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

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ В ПРОЕКТАХ ОРОШЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ КРУПНЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ МАССИВОВ

Сборник научных трудов

Ташкент — 1984

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

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ В ПРОЕКТАХ ОРОШЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ КРУПНЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ МАССИВОВ

Сборник научных трудов

Ташкент — 1984

Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. Сборник научных трудов.- Ташкент, Средазгипроводхлопок, 1984, с. 178.

В сборнике рассматриваются вопросы освоения и окультуривания различных почв аридной зоны при орошении, динамики минерализации грунтовых вод и дренажного стока при промывном режиме орошения, формирования и использования возвратного стока, описываются рациональные конструкции гидросооружений и их элементов, а также некоторые вопросы проектирования при строительстве каналов методом взрыва.

Результаты проектных проработок и исследований, помещенных в сборнике, представляют интерес для специалистов сельского и водного хозяйства.

Редакционная коллегия

В.А.Духовный (отв.редактор,САНИИРИ), Ф.Я.Эйнгорн (зам.редактора, Средазгипроводхлопок), Т.И.Дерлятка, А.А.Кадыров (зам.редактора, САНИИРИ), А.М.Мухамедов, М.П.Мухтаров, А.Г.Пулатов, У.Ю.Пулатов, А.У.Усманов, Х.И.Якубов (зам.редактора, САНИИРИ)

Редакционный совет

Н.М.Алавиев, И.Л.Калинин, Е.Н.Макушенко, Ф.Ш.Мухамеджанов, Б.Я.Нейман, Э.Л.Окулич-Козарин, Г.В.Реслер (ответственный за выпуск), Н.М.Солохин, Ф.Я.Эйнгорн, Л.В.Эйштейн

© Институт "Средазгипроводхлопок", 1984

УДК 556.324+626.862:556.16

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

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ДРЕНАЖНЫХ УСТРОЙСТВ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

В последние годы в связи с завершением орошения и освоения равнинных целинных массивов Средней Азии приступили к орошению и освоению возвышенных и предгорных зон. Новые требования в этих условиях предъявляются и к проектированию дренажа, в частности горизонтального, когда при недостаточной общей естественной дренированности территории наблюдается локальная дренированность отдельных ее участков за счет местных понижений, логов и т.п. Весьма существенно, что последняя может быть значительно усилена коллекторами, размещенными в пониженных участках рельефа. Учет этого обстоятельства позволяет, с одной стороны, обоснованно сократить удельную протяженность горизонтального дренажа и тем самым снизить капитальные затраты на его строительство, а с другой,- разместить дренаж наилучшим образом с точки зрения обеспечения проектных глубин залегания УГВ и, следовательно, формирования устойчивого благоприятного мелиоративного состояния орошаемых земель.

Расчет закрытого горизонтального дренажа с учетом рельефа местности, предложенный в работах [1] и [2], использует гидродинамическую модель фильтрации грунтовых вод [3]. При этом вся расчетная область фильтрации рассматривается как единое целое, учитываются несовершенство дренажных устройств по степени вскрытия

и переменный характер инфильтрационного питания. Методика расчета, изложенная в двух первых публикациях, позволяет по заданной нагрузке и с учетом разных высотных отметок дренажных устройств, обусловленных глубиной их заложения и рельефом орошаемого массива, определять необходимое количество дрен, их местоположение и, следовательно, междренные расстояния (B), границы влияния открытых коллекторов, расходы отдельных дрен и коллекторов (q) при условии поддержания уровня грунтовых вод на проектных отметках.

В [4] было отмечено, что на орошаемом массиве в случае заложения дрен на разной глубине, как и при наличии логов и местных понижений, некоторые дрены в определенные промежутки времени, например в межвегетационный период, могут оказаться над уровнем грунтовых вод и не функционировать. При поливах с подъемом грунтовых вод дренажные устройства включаются в работу. Учет и прогнозирование отмеченной неравномерности в работе дрен важны при обосновании отводимых ими объемов стока на отдельные отрезки времени, так как знание его объемов необходимо при проектировании конструкций дренажных устройств (прежде всего в гидравлическом расчете).

В данной статье на основе решений фильтрационных задач, полученных в [3] и [4], рассматриваются вопросы составления прогнозов динамики работы дренажа на заданный период (год, вегетация и т.п.) с учетом рельефа орошаемого массива. Тем самым создается дополнительная возможность проверить и в случае необходимости подкорректировать предусмотренное размещение дренажных устройств.

Согласно [4] критерием функционирования i -той дрены на произвольный момент времени $t_j \in [0, T]$ (T- продолжительность расчетного периода) является выполнение условия

$$h_i(x_i, t_j) > z_i, \qquad i = \overline{1, N}, \qquad (I)$$

где h_i - уровень грунтовых вод над i -той дреной (точечный сток), положение которой определяется высотной отметкой z_i и горизонтальной координатой x_i , N - число дрен.

