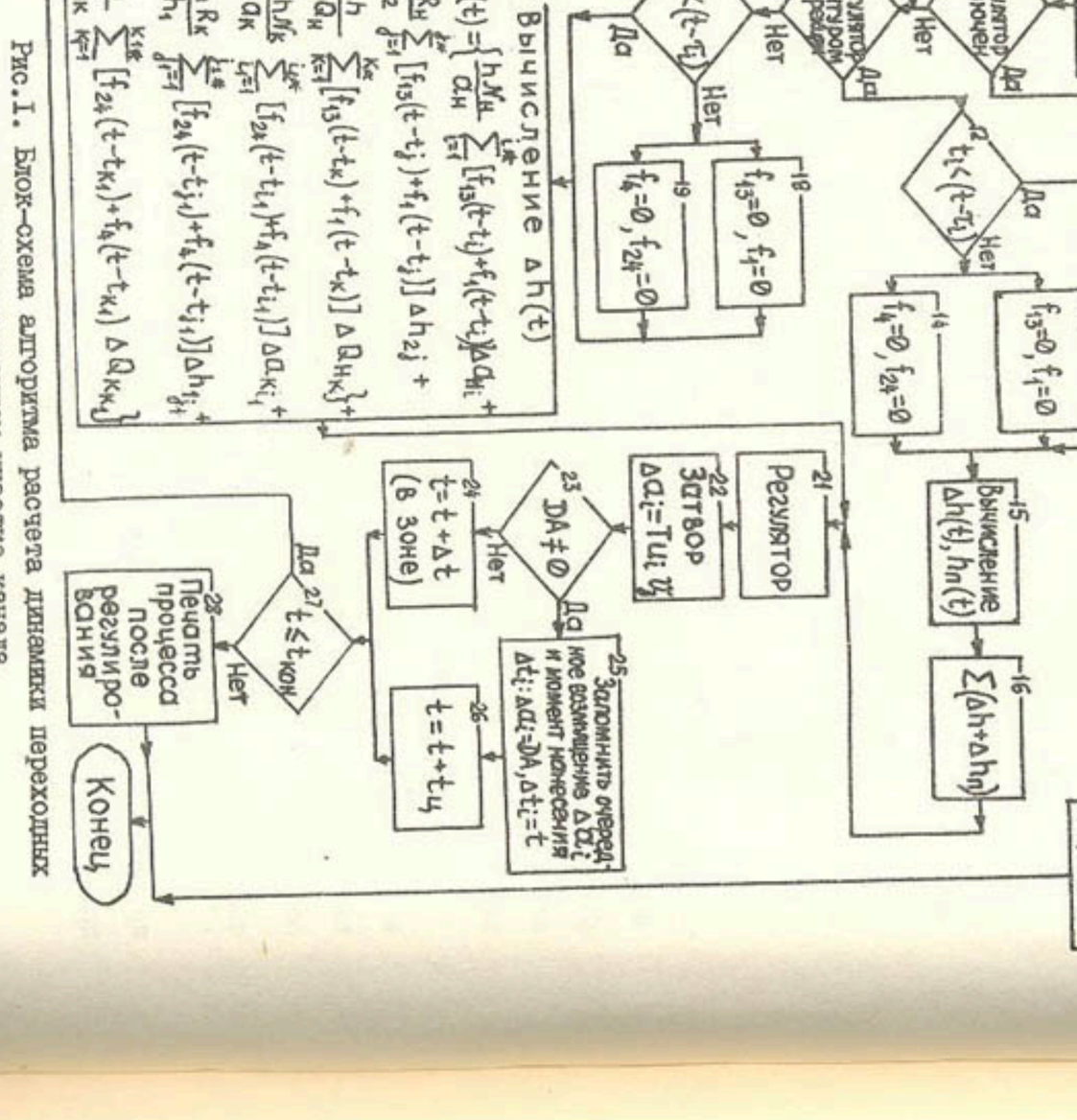


Рис.1. Блок-схема алгоритма расчета динамики переходных процессов на автоматизированном участке канала

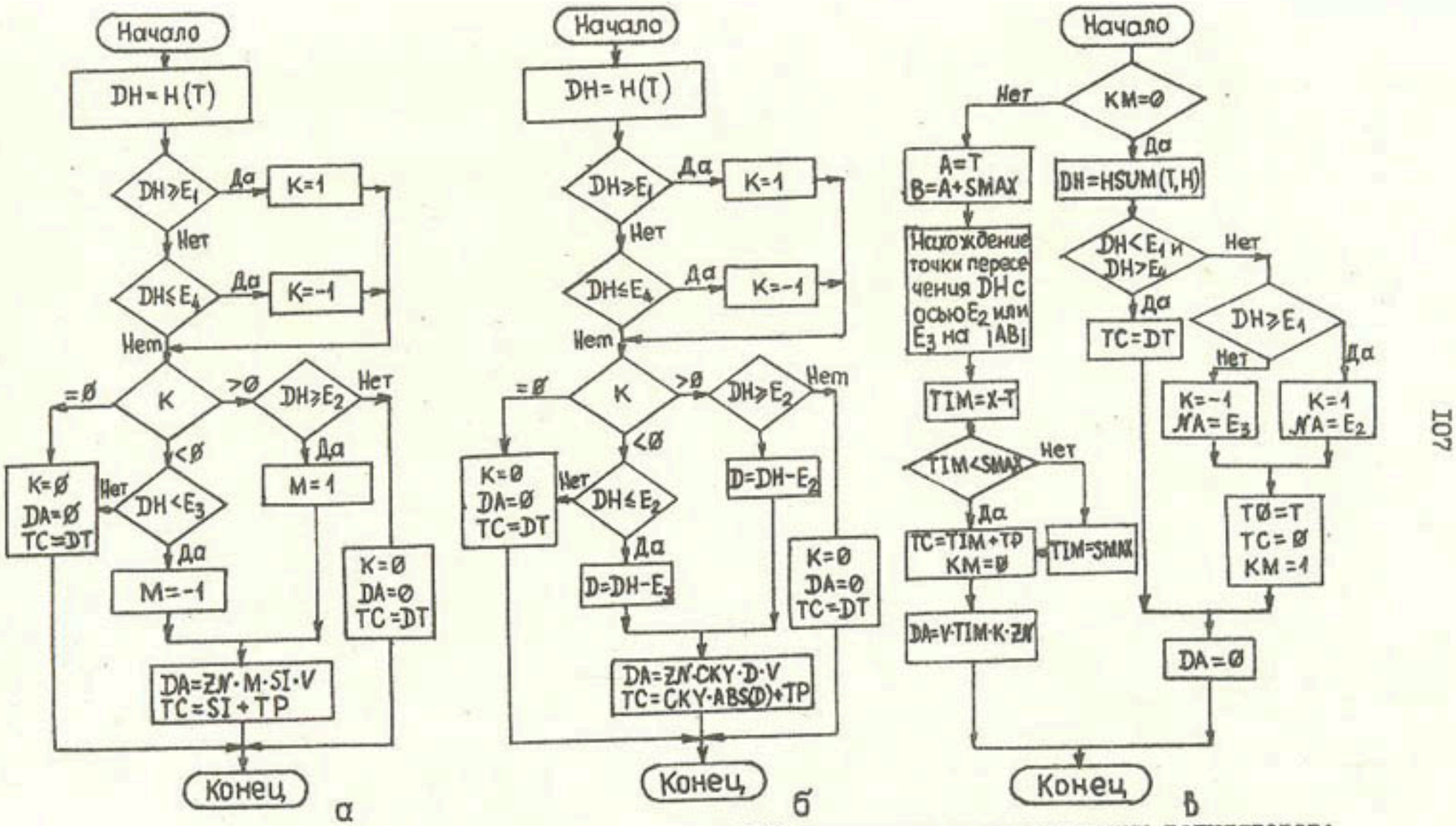


Рис.2. Блок-схемы алгоритмов моделирования на ЭВМ дискретных автоматических регуляторов: а) релейно-импульсного (RI), б) дискретно-пропорционального (DP), в) дискретно-пропорционального с дроблением импульса (DPR)

делировании передается на управляемый затвор. Модель реализована по алгоритму, приведенному на рис.2,в:

I^{o}. Было ли уже дробление ширины импульса? Если было, то переход к 5^{o}, иначе - к 2^{o}. Признак КМ $\neq 0$.

2^{o}. Вычисление пропорционального компенсирующего уровня в регуляторе $H_{oc}=\frac{t-t_c}{K_y}$ (знак H_{oc} обратный знаку отклонения ΔH).

3^{o}. Вычисление суммарной кривой $H_{сум}=\Delta H+H_{oc}$.

4^{o}. Проверка $H_{сум}$ на выход из зоны E_I, E_4.

5^{o}. Если $H_{сум}$ находится внутри зоны E_I, E_4, то $t_ц=\Delta t$ (Δt задано) и величина импульса $t_{им}=0$, $\Delta a=0$. Конец работы регулятора.

6^{o}. Если $H_{сум}$ вышла за пределы зоны E_I, E_4, то $t_{им}=0$, $\Delta a=0, t_ц=0$. Конец работы регулятора с фиксацией признака КМ=I.

7^{o}. Нахождение точки x пересечения кривой $H_{сум}$ с зоной возврата E_2 или E_3. Вычисление $t_{им}=x-t$.

8^{o}. Если $t_{им}$ превосходит S_{max}, то $t_ц=t_{им}=S_{max}$, иначе $t_ц=t_{им}+t_p$, с фиксацией признака КМ=0.

9^{o}. Вычисление перемещения затвора $\Delta a=v_з t_{им} ZN$.

$I0^{o}$. Конец работы регулятора.

Точка пересечения кривой $H_{сум}$ с зоной возврата E_2 или E_3 на отрезке времени /AB/ находится с помощью подпрограммы для решения общего нелинейного уравнения $f(x)=0$ итерационным методом Мюллера. Благодаря дроблению ширины импульса на отрезки управляемый затвор перемещается в период всего импульса, что соответствует реальному функционированию системы регулирования водоподачи. Поэтому алгоритм IPR-регулятора характеризуется высокой точностью моделирования при любых возмущениях и позволяет рассчитывать системы управления водоподачей с коррекцией по скорости отклонения в каналах с перегораживающими сооружениями и насосными станциями.

Входная информация по характеру данных разделена на три области: I) параметры участка канала, граничные условия и створ размещения датчика уровня; 2) тип авторегулятора и его переменные параметры, скорость и границы перемещения затвора; 3) возмущение в функции времени по изменению: расхода, открытия затвора, смежного уровня на границах участка канала.

Выходная информация: I) момент времени, в который фиксируется уровень воды; 2) глубина воды в канале; 3) приращение уровня; 4) величина уровня воды с производной на входе регулятора; 5) момент подачи импульса на верхний затвор; 6) положение верхнего затвора после его перемещения; 7) момент подачи импульса на нижний затвор; 8) положение нижнего затвора после его перемещения; 9) интегральный показатель отклонения уровня.

Приведенные алгоритмы реализованы в виде программы ЭВМ на языке ФОРТРАН-IУ в институте "Средазгипроводхлопок". Они позволяют в стадии проектирования прогнозировать качество переходных процессов при автоматическом и оперативном регулировании водоподачи, производить выбор и обоснование параметров русла канала, гидросооружений, сбросов, рациональных способов и технических средств регулирования и переменных параметров настройки режима работы автоматических регуляторов. Программа применялась в Средазгипроводхлопке для обоснования проектных решений каналов на Джизакском, Дальварзинском, Караулбазарском и Аркинском орошаемых массивах, водовыпускных каналов Андижанского водохранилища, Ульяновского магистрального канала и показала высокую эффективность.

Использованная литература

I. Маковский Э.Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды. - Фрунзе: Илим, I972. - 304 с.

2. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. - М.: Высшая школа, I965. - 468 с.

3. Тюменев Р.М. Управление режимами работы каналов с перегораживающими сооружениями в каскаде насосных станций. - Науч. тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами, с.68-80.

УДК 626.I-5I9:5I9.688

Р.М.Тюменев, канд.техн.наук,
гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ БАЛАНСА РАСХОДОВ В ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Главная задача эксплуатации любого оросительного канала с перегораживающими сооружениями и водовыпусками – транспортирование и подача воды потребителям в соответствии со ступенчатым графиком водопотребления сельхозкультур. Процесс управления водоподачей и водозабором в оросительном канале сводится к периодическому изменению расхода согласно графику водопотребления или изменения водозабора потребителей и к последующему регулированию баланса расходов по участкам и в голове канала. В практике эксплуатации задачу управления решают с помощью диспетчера или одним из автоматизированных способов.

Централизованное решение этой задачи диспетчером представляет довольно сложную и длительную процедуру из-за трудности учета инерционности движения и времени добегания нового расхода по створам канала в связи с тем, что всякое изменение водоподачи в начале канала вызывает неустановившееся движение и изменение режима на всех его участках и в водовыпусках , продолжающееся I0...20 ч и более. Поэтому новое положение затворов перегораживающих сооружений находится итеративным методом после их многократных перемещений на каждом перегораживающем сооружении по контролю уровней в их бьефах. В свою очередь, все последующие изменения открытий затворов перегораживающих сооружений являются вторичными, дополнительными возмущениями расхода, каждое из которых из-за взаимовлияния бьефов отражается на режиме работы канала и поэтому должно учитываться при централизованном управлении, вследствие чего оно еще более усложняется. При большом количестве водопотребителей и перегораживающих сооружений на магистральном канале увеличиваются вероятность и частота возникновения возмущений и колебаний расхода и уровня. Действие отмеченных факторов в сочетании с большим взаимовлиянием участков канала при малых перепадах уровней у перегораживающих сооружений ($Z_{пс}$= 0,25...0,3м) и небольших уклонах русла (I =0,00003...0,000I) приводит к возрастанию времени перестройки канала на новый установившийся режим, к увеличению отклонения уровней и колебательности процессов и к тому, что практически весь период вегетации канал работает в неустановившемся режиме. В результате расходы и уровни воды в канале, а следовательно и подача ее потребителям, не постоянны и значительно отличаются от плановых. Это подтверждается натурными исследованиями на Южном Голодностепском (Q =545 $м^3/с$) и Каршинском магистральном (Q =360 $м^3/с$) каналах и данными по их эксплуатации.

При автоматизированном решении задачи управления водоподачей на магистральных и межхозяйственных каналах чаще всего применяют автоматическое регулирование по уровню верхнего бьефа перегораживающих сооружений в сочетании с централизованным контролем и управлением (ЦКУ) без ЭВМ, обеспечивающее управление затворами на канале и уставками авторегуляторов, а также периодический контроль уровней в бьефах. Расчеты открытий затворов и уставок регуляторов возлагаются на диспетчера. Применено на Кировском магистральном канале (Q=300 $м^3/с$) в УзССР. Достоинство этого способа – только в простоте и дешевизне реализации. Недостатки – в сложности эксплуатации, больших объемах технологических сбросов воды из канала и низкой точности регулирования.

Во Франции предложен и реализован на канале Прованс (Q=40 $м^3/с$) способ централизованных контроля и управления режимом канала с применением ЭВМ и серий фактических динамических характеристик участков канала и гидросооружений, исключающий часть недостатков первого способа. Он отличается небольшими объемами сброса воды из канала, но имеет, в свою очередь, недостатки: сложность и высокая стоимость пусконаладочных работ, связанных с необходимостью разработки математического программного обеспечения и снятия для ЭВМ множества динамических и статических характеристик каждого участка канала и гидросооружений; недостаточные оперативность и точность регулирования водоподачи из-за отсутствия автоматической обратной связи при управлении.

Улучшенный способ ЦКУ с ЭВМ, предложенный в /I/ и реализованный на Атбашинском магистральном канале (Q=50 $м^3/с$) в Киргизской ССР, отличается программным обеспечением ЭВМ, основанным на определении баланса расходов по скорости срабатывания резервных объемов. При этом способе необходимо строительство повышенных дамб.

Во всех перечисленных способах управление балансом водоподачи и водопотребления организуется диспетчером канала, при этом из-за сложности учета динамики оно характеризуется недостаточными точностью и оперативностью регулирования; для уменьшения недополивов требуются завышенные расходы воды в канале, часть которой теряется на сброс. Чтобы устранить эти недостатки, необходимо управление балансом расходов организовать по принципу обратной связи, т.е. полностью возложить на систему автоматического регулирования, способную из любого створа информацию об изменениях расхода оперативно передавать для автономного управления вышерасположенным сооружением последовательно до головы канала. При этом за диспетчером ЦКУ остаются задачи изменения уставок авторегуляторов и контролирования работы системы.

Частично решить задачи позволяют способы автоматического регулирования по нижнему бьефу перегораживающих сооружений с размещением датчика уровня в начале или в середине /2/ каждого участка канала. У них общие недостатки: потребность в строительстве горизонтальных дамб, неудовлетворительные оперативность и точность регулирования водоподачи.

Более полное решение задачи дает предложенный в /3/ способ автоматического регулирования водоподачи в начале участка канала по изменениям уровня в его конце. Способ реализует управление балансом расходов без участия диспетчера. Функции последнего сводятся к контролированию процессов. При этом способе сложно получить устойчивую работу системы из-за большого запаздывания при значительной длине участка канала. Для достижения устойчивости в /3/ предложено устройство автоматического регулирования "Янгиер-5" с коррекцией управления по скорости отклонения уровня, компенсирующей отрицательное влияние запаздывания, а также на основе анализа переходных процессов на ЭВМ показано, что при помощи устройства "Янгиер-5" достигается устойчивое и качественное функционирование системы в широкой области переменных параметров регулятора и начальных возмущений расхода $\Delta Q=30\%$ при длине автоматизированного участка до 7,7 км с расходом 175 $м^3/с$. Коррекция позволяет системе регулирования эффективно защищать канал от переполнения даже в случае больших и резких изменений расхода ($\Delta Q=30...100\%$), например при аварийном полном отказе от расхода какого-либо водопотребителя, насосной станции или участка магистрального канала. В силу сказанного не возникает

потребности в горизонтальности дамб. Благодаря тому, что управление расходом организуется без технологических сбросов воды, не требуется капитальных затрат на строительство сбросных трактов.

Ниже приводим принцип и особенности работы системы автоматического регулирования (САР), которой оснащаются все участки канала. Автономное управление балансом водоподачи и водопотребления на каждом участке канала производится по величине, скорости и направлению изменения уровня в конце участка $[\pm \Delta H_к(t), \pm \frac{dH_к}{dt}(t)]$, происшедшего в результате изменения расхода водовыпусков $[\pm Q_{вв}(t)]$ или изменения открытия затвора в конце участка $[\pm \Delta a_к(t)]$ в результате воздействия на него нижерасположенной системы регулирования, т.е. $\pm \Delta H_к(t) = f[\pm \Delta Q_{вв}(t), \pm \Delta a_к(t)]$. Управляющее воздействие передается на затвор перегораживающего сооружения в начале участка $\Delta a_н(t)=K_р \sum [\pm \Delta H_к(t), \pm \frac{dH_к}{dt}(t)]$, что позволяет организовать высокую оперативность управления. В свою очередь изменение открытия затвора $\Delta a_н(t)$ вызовет пропорциональное отклонение уровня в вышерасположенном участке канала, что приведет в действие его контур управления, и т.д. до головы канала. Таким образом в системе достигается автономность управления балансом расходов по всей протяженности канала. Для компенсации отрицательного влияния запаздывания добегания расходов по длине канала в регуляторе предусмотрен контур коррекции /3/. Коррекция позволяет формировать сигнал управления с прогнозированием скорости и направления изменения уровня, чем достигаются переходные процессы без перерегулирования. За счет этого система регулирования отличается большой устойчивостью работы в условиях значительного запаздывания добегания расходов ($\tau \approx 3000с$) по длине участков канала.

Как правило, при данном способе регулирования в период вегетации нет необходимости в изменении уставок заданных значений стабилизируемых уровней $H_к$ на участках канала. Функции ЦКУ сводятся к оперативному изменению головных расходов магистрального канала и водовыпусков из него в соответствии с планом водопользования, а по истечении времени автономной перестройки системы на новый режим - контролированию установившихся параметров в канале. В отличие от способа, описанного в /1/, системе автономного управления балансом расходов не требуется в аппаратуре ЦКУ сложного алгоритма управления, реализуемого ЭВМ.

При управлении транспортированием воды в крупных каналах с большой длиной участков (например в проектируемом Нижнем Каршинском магистральном канале длина участков 20...22 км и расход 240...270 м^3/с) резко уменьшается область устойчивости системы регулирования и увеличивается время переходных процессов из-за значительного запаздывания на длинных участках и из-за больших начальных возмущений, характерных для каналов с насосными станциями. В связи с этим при автоматизации водоподачи в крупных каналах возникла задача оптимизации режима работы описанной САР в функции динамических параметров регулятора каждого участка по таким критериям качества, которые уменьшают время переходных процессов, т.е. повышают быстродействие системы и увеличивают запас ее устойчивости. Обеспечивая высокую устойчивость работы, приведенные к оптимальному режиму автоматизированные сооружения позволяют при эксплуатации за счет повышения точности водоподачи сократить объем воды, потребляемой каналом из источника орошения, что очень важно в условиях дефицита оросительной воды.

Для решения задачи в институте "Средазгипроводхлопок" разработаны математические модели и алгоритмы для расчета и исследования на ЭВМ динамики функционирования САР с различными типами регуляторов ("Янгиер", "Протос", ПИД и др), а также модели и алгоритмы автоматической оптимизации САР в пространстве переменных параметров регулятора на основе количественной, интегральной оценки качества переходного процесса в канале. Математические модели и алгоритмы реализованы в виде комплекса программ для ЭВМ ЕС-1033 и применяются для обоснования технических решений при проектировании каналов. Чтобы решить задачу, необходимо сначала провести анализ качества переходных процессов системы регулирования по характерным количественным критериям в функции ее переменных параметров и определить оптимальную область, а затем разработать алгоритмы автоматической оптимизации для применения их в проектировании. Задача оптимизации – при возмущении на одном участке изменением расхода $\Delta Q_к(t)$ в концевом створе определить режимы работы системы управления подачей воды $\Delta Q_н(t)$ в начале участка в виде значений параметров ее динамической настройки $x_i = x_1, \dots, x_n$, минимизирующих значение одного из целевых функционалов (ЦФ) качества регулирования $J_1(x_i), J_2(x_i), J_3(x_i), J_4(x_i)$. Модель процесса регулирования описывается уравнением

(I), учитывающим динамику неустановившихся процессов в канале, и алгоритмом (2), учитывающим работу автоматического регулятора уровня:

$$\Delta H_к(t) = H_к[F_{13}(t) + F_{13п}(t) + F_1(t) + F_{1п}(t)]\left[\frac{N_н}{\alpha_н}\sum_{i=1}^{t_к}\Delta\alpha_{н_i}(t)\right] + H_к[F_{24}(t) + F_{24п}(t) + F_4(t) + F_{4п}(t)]\frac{\Delta Q_к}{Q_к}, \quad (I)$$

где $\frac{\Delta Q_к}{Q_к}(t)$ – возмущение (изменение расхода водопотребления);

$\sum\Delta\alpha_{н_i}(t)$ – управление (изменение водоподачи или открытия затвора перегораживающего сооружения в начале участка канала);

причем
$$\Delta\alpha_н = \sum_{i=1}^{m}\begin{cases} sign[\Delta h_к(t)]K_р v_з, & \Delta h_к(t) > \varepsilon,\ t_i \le t \le (t_i + T_{u_i}) \\ 0, & \Delta h_к(t) < \varepsilon,\ (t_i + T_{u_i}) \le t_i < (t_i + T) \end{cases}, \quad (2)$$

где t_i – начало i-го импульса управления; $T = (T_и + T_п)$ – длительность одного цикла управления; ε – зона нечувствительности регулятора.

Зависимости $F_{13}(t); F_{13п}(t); F_1(t); F_{1п}(t); F_{24}(t); F_{24п}(t); F_4(t); F_{4п}(t)$ даны в работе [3]. Переменные $K_р = x_1$, $T_п = x_2$, $K_д = x_3$, $T_д = x_4$, $K_{дм} = x_5$, $T_{дм} = x_6$, $\varepsilon = x_7$, $\Delta_в = x_8$ – параметры динамической настройки системы регулирования водоподачи, подлежащие оптимизации.

Разработанные модели и алгоритмы позволяют решать задачу оптимизации выбора переменных параметров динамической настройки регулятора, минимизирующих один из четырех интегральных целевых функционалов, являющихся критериями качества управления: 1) $J_1(x_i) = \int_0^T \Delta H(t)$ – оценивает площадь переходного процесса (площадь динамического отклонения уровня); 2) $J_2(x_i) = \int_0^T \Delta H(t)t$ – оценивает как площадь, так и длительность переходного процесса; 3) $J_3(x_i) = \int_0^T \Delta H^2(t)$ – оценивает квадрат площади динамического отклонения уровня; 4) $J_4(x_i) = C_1M_1J_1 + C_2M_2J_2 + C_3M_3J_3$ – комплексный функционал, в котором $C_j = 0...1$ – весовые коэффициенты, $M_j = f(J_1, J_2, J_3)$ – масштабные уравнивающие коэффициенты.

В алгоритме вычисления ЦФ применен метод трапеций

$$\int_0^t \Delta H(t) = \left[\frac{\Delta H_1 + \Delta H_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1}\Delta H_i\right]\Delta t, \quad (3)$$

где ΔH_i – отклонение уровня воды от заданного значения; Δt – шаг интегрирования.

Требуется оптимизировать параметры регулятора x_i так, чтобы минимизировать значения целевых функционалов управления $J_к(x_i)$. Для уменьшения взаимовлияния участков канала при регулировании целесообразно сократить как динамическое отклонение уровня, так

и время переходного процесса. Поэтому удовлетворяющее технологию водоподачи качество регулирования во взаимосвязанных участках канала достигается при оптимизации по целевым функционалам $J_I(x_i)$ и $J_2(x_i)$. С целью выбора соответствующего особенностям рассматриваемых систем метода оптимизации и разработки алгоритма для его реализации необходимо сначала провести анализ топологических свойств ЦФ в пространстве переменных параметров динамической настройки регуляторов. Выбор способа оптимизации и разработка алгоритма его реализации должны основываться на результатах исследования топологических свойств рельефа поверхности ЦФ.Для построения рельефа применен метод вычисления значений ЦФ в узлах сетки координат переменных параметров регулятора. Шаг сетки рассмотрен в двух вариантах: равномерный и логарифмический.

Так как анализируемая система регулирования водоподачи с коррекцией по скорости отклонения имеет до восьми переменных параметров динамической настройки x_i, вариации которых влияют на оценку качества процесса регулирования и значения ЦФ, не представляется возможным интерпретировать одновременное влияние вариаций всех восьми параметров на процесс. Поэтому сначала рассмотрены топологические свойства рельефа поверхности ЦФ на примере системы управления, имеющей два переменных параметра динамической настройки: $x_I=K_p$, $x_2=T_п$. Анализ топологических свойств значений ЦФ проводили графическим методом построения в трехмерном пространстве топологии рельефа. На рис.I представлен рельеф функционала $J(x_I,x_2)$, образованный изолиниями параметров динамической настройки регулятора K_p с шагом I00 с/м в диапазоне I00...2I00 с/м и $T_п$ с шагом 60 с в интервале 60...2940 с.Значения аппликат целевого функционала $J_I(x_I,x_2)$ от 0 до I000 м.с возрастают в направлении сверху вниз. Необходимость такого направления шкалы аппликат обоснована результатами сравнительного анализа топологии рельефов целевых функционалов, построенных при "прямом" и "обратном" направлении шкалы аппликат. "Обратное" направление шкалы позволяет сделать видимой главную, т.е. оптимальную область рельефа ЦФ. Из анализа топологии рельефа ЦФ (рис.I) следует, что оптимальная область работы системы регулирования находится между двумя упорядоченными вдоль оси $T_п$ последовательностями экстремумов изолиний K_p в диапазоне K_p=I000...I400 с/м.

Анализ изолиний ЦФ по параметру $T_п$= const, $J_I(x_I)$= f (K_p) показал, что при уменьшении коэффициента пропорциональности ре-

гулятора(K_p) за пределы оптимальной области резко возрастает $J_I(x_I)$, т.е. увеличиваются длительность процесса регулирования и отклонение уровня, а при увеличении K_p возникают неустойчивые процессы, т.е.$J_I(x_I)=\infty$. На рис.I невидимая область больших значений $J_I(x_I,x_2)$ при увеличении K_p оказывается заслоненной и остается скрытой, но так как она соответствует неустойчивым режимам работы системы регулирования, то эту особенность нельзя считать недостатком рассмотренного метода интерпретации топологии целевых функционалов управления водоподачей.

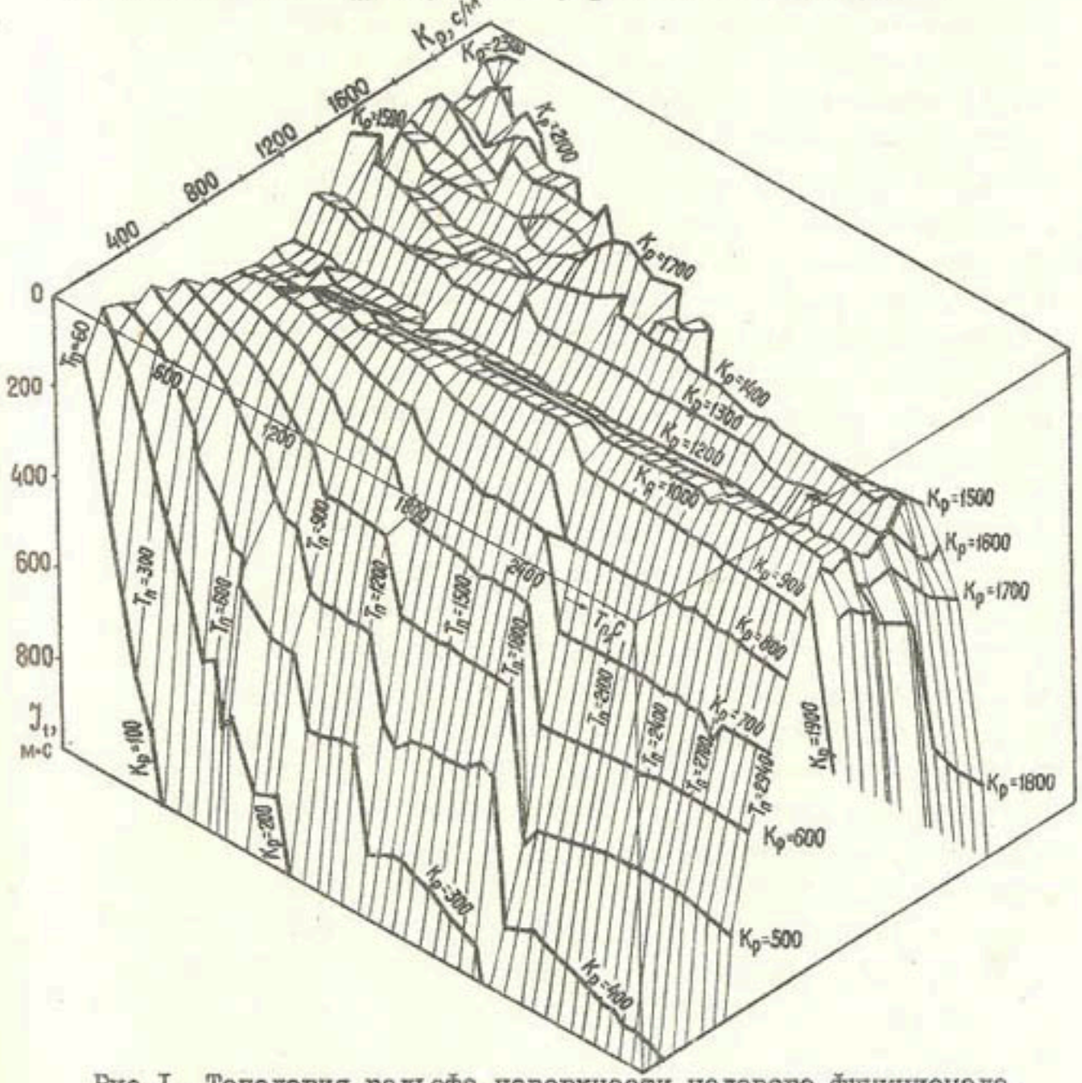


Рис.I. Топология рельефа поверхности целевого функционала $J_I(K_p,T_п)$ в изолиниях K_p и $T_п$ системы регулирования по верхнему бьефу с пропорционально-импульсным регулятором на канале ДМ-I (длина участка 7860 м, расход I75 м^3/с, возмущение $\Delta Q_к$= -46,4м^3/с)

Анализ изолиний ЦФ по параметру $K_p = const$ при $J_I(x_2) = f(T_п)$ показал, что в области малых значений паузы регулятора($T_п$) достигается удовлетворительное качество переходных процессов в широком диапазоне K_p; с увеличением $T_п$ резко сужается диапазон K_p, обеспечивающий качественные процессы.

Проведенное исследование топологии рельефа ЦФ в объемной трехкоординатной системе двух параметров регулятора и целевого функционала показало высокую эффективность такой интерпретации ее и дает хорошую возможность для обоснованного выбора оптимального режима работы систем регулирования водоподачи. Достоинство способа в его информативности, заключающейся в изолиниях каждого из переменных параметров системы регулирования. Недостаток трехкоординатной интерпретации топологии ЦФ - в необходимости затраты значительного времени на машинный расчет $J_I(x_I, x_2)$ во всех узлах сетки аппликат и построение его рельефа.

Рассмотрим информативные возможности двухкоординатного способа интерпретации топологических свойств ЦФ для решения задачи количественной оценки функционирования системы регулирования водоподачи, сравнения качества процессов в ней и выбора рационального режима работы. При таком способе интерпретации топологию целевого функционала удобно отображать изолиниями равных значений ЦФ в плоскости переменных параметров x_i настройки режима системы регулирования. При этом существенно сокращается количество расчетных значений ЦФ, так как при построении его изолиний используется интерполяция. На рис.2,а представлена топология ЦФ $J_2(x_I, x_2) = \int_0^T \Delta H(t)\,t$ в плоскости двух параметров: K_p и $T_п$. Область лучшего качества работы системы ограничена изолинией $J_2(x_I, x_2) = 48 \cdot 10^6$ м·с^2, однако при этом качество процесса регулирования неудовлетворительное (рис.3, а, кривые П-I, П-2). Неустойчивость процесса объясняется очень большим запаздыванием(τ'_I=2890с, τ'_I / T_I=0,II8) добегания измененного расхода от начала в конец участка и значительной постоянной времени (T_I=24480 с) из-за большого удаления створа размещения датчика уровня от управляемого перегораживающего сооружения (20 км). Из сказанного следует: в способе регулирования по нижнему бьефу с отнесенным датчиком при большой протяженности участка канала дискретно-пропорциональные регуляторы не могут обеспечить удовлетворительное управление балансом расходов.

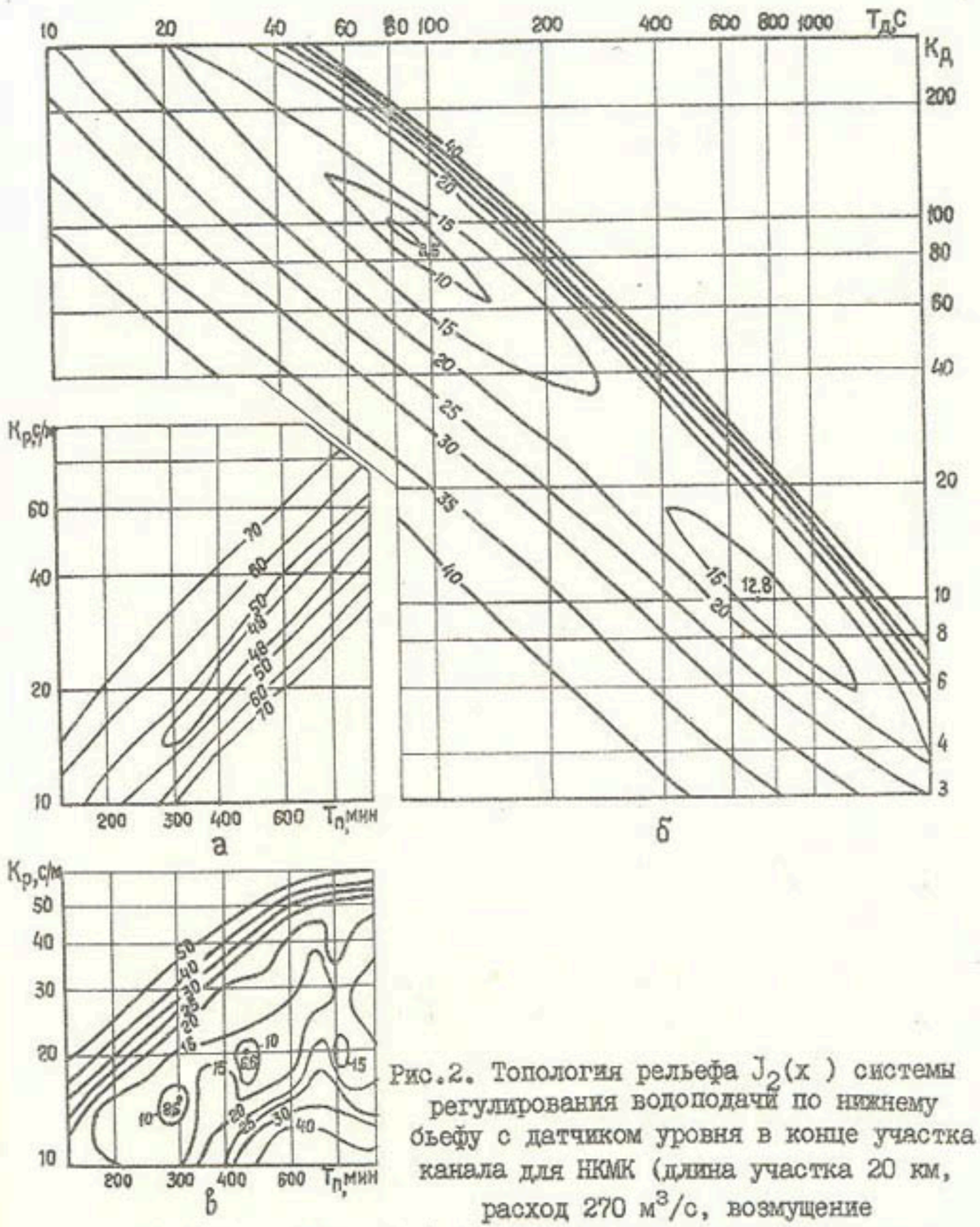


Рис.2. Топология рельефа $J_2(x)$ системы регулирования водоподачи по нижнему бьефу с датчиком уровня в конце участка канала для НКМК (длина участка 20 км, расход 270 м^3/с, возмущение $\Delta Q_к$ = -81 м^3/с = -30%): а) $J_2(K_p, T_п)$ для системы с регулятором "Янгиер-2" ("Парус", ЛТК-I33); б) $J_2(K_д, T_д)$, $K_p \approx$ оптим, $T_п \approx$ оптим- - для системы с регулятором "Янгиер-5"; в) $J_2(K_p, T_п)$, $K_д$=оптим, $T_д$= оптим - для системы с регулятором "Янгиер-5"

Рациональное решение задачи достигнуто применением регулирующего устройства "Янгиер-5", формирующего дискретно-пропорциональный закон регулирования с коррекцией по скорости отклонения уровня. Регулятор "Янгиер-5" имеет четыре основных переменных параметра динамической настройки, сильно влияющих на режим его работы, качество и устойчивость процесса регулирования водоподачи: $K_р$, $T_п$, $K_д$, $T_д$, а также четыре второстепенных параметра:

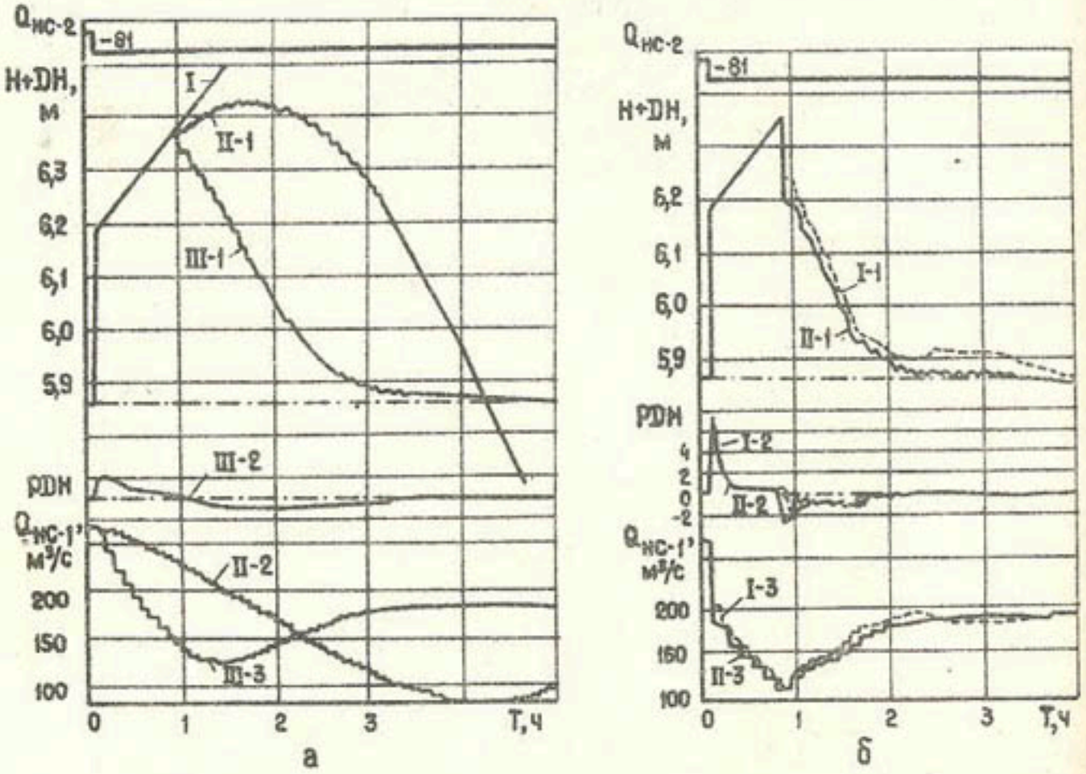


Рис.3. Графики переходного процесса автономной системы регулирования водоподачи по нижнему бьефу с датчиком уровня в конце участка для НКМК (длина участка 20 км, расход 270 $м^3/с$, возмущение $\Delta Q_к$= -81$м^3/с$ =-30%): а) в локальном оптимуме: I – без регулирования; II – с регулятором "Янгиер-2" ("Парус", ЛТК-133) при $K_р$=15 с/м, $T_п$=300 с (J_2 =48,2·10^6 м·$с^2$), III – с регулятором "Янгиер-5" при $K_р$=15 с/м, $T_п$=300 с, $K_д$=10, $T_д$=180 с (J_2=12,78·10^6 м·$с^2$); б) в локальных оптимумах с регулятором "Янгиер-5": I – при $K_р$=15 с/м, $T_п$=300 с, $K_д$=90, $T_д$=90 с (J_2=8,5·10^6 м·$с^2$); II – при $K_р$=20 с/м, $T_п$=450 с, $K_д$=90, $T_д$=90 с (J_2=6,6·10^6 м·$с^2$)

ϵ, $\Delta_в$, $T_{дм}$, $K_{дм}$. Диапазоны изменения рациональных значений параметров ϵ, $\Delta_в$, $T_{дм}$ и $K_{дм}$ небольшие, поэтому их величины принимаются постоянными и не подлежат оптимизации. В силу сказанного при дискретно-пропорциональном законе регулирования с коррекцией по скорости отклонения уровня (регулятор "Янгиер-5") необходимо оптимизировать параметры $K_р$, $T_п$, $K_д$, $T_д$, а при дискретно-пропорциональном законе регулирования (регуляторы "Янгиер-2", "Парус", ЛТК-133) – параметры $K_р$, $T_п$. Для режима дискретно-пропорциональной составляющей регулятора "Янгиер-5" в результате первого этапа оптимизации из рис.2,а выбраны оптимальные значения параметров $K_р$=15 с/м, $T_п$=300с, обеспечивающие минимум функционала $J_2(x_1,x_2)$=48·10^6 м·$с^2$. С целью определения оптимальных значений параметров коррекции по скорости отклонения уровня $K_д$, $T_д$ на втором этапе оптимизации построена топология ЦФ (рис.2,б) в координатах $K_д$, $T_д$ корректирующего контура регулятора.

Из анализа топологии ЦФ, приведенной на рис.2,б, следует, что с увеличением количества переменных параметров системы регулирования (x_1,x_2,x_3,x_4) в пространстве проектирования, кроме глобального оптимума J_2 (x_3,x_4)=8,5·10^6 м·$с^2$ при $K_д$=90, $T_д$=90 с, появляется локальный оптимум J_2 (x_3,x_4)= 12,8·10^6 м·$с^2$ при $K_д$=10, $T_д$=700 с, т.е. топология ЦФ из унимодальной (рис.2,а) превращается в мультимодальную (рис.2,б).Естественно, качество переходных процессов в выявленных глобальном и локальном оптимумах значительно различается, что проиллюстрировано графиками на рис.3,а (кривые III-1, III-2, III-3) и на рис.3,б (кривые I-1,I-2,I-3). Из них видно, что переходный процесс в глобальном оптимуме $J_2(x_3,x_4)$= 8,5·10^6 м·$с^2$ (рис.3,б,кривые I) намного удовлетворительнее процесса в локальном оптимуме $J_2(x_3,x_4)$=12,8·10^6 м·$с^2$ (рис.3,а,кривые III). Поэтому при определении режимов формирования управляющих воздействий регуляторов необходимо исследовать топологию ЦФ в широкой области пространства переменных параметров системы регулирования с относительно небольшим, варьируемым, шагом сетки переменных параметров и следить, чтобы не принять один из локальных оптимумов за глобальный. Этот момент рекомендуется учитывать не только при оптимизации проектных решений систем регулирования водоподачи, но и при разработке алгоритмов и системного математического обеспечения автоматизированных систем управления с ЭВМ.

Графики I-I и I-2 на рис.3,б показывают также, что за счет введения коррекции по скорости отклонения уровня, предпроектного

исследования и оптимизации режима функционирования системы управления на головном участке Нижнего Каршинского магистрального канала (НКМК) решена задача устойчивого и качественного автономного регулирования водоподачи по нижнему бьефу с отнесенным датчиком уровня в условиях большой протяженности канала (20 км), большого запаздывания (τ_I'=2890 с) и значительного изменения водопотребления ($\Delta Q_к$= -81 м^3/с = - 30%). Качество процесса в оптимальной области при $K_р$= I5 с/м, $T_п$=300 с, $K_д$=90, $T_д$=90с характеризуется $J_2(x_3,x_4)$=8,5·I0^6 м·с^2 и количеством команд регулятора $n_к$=57. Техническая возможность устойчивого и качественного регулирования достигнута в результате применения дискретно-пропорционального регулятора с введением контура коррекции по скорости отклонения уровня, реализованного в регуляторе "Янгиер-5" /3/, и оптимизации его динамических параметров.

Плавное автономное регулирование водоподачи на НКМК позволяет стабилизировать уровни воды в канале между насосными станциями, резко уменьшить вероятность возникновения больших колебаний уровня, которые характерны для реальной эксплуатации каскада НС.

Натурными исследованиями установлено, что введение контура коррекции по скорости отклонения, кроме повышения устойчивости, позволяет увеличить коэффициент пропорциональности управляющего воздействия основного контура регулятора $K_р$, в результате чего дополнительно уменьшаются время регулирования и значение функционала качества $J(x_i)$. С учетом этого свойства коррекции методика оптимизации сеточным методом по парам координат должна предусматривать третий цикл оптимизации и уточнение топологии функционала $J_2(x_I,x_2)_{опт}$= 48·I0^6 м·с^2 (рис.2,а) в плоскости параметров $K_р$ и $T_п$ основного, дискретно-пропорционального контура регулятора при оптимизированных на втором этапе переменных параметрах корректирующего контура $K_д$=x_3=90, $T_д$=x_4=90 с, $J_2(x_3,x_4)_{опт}$= 8,5·I0^6 м·с^2 (рис.2,б). Результаты третьего этапа отражены на рис.2,в.

Из сопоставления топологии ЦФ для системы регулирования нижнего бьефа с дискретно-пропорциональным регулятором без коррекции (рис.2,а), имеющей два переменных параметра ($K_р$, $T_п$), и топологии ЦФ такой же системы с коррекцией (рис.2,б и в), имеющей четыре переменных параметра ($K_р$, $T_п$, $K_д$, $T_д$), следует, что:

- во-первых, за счет введения коррекции по скорости отклонения уровня и в результате минимизации целевого функционала

качества $J_2(x_i)$ по параметрам $K_д$ и $T_д$ на втором этапе оптимизации достигнут устойчивый оптимальный режим работы системы при $K_р$=I5 с/м, $T_п$=300 с, $K_д$=90, $T_д$=90 с, характеризующийся функционалом $J_2(x_I,x_2,x_3,x_4)$ =8,5·I0^6 м·с^2 и количеством управляющих команд регулятора $n_к$=57 (рис.2,б и рис.3,б,кривые I). Сравнение их с кривыми II (рис.3,а) показывает, что за счет введения оптимальной коррекции достигнуто улучшение переходного процесса по $J_2(x_I,x_2,x_3,x_4)_{опт}$=8,5·I0^6 м·с^2 в 5,7 раза относительно значения $J_2(x_I,x_2)_{опт}$=48 м·с^2, характеризующегоработу системы регулирования без коррекции (рис.2,а).