Если для i -той дрены на момент времени $t_j \in [0,T]$ условие (I) не выполняется (дрена не функционирует), а на $t_{j+1} \in [0,T], t_j < t_{j+1}$ выполняется (дрена функционирует), то методом последовательных приближений на отрезке $[t_j, t_{j+1}]$ с заданной точностью можно

установить время включения этой дрены с помощью условия ($1 \gg \varepsilon > 0$)

$$|h_i - z_i| < \varepsilon. \qquad (2)$$

Аналогично находится время выключения дрен.

С целью реализации предлагаемого метода прогнозных расчетов динамики работы дренажных устройств с учетом рельефа орошаемого массива составлена программа для ЭВМ ЕС-1033 в системе ОС. Проиллюстрируем возможности рекомендуемого метода на следующем примере.

На рис. I представлен профиль, где в соответствии с [2] и с учетом рельефа местности размещены дрены. Границами профиля являются естественные понижения (лога), в которых запроектированы открытые коллекторы глубиной заложения 4,5 м, шириной по дну I м и глубиной наполнения 0,5 м.

По гидрогеологическим условиям расчетная фильтрационная схема - двухслойный пласт. Коэффициент фильтрации верхнего слоя $k^{(1)}$ =0,25 м/сут, коэффициент фильтрации и мощность нижнего соответственно равны $k^{(2)}$ =10 м/сут и m_2 =5 м. Глубина заложения закрытых дрен 3,25 м, проектная глубина залегания уровня грунтовых вод 2,6 м. Коэффициент водоотдачи μ =0,I. Интенсивность инфильтрационного питания (W) - расчетная при размещении дрен по профилю - равна 0,00I м/сут.

Данная нагрузка соответствует случаю, когда рассматриваемый профиль расположен в почвенно-климатической зоне Ц-П-В почвенно-мелиоративной области "в" Ш гидромодульного района (по механическому составу). Оросительная норма равна 6500 м^3/га (нетто), суммарное испарение за вычетом осадков составило 5440 м^3/га. В качестве расчетного взят вегетационный период с 22 мая по I2 сентября, в течение которого проведено четыре полива. Нисходящие и восходящие скорости движения влаги в зоне аэрации за этот промежуток времени представлены в табл. I и на рис. 2 в привязке к выделенным элементарным периодам.

Начальное положение уровня грунтовых вод (h_{e_i}) относительно поверхности земли на 22 мая приведено в табл. 2.