После третьего, заключительного, этапа оптимизации по параметрам $K_р$,$T_п$ достигнут глобальный оптимум режима работы системы при $K_р$=20 с/м, $T_п$=450 с, $K_д$=90, $T_д$=90 с (рис.2,в), характеризующийся $J_2(x_I,x_2,x_3,x_4)_{опт}$=6,6·I0^6 м·с^2 и $n_к$=40 (рис.3,б,графики II-I, II-2, II-3) при большем значении $K_р$, т.е. в соответствии с результатами натурных исследований. При этом улучшение качества переходного процесса на заключительном этапе характеризуется уменьшением $J_2(x_i)$ в 7,3 раза относительно первого этапа оптимизации для системы регулирования без коррекции и в I,3 раза относительно второго этапа - с коррекцией;

- во-вторых, значение функционала управления $J_2(x_i)$не изменяется в определенной области параметров регулятора при условии, что, например, для дискретно-пропорционального контура одновременно с повышением коэффициента пропорциональности $K_р$ увеличивается длительность паузы $T_п$(рис.2,а), а для контура коррекции одновременно с повышением коэффициента динамического усиления $K_д$ уменьшается постоянная времени дифференцирования $T_д$ (рис.2,б). Однако качество переходных процессов при этом изменяется: уменьшается или увеличивается перерегулирование уровня, сокращается или возрастает длительность управления;

- в третьих, с увеличением количества переменных параметров возрастает число локальных оптимумов и топология ЦФ становится мультимодальной (рис.2,а,б,в). Топологические свойства поверхности ЦФ играют большую роль в процессе оптимизации, так как от них зависит выбор наиболее эффективного алгоритма поиска минимума ЦФ. Решение задачи требует усложненных алгоритмов оптимизации, которые, однако, не всегда гарантируют, что один из локальных оптимумов не будет принят за глобальный. Для того чтобы избежать вероят-

ности попадания в один из локальных оптимумов, необходимо проводить оптимизацию в два этапа: на первом исследовать топологию ЦФ в узлах сетки всего пространства переменных параметров системы и определить область меньших значений ЦФ, на втором – проводить собственно оптимизацию с автоматическим выбором глобального минимума в заданной области. При оптимизации объем вычислений и точность решения в значительной мере зависят от степени точности выбора области задаваемых начальных координат переменных параметров системы. Поэтому опыт и интуиция исследователя и анализ топологии оказывают большое влияние на эффективность вычислительного процесса при оптимизации. Результаты данного исследования позволили выявить топологические свойства поверхности целевых функционалов оптимизации (критерий качества) систем регулирования водоподачи с дискретными регуляторами и на основе этого выбрать рациональные и эффективные методы оптимизации, разработать алгоритмы и программу ЭВМ для оптимизации;

– в-четвертых, описанный сеточный метод оптимизации, основанный на построении топологии ЦФ в узлах сетки координат переменных, позволяет исследовать режимы работы системы регулирования в широком диапазоне параметров, определить области локальных и глобального оптимумов, выбрать оптимальные режимы. Он эффективен при синтезе и сравнительном анализе способов и алгоритмов управления водоподачей. Однако из проведенного исследования видно, что сеточный метод эффективен при числе переменных параметров не более двух. Это существенно ограничивает применение его для оптимизации режима регулирования водоподачи каналов с большим количеством управляемых гидросооружений.

Методы оптимизации в многомерном пространстве R^n делятся на две большие группы: прямые и косвенные. Прямые основаны на сравнении вычисляемых значений ЦФ в различных точках, косвенные – на применении необходимых и достаточных условий математического определения минимума функционала. Косвенные методы используют первые и вторые производные ЦФ. Выше было показано, что топология ЦФ рассматриваемых систем является мультимодальной. В этих условиях решение косвенными методами может привести к локальному минимуму. Для алгоритмов многомерной оптимизации при сложной топологии ЦФ может быть применено большое количество прямых методов.

В данной работе для решения задачи повышения качества функционирования систем регулирования водоподачи из прямых методов многомерной оптимизации рассмотрен один из наиболее эффективных –

комплексный метод Бокса с частичным использованием модификаций, предложенных Умедой и Ичикавой. В нем для исследования пространства n оптимизируемых переменных параметров системы применен m-мерный комплекс, т.е.гиперкуб, состоящий из $m \geqslant (2n+1)$ вершин, расположенный в заданных границах переменных. Количество вершин m увеличено по сравнению с числом переменных n для того, чтобы и вблизи границы алгоритм вел поиск в пространстве большой размерности. Постановка задачи заключается в нахождении минимума функционала управления $M = J(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ при заданных ограничениях $v_i \leq x_i \leq u_i$, где $i = 1,2,3,\ldots,n$; x_i – оптимизируемые переменные параметры системы регулирования водоподачи; v_i – нижняя граница параметра x_i; u_i – верхняя граница параметра x_i. При этом оптимизируются параметры x_i по заданным функционалам качества J_1, J_2, J_3 или J_4 так, чтобы достигалось оптимальное качество переходного процесса в канале. Основу метода составляет правило замены наихудшей вершины комплекса, заключающееся в следующем. В данном комплексе из m переменных определяется вершина с наибольшим значением целевой функции. Она симметрично отображается радиусом-вектором относительно центра тяжести остальных m–1 вершин. Если при этом нарушаются ограничения задачи, то производится выбор допустимой точки на границе переменной. С новым комплексом повторяются те же операции. Пусть вершины пронумерованы в последовательности $J_{(1)} < J_{(2)} < \ldots < J_{(j)}$, где $J_{(j)}$ – значение целевого функционала в вершинах. Координаты x_i новой вершины $J_{(m+1)}$, заменяющей вершину $J_{(m)}$, определяются по формуле

$$x_{(i)} = (\alpha + 1)\bar{x} - (\alpha m + 1)x_{(m)}, \qquad (4)$$

где $i = 1,2,3,\ldots,n$ – переменные параметры системы регулирования; α – положительный коэффициент отражения; $\bar{x}$ – центр тяжести m–1 вершин комплекса; m – количество вершин комплекса; $x_{(m)}$ – координата вершины с максимальным значением целевого функционала.

Центр тяжести $\bar{x}$ комплекса из m–1 вершин равен

$$\bar{x} = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^{m-1} (x s_j). \qquad (5)$$

С учетом (5) координаты $x_{(i)}$ новой вершины $J_{(m+1)}$ определяются по формуле отражения

$$x_{(i)} = \sum_{j=1}^{m-1} (x s_j) \frac{\alpha+1}{m-1} - (\alpha m + 1) x_{(m)}. \qquad (6)$$

Процесс отражения продолжается, пока отыскиваются новые вершины со значением целевого функционала $J_{(i)}$ меньше имеющегося максимального $J_{макс}$. Если значение ЦФ $J_{(i)}$ в новой вершине не меньше, чем $J_{макс}$, то на следующем шаге поиска коэффициент отражения α делится пополам и так продолжается до тех пор, пока не отыщется вершина лучше отбрасываемой. Критерием прекращения поиска является выполнение неравенства, определяющего точность ε_J по целевому функционалу:

$$\left|\frac{J_{макс} - J_{мин}}{J_{макс}}\right| \leq \varepsilon_J, \qquad (7)$$

где ε_J=0,001...0,05.

По приведенному алгоритму оптимизации разработана программа для ЭВМ ЕС-1033 и выполнены расчеты функционала $J_2(x_i)$ для различных параметров начального комплекса. Сравнительными исследованиями вариантов установлено, что траектория движения вершины комплекса, скорость сходимости и точность решения в значительной степени зависят от начальных координат комплекса, векторов расстояний между его вершинами и количества вершин начального комплекса.

Анализ оптимизации и траекторий движения вершин комплекса показал, что для повышения эффективности необходимо ввести в алгоритм Бокса усовершенствования:

– для отражения от худшей вершины центр тяжести комплекса вычислять с учетом обратной величины целевых функционалов в вершинах по формуле

$$\bar{x} = \frac{\left(\frac{x_1}{J_1} + \frac{x_2}{J_2} + \ldots + \frac{x_{m-1}}{J_{m-1}}\right)\frac{\sum_{j=1}^{m-1} J_j}{m-1}}{m-1}; \qquad (8)$$

– если найденная вершина J_{m+1} хуже максимальной $J_{макс}$, то при каждом отражении уменьшать коэффициент отражения α до тех пор, пока не найдется вершина лучше худшей $J_{m+1} < J_{макс}$. Если эта вершина хуже предыдущей, то отражать от предыдущей вершины J_{m-1} с первоначальным коэффициентом отражения. Всегда отбрасывать худшую вершину $J_{макс}$.

Кроме условия (7), введены два дополнительных критерия прекращения поиска: ограничивающего уменьшение коэффициента отражения $\alpha \leq \varepsilon_\alpha$ и ограничивающего уменьшение радиуса-вектора отражения $R \leq \varepsilon_R$. Поиск происходит до тех пор, пока не выполнится любой из трех критериев.

Достоинство предложенного алгоритма состоит в том, что скорость поиска увеличивается, если комплекс приближается к оптимальной области параметров системы, или замедляется, если комплекс удаляется от оптимальной области.

Блок-схема разработанного алгоритма оптимизации переменных параметров системы регулирования водоподачи показана на рис.4.

Проведенные исследования позволили решить проблему и доказать эффективность устойчивого и качественного автономного регулирования баланса расходов водоподачи и водопотребления при управлении водораспределением в оросительном канале значительной протяженности, согласованного с сильной инерционностью неустановившихся процессов (T=24480с), большим запаздыванием добегания управляемого расхода водоподачи (τ=2890 с) в условиях большой протяженности управляемого участка канала (до 20 км) и большого изменения расхода водопотребления ($\Delta Q_к = \pm 30\%$). Решена задача оптимизации переменных параметров и режима работы системы автономного управления балансом расходов в канале, позволяющая практически исключить перерегулирование, в результате чего резко уменьшается взаимовлияние участков канала и сокращается количество итераций управления затворами гидросооружений.

Выводы

1. Предложенные алгоритмы и модели расчета на ЭВМ оптимального режима системы автоматического регулирования водоподачи с учетом динамики процессов позволяют минимизировать время перехода канала из неустановившегося режима в установившийся и за счет этого в 2...3 раза уменьшить время переходных процессов, повысить оперативность управления и точность водоподачи, исключить образование дефицитов и технологических сбросов воды, обеспечить экономное использование оросительной воды, уменьшить водозабор из источника орошения за счет сокращения избыточности водоподачи, уменьшить строительную высоту канала и капитальные затраты на его строительство за счет уменьшения амплитуды динамического отклонения уровня при переходных процессах в канале.

2. Разработаны алгоритм и программа оптимизации, основанные на комплексном методе Бокса, в который введены усовершенствования, повысившие эффективность алгоритма и точность решения задачи оптимизации режима работы системы автоматического регулирования расхода в канале.

3. Предложены критерии и эффективные интегральные функционалы для количественной оценки качества оптимизации процессов

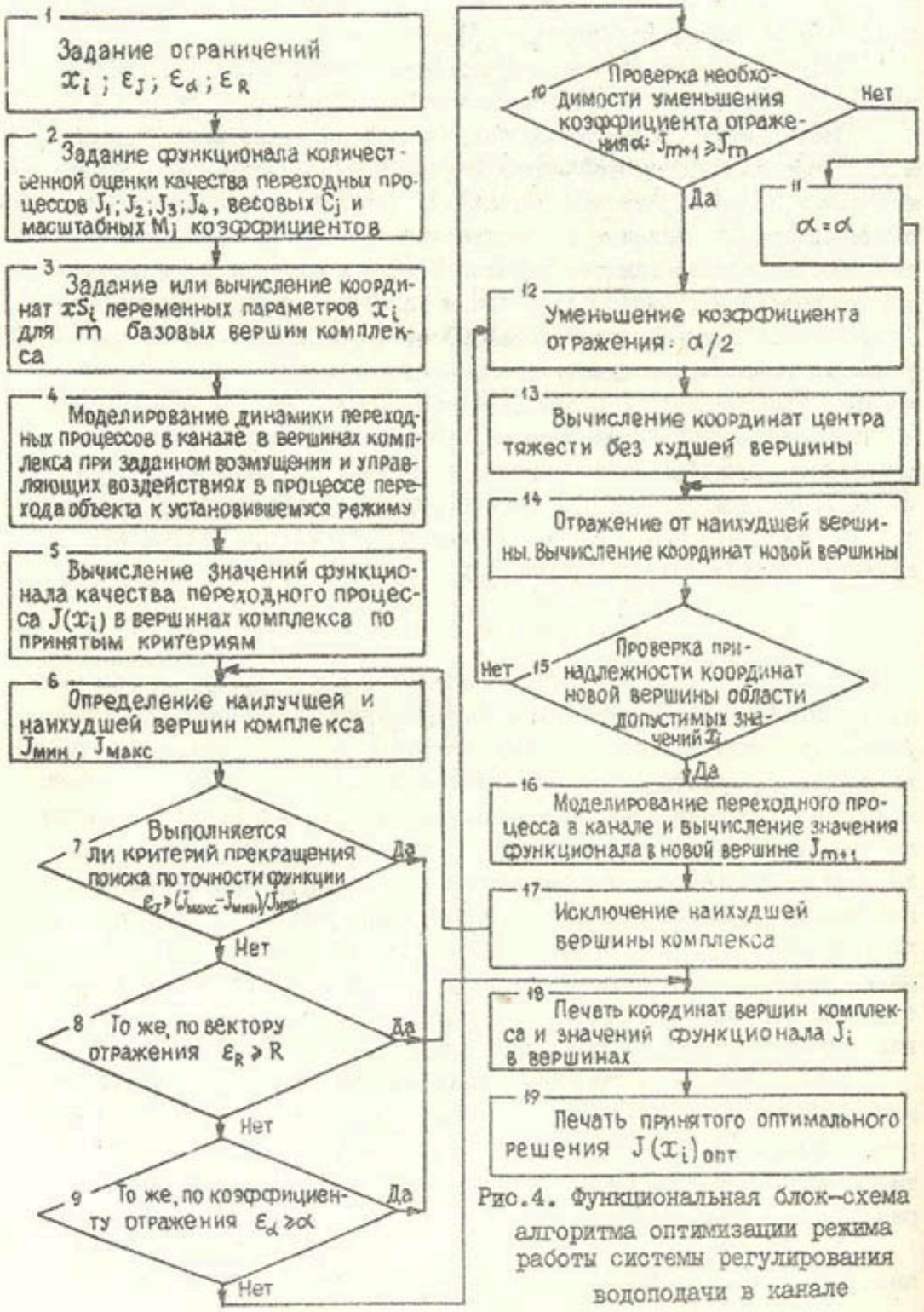


Рис.4. Функциональная блок-схема алгоритма оптимизации режима работы системы регулирования водоподачи в канале

автономного управления расходом в канале.

4. Установлено, что топология рельефа целевого функционала качества автономной системы регулирования водоподачи характеризуется наличием зон глобального и локального минимумов. Эта особенность топологии учтена при разработке предложенного алгоритма оптимизации и должна учитываться при проектировании и эксплуатации программного обеспечения АСУ ТП.

5. Сравнительный анализ функционирования известных и предложенной системы автономного регулирования расхода по уровню нижнего бьефа с коррекцией по скорости отклонения (регулятор "Янгиер-5") позволяет говорить об эффективности способа и алгоритма автономного регулирования, доказал высокую технико-экономическую эффективность системы автономного регулирования: в условиях значительной протяженности управляемого участка канала (до 20 км), большого и резкого (ступенчатого) изменения расхода водопотребления (отключение 30% агрегатов перекачивающей НС) она стабилизирует уровни в канале без отключения агрегатов подкачивающей НС, а при внезапном 100%-ном отключении перекачивающей НС уменьшает амплитуду динамического отклонения уровня, что значительно сокращает запас по высоте дамб канала. Сокращенный за счет этого объем земляных работ при строительстве головного участка Нижнего Каршинского магистрального канала протяженностью 38 км дает существенную экономию стоимости строительства.

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

I. Маковский Э.Э., Куротченко В.И. Алгоритм управления процессом водораспределения на оросительных системах. – Сб.: Централизованное диспетчерское управление водораспределением. – Фрунзе: Илим, I974, с.I75–I96.

2. Коваленко П.И. Автоматизация мелиоративных систем. – М.: Колос, I983. – 304 с.

3. Тюменев Р.М. Управление режимами работы каналов с перегораживающими сооружениями в каскаде насосных станций. – Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами, с.68–80. (Издающая организация – САНИИРИ).

УДК 626.8I.003.I3

Т.А.Трунова, канд.с.-х.наук,
зав.сектором
(НИИ экономики и нормативов
с ВЦ Госплана УзССР)

ПРИНЦИП ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ИРРИГАЦИЮ

Развитие и характер размещения производительных сил Узбекистана находятся в прямой зависимости от обеспеченности региона водными ресурсами.

Анализ использования водных ресурсов отраслями народного хозяйства республики на современном этапе свидетельствует о том, что уже сейчас расходуется практически весь лимит выделенной ей воды. Такое положение вызвано нерациональными затратами воды на ирригацию, промышленными предприятиями, коммунально-бытовым хозяйством и другими потребителями.

Основным потребителем водных ресурсов в Узбекистане является орошаемое земледелие: на него падает примерно 85% от общего количества водозабора. Поэтому особое внимание следует уделить вопросам рационального применения воды для сельскохозяйственного орошения.

В настоящей работе рассматривается принцип оценки эффективности использования водных ресурсов, применяемый на современном этапе, и предложен иной способ оценки, который, на наш взгляд, точнее оценивая эффективность расходования оросительной воды, полнее отражает хозяйственную деятельность водопотребителей.

Мерилом эффективности использования воды на ирригацию считается производство продукции растениеводства на I000 $м^3$ затраченной воды, т.е.

$$К_{эв} = \frac{П_р}{0{,}001\ М_{бр}}, \qquad (I)$$

где $К_{эв}$ – показатель эффективности использования воды, руб./I000 $м^3$; $П_р$ – производство продукции растениеводства, руб/га; $М_{бр}$ – оросительная норма брутто, $м^3$/га.

В результате анализа современного состояния экономики водного хозяйства нами установлено, что в отдельных случаях себестоимость производства хлопка-сырца превышает закупочную цену. Так, в I984 г. в Кашкадарьинской области имел место факт убыточного использования водных, материальных и трудовых ресурсов. Однако, оценивая эффективность применения оросительной

воды лишь по объему продукции растениеводства, как это делается до сих пор, нельзя обнаружить убыточное использование воды потребителями в силу того, что деятельность хозяйств, получивших одинаковый урожай и затративших один и тот же объем воды, оценивается одинаково, несмотря на различия в затратах на производство продукции. Иными словами, применяемый в настоящее время показатель односторонний и исключает экономическую сущность вопроса.

Считаем целесообразным применять показатель эффективности использования водных ресурсов на ирригацию, который учитывает не только стоимость, но и себестоимость произведенной продукции на I000 $м^3$ затраченной воды:

$$П_{эв} = \frac{С - С_с}{0{,}001\ М_{бр}}, \qquad (2)$$

где $П_{эв}$ – показатель эффективности использования водных ресурсов, руб./I000$м^3$; С – стоимость продукции, руб./га; $С_с$ – себестоимость продукции, руб./га.

При сравнении эффективности использования водных ресурсов по объектам, расположенным в разных природных условиях, возникают различия в показателях, связанные не только с хозяйственной деятельностью водопотребителей, но и с влиянием на них климатических, гидрогеологических, почвенных характеристик. В этом случае прямое сравнение деятельности потребителей неправомочно.

Чтобы оно было правомерным, нами применены коэффициенты, учитывающие различия в природных условиях, благодаря чему размеры оросительных норм приведены к одинаковой природной обстановке. При различном техническом состоянии гидромелиоративных систем наиболее целесообразно пользоваться оросительными нормами нетто.

Приведенный показатель эффективности использования водных ресурсов ($П_{э.в.п}$) принимает вид

$$П_{эвп} = \frac{С - С_с}{0{,}001\ М_{бр}\ \eta\ К_п}, \qquad (3)$$

где η – КПД гидромелиоративных систем; $К_п$ – коэффициент приведения оросительных норм к одинаковым природным условиям.

В разрезе административных областей значения коэффициента $К_п$ выражаются следующими величинами:

Административная область	$К_п$	Административная область	$К_п$
ККАССР	I,087	Самаркандская	I,538
Андижанская	I,I63	Сурхандарьинская	0,952
Бухарская	0,909	Сырдарьинская	I,020
Джизакская	I,000	Ташкентская	I,428
Кашкадарьинская	I,052	Ферганская	0,952
Навоийская	0,909	Хорезмская	I,042
Наманганская	0,98I		

Условно приведенные показатели эффективности использования водных ресурсов дают возможность сравнивать деятельность водопотребителей при прочих одинаковых условиях.

В нижерасположенной таблице представлены показатели эффективности использования водных ресурсов при производстве хлопка-сырца в расчете на I га площади по административным областям Узбекской ССР за I984 и I985 гг., установленные по существующей и предлагаемой методикам.

Показатели эффективности использования водных ресурсов при производстве хлопка-сырца

Административная область	Урожайность, ц/га	Внутрихозяйственный чистый доход, руб/га ($С-С_с$)	Фактическая оросительная норма брутто, $м^3$/га ($М_{бр}$)	Показатель эффективности использования водных ресурсов, руб./I000 $м^3$		
				по существующему методу ($К_{э.в}$)	по предлагаемому методу	
					фактический ($П_{эв}$)	приведенный ($П_{эв.п}$)
I	2	3	4	5	6	7
		I984 г.				
Андижанская	32,7	II35	I5470	I44,7	73,4	96,3
Бухарская	22,2	37I	I7400	89,5	2I,3	39,3
Джизакская	I7,6	-30	7630	I56,8	-3,9	-5,0
Кашкадарьинская	I4,5	-235	I2270	87,4	-I9,2	-26,7
Навоийская	23,6	-33	22550	63,3	-I,5	-2,8
Наманганская	34,7	62I	I2I00	I79,5	5I,3	83,8

I	2	3	4	5	6	7
Самаркандская	26,I	600	9840	224,8	60,9	63,3
Сурхандарьинская	33,2	385	I4320	I79,5	26,9	43,4
Сырдарьинская	24,8	563	I5650	9I,3	35,9	45,3
Ташкентская	3I,8	964	20770	95,6	46,4	50,6
Ферганская	33,5	690	I4890	I37,I	46,3	77,8
Хорезмская	34,5	676	23550	76,4	28,7	45,9
			I985 г.			
Андижанская	30,7	7I8	I2560	I57,9	57,I	75,0
Бухарская	27,4	660	I7590	96,6	37,5	69,2
Джизакская	2I,0	84	86I0	I63,0	9,7	I2,5
Кашкадарьинская	I8,6	56	I3680	90,9	4,I	5,7
Навоийская	23,7	524	I6900	84,4	3I,0	60,2
Наманганская	33,3	752	I0200	202,7	73,7	I20,5
Самаркандская	25,8	642	9570	2I7,8	67,I	69,7
Сурхандарьинская	33,0	300	I5350	I75,7	I9,5	3I,5
Сырдарьинская	23,9	365	I0790	89,9	33,8	42,6
Ташкентская	30,2	997	I7450	9I,8	57,I	20,6
Ферганская	32,3	736	I6560	I25,6	44,4	74,5
Хорезмская	33,7	829	25780	7I,7	32,I	5I,4

Примечание: Показатели по ККАССР не рассматривались в связи с наличием больших посевов риса.

Из таблицы следует, что при оценке эффективности использования водных ресурсов по общепринятой методике все показатели значительно выше установленных по предлагаемой методике. Это связано с тем, что применяемая в настоящее время методика учитывает лишь приходную статью и не учитывает расходную - себестоимость продукции.

Для более наглядной демонстрации необходимости изменения существующего метода оценки эффективности использования водных ресурсов рассмотрим показатели Кашкадарьинской и Бухарской областей в I984 г. Согласно данным таблицы урожайность хлопчатника соответственно равна I4,5 и 22,2 ц/га; внутрихозяйственный чистый доход в Кашкадарьинской области минус 235 руб./га, в Бухарской области 37I руб./га. Показатели сельскохозяйственного производства Бухарской области - урожайность, себестоимость - зна-

чительно превышают показатели Кашкадарьинской. В то же время, если оценивать эффективность использования водных ресурсов по существующей методике, показатели практически одинаковы: производство продукции растениеводства на 1000 м^3 воды в Бухарской области 89,5 руб., в Кашкадарьинской - 87,4, что само по себе абсурдно.

Предлагаемый в настоящей работе метод устраняет столь нелогичное положение: эффективность использования водных ресурсов оценивается по размеру дохода, получаемого водопотребителем. Метод с достаточной полнотой отражает его хозяйственную деятельность и дает возможность получать оценку при одинаковых природных условиях. Это позволит в дальнейшем установить влияние факторов не природно-климатического характера, в частности социальных, на эффективность использования водозатрат на орошение. Решение этих вопросов имеет существенное значение для республик Средней Азии в связи с наличием и ростом дефицита водных ресурсов.

УДК 631.675:626.8

Т.А.Трунова, канд.с.-х.наук,
зав.сектором
(НИИ экономики и нормативов
с ВЦ Госплана УзССР)

О РАСЧЕТЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Водопотребление сельскохозяйственных культур является главной составной частью оросительной нормы. Величины водопотребления и оросительных норм, а также распределение их во времени служат основой расчета пропускной способности гидромелиоративных систем и параметров дренажа. От правильности их определения зависит режим водоподачи и водоотведения, а в конечном итоге и урожайность возделываемых культур.

С конца 60-х годов в среднеазиатском регионе при решении вопросов распределения водных ресурсов между потребителями и определении ординаты гидромодуля используются оросительные нор-

мы, разработанные институтом "Средазгипроводхлопок" [1]. Выполненные в дальнейшем доработки методического характера [2,3] позволили расчленить оросительную норму, выделив величину суммарного испарения, долю дренажного стока (или глубинную фильтрацию), осадки, участие грунтовых вод. Размер оросительных норм существенных изменений не претерпел, так как при разработке оросительных норм и методических доработках расчет базировался на большом количестве экспериментальных данных.

В соответствии с [1...3] максимумы водопотребления, водоподачи и ординаты гидромодуля приходятся на наиболее жаркий месяц вегетационного периода - июль. До недавнего времени этот факт, подтвержденный многочисленными опытами НПО "Союзхлопок", считался бесспорным. Появившиеся в последнее время работы САНИИРИ [4,5] подвергают критике устоявшееся положение и обосновывают сезонный ход водопотребления с максимумом в августе. Кроме того, представляются материалы, свидетельствующие о существенном различии фактического водопотребления и рассчитанного по методике Средазгипроводхлопка.

Учитывая, что разногласия по данному вопросу носят принципиальный характер и от его решения зависит правильность разрабатываемых проектов, а следовательно и судьба урожая, считаем необходимым проанализировать сложившуюся ситуацию.

Режим орошения, разработанный институтом "Средазгипроводхлопок", базируется в основном на материалах Союзхлопка. Методика проведения полевых исследований Союзхлопка носит многовариантный характер. Сроки проведения поливов в каждом из вариантов опыта определяются влажностью почвы. В результате испытания схем поливов выбирается вариант, обеспечивающий для данных условий получение максимальной урожайности. Материалы носят достоверный характер и сомнений не вызывают.

Рассмотрим положения Ю.Х.Рысбекова [4,5]. Согласно [5] для автоморфных и полугидроморфных условий опыт проводился в однократной повторности; для остальных режимов - в двукратной. Отсутствие многовариантных исследований, на наш взгляд, не позволяет выбрать оптимальный вариант и получить достоверные данные.

Срок проведения поливов устанавливался не по влажности почвы, а по внешним признакам растений. Столь субъективный показатель в сочетании с одно- и двукратной повторностью опыта, по нашему мнению, не может служить критерием выбора благоприятного

режима орошения и не позволяет установить наиболее оптимальный предел предполивной влажности. Найденные в этих условиях значения суммарного испарения нельзя признать достоверными и тем более оптимальными с точки зрения получения высокого урожая хлопчатника.

Автор работы /5/ считает, что максимум испаряемости приходится на июль, а максимум водопотребления - на август. По мнению Ю.Х. Рысбекова, основным показателем, который влияет на сезонный ход водопотребления, помимо испаряемости, служит рост растений. Вместе с тем, в соответствии с исследованиями А.Х.Сохрокова /6/, аналогичный внутрисезонный ход имеет не водопотребление, а испаряемость хлопкового поля - потенциальное испарение при влажности, близкой к наименьшей влагоемкости (НВ), т.е. влажности почвы, одинаковой в течение всего вегетационного периода. Только в этом случае рост и развитие растений (при прочих равных условиях) являются определяющими, а потенциальное испарение с хлопкового поля в августе будет больше, чем в июле. Изложенное иллюстрируется рис.I и 2, где сезонный ход водопотребления по /5/ и испаряемость хлопкового поля согласно /6/ для

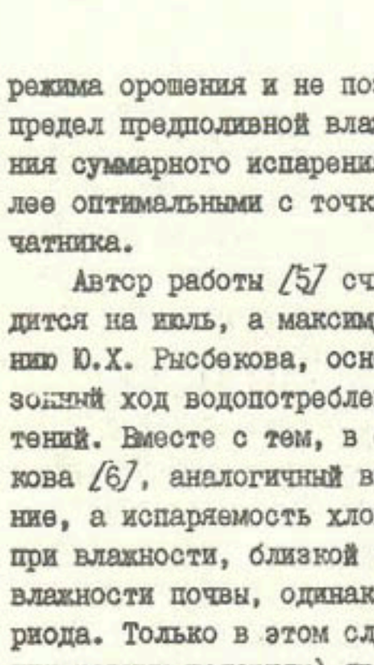


Рис.I. Динамика хода водопотребления хлопчатника (ε) (автоморфные условия) /5/

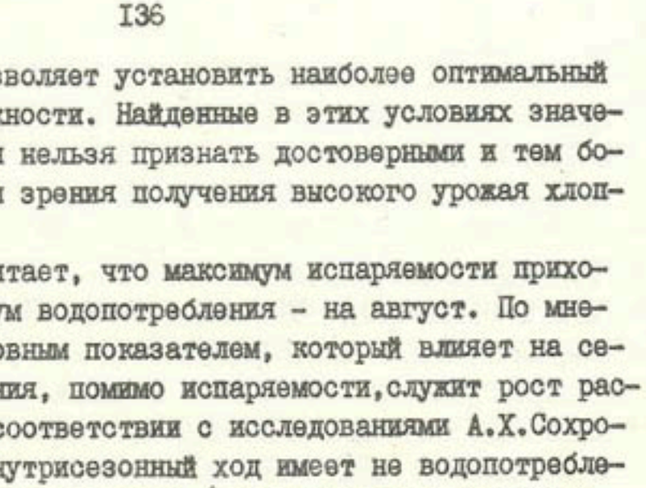


Рис.2. Сезонная динамика испаряемости хлопкового поля /6/

автоморфных условий имеют, несмотря на различный физический смысл, идентичную динамику.

Общеизвестно, что для получения максимальной урожайности в течение вегетации поддерживается различный режим увлажнения почвы. В частности, по данным Союзхлопка, в августе рекомендуется пониженная по сравнению с предыдущим периодом влажность (предполивная влажность 60% НВ), что изменяет ход потенциального испарения хлопкового поля, так как водопотребление зависит от наличия влаги в почве. Динамика суммарного испарения в данном случае приближается к испаряемости по Н.Н.Иванову с максимумом в июле. На этом и основаны рекомендации внутривегетационного хода суммарного испарения и оросительной нормы Средазгипроводхлопка и Союзхлопка. В работе /6/ указанное положение учитывается введением в расчетную формулу зависимости суммарного испарения от влажности почвы.

Неучет такого важного фактора, как оптимальный режим увлажнения почвы в течение вегетации, привел к ошибочным выводам. Искажение это заложено в самом методическом подходе к проведению исследований.

Допущенная автором работ /4,5/ неточность при расчете суммарного испарения хлопчатника для автоморфных условий по формуле, предложенной Средазгипроводхлопком /2,3/, привела к существенным отклонениям от фактического водопотребления.

Названная формула предусматривает при определении испаряемости по Н.Н.Иванову учитывать степень освоенности территории по зависимости температуры и относительной влажности воздуха, что не сделано автором работ /4,5/. Теоретическое обоснование необходимости такого учета было выполнено в исследованиях /1,7/. Подробное изложение методики Средазгипроводхлопка и последовательность выполнения расчетов по предлагаемым формулам представлены в работе /3/.

Настоящая статья ставит своей целью предотвращение поспешных, часто необоснованных, выводов по наиболее важным вопросам в мелиорации и других областях, от решения которых зависит правильность курса освоения и орошения земель.

Использованная литература

I. Шредер В.Р. и др. Расчетные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи.-

Ташкент: Средазгипроводхлопок, I970. -292с.

2. Шредер В.Р., Васильев И.К., Трунова Т.А. Гидромодульное районирование и расчет оросительных норм для хлопчатника в условиях аридной зоны. - Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок",Ташкент, I977, вып.8, с.28-4I.

3. Трунова Т.А. Расчет оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи. - Методические указания по созданию системы норм водопотребности и водоотведения в орошаемом земледелии. - Минск, I984, с.56-67.

4. Рысбеков Ю.Х. Особенности построения кривой зависимости суммарного испарения от испаряемости. - Изв.АН УзССР, сер.техн. наук, I984, № 5, с.53-55.

5. Рысбеков Ю.Х. Исследование влияния грунтовых вод на водопотребление хлопчатника.-Автореф. канд.дис. - Ташкент, I986.-25 с.

6. Сохроков А.Х. Суммарное испарение хлопкового поля в зависимости от влажности почвы и метеорологических факторов.-Автореф.канд.дис.-Ташкент, I986. -26 с.

7. Шредер В.Р., Сафонов В.Ф., Паренчик Р.И. Районирование режимов орошения. - Гидротехника и мелиорация, I966, № 8, с.I-9.

УДК 63I.6I

В.В.Масленников, канд.с.-х. наук, руковод.группы (Средазгипроводхлопок)

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ОСВОЕННЫХ ЦЕЛИННЫХ ЗЕМЕЛЬ ГОЛОДНОЙ И ДЖИЗАКСКОЙ СТЕПЕЙ

Решение проблемы улучшения почвенно-мелиоративного состояния новых освоенных земель возможно только на базе тщательного анализа.

В предлагаемой работе проанализированы земли совхозов Мехнатабадского и Акалтынского районов Сырдарьинской области и Зарбдарского района Джизакской области, расположенные в разных почвенно-климатических и гидрогеологических условиях, отличающихся мелиоративным состоянием, урожайностью сельскохозяйственных культур и т.д.

Сравнительный анализ мелиоративной обстановки указанных площадей приводится на начало освоения и по состоянию на I983 г. Их исходное мелиоративное состояние принималось по данным изысканий института "Средазгипроводхлопок", выполненных для стадии рабочих чертежей. Фактическая обстановка на I983 г. дана по материалам отчетности подразделений Главсредазирсовхозстроя.

С целью выяснения воздействия применяемого комплекса мероприятий на мелиоративное состояние земель, выражаемое урожайностью, выборочно обследованы участки с хорошим и плохим хлопчатником в восьми совхозах Мехнатабадского (№ 2,8), Акалтынского (№ 9 и I0а), Зарбдарского (№ 2,4,II и I3) районов. Каждый из обследованных участков получил характеристику засоления почвогрунтов до глубины 2м и агрохимическую характеристику.

Мелиоративная обстановка земель рассматриваемой территории определяется рядом факторов, основными из которых являются: степень дренированности, водно-физические свойства почв, их засоление.

Орошение при правильно назначенном комплексе мелиоративных мероприятий и качественном выполнении его составляющих вносит коренные изменения в ход и направленность почвообразовательного процесса. Под влиянием орошения изменяется тепловой, водно-воздушный и водно-солевой режим в сторону однотипности почвообразовательного процесса и создания высокопродуктивных почв. При нарушении системы освоительного комплекса мелиоративное состояние орошаемых земель складывается неблагоприятно. Уровень грунтовых вод поднимается выше критического, и почвы подвергаются вторичному засолению или заболачиванию. При такой мелиоративной обстановке получение высоких урожаев сельхозкультур исключается.

Система мелиоративных мероприятий в проекте назначается в соответствии с почвенно-мелиоративной обстановкой, выражаемой понятием почвенно-мелиоративная область.

На рассматриваемой территории, согласно районированию по гидрогеологическим условиям, принятому в институте "Средазгипроводхлопок", выделены три почвенно-мелиоративные области: "$а_I$", "$б_I$", "$в_I$".

К области "$а_I$" - территории, обеспеченной местным оттоком грунтовых вод, относятся лессовые террасы Ломакинского плато, глубоко расчлененные логами. Здесь расположены земли совхозов

№ I2,I3,I4 Зарбдарского района Джизакской области. Грунтовые воды на террасах залегают глубоко (I0...20 м) и на процессы почвообразования не влияют. В логах они залегают на глубине 2...5 м, обусловливая развитие полугидроморфных солончаковых процессов.

Основной земельный фонд совхозов - на террасах, представлен высокопроизводительными типичными сероземами незасоленными и глубокосолончаковатыми слабой (I...2 мг.экв Na) и средней (3...6 мг.экв Na) степени засоления. В логах - лугово-сероземными и сероземно-луговыми почвами средне- и сильнозасоленными и гипсоносными пониженной и низкой производительности.

Главная направленность мелиоративных мероприятий на лессовых террасах - борьба с ирригационной эрозией и оврагообразованием, в логах - осушительные мелиорации, борьба с засолением почв и повышение производительности агротехническими приемами.

К области "б" - территории подпора и выклинивания грунтовых вод - относятся земли, расположенные гипсометрически ниже - в шлейфовой зоне конусов выноса Ломакинской группы саев (совхозы № 2,3,4,5,II Зарбдарского района Джизакской области) и Хавастской группы саев с Сардобинским и Джетысайским понижениями (совхозы "Янгиер", "Хамза", № 2,3 и северная часть совхозов № 8 и 8а Мехнатабадского района Сырдарьинской области).

Земельный фонд названных хозяйств представлен трудноосваиваемыми солончаковыми светлыми сероземами на буграх и грядах, а в межгрядовых понижениях - лугово-сероземными и сероземно-луговыми почвами преимущественно средней (3...6 мг.экв Na) и сильной (6...I2 мг.экв Na) степени засоления, средне- и сильногипсованными. Содержание гипса в них колеблется от I0 до 30, местами до 60%. Гипс не токсичен, но наличие его в почве ухудшает водно-физические свойства, вызывает уплотнение, что затрудняет промывку и увеличивает продолжительность первичного освоения. Гумусность почв низкая: у сильнозасоленных в пахотном горизонте (25 см) гумуса содержится 0,3...0,5%, у менее засоленных 0,7...0,8, редко I%, с глубиной гумусность падает до 0,I... 0,2%. По содержанию подвижных форм фосфатов, калия и азота они относятся к категории низкообеспеченных. Средне-(5...I0 г/л), сильно-(I0...20 г/л) и очень сильноминерализованные хлоридно-сульфатные грунтовые воды (> 20 г/л), залегающие на глубине 3...I0 м, обусловливают развитие солончакового процесса и связан-

ное с ним накопление токсичных солей натрия и гипса по всему профилю.

Главное направление мелиоративного комплекса в этой зоне - осушительное, ликвидация первичного и предупреждение вторичного засоления и заболачивания, создание почвенного плодородия на засоленных и гипсоносных землях с обязательным введением травопольных севооборотов.

К области "в" - территории крайне затрудненного внешнего притока и оттока грунтовых вод-относятся древняя (третья) терраса Сырдарьи и контактирующие с ней Каройское и Джетысайское понижения, где расположены совхозы № 9,9а,I0,I0а,I7,I8,I9,I9а Акалтынского района и южная часть совхозов № 8 и 8а Мехнатабадского района Сырдарьинской области.

Основной земельный фонд этой области представляют глубокосолончаковатые и солончаковатые высокопроизводительные светлые сероземы, и только небольшая часть земель, расположенных в Джетысайском и Каройском понижениях (северная часть совхозов № 9а, I7,I8,I9), - близкосолончаковатые и солончаковые средне- (3...6 мг.экв Na) и сильнозасоленные (6...I2 мг.экв Na) светлые сероземы и лугово-сероземные почвы, характеризующиеся пониженной и низкой производительной способностью. Грунтовые воды на большей части территории залегают глубоко (ниже I0 м) и на процессы почвообразования влияния не оказывают.

Главное направление мелиоративных мероприятий в этой зоне - предупреждение засоления и заболачивания, борьба с ними, повышение естественного плодородия почв. Помимо названных мелиораций, обеспечивающих оптимальный водно-воздушный режим почв в условиях орошения, проектом предусматривается проведение капитальных планировок и промывок.

После орошения в рассматриваемых районах сложилась описываемая ниже почвенно-мелиоративная обстановка.

Земли Мехнатабадского района (область "б") характеризуются тяжелой почвенно-мелиоративной обстановкой с начала освоения. Примерно на 80...85% его площади грунтовые воды до орошения залегали на глубине 3...5 м, на остальной части их уровень не поднимался выше 2...3 м. Орошение земель таджикской части Джизакской степи, начатое в I962 г. при отсутствии дрен и противофильтрационных покрытий каналов, вызвало подъем уровня грунтовых вод на гипсометрически ниже расположенных землях

Таблица I

Глубина залегания уровня грунтовых вод по Мехнатабадскому району

Совхоз	Год	Наблюдаемая площадь, га	Глубина залегания грунтовых вод, м									
			0...I		I...2		2...3		3...5		>5	
			га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
№ 2	I980	7399	200	2,7	4II4	55,6	625	8,4	2456	33,2	9	0,I
"Пахтакор"	I98I	6074	II00	I8,I	2467	40,6	I925	3I,7	575	9,5	7	0,I
	I982	6074	25	0,4	26I3	43,0	2098	34,6	I338	22,0	-	-
	I983	6074	I00	I,6	I225	20,2	4I54	68,4	575	9,5	20	0,3
№ 3	I980	3025	-	-	6	0,2	900	29,8	2II9	70,0	-	-
"Дзержинский"	I98I	I300	-	-	-	-	-	-	I300	I00,0	-	-
	I982	I300	-	-	-	-	I25	9,6	II75	90,4	-	-
	I983	I300	-	-	50	3,8	475	36,5	775	59,7	-	-
"Хамза"	I980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I98I	I725	-	-	-	-	I00	5,8	I625	94,2	-	-
	I982	I725	-	-	-	-	I75	I0,I	I550	89,9	-	-
	I983	I725	-	-	5	0,3	I25	7,2	I595	92,5	-	-
№ 8	I980	594I	350	5,9	I050	I7,7	3II6	52,4	I425	24,0	-	-
"Ахунбабаев"	I98I	594I	I75	2,9	3466	58,3	2025	34,I	275	4,7	-	-

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
	I982	594I	-	-	I437	24,2	3304	55,6	I200	20,2	-	-
	I983	594I	-	-	I275	2I,5	379I	63,8	875	I4,7	-	-
№ 8а	I980	7629	2I4	2,8	I050	I3,8	30I5	39,5	2050	26,9	I300	I7,0
"Юнусов"	I98I	7629	200	2,6	2845	37,3	2209	29,0	II50	I5,I	I225	I6,0
	I982	7629	45	0,6	I650	2I,6	3334	43,7	I950	25,6	650	8,5
	I983	7629	37	0,6	2750	36,0	30I7	39,5	I650	2I,6	I75	2,3
"Янгиер"	I980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I98I	I325	I25	9,4	475	35,8	600	45,3	I25	9,5	-	-
	I982	I325	-	-	87	6,6	663	50,0	575	43,4	-	-
	I983	I325	-	-	I00	7,5	II00	83,0	I25	9,5	-	-
ИТОГО по Мехнатабадскому району	I980	23934	764	3,2	6220	25,9	7656	3I,9	8050	33,6	I304	5,4
	I98I	23994	I600	6,7	9253	38,6	6859	28,6	5050	2I,0	I232	5,I
	I982	23994	70	0,3	5787	24,I	9699	40,4	7788	32,5	650	2,7
	I983	23994	I37	0,5	5405	22,5	I2662	52,7	5593	23,5	I95	0,8

совхозов Мехнатабадского района, за исключением совхозов № 8 и 8а. К I980 г. площади с глубиной залегания грунтовых вод 3...5 и более метров здесь составляли 49%, с глубиной 2...3 м – 3I,9%, остальные 29,I% – с глубиной от 0,5 до 2 м (табл.I). За последующие три года орошения (I980-I983 гг.) земли с глубиной грунтовых вод 3...5 м и более уменьшились до 24,3%, с глубиной 0...2 м – до 23%, а с глубиной 2...3 м увеличились с 3I,9 до 52,7%. Подъем уровня грунтовых вод в некоторых хозяйствах (совхозы № 2,8 и 8а) выше проектной глубины (2...3м) произошел из-за

– устройства перемычек на коллекторах (ЦК-5 и ЦК-6) для забора воды на орошение земель непроектного совхоза "Чинабад", в результате чего названные коллекторы стали источником питания грунтовых вод;

– орошения земель с недостроенным дренажем;

– нарушений в эксплуатации коллекторно-дренажной сети;

– несоблюдения проектного режима орошения.

Минерализация грунтовых вод в целом по массиву осталась примерно на исходном уровне. В I983 г. 92% земель характеризуются сильно- и очень сильноминерализованными грунтовыми водами и только около 8% опреснены до слабой и средней степени (табл.2). В этих гидрогеологических условиях засоление почв за 20 лет орошения мало изменилось.

Таблица 2

Распределение площадей в Мехнатабадском районе по минерализации грунтовых вод

Минерализация грунтовых вод, г/л	Год наблюдений							
	I980		I98I		I982		I983	
	га	%	га	%	га	%	га	%
<I	3	0,I	-	-	-	-	-	-
I-3	I8	0,I	6	0,3	-	-	-	-
3-5	68	0,3	I5	0,6	I00	0,4	69	0,3
5-I0	II49	4,8	2025	8,4	2I25	8,9	I825	7,6
I0-25	I2663	52,8	I7238	7I,8	I2524	52,2	I3676	57,0
>25	I0092	4I,9	47I0	I9,8	9245	38,5	8424	35,I

До орошения средне- и сильнозасоленные почвы в Мехнатабадском районе составляли примерно 80%, остальные – слабозасоленные. В I973 г., после I2 лет орошения, средне- и сильнозасоленные

Таблица 3

Протяженность дренажной сети, ее техническое состояние и засоленность почв в совхозах Мехнатабадского района по состоянию на I983 г.

Совхоз	Закрытые дренаж и коллекторы, км	Состояние закрытого дренажа, км		Открытые коллекторы, км		Площадь по степени засоления почв		
		работающие дрены	нерабо-тающие дрены	всего	в том числе заилено	незасоленные и слабозасоленные	среднезасоленные	сильнозасоленные и солончаки
№ 2	484,0	474,2	9,8	35,7	8,0	I20,8 3	374,4 3	32I3 86
№ 3	330,8	29I,5	39,3	50,2	5,5	502,7 II	II3I,7 24	3II8,7 65
№ 3а	33I,2	3I9,2	II,6	43,2	I6,3	978 26	778.4 20	2081 54
№ 8а	394,3	35I,3	43,0	5I,0	2I,7	I955.9 28	2080.3 40	2I68.3 32
№ 8	50I,4	347,4	I54,0	52,9	26,4	I534.5 32	I507.6 3I	I8I0.6 37
"Хамза"	327,6	26I,0	66,6	46,3	I2,8	I483.0 35	I097.2 25	I772.3 40
"Янгиер"	I67,I	I32,7	34,4	23,2	I4,7	662.6 23	696.0 29	I026.8 48
По району	2536,4	2I77,5	358,9	I05,4	I6,5	7246.9 23	8388.8 28	I5081.0 49

Примечание: В числителе приводится площадь в га, в знаменателе – в процентах от общей территории.

почвы составили 83,8% и только I6,2% слабо- и среднезасоленные. За последующие I0 лет орошения мелиоративное состояние земель незначительно улучшилось. Незасоленные и слабозасоленные земли составили 23%, средне-, сильно- и очень сильнозасоленные - 77% (табл. 3).

Неудовлетворительное мелиоративное состояние земель совхозов Мехнатабадского района, расположенных в области "$б_1$", объясняется плохой работой дренажной сети, несвоевременными промывками, слабой (низкой) агротехникой, отсутствием люцерновых севооборотов. В I983 г. из 2536 км имеющегося в районе дренажа не работало I6,5%. По совхозам процент неработающего дренажа составлял от 2 до 44%, засоленные земли - от 76 до 97%.

В совхозах Акалтынского района (область "$в_1$") почвенно-гидрогеологическая обстановка до орошения была значительно лучше, грунтовые воды залегали глубже I0 м и на процессы почвообразования влияния не оказывали.

Из общей площади 59I57 га незасоленные (УГВ >2 м) и глубокосолончаковатые (УГВ I...2 м) слабозасоленные светлые сероземы, не требующие промывок перед освоением, составляли 20%, такие же почвы со слабым и средним засолением - 53,3%, а со средним и сильным - I5,5%. Сильно- и очень сильнозасоленные солончаковые и близкосолончаковатые почвы Каройского и Джетысайского понижений, требующие промывок с начала освоения, составили всего II%.

Систематическое орошение (с I962 г.) вначале вызвало рассоление остаточно засоленных почв. К I968 г. площадь незасоленных почв увеличилась до 58,9%, а слабо- и среднезасоленных уменьшилась с 40 до I8%. Незначительно (с I5 до I9%) увеличилась площадь средне- и сильнозасоленных за счет рассоления сильно- и очень сильнозасоленных почв, площадь которых сократилась с II до I%.

К I97I г., т.е. через 9 лет с начала орошения, площади незасоленных и слабозасоленных земель составили 35%, средне- и сильнозасоленных - 65% (табл.4).

Таблица 4

Распределение земельного фонда по степени засоления в совхозах Акалтынского района

Засоление	№ 9а		№ I0а	
	га	%	га	%
Незасоленные и слабое	2I5I / II59	35 / 23	6453 / 49423	I00 / 43,6
Среднее	3540 / 2023	56 / 43	- / I3075	- / 2I
Сильное	570 / I593	9 / 34	- / 30	- / 0,4
Очень сильное	- / 30	- / -	- / -	- / -
Площадь совхозов	626I / 4775	I00 / I00	6453 / 6270	I00 / I00

Примечание: В числителе приведены данные о степени засоления почв по состоянию на I97Iг., в знаменателе - по состоянию на I983 г.

К I983 г., т.е. через 2I год после начала орошения, мелиоративная обстановка ухудшилась, грунтовые воды на большей части территории поднялись с I0...I5 до 2...3 м, что вызвало вторичное засоление. Рассмотрим положение, например, в совхозах № 9а и I0а. В совхозе № I0а площади незасоленных и слабозасоленных земель уменьшились со I00 до 43,6%, а средне- и сильнозасоленных возросли соответственно до 2I и 0,4%. В совхозе № 9а среднезасоленные почвы с 56 сократились до 43% за счет увеличения сильнозасоленных почв с 9 до 34%. Появились солончаки. К сожалению, данными о засолении почв по другим хозяйствам Акалтынского района не располагаем.