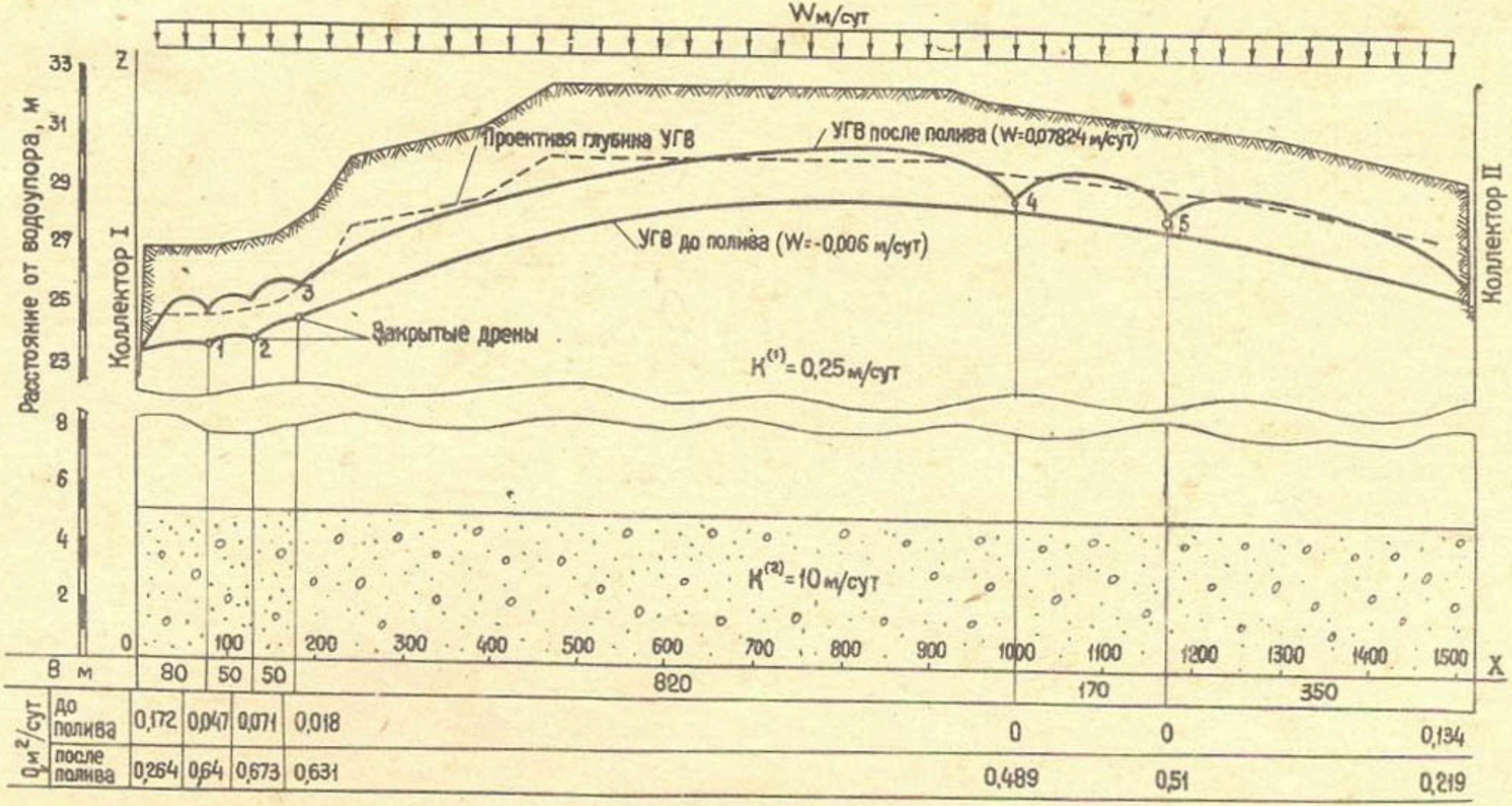


Рис. I. Расходы дренажных устройств и положение УГВ до и после полива (четвертый вегетационный полив)

Таблица I

Продолжительность элементарного периода			Интенсивность инфильтрационного питания или испарения, м/сут
22 мая	-	23 мая	0,07824
24 мая	-	25 июня	-0,00384
26 июня	-	27 июня	0,07824
28 июня	-	25 июля	-0,00576
26 июля	-	27 июля	0,08904
28 июля	-	24 августа	-0,006
25 августа	-	26 августа	0,07824
27 августа	-	I2 сентября	-0,00456

Таблица 2

x м	h_{e_i} м	x м	h_{e_i} м	x м	h_{e_i} м	x м	h_{e_i} м
0	3,59	I40	2,89	600	3,07	II00	2,73
20	3,I7	I60	2,8I	700	2,77	II60	2,96
40	3,05	I80	3,I	800	2,79	II70	3,22
60	3,0I	200	3,05	900	2,94	II80	2,95
80	3,I2	240	4,03	960	2,82	I200	2,83
I00	2,84	280	4,I2	980	2,84	I300	2,8
I20	2,93	400	3,72	I000	3,24	I400	2,79
I30	3,07	500	3,65	I020	2,85	I520	2,97

Отметим, что к началу расчета все дрены работают.

В результате расчетов на ЭВМ на конец каждого элементарного периода получены значения УГВ, расходов коллекторов и дрен.

На рис. 2 представлена динамика расхода и стока по дренам 1 и 4, расположенным в наиболее характерных точках расчетного профиля - в приколлекторной зоне и на водоразделе, а также по коллектору I (односторонний приток).

Анализ полученных результатов позволяет прийти к заключению, что закрытые дрены рядом с коллектором I работают с большей на-