Основные причины ухудшения мелиоративного состояния земель в совхозах рассматриваемого района те же, что и в Мехнатабадском.

Мелиоративное состояние земель совхозов № I2, I3, I4 Зарбдарского района, расположенных на лессовых террасах Ломакинского плато (область "$а_1$"), до орошения было хорошее. Грунтовые воды залегали глубоко и на процессы почвообразования влияния не оказы-

вали. Основной земельный фонд совхозов (87...94%) составляли незасоленные почвы. За I0 лет орошения (с I973 по I983 г.) площадь их уменьшилась до 40...45% за счет увеличения слабозасоленных почв. В совхозах шлейфовой зоны № 2,3,4,5 (область "$б_1$") мелиоративное состояние земель до освоения было плохое. Незасоленные и слабозасоленные земли составляли I6...25%. Остальные 75...84% приходились на средне-,сильно- и очень сильнозасоленные земли. В течение I0 лет орошения в совхозах № 3 и 4 с относительно хорошо работающей дренажной сетью часть засоленных земель промылась,и площадь незасоленных и слабозасоленных земель на I983 г. составила 35...53%. Остальные 47...65% земель остались средне-, сильно- и очень сильнозасоленными. В совхозах № 2 и 5 незасоленные и слабозасоленные земли после I0 лет орошения составили соответственно 3,5 и I8%. Остальные 82...96,5% остались средне-, сильно- и очень сильнозасоленными. В целом по району площадь незасоленных земель за десятилетний период орошения уменьшилась с 44 до I5%, а слабозасоленных увеличилась с 2,5 до 37%. Площади сильно- и очень сильнозасоленных почв сократились с 38 до 25%, а среднезасоленных увеличились с I5,5 до 23% (табл.5).

По состоянию на I983 г. средне- и сильнозасоленные почвы в районе составили 48%. Причиной плохой рассоляемости их является неудовлетворительная работа дренажной сети. Обследование ее технического состояния, проведенное институтом "Средазгипроводхлопок" в I983 г. в совхозах № 3...5, показало прямую зависимость засоления почв от неисправности дренажа.

В совхозе № 3, где из 796 км дрен I2% не работает, незасоленные и слабозасоленные почвы составляют 53%, среднезасоленные - 36%, сильнозасоленные и очень сильнозасоленные - II%. В совхозе № 4 при протяженности дрен 293 км не работает 28% из них, а в совхозе № 5 из имеющихся 380 км дрен не функционирует 30%. В этих условиях средне- и сильнозасоленные земли в совхозе № 4 занимают 65%, а незасоленные 35%, в совхозе № 5 - незасоленных и слабозасоленных земель I8%, остальные 82% средне- и сильнозасоленные (табл.6).

Плохое мелиоративное состояние земель в совхозах рассматриваемых районов сказывается на урожайности сельскохозяйственной продукции, и в частности хлопчатника.

Рекогносцировочные обследования посевов хлопчатника в бригадах совхозов № 2 и 8 Мехнатабадского района, в совхозах № 9а и

Таблица 5

Засоление почв совхозов Зардарского района

Засоление	№ II		№ I2		№ I3		№ I4		Итого по району	
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
Незасоленные	3037	46	5I4I	94	7I67	87	7297	86	25292	44
	754	II	2I80	40	3655	45	--	--	7080	I5
Слабое	--	--	--	--	--	--	--	--	I429	2,5
	2876	44	329I	60	3862	48			I8029	37
Среднее	I484	24	I85	3,4	287	3,5	450	5,6	8837	I5,5
	I436	23	--	--	58I	5,8	--	--	II629	23
Сильное и очень сильное	I930	30	I45	2,6	743	9,5	758	8,4	2I982	38
	I445	22	--	--	99	I,2	--	--	I2290	25
Площадь совхозов	65II	I00	5471	I00	8I97	I00	8505	I00	57540	I00
	65II	I00	5471	I00	8I97	I00	--	--	49035	I00

Засоление	№ 2		№ 3		№ 4		№ 5		Итого по району	
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
Незасоленные	--	--	684	8,0	970	I2,0	996	I3,6	3037	46
			498	6,0	--	--	--	--	754	II
Слабое	--	--	697	8,0	--	--	832	II,5	I429	2,5
	200	3,5	3803	47	2726	35	I27I	I8	I8029	37
Среднее	99I	I7,0	2476	30	I572	20	I392	20	8837	I5,5
	I25I	2I,5	2903	36	2726	35	2732	38	II629	23
Сильное и очень сильное	4860	83	4368	54	5208	68	39I0	55	I9982	38
	4400	75	92I	II	2298	30	3I27	44	I2290	25
Площадь совхозов	585I	I00	8I25	I00	7750	I00	7I30	I00	57540	I00
	585I	I00	8I25	I00	7750	I00	7I30	I00	49035	I00

Примечание: В числителе приведены данные о степени засоления почв до освоения (I973 г.), в знаменателе - по состоянию на I983 г.

Таблица 6

Протяженность дренажной сети, ее техническое состояние и засоленность почв в совхозах Зарбдарского района по состоянию на 1983 г.

Дренаж	Протяженность дрен, км	В рабочем состоянии		Засоление почв		
		км	%	незасоленные и слабое	среднее	сильное и очень сильное
Совхоз № 3						
Гончарный	I57	II8	75,2	-	-	-
Пластмассовый	639	580	90,8	-	-	-
Всего	796	692	88	430I 53	2903 36	92I II
Совхоз № 4						
Гончарный	278	224	80,6	-	-	-
Пластмассовый	I5	4	26,6	-	-	-
Всего	293	228	72	2726 35	2726 35	2298 30
Совхоз № 5						
Гончарный	206	I6I	78,2	-	-	-
Пластмассовый	I74	II5	66,I	-	-	-
Всего	380	276	70	I27I I8	2732 38	3I28 44

Примечание: В числителе площадь в га, в знаменателе - в процентах от площади совхоза.

IOа Акалтынского района Сырдарьинской области и в совхозах №2, 4,II,I3 Зарбдарского района Джизакской области, получивших высокие и низкие урожаи,показали следующую картину.

В 7-м и 8-м отделениях совхоза № 2 Мехнатабадского района на промытых незасоленных и слабозасоленных негипсоносных и среднегипсоносных землях в I983 г. урожайность составила IO ц/га при плановой 7 ц/га, на среднезасоленных и гипсоносных почвах - 0,9 ц/га (при плане 5,5 ц/га). В среднем по совхозу, где 80% площади представляют сильнозасоленные земли, при плане 7 ц/га в I983 г. получен урожай 4,I ц/га. При обследовании посевов в I984г. состояние хлопчатника на засоленных землях было плохое: высота растений в фазу бутонизации не превышала IO...I2 см, посевы сильно изрежены, на отдельных картах единичные всходы.

В Акалтынском районе на незасоленных землях I-го отделения I-й бригады совхоза № 9а и в четырех отделениях 7-й и IO-й бригад совхоза № IOа в I983 г. при плане соответственно I8 и 29 ц/га урожайность хлопчатника составила 3I,5 и 30 ц/га. На среднезасоленных землях I-го отделения 5-й бригады совхоза № 9а в I983 г. при плановой урожайности хлопчатника I8,2 ц/га получено 5,6 ц/га. В целом по совхозу № 9а при плане I5,I ц/га получено II,9 ц/га, а в совхозе № IOа при плане 28 ц/га получено 23,3 ц/га. В I984г. при обследовании посевов в совхозах № 9а и IOа состояние хлопчатника на незасоленных землях было хорошее: высота растений в фазу бутонизации 25...30 см; на среднезасоленных - удовлетворительное: высота растений I8...22 см. На очень сильнозасоленных встречались отдельные хилые растения.

В Зарбдарском районе Джизакской области наблюдалась та же картина. В I-м отделении I-й бригады совхоза № 2 на незасоленных слабогипсоносных землях в I983 г. получен плановый урожай - I5 ц/га. Во 2-м отделении 4-й бригады на среднезасоленных слабо- и среднегипсоносных почвах при плане 6,I ц/га имели I,8...2,5 ц/га. В I-м отделении 3-й бригады совхоза № II на незасоленных землях, являющихся самыми лучшими в районе, при плане 25 ц/га урожайность составила 29 ц/га, а в 6-м отделении 6-й бригады на сильнозасоленных землях - всего 4,8 ц/га. В целом по совхозу, где 53% площади представлено незасоленными и слабозасоленными землями, урожайность хлопчатника в I983 г. была I3,6 ц/га. В I984 г. при обследовании посевов на незасоленных землях хлопчатник был очень хороший: высота растений в фазу бутонизации достигала 45...50 см.

На засоленных всходы были сильно изрежены и угнетены. То же наблюдалось и в обследованных совхозах № 4 и I3.

Следует отметить, что в совхозах применялась обычная зональная агротехника.

Из вышесказанного и на основании анализа мелиоративного состояния рассматриваемых земель до орошения и после него можно сделать следующие выводы и предложения.

I. За период освоения мелиоративное состояние земель совхозов Мехнатабадского, Акалтынского и Зарбдарского районов не улучшилось. Это связано с

- низким качеством строительства и эксплуатации коллекторно-дренажной сети;

- некачественными капитальными промывками засоленных земель, проводимыми с нарушением технологии;

- отсутствием окультуривания почв после планировки и капитальной промывки.

II. Для достижения мелиоративного состояния земель, обеспечивающего получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, потребуются:

- инвентаризация и тщательное обследование технического состояния коллекторно-дренажной сети с целью выявления неисправности ее и ремонта;

- повторные планировки перед промывкой засоленных земель;

- капитальные промывки засоленных земель и последующее окультуривание (нормы промывок для среднезасоленных почв 7,5...I0 тыс. $м^3$/га, для сильно- и очень сильнозасоленных I2,5...I5 тыс.$м^3$/га).

Промывка земель, требующих промывных норм до I0 тыс.$м^3$/га, осуществляется за один осенне-зимний сезон. Промытые земли предназначаются под посевы однолетних трав или злаково-бобовых смесей с запашкой их на зеленное удобрение в конце вегетации. Посев хлопчатника рекомендуется на второй год после окончания промывки.

Земли, требующие промывок нормой более I0 тыс.$м^3$/га, промываются за два сезона. В первый год подается максимально возможная норма, после чего промываемое поле разравнивается. На следующий год промытые площади засеваются однолетними травами или злаково-бобовой смесью с запашкой на зеленное удобрение в конце вегетации. Осенью подается остаток нормы и в последующие два года поля засевают культурами-освоителями: люцерной, суданской

травой, колумбовой травой, тритикале - с запашкой их на зеленное удобрение в конце второго года стояния. Хлопчатник на этих землях высеивается на четвертый год после начала промывок.

Промывке должно предшествовать глубокое рыхление (до 70 см) для механического разрушения водонепроницаемых гипсоносных прослоев. Однако из-за неравномерного залегания водонепроницаемый слой на каких-то участках может быть не разрушен и промывки будут некачественными. Во избежание этого промывки следует проводить в два сезона с последующим выращиванием культур-освоителей, что приведет к выравниванию рассоления как по профилю почвогрунтов, так и по фронту;

- при эксплуатации промытых земель строгое соблюдение агрокомплекса, в котором обязательным должно быть внесение органических удобрений;

- научно обоснованная система земледелия с применением хлопково-люцернового севооборота при соблюдении проектного процента хлопковости;

- разработка научно-исследовательскими организациями режима полива гипсоносных почв;

- такая организация уборки хлопка, чтобы вовремя (не позднее первой декады декабря) осуществить проведение зяблевой вспашки.

УДК 63I.432:63I.445.5

Р.А.Муксимов, руководитель группы
(Средазгипроводхлопок)

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА ТИПИЧНЫХ СЕРОЗЕМОВ ДЖИЗАКСКОЙ СТЕПИ В ПЕРИОД ИХ ОСВОЕНИЯ

Основной причиной, затрудняющей сельскохозяйственное использование типичных сероземов в Джизакской степи, является всхолмленность территории, требующая либо значительной срезки при планировке, либо строительства более густой оросительной сети для обеспечения равномерного увлажнения всей орошаемой площади при поливах хлопчатника и других сельскохозяйственных культур.

В условиях орошаемого земледелия при поверхностном поливе планировка полей - один из важнейших приемов подготовки их к

орошению. Однако преобразование рельефа связано с изменением сложения горизонтов как в плане, так и по профилю, что вызывает неизбежное снижение плодородия почв. Кроме того, данные лабораторных исследований свидетельствуют об изменении водно-физических свойств почв в результате планировки, в частности величина диапазона доступной влаги (ДДВ) карбонатных горизонтов оказалась в два раза меньше ДДВ верхних горизонтов этих почв /I/.

Для выявления влияния изменения водно-физических свойств почв на их производительную способность были организованы опыты на мелких (30 м^2) делянках и на опытно-производственных участках. Исследования показали, что при одинаковом водном и питательном режимах на карбонатных горизонтах (срезка 0,4 м) урожайность хлопчатника в пять раз ниже, чем на верхних, не тронутых планировкой.

Итоги мелкоделяночного опыта выявили существенное изменение водного режима данных почв при обнажении карбонатного горизонта. Поэтому возникла необходимость в проведении дополнительных исследований по определению оптимального водного режима почв при орошении в производственных условиях с учетом результатов мелкоделяночного опыта и анализа данных о гидрофизических характеристиках основных генетических горизонтов рассматриваемых почв /I/.

Для проведения исследований нами выбран опытно-производственный участок в совхозе № I2 площадью 4 га, где при планировках были обнажены карбонатные горизонты почв на всей площади. После проведения почвенно-мелиоративной съемки получены необходимые данные для расчета сроков и норм поливов /2/. На основании сведений о верхних и нижних пределах допустимой влажности рассматриваемых почв были построены интегральные кривые для отдельных горизонтов и произведен аналитический расчет сроков и норм полива.

Балансовые расчеты показали, что для почв данного гидромодульного района без проведения планировочных работ, т.е.без обнажения карбонатных горизонтов, необходимо и достаточно проведение трех поливов за всю вегетацию поливной нормой I200... I500 м^3/га (табл.I).

Таблица I

Расчетные сроки и нормы поливов хлопчатника на почвах без срезки

№ полива	Поливная норма нетто, м^3/га	Начало полива	Межполивной период, дни
I	I200	I8/IУ	25
2	I500	I3/УП	30
3	I500	I2/УШ	

Согласно плану водопользования для данного агропроизводственного участка было проведено три вегетационных полива. Следует отметить, что план водопользования составлялся без учета изменения водного режима почв в результате проведения планировочных работ, когда обнажились бесструктурные горизонты почв. Выполненные расчеты показали, что при сложившихся условиях за вегетацию необходимо проведение пяти поливов меньшими поливными нормами (табл.2).

Таблица 2

Расчетные сроки и нормы поливов хлопчатника на почвах с обнаженным карбонатным горизонтом

№ полива	Поливная норма нетто, м^3/га	Начало полива	Межполивной период, дни
I	600	I5/УI	I5
2	I000	I/УП	I0
3	II00	II/УП	20
4	I200	3I/УП	I4
5	II00	I4/УШ	

По данным балансового расчета был составлен график проведения поливов с учетом изменившихся почвенных условий на выбранном опытно-производственном участке. Для изучения режима влажности и фенологических наблюдений за ростом и развитием хлопчатника на опытной и контрольной делянках этого производственного участка по 2 га каждая заложены ключевые точки.

День полива назначался по достижении влажности почв минимально допустимого значения. Полив производился из закрытого трубопровода с помощью гибкого поливного шланга, длина которо-

го I00 м равнялась ширине одновременно поливаемой полосы. Продолжительность поливов составляла 8...I0 ч в зависимости от необходимой поливной нормы. За вегетацию на опытном участке было проведено по пяти поливов (табл.3).

Таблица 3

Сроки и нормы поливов на опытном участке с учетом изменения водно-физических свойств в результате срезки

№ полива	Поливная норма, $м^3$/га		Начало полива	Межполивной период, дни
	нетто	брутто		
I	500	600	3/УI	I2
2	II00	I300	I5/УI	27
3	700	I000	I2/УП	I5
4	I300	I500	27/УП	22
5	II00	I300	I8/УШ	

На контрольном участке поливы проводились согласно составленному плану водопользования, т.е. за вегетацию было проведено три полива (табл.4).

Таблица 4

Сроки и нормы поливов на контрольном участке без учета изменения водно-физических свойств в результате срезки

№ полива	Поливная норма, $м^3$/га		Начало полива	Продолжительность полива, ч	Межполивной период, дни
	нетто	брутто			
I	3I00	3700	28/УI	60	27
2	2800	3300	25/УП	30	30
3	2400	2900	26/УШ	30	

Перед каждым поливом на опытном и контрольном участках отбирались образцы на влажность по ключевым точкам. Кроме того, определялась влажность в расчетном слое почв сразу после полива, на 3-й, 5-й, 7-й, I0-й и I5-й день после полива. Выявлено, что поливные нормы на контрольном участке намного превышают потребные, а межполивные периоды, как правило, значительно больше, чем на опытном участке.

Сопоставление фактических норм и сроков полива на контрольном участке (табл.4) с расчетными данными для поля без обнажения карбонатного горизонта (табл.I) показало, что режим орошения на производственном участке, принятый без учета изменения водных свойств почв в результате проведения планировок, не обеспечил оптимального водного режима почв, вследствие чего на контрольном участке урожайность составила 4 ц/га, тогда как на опытном участке, где были учтены изменения водных свойств и создан оптимальный водный режим, урожайность составила I0,6 ц/га [3].

Таким образом, результаты исследований показали, что на снижение плодородия почв влияет не только малое количество гумуса и питательных элементов в обнаженных при планировке карбонатных горизонтах, но и ухудшение водного режима почв на срезках. В связи с этим при освоении обнаженных почв данного массива для получения максимальной урожайности необходимо пересмотреть режим орошения хлопчатника и других сельскохозяйственных культур исходя из изменения водного режима почв.

Повышения урожайности хлопчатника в первый год освоения сероземов можно достичь увеличением количества поливов при сокращении межполивного периода, что в какой-то мере возместит прямые потери урожайности, вызванные снижением плодородия почв в результате планировок. Но сокращение межполивного периода и увеличение количества поливов создает напряжение в водопользовании и увеличивает прямые затраты на проведение поливов. Последние необходимо компенсировать увеличением чистой прибыли, или дохода, от полученной продукции. В связи с этим нами был сделан экономический анализ влияния на размер дохода увеличения затрат на проведение поливов [3].

Результаты анализа показали, что увеличение количества поливов, хотя и способствует росту урожайности хлопчатника, наносит хозяйству определенный убыток.

Капитальная планировка лишь тогда является экономически обоснованным мероприятием, когда обеспечивает снижение не только капиталовложений в строительство оросительной сети, но и уменьшение текущих эксплуатационных затрат в орошаемом земледелии и повышение валового сбора сельскохозяйственной продукции.

Согласно действующей инструкции по определению экономической эффективности внедрения новой техники в мелиорации и водном

хозяйстве /4/, приведенные затраты представляют собой сумму текущих затрат (себестоимость) и капитальных вложений, приведенных к одному году или нормативному сроку окупаемости. Наиболее экономичным признается вариант с наименьшими приведенными затратами. Решение таких задач требует учета весьма большого числа факторов, в общем случае является весьма громоздким и поэтому зачастую осуществляется далеко не в оптимальном, экономически обоснованном варианте, а по какому-нибудь частному признаку, например минимуму объема планировочных работ (минимуму начальных затрат).

Такой упрощенный подход ошибочен и приводит в конечном счете к экономическому ущербу. Затраты на планировку в значительной степени зависят от глубины срезки. Согласно /5/ на орошаемых землях при увеличении глубины срезки на сероземах до 30...50 см необходимо проведение планировочных работ с сохранением плодородного слоя. Дополнительные затраты по сохранению плодородного слоя для условий Джизакской степи составляют I25... I30 руб./га, иначе говоря не более I0% от общих затрат на планировку.

Расчеты экономической эффективности /I/ показали, что вариант освоения сероземов с сохранением плодородного слоя почвы, предусматривающий бо́льшие капитальные вложения при планировках, характеризуется меньшими затратами при орошении и является экономически более предпочтительным. Известно, что затраты на проектирование и строительство мелиоративной системы составляют лишь несколько процентов от общих затрат на строительство, освоение и эксплуатацию мелиорированных земель в течение многих лет, а более 80...90% всех затрат приходится на освоение проектной мощности (выход на проектную урожайность) и эксплуатацию в течение длительного периода. Поэтому с позиций достижения конечных народнохозяйственных результатов главное значение имеет сокращение суммарных затрат на весь период эксплуатации мелиоративного объекта, а не сокращение затрат только на его проектирование и строительство.

Использованная литература

I. Изучение влияния различных объемов планировочных работ на плодородие сильноэродированных почв лессовых террас Джизакской степи. "Средазгипроводхлопок". Отчет. Решетов Г.Г.

№Г.Р.80062899. - Ташкент, I983. - 265 с. - Библиогр. с.233 (45 названий).

2. Минводхоз СССР. Инструкция по производству планировочных работ на орошаемых землях. ВСН-С-2-77. Утверждено приказом от 30.I2.77 № 564. - М.,I978. - 49 с.

3. Муксимов Р.А., Решетов Г.Г. Технико-экономическое сравнение восстановления плодородия типичных сероземов Джизакской степи после капитальных планировок. - Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции.-Баку: АзНИИГиМ, I982.- 96 с.

4. Инструкция по определению экономической эффективности внедрения новой техники и научно-исследовательских работ в мелиорации и водном хозяйстве. Минводхоз СССР. 3I.05.76 № 278.- М., I976. - I67 с.

5. Руководство по проектированию планировочных работ на орошаемых землях. Минводхоз СССР. 2I.06.77 г. - М., I978. - I6 с.

6. Костяков А.Н. Основы мелиорации. - М.: Госсельхозиздат, I960, с.58-60.

УДК 624.I3I.I.23

Б.Ж.Жуманов, канд.техн.наук,
гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

ПРОГНОЗ ПРОСАДКИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОГО ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ПРИ ИРРИГАЦИОННОМ ОСВОЕНИИ ЦЕЛИННЫХ ЗЕМЕЛЬ КАРШИНСКОЙ СТЕПИ

В Каршинской степи просадочными грунтами сложена значительная часть территории (более I00 тыс.га) второй очереди орошения и земель совхоза № 8 первой очереди. Эти площади, как правило, приурочены к пролювиальным равнинам, характеризующимся различной степенью расчлененности рельефа. В пределах таких равнин общая мощность лессовых и лессовидных грунтов достигает I00 м. По степени просадочности они подразделяются на три группы: I) сильнопросадочные мощностью от 2...5 до 30 м и более с величиной относительной просадки ($S_{отн}$) $\geq$0,0I...0,05; 2) уплотненные - практически непросадочные, $S_{отн}$ <0,0I; 3) непросадочные - каменные лессы, подстилаемые алевролитами и песчаниками

верхненеогенового возраста.

Мощность просадочной толщи и величина просадки зависят от расчлененности рельефа местности. Минимальная просадка ожидается в пониженных частях рельефа, максимальная - на возвышенностях, средняя - на склонах. На пролювиальных лессовых равнинах Каршинской степи величина просадки колеблется от 5...I5 до I00 см и выше при мощности просадочной толщи от 2...5 до 30 м и более.

В таких условиях распространения просадочных грунтов различной мощности с соответствующей величиной просадки при проектировании строительства зданий и сооружений, ирригационной и дренажной сети, проведении капитальной планировки целинных земель и для нормальной эксплуатации их потребуется выбор противопросадочных мероприятий, отличающихся как по конструктивным элементам, так и по методике и технологии их выполнения.

В настоящее время, как правило, для обоснования проекта орошения целинных земель, приуроченных к просадочным грунтам, по результатам полевых исследований и лабораторных испытаний составляется прогноз просадочности лессовых грунтов. Полевыми исследованиями визуально устанавливается мощность просадочной толщи, которая уточняется результатами лабораторных испытаний исходя из величины относительной просадки. Расчет просадки выполняется графоаналитическим методом по компрессионным кривым в зависимости от размера бытового давления.

Компрессионные испытания грунтов проводятся при полном водонасыщении. Бытовое давление определяется по формуле:

$$P_{быт}=0,I\ (\gamma_c+n)\ H, \qquad (I)$$

где $P_{быт}$ - бытовое давление веса оторванного от массива водонасыщенного грунта на подошву расчетного слоя, кг/см^2; γ_c - плотность сухого грунта, т/м^3; n-пористость (в долях единицы); H - мощность расчетного слоя, м.

Из формулы (I) видно, что при полном водонасыщении имеющиеся в грунте поры будут полностью заполнены водой. Вследствие этого связи между частицами разрушатся, замоченный участок оторвется от всего массива и вес замоченного грунта увеличится за счет веса воды, равного объему пор грунта.

Результатом прогнозных расчетов является карта районирования просадочности грунтов, где отражены мощность просадочной

толщи и степень просадочности лессовых грунтов, выполняемая согласно /I/. Достоверность составленного прогноза оценивается методом натурного моделирования - проведением опытной замочки лессов в котлованах или в выемках, которые по конфигурации и размерам соответствуют проектируемым сооружениям. При этом размеры (длина и ширина) должны быть соизмеримы с мощностью просадочной толщи.

Здесь необходимо отметить, что в лессовых грунтах не во всех случаях и не везде влажность достигает полного водонасыщения и замоченная часть массива не всегда отрывается от всего массива на всю мощность просадочной толщи. Эти условия могут быть соблюдены только при подъеме грунтовых вод до поверхности земли на орошаемых территориях или в местах постоянного долговременного скопления поверхностных вод. Поэтому составляемые прогнозы более достоверны для условий эксплуатации гидротехнических и других сооружений, построенных на просадочных грунтах и эксплуатируемых в условиях полного водонасыщения грунтов основания.

Применительно к орошаемым землям Голодной, Каршинской степей и Вахшской долины с мелкими каналами и внутрихозяйственной оросительной сетью, построенными на просадочных грунтах, прогнозные данные не соответствуют фактически наблюденным. Просадка, проявившаяся при эксплуатации оросительных систем, не превышает 30...40% прогнозной величины. Причины подобного несоответствия до сих пор слабо изучены, хотя этот вопрос весьма актуален.

Дело в том, что на орошаемых полях в зависимости от мощности зоны аэрации и геофильтрационного строения в течение длительного периода (до подъема грунтовых вод к критической глубине) грунты будут находиться в состоянии неполного водонасыщения. Периодически проводимые поливы на полях с лессовым грунтом приводят к условиям фильтрации с неполным водонасыщением. Величина весовой влажности лессовых грунтов при фильтрации с неполным водонасыщением колеблется от I0 до 25%. В условиях глубокого залегания грунтовых вод при поливах толща просадочных грунтов увлажняется неравномерно: верхняя часть разреза - максимально, а в остальной весовая влажность не превышает 20%. Равномерное максимальное увлажнение лессовых грунтов наблюдается в зоне капиллярного поднятия в вегетационном периоде при близком залегании грунтовых вод (2...3 м). Здесь весовая влажность сос-

тавляет 28...29% (рис.I).

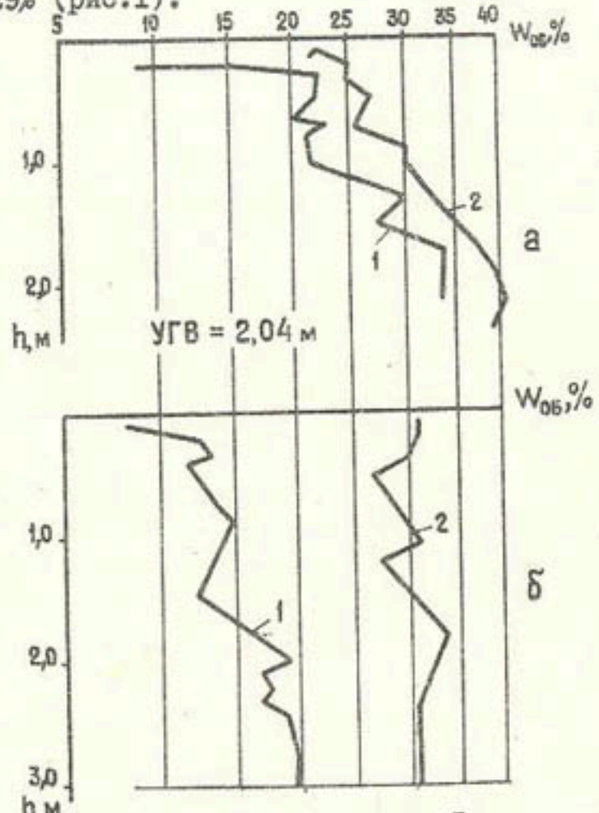


Рис.I. Эпюры объемной влажности: I – до полива; 2 – во время полива; а – при близком УГВ; б – при глубоком УГВ

Наблюдения за режимом влажности орошаемых земель, приуроченных к лессовым равнинам, показывают, что в условиях периодического увлажнения при орошении влажность грунтов зоны аэрации не достигает полного водонасыщения.

При неполном водонасыщении связи между частицами нарушаются не полностью. Частичное их нарушение приводит к неполному проявлению просадочных деформаций. Вот почему величина проявленной просадки на орошаемых полях подчас в 2...3 раза меньше прогнозной /2/, рассчитанной из условия полного водонасыщения /4/.

На значительной части новоорошаемых земель Голодной, Каршинской и Сурхан-Шерабадской степей прогнозная величина просадки 0,5...I,0м, т.е. после подъема грунтовых вод до критической глубины при орошении просадочные лессовые грунты рассматриваемых массивов должны были проседать до I м. Фактически на этих зем-

лях заметного опускания земной поверхности не наблюдается. Как объяснить такое явление? Многолетние натурные исследования Мавлянова и Карпова /3/ показали: чем меньше естественная влажность грунтов, тем больше величина просадки при их замочке и наоборот. Отсюда вывод: если в процессе орошения просадочный грунт приобретает определенное количество влаги, допустим I5...20%, то при повторном увлажнении просадка не проявится. Периодические увлажнение и переувлажнение характерны для всей толщи просадочных грунтов. При влажности I5...20% грунт еще не теряет структурных связей и до следующего этапа увлажнения (до очередного полива) здесь произойдет процесс консолидации, что приведет к почти полной потере просадочных свойств и относительно небольшим деформациям поверхности.

Поэтому последующие увлажнения и даже полное водонасыщение не вызовут просадки, ожидаемой по прогнозу.

Если это так, то как прогнозировать просадки для условий неполного водонасыщения? В нормативных документах, в частности /4/, рекомендуется рассчитывать относительную просадочность для режима неполного водонасыщения по следующей формуле при соблюдении требования ($W_{sl} \leq W \leq W_{sat}$):

$$\varepsilon'_{sl} = 0,01 \frac{W_{sat} - W}{W_{sat} - W_{sl}} + \varepsilon_{sl} \frac{W - W_{sl}}{W_{sat} - W_{sl}}, \qquad (2)$$

где W – природная влажность грунта (в долях единиц); W_{sat} – влажность, соответствующая полному водонасыщению; W_{sl} – начальная просадочная влажность; ε_{sl} – относительная просадочность грунта при его полном водонасыщении.

Из этих условий видно, что формула (2) применима для грунтов, природная влажность которых больше начальной просадочной и меньше влажности полного водонасыщения. На самом деле в природных условиях естественная влажность просадочных грунтов в аридной зоне всегда меньше начальной просадочной влажности. В противном случае лессовые грунты превратились бы в непросадочные по двум причинам:

I) природная влажность, превышающая начальную просадочную, приводит к проявлению просадочных деформаций, хотя бы в неполной мере;

2) при влажности, превышающей начальную просадочную или равной ей, лессовые грунты консолидируются и теряют просадочные свойства.

Согласно экспериментальным данным начальная просадочная влажность для лессовых грунтов Каршинской степи составляет 22... 25% от веса. При такой влажности, как показали результаты натурных и лабораторных исследований, проявляется основная часть просадочных деформаций. Но в дальнейшем, с увеличением влажности до полного водонасыщения, может проявиться остаточная деформация. Только для таких случаев при расчете остаточной деформации применима формула (2).

В настоящее время расчет величины просадки для условий полного водонасыщения выполняется по формуле

$$S_{пр} = \frac{\varepsilon_o - \varepsilon_{p\,быт}}{1+\varepsilon_o} h, \qquad (3)$$

где $S_{пр}$ – величина просадки для расчетного слоя, м; ε_o – коэффициент пористости грунта; $\varepsilon_{p\,быт}$ – коэффициент пористости при бытовом давлении по формуле (I), кг/см^2; h – мощность расчетного слоя, м.

Кривые компрессионных испытаний при полном водонасыщении лессовых грунтов приведены на рис.2.

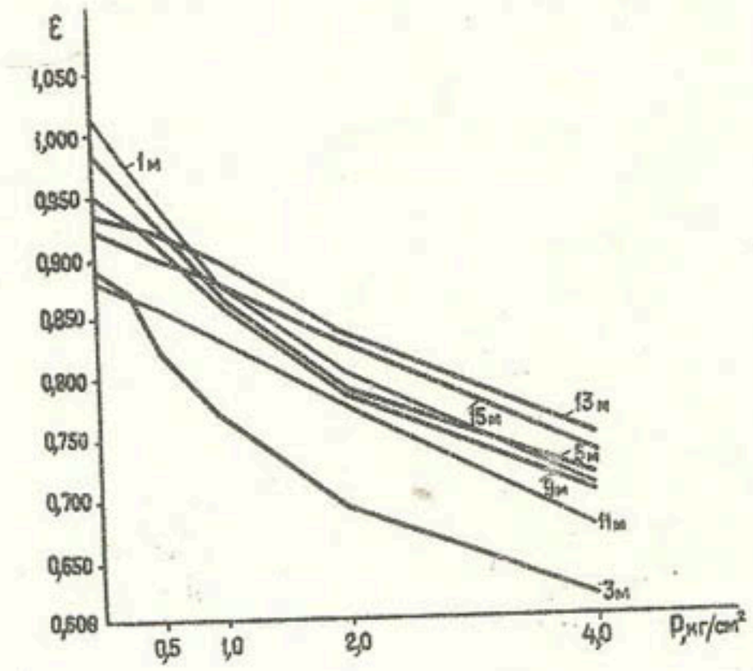


Рис.2. Кривые компрессионных испытаний лессовых грунтов при их полном водонасыщении

Ниже, в табл.I, представлены результаты расчета величины просадки для случая полного водонасыщения, выполненного по формуле (3).

Суммарная величина просадки, определенная для условий полного водонасыщения, для просадочных грунтов II очереди Каршинской степи мощностью I5 м составляет 0,87 м.

На этой территории с целью оценки достоверности прогноза, составленного по результатам компрессионных испытаний, проведена опытная замочка лессовых грунтов в котловане. Размер котлована 20м x I5м =300 м^2. Продолжительность замочки – около девяти месяцев. Величина просадки 0,90м, что свидетельствует о близкой сходимости результатов лабораторных испытаний и натурного опыта.

На основании результатов лабораторных испытаний и натурного моделирования согласно [I] лессовые грунты рассматриваемой территории с величиной просадки 50...I00 см отнесены к сильнопросадочным.

Как видно из вышеизложенного, до настоящего времени не разработана методика для условий неполного водонасыщения, а результаты расчетов по полному водонасыщению не соответствуют проявленным величинам просадки, наблюдаемым на орошаемых землях. Следовательно, разработка методики расчета просадки для неполного водонасыщения имеет важное практическое значение при определении технологии ирригационного строительства на просадочных грунтах целинных земель.

Прогноз просадки лессовых грунтов для условий неполного водонасыщения необходимо составлять по результатам компрессионных испытаний, выполненных при заданной влажности, в действительности наблюдающейся на орошаемых площадях при глубоком залегании грунтовых вод. С целью составления достоверного прогноза просадки режим влажности орошаемых полей, расположенных на просадочных грунтах, изучается на стационарных опорных точках, представляющих наблюдательные скважины для измерения влажности. По каждой скважине в течение года периодически проводятся замеры влажности радиоизотопным методом приборами НИВ-2 или ВПГР-I. Если рассматриваемый массив еще не орошается, изучение его режима влажности для составления прогноза просадки проводится на объектах-аналогах.

Таблица I

Результаты расчета величины просадки лессовых грунтов при полном водонасыщении (шурф 6)

Глубина опробования, м	Плотность сухого грунта, т/м³	Плотность частиц грунта, т/м³	Пористость, в долях единицы	Бытовое давление, кг/см²	Коэффициент пористости	Величина просадки для расчетного слоя, м
I	I,33	2,68	0,504	0,I83	I,0I5	
3	I,42	2,68	0,470	0,560	0,887	
5	I,36	2,70	0,496	0,932	0,985	
9	I,38	2,69	0,487	I,680	0,949	
II	I,42	2,67	0,468	2,060	0,880	
I3	I,39	2,69	0,483	2,430	0,935	
I5	I,40	2,69	0,479	2,8I0	0,92I	

Коэффициент пористости при бытовом давлении	Относительная просадочность	Мощность расчетного слоя, м	Величина просадки для расчетного слоя, м
0,988	0,0I34	I	0,0I34
0,8I6	0,0376	2	0,0752
0,872	0,0569	2	0,II38
0,805	0,0739	4	0,2956
0,773	0,0569	2	0,II38
0,8I6	0,06I5	2	0,I230
0,79I	0,0677	2	0,I354

В связи с тем, что при орошении в различных горизонтах просадочной толщи влажность грунта периодически изменяется, компрессионные испытания грунтов выполняются при различных влажностях, превышающих естественную, например I5;20;25% и при полном водонасыщении. Заданная влажность в грунтах достигается методом, разработанным в институте "Средазгипроводхлопок". Согласно этой методике вырезанное из монолита компрессионное кольцо взвешивается на технических весах с точностью до 0,0I г. Отбирается грунт в два бюкса для определения естественной влажности способом высушивания в термостате до постоянного веса. Затем определяется вес сухого грунта в кольце, а потом рассчитывается вес грунта в кольце с учетом заданной влажности. Затем в эксикатор с водой, где установлена решетка на 5 см выше уровня воды, помещается компрессионное кольцо с грунтом естественной влажности, после чего эксикатор закрывается. Грунт, помещенный в кольце, постепенно насыщается водяными парами. Степень насыщения до заданной влажности определяется путем неоднократного периодического взвешивания кольца с грунтом.

Для сравнения величин просадок, определенных для условий полного и неполного водонасыщения, приводятся рис.2,3 и пример расчета по шурфам 4 и 6 глубиной 5...I5 м (табл.I...3), заложенным возле опытных котлованов I,2 на площади II очереди орошения Каршинской степи.

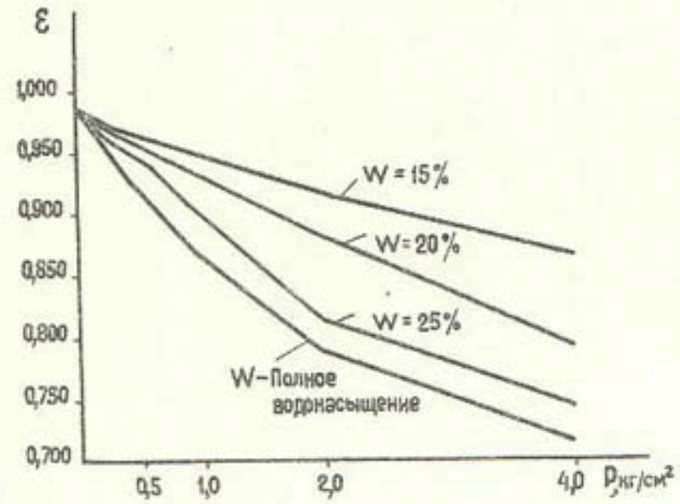


Рис.3. Кривые компрессионных испытаний грунтов при заданной влажности

Таблица 2

Результаты расчета величины просадки лессовых грунтов при заданной влажности

Глубина опробования, м	Плотность сухого грунта, т/м³	Плотность частиц грунта, т/м³	Пористость, в долях единицы	Бытовое давление, кг/см²	Коэффициент пористости	Коэффициент пористости при бытовом давлении	Относительная просадочность	Мощность расчетного слоя, м	Величина просадки для расчетного слоя, м
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
				ШУРФ 4					
				$W_з$ = I5%					
I	I,33	2,68	0,504	0,I53	I,0I5	I,0I0	0,0025	I,0	0,0025
3	I,42	2,68	0,470	0,480	0,887	0,864	0,0I22	2,0	0,0244
5	I,36	2,70	0,496	0,793	0,985	0,954	0,0I56	2,0	0,03I2
							Суммарная просадка		0,058I
				$W_з$ = 20%					
I	I,33	2,68	0,504	0,I60	I,0I5	I,007	0,0040	I,0	0,0040
3	I,42	2,68	0,470	0,500	0,887	0,836	0,0270	2,0	0,0540
5	I,36	2,70	0,496	0,826	0,985	0,943	0,02II	2,0	0,0420
							Суммарная просадка		0,I000
				$W_з$ = 25%					
I	I,33	2,68	0,504	0,I66	I,0I5	0,999	0,0079	I,0	0,0079
3	I,42	2,68	0,470	0,520	0,887	0,830	0,0302	2,0	0,0604
5	I,36	2,70	0,496	0,860	0,985	0,9I0	0,0278	2,0	0,0556
							Суммарная просадка		0,I239
				Полное водонасыщение					
I	I,33	2,68	0,504	0,I83	I,0I5	0,988	0,0I34	I,0	0,0I34
3	I,42	2,68	0,470	0,560	0,887	0,8I6	0,0376	2,0	0,0752
5	I,36	2,70	0,496	0,932	0,985	0,872	0,0569	2,0	0,II38
							Суммарная просадка		0,2024

Продолжение табл.2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
				ШУРФ 6					
				$W_з$ = I5%					
I	I,40	2,64	0,469	0,I6I	0,886	0,876	0,0053	I,0	0,0053
3	I,36	2,69	0,494	0,474	0,978	0,962	0,008I	2,0	0,0I62
5	I,39	2,69	0,488	0,794	0,935	0,9I4	0,0I08	2,0	0,02I6
7	I,40	2,70	0,48I	I,I20	0,928	0,894	0,0I76	2,0	0,0352
II	I,45	2,69	0,46I	I,780	0,885	0,848	0,0I96	4,0	0,0784
I3	I,42	2,69	0,472	2,II0	0,894	0,834	0,03I7	2,0	0,0634
							Суммарная просадка		0,220I
				$W_з$ = 20%					
I	I,40	2,64	0,469	0,I68	0,886	0,873	0,0053	I,0	0,0053
3	I,36	2,69	0,494	0,494	0,978	0,954	0,0I2I	2,0	0,0242
5	I,39	2,69	0,488	0,828	0,935	0,897	0,0I96	2,0	0,0392
7	I,40	2,70	0,48I	I,I60	0,928	0,877	0,0264	2,0	0,0528
II	I,45	2,69	0,46I	I,860	0,885	0,830	0,0292	4,0	0,II68
I3	I,42	2,69	0,472	2,200	0,894	0,803	0,0480	2,0	0,0960
							Суммарная просадка		0,3343
				$W_з$ = 25%					
I	I,40	2,64	0,469	0,I75	0,886	0,864	0,0II7	I,0	0,0II7
3	I,36	2,69	0,494	0,5I5	0,978	0,945	0,0I67	2,0	0,0334
5	I,39	2,69	0,488	0,862	0,935	0,884	0,0263	2,0	0,0526
7	I,40	2,70	0,48I	I,2I0	0,928	0,857	0,0368	2,0	0,0736
II	I,45	2,69	0,46I	I,5I0	0,885	0,809	0,0403	4,0	0,I6I2
I3	I,42	2,69	0,472	2,260	0,894	0,778	0,06I2	2,0	0,I224
							Суммарная просадка		0,4549
				Полное водонасыщение					
I	I,40	2,64	0,469	0,I87	0,886	0,86I	0,0I32	I,0	0,0I32
3	I,36	2,69	0,494	0,558	0,978	0,909	0.0349	2,0	0,0698
5	I,39	2,69	0,488	0,933	0,935	0,854	0,04I9	2,0	0,0838
7	I,40	2,70	0,48I	I,3I0	0,928	0,820	0,0560	2,0	0,II20
II	I,45	2,69	0,46I	2,060	0,885	0,773	0,0594	4,0	0,2376
I3	I,42	2,69	0,472	2,440	0,894	0,748	0,077I	2,0	0,I542
								Суммарная просадка	0,6706

Просадка для условий полного водонасыщения рассчитывается по вышеизложенной методике.

Что касается методики расчета просадки при неполном водонасыщении, то бытовое давление определяется в зависимости от величины заданной в каждом конкретном случае влажности по формуле

$$P_{быт} = \gamma_c (I + W) h,$$

где γ_c – плотность сухого грунта, т/м^3; W – заданная весовая влажность (в долях единицы); h – мощность расчетного слоя, м.

Дальнейший ход расчета такой же, как и для условий полного водонасыщения. Результаты расчета величины просадки для режима неполного водонасыщения по шурфам 4 и 6 приведены в табл.2.

Суммарные величины просадки, определенные по компрессионным испытаниям грунтов при различной влажности, помещены в табл.3.

Таблица 3

Суммарные величины просадки

№ шурфа	Мощность расчетного слоя, м	Величина просадки (м) при влажности (%)			
		I5	20	25	полное водонасыщение
4	5	0,058	0,I00	0,I20	0,200
6	I3	0,230	0,330	0,450	0,670

Из табл.3 видно, что величина просадки в лессовых грунтах зависит от степени их влажности: чем выше влажность, тем больше просадочные деформации.

В лессовых грунтах орошаемых территорий до подъема грунтовых вод к критической глубине (2...3 м) в период поливов, по данным специальных исследований, фактическое значение весовой влажности не превышает 20...25% (рис.I и 2). При таких значениях влажности ожидаемые просадочные деформации составляют около 50% от прогнозных величин, рассчитанных для условий полного водонасыщения.

Из сказанного выше можно сделать следующие выводы:

– приведенная в [4] методика не приемлема для расчета просадочных деформаций орошаемых территорий из-за того, что в условиях аридного климата природная влажность всегда меньше начальной просадочной влажности;

– методика расчета просадочных деформаций для режима полного водонасыщения не учитывает реальной обстановки, наблюдаемой на орошаемых массивах, и потому получаемые результаты недостоверны;

– более достоверные результаты о просадке могут быть получены по данным компрессионных испытаний рассматриваемых грунтов, выполненных при заданной влажности, фактически наблюдаемой на орошаемых территориях. Составленный по этим данным прогноз будет наиболее достоверным, что позволит правильно выбирать технологию строительства ирригационной сети на просадочных грунтах;

– методика расчета просадочных деформаций для условий неполного водонасыщения лессовых грунтов орошаемых территорий требует всесторонней доработки.

Использованная литература

I. Минводхоз СССР. Инструкция по проектированию оросительных систем на просадочных грунтах. ВСН-II-23-75. Срок введ.I.07.75.- М., I975.- II8 с.

2. Татцунова В.А. Исследования структуры лессовых пород Юго-Западного Таджикистана и ее изменений при ирригационном воздействии. – Автореф.канд.дис.- Ташкент, I983.- 23 с.

3. Мавлянов Г.А., Цулатов К.П. Методы изучения просадочности лессовых пород с целью ирригационного освоения целинных земель. – Ташкент: Изд-во "Фан" Узбекской ССР, I975. – 80с.

4. Госстрой СССР. Основания зданий и сооружений. СНиП 2.02.0I.83 г. Госкомиздат СССР по делам строительства. – 42с.

5. Мустафаев А.А. Расчет оснований и фундаментов на просадочных грунтах. – М.: Высшая школа, I979.- 368 с.

УДК 626.862.4:532.5.00I.2

Ю.Я.Гольцов, руководитель группы
(Средазгипроводхлопок)

МЕТОД ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ

Пространственное расположение элементов коллекторно-дренажной сети (КДС) на орошаемых землях во многом определяется

рельефом местности. Элементы КДС находятся чаще всего на различных высотных уровнях в зависимости как от рельефа, так и глубины их заложения. Нередко даже в этих условиях можно ограничиться рассмотрением профильных задач фильтрации грунтовых вод (ГВ).

Следует отметить, что для расчета размещения элементов КДС по профилю фрагмента орошаемого массива в указанных условиях в последнее время появился ряд работ [1...5] и статья на стр.3...15 данного сборника, которые расширяют существующие методы их фильтрационных расчетов. В первых двух предлагается метод фильтрационных расчетов дренажа в случаях, когда его в пределах водоносной толщи, как правило, делают совершенным, а расстояние между дренами должно существенно превышать ее мощность. Метод, разработанный в [3...5], основан на гидродинамической модели фильтрации ГВ и позволяет учитывать несовершенство элементов КДС по степени вскрытия пласта.

При этом, с одной стороны, проводятся расчеты по их размещению по профилю в условиях установившегося режима и по оценке динамики их работы при неустановившемся режиме движения ГВ. С другой стороны, получена возможность определять характеристики потока ГВ в любой точке области фильтрации, что особенно важно для прогнозирования гидрохимического режима ГВ и минерализации дренажного стока [6].

Однако учет пространственного характера движения ГВ чаще всего сводится к рассмотрению плановых задач фильтрации с использованием гидравлической модели. Например, в [7] рассматривается плановая нестационарная фильтрация ГВ при работе горизонтального дренажа в двухслойном пласте. В [8] приводятся расчеты дренажа с учетом действия проводящей сети на основе решения плановой задачи фильтрации ГВ.

Цель данной статьи – рассмотрение разработанного метода фильтрационных расчетов элементов КДС, произвольно расположенных внутри ограниченной области фильтрации (фрагмента орошаемой территории).

В основу метода положена разработанная математическая модель фильтрации в гидродинамической постановке, получена зависимость для напора ГВ в слоях (аналитическое решение поставленной задачи), разработаны алгоритмы и составлена программа для ЭВМ. Приведен пример расчета.

I. Уравнение фильтрации, описывающее пространственный (трех-

мерный) характер движения ГВ со свободной поверхностью в двухслойном анизотропном пласте произвольно расположенных линейных стоков (элементов КДС) мощностью $Q^{(i)}(x,y,z,t)$, имеет вид

$$k_x^{(i)}\frac{\partial^2 H^{(i)}}{\partial x^2}+k_y^{(i)}\frac{\partial^2 H^{(i)}}{\partial y^2}+k_z^{(i)}\frac{\partial^2 H^{(i)}}{\partial z^2}=Q^{(i)}(x,y,z,t),\quad i=\overline{1,2}\ . \qquad (1)$$

Верхний индекс i говорит здесь и далее о принадлежности параметра либо к покровному слою ($i=1$), либо к нижнему, хорошопроницаемому ($i=2$); $k_x^{(i)}$, $k_y^{(i)}$, $k_z^{(i)}$ – коэффициенты фильтрации соответственно в направлении координатных осей ox, oy и oz, м/сут; $H^{(i)}(x,y,z,t)$ – напор ГВ, м. Область фильтрации – фрагмент орошаемого массива прямоугольной формы $L_x \times L_y$, на боковых границах которого заданы напоры ГВ:

$$\left.\begin{aligned} H^{(i)}\big|_{\substack{x=0\\0\le y\le L_y}} &= H_1\ ; \qquad H^{(i)}\big|_{\substack{x=L_x\\0\le y\le L_y}} = H_2\ ;\\ H^{(i)}\big|_{\substack{0\le x\le L_x\\y=0}} &= H_3\ ; \qquad H^{(i)}\big|_{\substack{0\le x\le L_x\\y\le L_y}} = H_4\ , \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где L_x и L_y – протяженность рассматриваемого фрагмента соответственно в направлении координатных осей ox и oy.

На свободной поверхности ГВ, как обычно для такого типа задач, принимается линеаризованное граничное условие

$$\mu\frac{\partial h}{\partial t}=-k_z^{(1)}\frac{\partial h}{\partial z}+w(x,y,t), \qquad (3)$$

выполнение которого допускается на плоскости начального уровня ГВ h_e, т.е. $h^0=h_e$, м; μ – коэффициент водоотдачи или недостатка насыщения; $h(x,y,t)$ – уровень ГВ, м; $w(x,y,t)$ – инфильтрационное питание (испарение), м/сут, которое задается обычно в виде кусочно-постоянной функции по горизонтальным координатам x и y, а также по времени t:

$$w(x,y,t)=\sum_{j=1}^{N_w} w_j\left[\sigma(x-x_{w2j-1})-\sigma(x-x_{w2j})\right]\times \left[\sigma(y-y_{w2j-1})-\sigma(y-y_{w2j})\right]\cdot\left[\sigma(t-t_{j-1})-\sigma(t-t_j)\right], \qquad (4)$$

где w_j – интенсивность инфильтрационного питания на площадке j прямоугольной формы, ограниченной прямыми $x=x_{w2j-1}$, $x=x_{w2j}$, $y=y_{w2j-1}$, $y=y_{w2j}$ в момент времени $t\in[t_{j-1},t_j]\subset[0,T]$, $j=\overline{1,N_w}$; N_w – число таких площадок с различными значениями интенсивности инфильтрационного питания; T – продолжительность расчетного периода; $\sigma(\xi)$ – функция Хевисайда.

На границе слоев задается равенство напора и потока, снизу область фильтрации (фрагмент) подстилается водоупором.

Для получения аналитического решения (I) при краевых условиях (2)...(4) используется интегральное преобразование Лапласа по времени t и конечное интегральное преобразование по горизонтальным координатам x и y.

Чтобы учесть влияние элементов КДС, поступим следующим образом. Рассмотрим систему уравнений (I) с функциями $\tilde{Q}^{(i)}(x,y,z,t)$ (вместо $Q^{(i)}(x,y,z,t)$), которые представляют два точечных стока (источника), расположенных соответственно в покровном и хорошопроницаемом слоях в точках $\tilde{O}_0^{(i)}(x_0^{(i)}, y_0^{(i)}, z_0^{(i)})$, работающих с интенсивностью (расходом) $q_{0\tau}^{(i)}$ на интервале времени $[t_{\tau-1}, t_\tau] \subset [0,T]$.

Запишем вид функции $\tilde{Q}^{(i)}(x,y,z,t)$:

$$\tilde{Q}^{(i)}(x,y,z,t) = \sum_{\tau=1}^{T} q_{0\tau}^{(i)}\, \delta(x-x_0^{(i)}, y-y_0^{(i)}, z-z_0^{(i)})[\sigma(t-t_{\tau-1})-\sigma(t-t_\tau)], \quad (5)$$

где $\delta(x,y,z)$ – дельта-функция Дирака.

Решение системы уравнений (I) – выражений для напоров ГВ в слоях – представим в виде слагаемых

$$H^{(i)}(x,y,z,t) = H_0^{(i)}(x,y,z,t) + H_I^{(i)}(x,y,z,t) + H_{II}^{(i)}(x,y,z,t) + \tilde{H}_{III}^{(i)}(x,y,z,x_0^{(1)}, y_0^{(1)}, z_0^{(1)}, t) + \tilde{H}_{IV}^{(i)}(x,y,z,x_0^{(2)}, y_0^{(2)}, z_0^{(2)}, t), \quad (6)$$

каждое из которых отражает действие следующих факторов:

$H_0^{(i)}(x,y,z,t)$ – граничные условия по горизонтальным координатам x и y; $H_I^{(i)}(x,y,z,t)$ – начальное положение УГВ; $H_{II}^{(i)}(x,y,z,t)$ – инфильтрационное питание по N_w площадкам; $\tilde{H}_{III}^{(i)}(x,y,z, x_0^{(1)}, y_0^{(1)}, z_0^{(1)}, t)$ – сток в точке $\tilde{O}_0^{(1)}(x_0^{(1)}, y_0^{(1)}, z_0^{(1)})$ покровного слоя; $\tilde{H}_{IV}^{(i)}(x,y,z, x_0^{(2)}, y_0^{(2)}, z_0^{(2)}, t)$ – в точке $\tilde{O}_0^{(2)}(x_0^{(2)}, y_0^{(2)}, z_0^{(2)})$ нижнего, хорошопроницаемого слоя.

Допустим, что в покровном слое расположено N_D линейных стоков (элементов КДС) между точками $O_{D\,2j-1}^{(1)}(x_{D2j-1}^{(1)}, y_{D2j-1}^{(1)}, z_{D2j-1}^{(1)})$ и $O_{D2j}^{(1)}(x_{D2j}^{(1)}, y_{D2j}^{(1)}, z_{D2j}^{(1)})$, работающих с интенсивностью (расходом) $q_{Dj\tau}^{(1)}$ на метр длины, $(j = \overline{1, N_D})$. Тогда влияние этих линейных стоков на распределение напора ГВ в слоях, используя выражение $H_{III}^{(i)}(x,y,z, x_0^{(1)}, y_0^{(1)}, z_0^{(1)}, t)$, можно выразить суммой интегралов:

$$H_{III}^{(i)}(x,y,z,t) = \sum_{j=1}^{N_D} \int_{O_{D2j-1}^{(1)}}^{O_{D2j}} \tilde{H}_{III}^{(i)}(x,y,z,x_0^{(1)}, y_0^{(1)}, z_0^{(1)} t)\, dx_0^{(1)}\, dy_0^{(1)} dz_0^{(1)}, \quad (7)$$

причем интенсивность $q_{Dj\tau}^{(1)}$ на метр длины принимается постоянной по всей его длине на заданном интервале времени. При необходимости каждый линейный сток может быть представлен в виде участков (секций) произвольной длины, работающих со своим постоянным расходом на метр длины.

Аналогично определяется действие линейных стоков и в нижнем, хорошопроницаемом слое слагаемым $H_{IV}^{(i)}(x,y,z,t)$.

Заменив слагаемые $\tilde{H}_{III}^{(i)}$ и $\tilde{H}_{IV}^{(i)}$ в (6) соответственно выражениями $H_{III}^{(i)}$ и $H_{IV}^{(i)}$, получим зависимости, учитывающие действие на режим ГВ произвольно расположенных в области фильтрации линейных стоков (элементов КДС).

Положение уровня ГВ находим из зависимости для напора ГВ в покровном слое (6) с учетом (7)

$$h(x,y,t) = H^{(1)}(x,y,z,t)\big|_{z=h^0} .$$

Решение системы уравнений (I) будет использовано в разделе 2 для расчета в условиях установившегося режима фильтрации ГВ холостой (транзитной) части дрены при совместном действии коллектора и дрены, расположенных в покровном слое двухслойного пласта. Поэтому ограничимся записью выражения для напора ГВ в покровном слое. В этом случае $H_I^{(i)}(x,y,z,t)=0$ и $H_{IV}^{(i)}(x,y,z,t)=0$, остальные слагаемые имеют вид:

$$H_0^{(1)}(x,y,z) = \frac{2}{L_x}\sum_{n_x=1}^{\infty} \frac{N_x^{(1)} \sin[x\omega_x(n)]}{\operatorname{sh}\left[\frac{s_{nx}}{\gamma_x^{(1)}}\right]}\left[H_4 \operatorname{sh}\left(\frac{y s_{nx}}{L_y \gamma_x^{(1)}}\right) + H_3 \operatorname{sh}\left(\left(1-\frac{y}{L_y}\right)\frac{s_{nx}}{\gamma_x^{(1)}}\right)\right] +$$

$$+\frac{2}{L_y}\sum_{n_y=1}^{\infty} \frac{N_y^{(1)} \sin[y\omega_y(n)]}{\operatorname{sh}\left[s_{ny}\gamma_y^{(1)}\right]}\left[H_2 \operatorname{sh}\left(\frac{x s_{ny}\gamma_y^{(1)}}{L_x}\right) + H_1 \operatorname{sh}\left(\left(1-\frac{x}{L_x}\right)s_{ny}\gamma_y^{(1)}\right)\right] +$$

$$+\frac{4}{L_x L_y}\sum_{n_x=1}^{\infty}\sum_{n_y=1}^{\infty} \frac{\sin[x\omega_x(n)]\sin[y\omega_y(n)]}{E_n} \rho_n \omega_2(n) e^{-(z-m)\omega_1(n)} \Psi^+[m\omega_2(n)]\left[\frac{f_1^{(1)}(n)}{\omega_1^2(n)} - \frac{f_1^{(2)}(n)}{\omega_2^2(n)}\right].$$

$$H_{II}^{(1)}(x,y,z) = \frac{4}{L_x L_y}\sum_{n_x=1}^{\infty}\sum_{n_y=1}^{\infty} \frac{\sin[x\omega_x(n)]\sin[y\omega_y(n)]}{\omega_x(n)\cdot\omega_y(n)} \sum_{j=1}^{N_w} w_j\left[\cos(x_{w2j}\omega_x(n)) - \cos(x_{w2j-1}\omega_x(n))\right] \times$$

$$\times\left[\cos(y_{w2j}\omega_y(n) - \cos(y_{w2j-1}\omega_y(n))\right] \frac{C_n^+(z-m)}{E_n} e^{-(h^0-m)\omega_1(n)},$$

$$H_{III}^{(1)}(x,y,z) = -\frac{1}{L_x L_y}\sum_{n_x=1}^{\infty}\sum_{n_y=1}^{\infty} \frac{\sin[x\omega_x(n)]\sin[y\omega_y(n)]}{k_z^{(1)}\omega_1(n)\, E_n} \sum_{j=1}^{N_D} s_{Dj}^{(1)} q_{Dj}^{(1)} \left\langle P^-(n,z,O_D^{(1)}) - P^+(n,z,O_D^{(1)}) \right\rangle \Big|_{O_{D2j-1}^{(1)}}^{O_{D2j}^{(1)}},$$

где введены следующие обозначения:

$$N_x = \frac{1}{L_x}[1-(-1)^{n_x}];\quad N_y = \frac{1}{L_y}[1-(-1)^{n_y}];\quad \gamma_x^{(i)} = \sqrt{k_z^{(i)}/k_x^{(i)}};\quad \gamma_y^{(i)} = \sqrt{k_z^{(i)}/k_y^{(i)}};$$

$$\gamma^{(i)} = \frac{L_x}{L_y}\sqrt{k_y^{(i)}/k_x^{(i)}};\quad \omega_i^2(n) = \left[\frac{\omega_x(n)}{\gamma_x^{(i)}}\right]^2 + \left[\frac{\omega_y(n)}{\gamma_y^{(i)}}\right]^2;\quad \omega_x(n) = \frac{s_{nx}}{L_x};\quad \omega_y(n) = \frac{s_{ny}}{L_y};$$

$$\rho_n = \frac{k_z^{(2)}\omega_2(n)}{k_z^{(1)}\omega_1(n)};\quad \Psi^{\pm}[\xi\omega_i(n)] = 1 \pm \exp[-2\xi\omega_i(n)];$$

$$f_1^{(i)}(n) = \frac{\omega_x(n) N_y^{(i)}}{\gamma_x^{(i)}}\left[(-1)^{n_x} H_2 - H_1\right] + \frac{\omega_y(n) N_x^{(i)}}{\gamma_y^{(i)}}\left[(-1)^{n_y} H_4 - H_3\right];$$

$$C_n^{\pm}(\xi) = \omega_2(n)\left[\Psi^+(m\omega_2(n)\,\Psi^{\pm}[\xi\omega_1(n)] + \rho_n \Psi^-[m\omega_2(n)]\Psi^{\mp}[\xi\omega_1(n)]\right];$$

$E_n=\alpha_1\omega_1(n)C_n^*(h^o-m)$; $R_n=E_n/C_n^*(h^o-m)$;

$$s_{Dj}^{(i)}=\sqrt{(x_{D2j}-x_{D2j-1})^2+(y_{D2j}-y_{D2j-1})^2+(z_{D2j}-z_{D2j-1})^2}\ ,$$

$$P^{\pm}(n,z,O_D^{(i)})=\frac{\alpha_1\omega_1(n)\omega_2(n)}{(z_{D2j}^{(i)}-z_{D2j-1}^{(i)})^2\omega_1^2(n)+\{\beta_2^{\pm}(n)+\beta_1^{\pm}(n)\}^2}\Big\{(z_{D2j}^{(i)}-z_{D2j-1})\omega_1(n)\times$$

$$\times[\mathrm{sign}(z-z_D^{(i)})U_1^-(n,z,z_D^{(i)})-U_2^-(n,z,z_D^{(i)})]\cos[\beta_D^{\pm}(n)]+[\beta_2^{\pm}(n)-\beta_1^{\pm}(n)]\times$$

$$\times[U_1^+(n,z,z_D^{(i)})-U_2^+(n,z,z_D^{(i)})]\sin[\beta_D^{\pm}(n)]\Big\}\ ,$$

$$U_1^{\pm}(n,z,z_D^{(i)})=\exp[-|z-z_D^{(i)}|\omega_1(n)]\{\Psi^+[m\omega_2(n)]\Psi^{\pm}[h^o-m-|z-z_D^{(i)}|)\omega_1(n)]+\Psi^-[m\omega_2(n)]\times$$

$$\times\Psi^{\mp}[h^o-m-|z-z_D^{(i)}|)\omega_1(n)]\}\ ;\ U_2^{\pm}(n,z,z_D^{(i)})=\exp[-(z+z_D^{(i)}-2m)\omega_1(n)]\{\Psi^+[(h^o+m-z-z_D^{(i)})\omega_1(n)]-$$

$$-\Psi^-[m\omega_2(n)]\Psi^{\mp}[(h^o+m-z-z_D^{(i)})\omega_1(n)]\}\ ;\ \beta_i^{\pm}(n)=\omega_x(n)x_i^{(i)}\pm\omega_y(n)y_i^{(i)};\ \mathrm{sign}(\xi)=\begin{cases}+ & \xi>0\\ - & \xi<0\end{cases}.$$

Запись $\langle A(n,z,O_D^{(i)})\rangle\Big|_{O_D^{(i)}}^{O_{D2j}^{(i)}}$ понимается как разность $A(n,z,O_{D2j}^{(i)})-A(n,z,O_{D2j-1}^{(i)})$.

Поскольку бóльший практический интерес представляют решения при заданном напоре, значения расхода $Q_{Djt}^{(i)}$ каждого элемента КДС можно определять по [4]. На интервале времени $[t_{\tau-1},t_\tau]$, задаваясь значениями напора в области фильтрации для каждого элемента КДС и учитывая их принадлежность слою, решения (6) и (7) представляются в виде системы линейных уравнений относительно $q_{Dj\tau}^{(i)}$. Значение напора для каждого элемента КДС при этом задается равным глубине заложения его середины, с учетом условного радиуса r_j элемента.

Для элементов КДС, расположенных в покровном слое, это будет $H^{(i)}(x,y,z,t)\Big|_{z=\bar z_{Dj}^{(i)}-r_j}^{x=\bar x_{Dj}^{(i)},\ y=\bar y_{Dj}^{(i)},}$ $=\bar Z_{Dj}^{(i)}$,

где $\bar x_{Dj}^{(i)}=0{,}5(x_{D2j-1}^{(i)}+x_{D2j}^{(i)})$; $\bar y_{Dj}^{(i)}=0{,}5(y_{D2j-1}^{(i)}+y_{D2j}^{(i)})$; $\bar Z_{Dj}^{(i)}=0{,}5(Z_{D2j-1}^{(i)}+Z_{D2j}^{(i)})$.

2. В качестве примера применения теоретических результатов, полученных в разделе I, проведем расчет по определению холостой части устьевого сооружения горизонтальной дрены и распределению расхода (притока) ГВ по ее длине при совместном действии коллектора и дрены. Рассмотрим фрагмент орошаемого массива двухслойного строения прямоугольной формы $L_x\times L_y$ (L_x=800м, L_y= = 400 м), через который проходит внутрихозяйственный коллектор, имеющий уклон i=0,0005 (рис.I). В этом случае глубина заложения (при среднем значении 4,5 м) на границах фрагмента в точках O_{KI} (400;0) - (400 м по оси 0x и 0м по оси 0y) - и

O_{K2}(400;400) будут соответственно равны 4,6 и 4,4 м. Уклон дрен, расположенных перпендикулярно к коллектору, равен 0,002, средняя

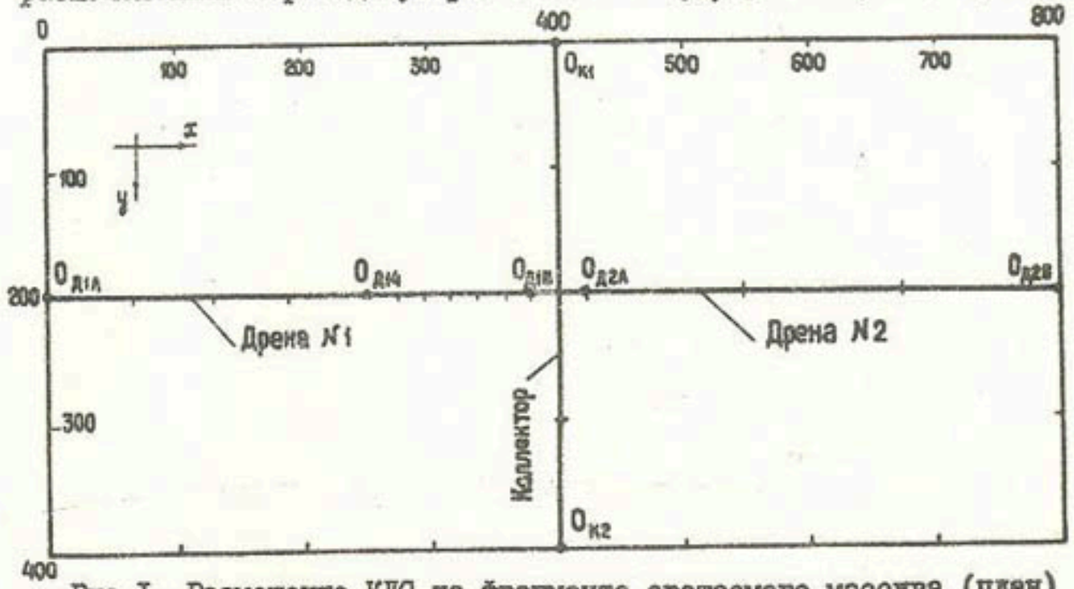


Рис.I. Размещение КДС на фрагменте орошаемого массива (план)

глубина заложения 3,2 м. Среднегодовое значение инфильтрационного питания интенсивностью w=0,0011 м/сут учитывается по всему фрагменту, кроме зоны шириной по I5 м слева и справа от коллектора. Фильтрационные характеристики пласта: коэффициент фильтрации покрова равен 0,I4 м/сут ($k_x^{(1)}=k_y^{(1)}=k_z^{(1)}$), мощность m_1=32,7м; проводимость хорошопроницаемого слоя 36 $м^2$/сут, мощность m=3 м, $k_x^{(2)}=k_y^{(2)}=k_z^{(2)}$=I2 м/сут. Напор ГВ по границам рассматриваемого фрагмента 33,5 м. Дрены располагаются слева (дрена № I) и справа (дрена № 2) от коллектора. Предполагая наличие холостого участка в зоне коллектора, рассмотрим дрену № I от точки O_{D1A}(0;200) до точки O_{D1B}(380;200) длиной 380 м. Для дрены № 2 это будут: O_{D2A} (420;200), O_{D2B}(800;200), длина 380 м. Поскольку дрены находятся в одинаковых условиях, транзитную часть устьевого сооружения рассчитаем для дрены № I. С этой целью разобьем дрену по длине на I0 секций: участок O_{D1A}(0;200) + O_{D14}(250;200) м на четыре секции, а O_{D14}(250;200) + O_{D1B}(380;200), с учащением числа секций рядом с коллектором,- на шесть. Кроме того, рассмотрим дрену № 2 в виде трех секций. Коллектор представлен четырьмя секциями Результаты расчета расходов секций дрены № I показаны на рис.2. Секция у коллектора работает с отрицательным расходом. Пересечение графика расхода с осью $0L_D$ определяет транзитный участок

устьевого сооружения дрены длиной 3I м.

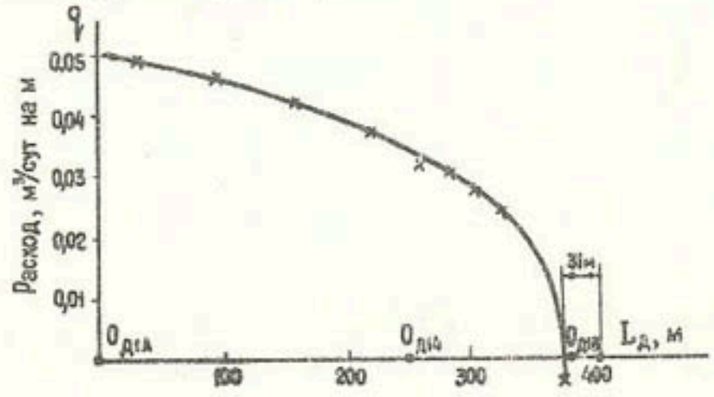


Рис.2. Изменение расхода дрены № I по длине

Представляет интерес оценить влияние на общий расход дрены числа ее секций. В нашем случае дрена № I представлена десятью секциями, дрена № 2 – тремя. При этом общий расход первой дрены составляет I3,86 м³/сут, второй I4,43 м³/сут. Деление дренажной линии практически не влияет на расчет общего расхода дрены, но различие расхода по секциям отражается на расчетах напоров ГВ, в частности уровня грунтовых вод.

Выводы

Разработанная в гидродинамической постановке математическая модель фильтрации ГВ, рассматриваемая в данной статье, позволяет учитывать влияние дренажных устройств, произвольно расположенных внутри области фильтрации (фрагмента орошаемой территории) и работающих как при заданном напоре, так и с заданным расходом. Получены аналитические зависимости для расчета напоров ГВ в слоях. Предложен метод расчета холостой части устьевого сооружения горизонтальной дрены и изменения расхода по ее длине при совместном действии коллектора и дрены. Разработаны алгоритмы, составлена программа для ЭВМ, приведен пример расчета.

Используя предложенный метод, можно на ограниченных фрагментах орошаемой территории:

- оценить преимущество продольного или поперечного расположения горизонтального дренажа;
- рассмотреть работу комбинированного дренажа;
- рассчитать действие скважин вертикального дренажа.

Использованная литература

I .Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. – Киев: Наукова думка, I98I. – 284 с.

2. Насонов В.Г., Закс И.А. Регулирование уровня грунтовых вод горизонтальным дренажем в условиях расчлененного рельефа. – Науч.тр.САНИИРИ, Ташкент, I98I, вып.I66, с.74–86.

3. Гольцов Ю.Я., Пылев Н.П., Серебренников Ф.В. Учет дренирующего действия расчлененного рельефа при расчете параметров горизонтального дренажа. – В кн.: Тезисы докладов республиканской конференции по проектированию, строительству и эксплуатации закрытых дренажных систем в зоне орошения.–Ташкент, I98I, с.47–48.

4. Гольцов Ю.Я., Пылев Н.П., Серебренников Ф.В. Расчет параметров горизонтального дренажа. – Гидротехника и мелиорация, I985, № 6, с.44–47.

5. Гольцов Ю.Я. Прогноз динамики работы дренажных устройств в период вегетации с учетом рельефа местности. – Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I984. Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов, с.3–I0.

6. Гольцов Ю.Я. Закономерности формирования и прогноз минерализации грунтовых вод и дренажного стока с учетом рельефа местности. – Науч.тр.САНИИРИ, Ташкент, I985. Совершенствование управления гидромелиоративными системами, с.9I–I04.

7. Писецкий Г.А. Нестационарная плановая фильтрация воды к горизонтальному дренажу в двухслойном грунте. – Водное хозяйство и гидротехническое строительство. – Минск, I985, № I4, с.34–40.

8. Ивицкий А.И., Бузинный В.Г. Теория расчета безуклонного и малоуклонного дренажа с учетом действия проводящей сети. – ДАН БССР, I98I,т.25, № 6, с.554–557.

УДК 624.I3I.2I:626.862.4
В.В.Калинин, нач.отд.
(Средазгипроводхлопок)
Н.И.Калюжная, ст.науч.сотр.,
канд.техн.наук
(САНИИРИ)

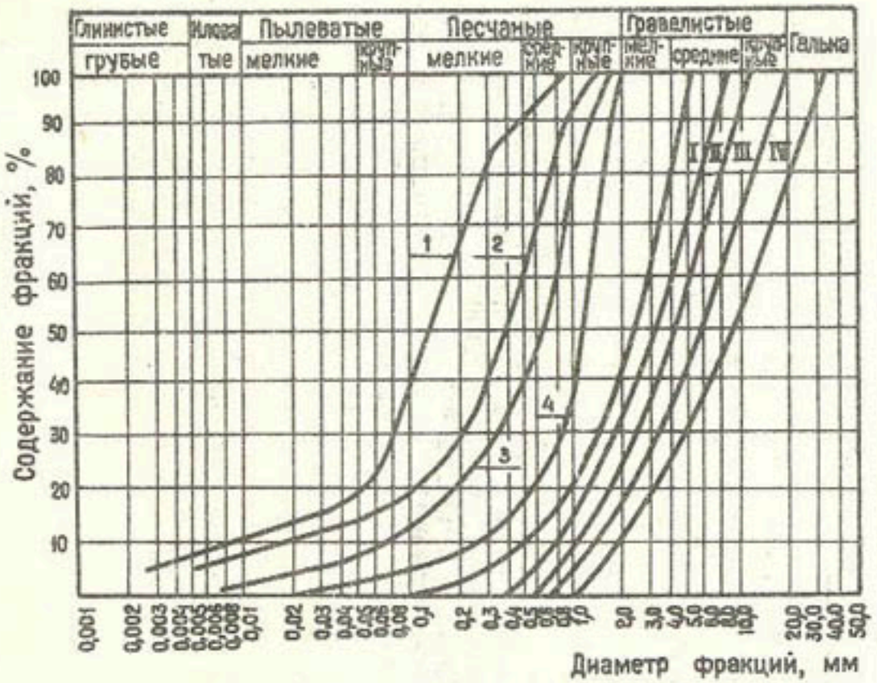
МАРКИРОВАННЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ДРЕНАЖА

При освоении целинных земель на территории Узбекской ССР строятся тысячи скважин вертикального и комбинированного дренажа. Затрубная часть фильтрового каркаса скважин обсыпается гравийно-песчаным фильтром. Исследование строительства скважин и многочисленные лабораторные эксперименты позволили разработать теорию расчета состава гравийно-песчаных фильтров для однородных и неоднородных песков /I/. В действующий нормативный документ /2/ включены рекомендации по зонам расчетных составов фильтров для однородных песков, по которым при проектировании скважин производится расчет состава требуемого гравийно-песчаного фильтра. Однако в практике строительства гравийный фильтр составляется строителями "на глазок", в зависимости от того, какими карьерными материалами располагает ведомство. Вся скважина обсыпается одним и тем же "составленным" материалом, хотя он пригоден всего лишь для одного водоносного слоя. Какие-либо варианты подбора гравийно-песчаной смеси при слоистом строении пласта полностью исключаются. В силу сказанного даже авторский надзор проектировщика во время строительства не может быть эффективным, так как до сих пор не существует централизованного изготовления сортированной гравийно-песчаной смеси, предназначенной для водоносных песков конкретного состава (СНиП II-I5-74).

Применение гравийно-песчаного фильтра, не соответствующего водоносному слою (как правило, пескам мелким), приводит к длительному выносу песка скважиной, износу насосно-силового оборудования, оседанию устья скважины или поверхности земли. Чаще всего досыпка гравия на забой и создание "гравийной груши" также не спасает скважину от пескования, так как между гравием и водоносным песком не формируется контактной зоны из-за отсутствия в гравии контактных, соразмерных крупным фракциям песка, частиц.

Эксплуатационники, опасаясь последствий пескования, вынуждены прикрывать задвижки скважин, эксплуатируя их зачастую на I/3 заданных параметров, вследствие чего на столько же снижается дренирующее действие скважины.

Будучи самым мощным и экономически выгодным средством дренирования, при соответствующих геологических условиях, скважина вертикального дренажа, как дорогостоящее гидротехническое сооружение, должна строиться с соблюдением всех технологических процессов. Отсутствие же классифицированных фильтров для каждого дренируемого скважиной водоносного слоя является одним из самых уязвимых мест при строительстве дренажа.



Интегральные кривые гранулометрического состава песков, распространенных в зоне установки фильтровых каркасов: I - пылеватые; 2 - мелкозернистые; 3 - среднезернистые; 4 - крупнозернистые

Рекомендуемые границы фракционного состава фильтровой обсыпки для вертикального и комбинированного дренажа по зонам песков: I - пылеватых, II - мелкозернистых, III - среднезернистых, IУ - крупнозернистых

В настоящее время наука и производство объединили свои усилия для промышленного выпуска классифицированных гравийных фильтров.

САНИИРИ на основании послойного пересчета водоносных песков

Фракционный состав фильтров гравийно-песчаных классифицированных

Марка фильтра	Содержание фракций (%) при их размере							
	от 30 до 20 мм	от 20 до 10 мм	от 10 до 7 мм	от 7 до 5 мм	от 5 до 3 мм	от 3 до 1 мм	от 1 до 0,5мм	от 0,5 до 0,1мм
Об I ВКПФ	-	-	-	15-30	25-40	35-40	5-10	5-7
Об 2 ВКМФ	-	-	15-30	15-30	20-25	25-30	5-10	-
Об 3 ВКСФ	-	10-25	20-30	10-15	20-25	20-25	3-5	-
Об 4 ВККФ	10-20	20-25	15-20	10-15	15-20	20-25	3-5	-

Примечание: Об I ВКПФ - обогащенная смесь № I, вертикальный и комбинированный дренаж, пылеватый песок, фильтровая обсыпка; Об 2 ВКМФ - обогащенная смесь № 2, вертикальный и комбинированный дренаж, мелкозернистый песок, фильтровая обсыпка; Об 3 ВКСФ - обогащенная смесь № 3, вертикальный и комбинированный дренаж, среднезернистый песок, фильтровая обсыпка; Об 4 ВККФ -обогащенная смесь № 4, вертикальный и комбинированный дренаж, крупнозернистый песок, фильтровая обсыпка.

и прослоек в зоне установки фильтрового каркаса скважин были определены границы фракционного состава фильтровой обсыпки.

В лабораторных условиях на высоконапорных моделях проверены характерные пески - от пылеватых до крупнозернистых - с рекомендуемыми для них составами фильтровых обсыпок при максимальном давлении на пласт до 5...6 атм; минимальная толщина обсыпки в моделях, выдерживающая заданный режим, составила 15 см. Результаты проверки отражены на рисунке.

Выполненные исследования позволили рекомендовать производство фильтров гравийно-песчаных классифицированных в пределах, указанных в приводимой таблице.

В разрабатываемых САНИИРИ технических условиях "Фильтры гравийно-песчаные классифицированные", помимо указанного зерногого состава к гравийным фильтрам, предъявляются требования к прочности, морозостойкости, процентному содержанию слабых и лещадных частиц, форме зерен, петрографической характеристике.

Для производства гравийных фильтров в план Узводпромпроекта включены проектные и конструкторские работы по созданию нестандартных сортировочных установок при гравиесортировочных заводах.

Достаточно сложными в производстве фракций является разделение самых мелких частиц гравийного фильтра от 3 до 0,1 мм. Для этого будут применяться разработанные Уральским политехническим институтом (д.т.н. М.Д.Берский) и используемые в других областях промышленности пневматические классификаторы.

Проектировщикам, конструкторам и строительно-монтажным подразделениям предстоит решить сложные вопросы сушки мелких фракций на специальных установках или их последующего разделения и дозирования обогащенной продукции, разработки пылеулавливающих установок, а также методов упаковки и маркирования смеси, чтобы избежать смешения выпущенной продукции.

В дальнейшем перед исследователями будут поставлены задачи проектирования фильтровой смеси для каждой конкретной скважины и расчета фильтров для неоднородных песков и слоистых систем.

Предварительно составленное "Технико-экономическое обоснование выпуска фильтров гравийно-песчаных классифицированных" с учетом того, что в системе Главсредазирсовхозстроя и Минводхоза Узбекистана до 2000 г. намечается строительство 2400 скважин вертикального дренажа, 7930 скважин на воду и около 30000 скважин-усилителей, а также перебуривание вышедших из строя скважин,

позволяет определить суммарный экономический эффект более 3 млн.руб. в год.

Использованная литература

I. Калинин В.В., Калюжная Н.И. О подборе фракционного состава фильтровой обсыпки для скважин вертикального дренажа.-Науч. тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент,I983. Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем, с.I23-I33.

2. Минводхоз СССР. Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования. ВСН 33-2.2.03-86. Введен в действие с 0I января I987 . - М.,I986.-I54 с.

РЕФЕРАТЫ

УДК 626.862.4:532.5.00I.2

Фильтрационный расчет горизонтального дренажа в неоднородно-слоистых грунтах с учетом рельефа местности. Гольцов Ю.Я.- Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Предложен метод расчета горизонтального дренажа при неоднородно-слоистом строении дренируемой толщи в условиях расчлененного рельефа местности на основе аналитического решения задачи фильтрации в гидродинамической постановке. Результаты расчетов, проведенные на ЕС ЭВМ, отражают гидродинамическую роль слабо- и хорошопроницаемых прослоев. Отмечается различие в поведении слабопроницаемого прослоя в зависимости от его коэффициента фильтрации, расположения, мощности и режима фильтрации.

Иллюстраций 4, библиографий 7.

УДК 626.862.7 (575.I92)

Оценка мелиоративной эффективности работы систематического дренажа на площади I очереди орошения земель Каршинской степи. Жуманов Б.Ж. - Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

В статье на основе анализа работы систематического дренажа оценено дренажное действие коллекторов и скважин-усилителей; выявлена излишняя мощность построенного и проектируемого дренажа и установлены основные факторы, приводящие к излишней мощности дренажа; предложена оптимальная схема расположения закрытого горизонтального дренажа.

Рекомендована в условиях аллювиальных равнин замена закрытых горизонтальных дрен скважинами-усилителями, доказано прои-

муществo скважин-усилителей по сравнению с закрытыми дренами и подсчитана возможная экономическая эффективность от такой замены.

Таблиц 4, иллюстраций 8, библиографий 2.

УДК 626.862:556.36 (575.I72)

Рекомендации по дренажу земель Кыркызского массива ККАССР. Нейман Б.Я. - Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент,I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Орошение земель Кыркызского бесточного массива в дельте Амударьи, начатое в I974 г., осуществляется при необеспеченном дренаже и без отвода дренажно-сбросных вод за его пределы. В результате соленые грунтовые воды поднялись к поверхности земли, интенсивно развивается засоление и заболачивание почвогрунтов.

На основе анализа современных мелиоративно-гидрогеологических условий и гидрогеологической природы массива разработаны рекомендации по дренажу земель, способному обеспечить, по мнению автора, устойчивое мелиоративное благополучие орошаемых территорий при наименьших затратах времени и средств. Приведены расчетные параметры предлагаемой системы дренажа для всех существующих и строящихся совхозов.

Таблиц 4, иллюстраций 3.

УДК 626.8:658.0I2.I22

Математические модели оптимизации развития орошения в границах речного бассейна. Серебренников Ф.В. - Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Приводится экономико-математическая модель развития орошения в границах речного бассейна с учетом ресурсных ограничений. Модель ориентирована на решение вопросов, связанных с обоснованием объемов и очередности проведения водохозяйственных работ по реконструкции существующих оросительных систем и ввода новых земель под орошение. В рамках предложенной модели возможно

рассмотрение ряда частных случаев, например, развитие орошения в границах одной оросительной системы и т.д. Дается обоснование использования метода ветвей и границ для поиска оптимальных решений.

Иллюстраций I, библиографий 2.

УДК 63I.4I2

Расчет основной гидрофизической характеристики почв Каршинской степи по данным гранулометрического анализа. Зейлигер А.М., Морозов А.Н. - Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

На основе предложенной модели строения порового пространства бесструктурной почвы разработан способ расчета основной гидрофизической характеристики с использованием данных гранулометрического анализа.

Для расчета применяются экспериментальные основные гидрофизические характеристики фракций гранулометрического состава почв. Сопоставление экспериментальных и рассчитанных основных гидрофизических характеристик, проведенное для ряда почв Каршинской степи, дало удовлетворительный результат.

Таблиц 2, иллюстраций 2, библиографий I2.

УДК 626.842:62I.646.3

Затвор-регулятор для малонапорных оросительных систем из труб большого диаметра. Архангельский В.К., Попов В.С. - Науч. тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Рассматриваются достоинства и недостатки затвора и требования к запорно-регулирующей арматуре ЗОС. Описана конструкция рекомендуемого облегченного затвора-регулятора, выполнены геометрический расчет и построение переходных патрубков с квадратом и кругом в основаниях, даются соображения по конструированию и расчету осевой силы винта.

Предлагаемая конструкция обеспечивает: плавность подвода и отвода потока к запирающему устройству, достаточную прочность, простоту изготовления и возможность регулирования подаваемого расхода, небольшие тяговые усилия для управления запорным устройством, что дает возможность ручного управления даже при диаметре условного прохода трубопровода до I600 мм, значительное снижение металлоемкости, доступность для осмотра и ремонта.

Иллюстраций 3.

УДК 626.842:62I.646.97

Защита трубчатых водоводов закрытых оросительных систем от засорения и заиления. Попов В.С., Закутский В.П., Саушкина Т.Я.- Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент,I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ).

На основании натурных обследований закрытых оросительных систем (ЗОС) в Джизакской и Каршинской степях и лабораторных исследований рекомендуются мероприятия по защите трубопроводов от заиления и засорения. Приводятся формулы и границы их применимости для определения уклона (скорости), обеспечивающего незаиляемость работающего трубопровода и его самопромывку, даны вспомогательные графики и пример расчета промывного расхода и времени промывки. Рекомендованы: конструкция мусорозащитной решетки на лотке и способы ее очистки, конструкция донного косорасположенного порога на канале перед водозабором в трубопровод для защиты от донных наносов.

Иллюстраций 5, библиографий 7.

УДК 627.833

О проектировании и эксплуатации винтовых электроподъемников затворов автоматизируемых гидротехнических сооружений. Мансуров А.Р., Нагаев Р.И. - Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент,I987. - Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Освещаются результаты многолетних исследований, разработки, освоения промышленного производства и эксплуатации винтовых электроподъемников затворов гидротехнических сооружений совместно с аппаратурой их автоматизации. Приводятся рекомендации по разработке, проектной привязке, внедрению и эксплуатации типовых винтовых электроподъемников с учетом особенностей гидротехнических сооружений и методов их автоматизации.

Таблиц I, библиографий I3.

УДК 5I9.688:626.I-5I9

Алгоритмизация динамики процессов автоматизированной водоподачи в открытых каналах. Тюменев Р.М. - Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

В работе приведены уравнения, составленные по методу передаточных функций, и их преобразование для расчета на ЭВМ динамики переходных процессов в открытых каналах с автоматизацией водоподачи. Даны алгоритмы моделирования объекта и трех основных типов автоматических регуляторов дискретного действия. Алгоритмы применены в Средазгипроводхлопке для расчета и обоснования проектных решений ряда магистральных и межхозяйственных оросительных каналов.

Иллюстраций 2, библиографий 3.

УДК 626.I-5I9:5I9.688

Анализ функционирования и оптимизация режима системы автоматического регулирования баланса расходов в оросительных каналах. Тюменев Р.М. - Науч.тр. "Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация-САНИИРИ.)

Решается проблема автоматизации управления технологическими процессами транспортирования и распределения воды в магистральных и межхозяйственных оросительных каналах. Для длинных участков канала обоснован способ автономного регулирования баланса расходов по уровню н.б. в конце участка, позволяющий на всех участках достичь высокой оперативности управления балансом рас-

ходов по каналу, повысить точность водораспределения, уменьшить амплитуду отклонения уровня в нестационарных процессах при управлении, сократить непроизводительные потери воды, избежать горизонтальности дамб, исключить необходимость завышенных расходов воды, уменьшить возможные снижения уровня ниже допустимых отметок, обусловленных высотной привязкой порогов водовыпусков. Для достижения максимальной эффективности управления расходом разработан алгоритм оптимизации режима работы системы регулирования, реализованный в виде программы ЭВМ. В результате получена высокая устойчивость и эффективность функционирования системы управления на большой протяженности участка канала (20 км) и значительном изменении расхода (-30%). Для практической реализации системы разработан регулятор "Янгиер-5", надежность и качество которого подтверждены в эксплуатации на действующих каналах.

Иллюстраций 4, библиографий 3.

УДК 626.8I.003.I3

Принцип экономической оценки эффективности использования водных ресурсов на ирригацию. Трунова Т.А. - Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Проанализирован принцип оценки эффективности использования водных ресурсов, применяемый в настоящее время. Указано на необходимость его уточнения. Предложен способ оценки, более полно учитывающий хозяйственную деятельность водопотребителей. При этом предлагается условно привести величину оросительных норм к одинаковым почвенно-климатическим показателям, что позволяет сравнивать эффективность использования воды при прочих одинаковых условиях.

Таблиц I.

УДК 63I.675:626.8

О расчете водопотребления сельскохозяйственных культур при проектировании гидромелиоративных систем. Трунова Т.А. - Науч. тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Дан анализ существующего принципа расчета водопотребления и оросительных норм, разработанного институтом "Средазгипроводхлопок", а также принципа, рекомендуемого САНИИРИ (Ю.Х.Рысбеков) и кардинально отличающегося от общепринятого.

Названные показатели являются основой расчета параметров проектируемых гидромелиоративных систем. От правильности их определения зависит режим водоподачи и водоотведения, а в конечном итоге и урожайность сельскохозяйственных культур, поэтому разногласия по данному вопросу носят принципиальный характер.

В результате выполненного научно обоснованного анализа методов расчета сделан вывод о правильности принимаемых проектных решений института "Средазгипроводхлопок".

Иллюстраций 2, библиографий 7.

УДК 63I.6I

Пути улучшения почвенно-мелиоративного состояния освоенных целинных земель Голодной и Джизакской степей. Масленников В.В.- Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Рассматривается мелиоративное состояние новых освоенных земель совхозов Мехнатабадского и Акалтынского районов Сырдарьинской области и Зарбдарского района Джизакской области до и после орошения и влияние его на урожайность хлопчатника. Установлено, что на большей части площади обследованных районов мелиоративное состояние земель после орошения осталось неудовлетворительным, в связи с чем получают низкие урожаи хлопчатника. Рекомендован комплекс мероприятий по улучшению мелиоративной обстановки.

Таблиц 6.

УДК 63I.432:63I.445.5

Особенности водного режима типичных сероземов Джизакской степи в период их освоения. Муксимов Р.А. - Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация-САНИИРИ.)

Рассмотрены вопросы изменения водного режима типичных сероземов в связи с планировкой их поверхности.

На основании результатов проведенных исследований выявлены изменения водно-физических свойств почв, в частности величина диапазона доступной влаги (ДДВ) карбонатных горизонтов оказалась в два раза меньше ДДВ их верхних горизонтов. При этом урожайность хлопчатника на обнаженных планировкой карбонатных горизонтах была в пять раз ниже, чем на верхних, не тронутых планировкой. Проведение поливов с учетом изменения водного режима почв способствует увеличению урожайности с планированных площадок, но затраты на увеличение поливов не компенсируются выходом продукции.

Расчеты экономической эффективности показали, что вариант освоения данных земель с сокращением плодородного слоя, предусматривающий бóльшие капитальные вложения при планировках, характеризуется меньшими затратами при орошении и является экономически более предпочтительным.

Таблиц 4, библиографий 6.

УДК 624.I3I.I.23.

Прогноз просадки лессовых грунтов в условиях неполного водонасыщения при ирригационном освоении целинных земель Каршинской степи. Жуманов Б.Ж. - Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Рассмотрены методики расчета величины просадочных деформаций по результатам компрессионных испытаний лессовых грунтов при полном водонасыщении и заданной влажности; оценена достоверность прогнозов просадки, составленных различными методами для различных условий. Выяснены причины несоответствия прогнозов просадки, выполненных для условий полного водонасыщения, фактически наблюдаемым на орошаемых территориях.

Предложен метод расчета просадочных деформаций по компрессионным испытаниям при неполном водонасыщении, фактически наблюдаемом на орошаемых территориях лессовых массивов, который позволит правильно выбирать технологию строительства ирригационной сети на просадочных грунтах.

Таблиц 3, иллюстраций 3, библиографий 5.

УДК 626.862.4:532.5.00I.2

Метод фильтрационного расчета элементов коллекторно-дренажной сети на основе пространственной гидродинамической модели фильтрации. Гольцов Ю.Я. - Науч.тр. Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Предложена трехмерная математическая модель фильтрации грунтовых вод в гидродинамической постановке, позволяющая рассмотреть работу дренажных устройств, расположенных внутри ограниченной области фильтрации. Получены аналитические зависимости для напора грунтовых вод в слоях. Приведен пример расчета холостой части устьевого сооружения горизонтальной дрены и изменения расхода по ее длине при совместном действии коллектора и дрены.

Иллюстраций 2, библиографий 8.

УДК 624.I3I.2I:626.862.4

Маркированные фильтры для вертикального и комбинированного дренажа. Калинин В.В., Калюжная Н.И. - Науч.тр.Ин-т "Средазгипроводхлопок", Ташкент, I987. Прогрессивные технические решения и обоснования при проектировании гидромелиоративных систем. (Издающая организация - САНИИРИ.)

Для повышения производительности скважин вертикального дренажа и их долговременной надежной эксплуатации на основе анализа работы прифильтровой зоны скважин и многочисленных экспериментов на высоконапорных моделях в САНИИРИ рекомендованы четыре вида фильтров гравийно-песчаных классифицированных (Об I ВКПФ, Об2 ВКМВ, Об3 ВКСФ, Об4 ВККФ), т.е. обогащенные смеси для защиты от выноса в ствол скважин пылеватых, средне- и крупнозернистых песков. Первые опыты изготовления классифицированных фильтров проведены на Куйганярском гравиесортировочном заводе. Типовой проект промышленной линии будет разрабатываться институтом "Узводпромпроект". Экономическая эффективность применения фильтров заводского изготовления при строительстве скважин в УзССР по предварительным расчетам составляет более 3 млн.руб. в год.

Таблиц I, иллюстраций I, библиографий 2.

СОДЕРЖАНИЕ

Гольцов Ю.Я. Фильтрационный расчет горизонтального дренажа в неоднородно-слоистых грунтах с учетом рельефа местности 3

Жуманов Б.Ж. Оценка мелиоративной эффективности работы систематического дренажа на площади I очереди орошения земель Каршинской степи I6

Нейман Б.Я. Рекомендации по дренажу земель Кыркызского массива ККАССР 3I

Серебренников Ф.В. Математические модели оптимизации развития орошения в границах речного бассейна 4I

Зейлигер А.М., Морозов А.Н. Расчет основной гидрофизической характеристики почв Каршинской степи по данным гранулометрического анализа 60

Архангельский В.К., Попов В.С. Затвор-регулятор для малонапорных оросительных систем из труб большого диаметра 69

Попов В.С., Закутский В.П., Саушкина Т.Я. Защита трубчатых водоводов закрытых оросительных систем от засорения и заиления 77

Мансуров А.Р., Нагаев Р.И. О проектировании и эксплуатации винтовых электроподъемников затворов автоматизируемых гидротехнических сооружений 89

Тюменев Р.М. Алгоритмизация динамики процессов автоматизированной водоподачи в открытых каналах I00

Тюменев Р.М. Анализ функционирования и оптимизация режима системы автоматического регулирования баланса расходов в оросительных каналах II0

Трунова Т.А. Принцип экономической оценки эффективности использования водных ресурсов на ирригацию I30

Трунова Т.А. О расчете водопотребления сельскохозяйственных культур при проектировании гидромелиоративных систем I34

Масленников В.В. Пути улучшения почвенно-мелиоративного состояния освоенных целинных земель Голодной и Джизакской степей I38

Муксимов Р.А. Особенности водного режима типичных сероземов Джизакской степи в период их освоения I53

Жуманов Б.Ж. Прогноз просадки лессовых грунтов в условиях неполного водонасыщения при ирригационном освоении целинных земель Каршинской степи I59

Гольцов Ю.Я. Метод фильтрационного расчета элементов коллекторно-дренажной сети на основе пространственной гидродинамической модели фильтрации I7I

Калинин В.В., Калюжная Н.И. Маркированные фильтры для вертикального и комбинированного дренажа I80

Рефераты I85

Сводный план, 1987, поз. 15

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Сборник научных трудов

Редактор Е.Н.Макушенко

Р - 18302. Подписано в печать 25.XII.1987 г. Формат бумаги 60x90 1/16. Усл.-п.л. 98 Уч.-изд.л. 10. Тираж 400. Заказ 1008 . Цена 85.

Картфабрика института "Узгипрозем", Ташкент, Мукими, 182