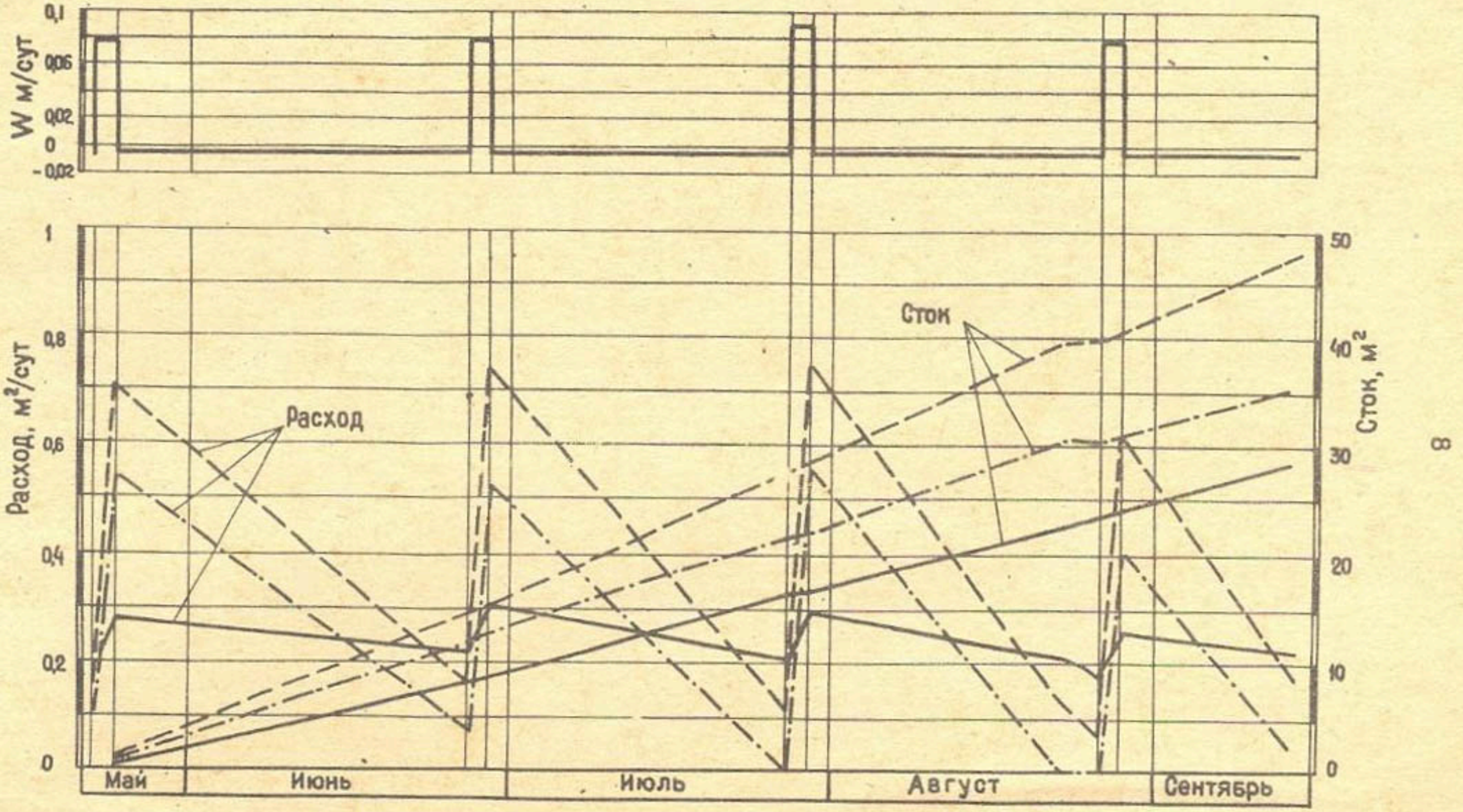


Рис. 2. Динамика работы дренажных устройств в период вегетации
(_ коллектор ,- - - дрена1, - . - . - дрена 4)

грузкой в период проведения поливов, чем упомянутый коллектор, когда значения притока к закрытым дренам в 2,3-2,5 раза выше одностороннего притока в коллектор. Эти результаты заставляют обратить особое внимание на необходимость обеспечения соответствующей водоприемной способности закрытых дрен путем выбора и обоснования конструктивных элементов (размер и водопроницаемость фильтра, диаметр и водоприемная способность трубчатой линии).

Следует отметить определенные различия в динамике притока грунтовых вод в дрены в зависимости от их удаленности от коллектора.

На рис. I показано положение УГВ на определенный момент времени вегетационного полива - до и после четвертого полива (26-28 августа). Видно, что часть дрен к началу полива не работает, а сразу после полива УГВ поднимается до двух метров от поверхности земли. Выполненные расчеты свидетельствуют, что в среднем за период вегетации УГВ находится на проектной отметке.

Таким образом, применение рекомендуемого метода позволяет получить на любой момент времени расчетного периода сведения о положении УГВ на орошаемом массиве и расходах дренажных устройств, а также прогнозировать объемы дренажного стока при заданной интенсивности инфильтрационного питания и расположении дрен по профилю с учетом рельефа местности. Кроме того, следует подчеркнуть, что получаемые результаты заставляют обратить особое внимание на необходимость обеспечения соответствующей водоприемной способности закрытых дрен при разном их высотном положении, связанном с глубиной заложения дрен и рельефом орошаемого массива.

Литература

I. Гольцов Ю.Я., Пылев Н.П., Серебренников Ф.В. Учет дренирующего действия расчлененного рельефа при расчете параметров горизонтального дренажа. - В кн.: Тезисы докл. респ. науч.-техн. конф. по проектир., стр-ву и эксплуатации закрытых дренажных систем в зоне орошения. Ташкент, I98I.

2. Гольцов Ю.Я., Пылев Н.П., Серебренников Ф.В. О методе расчета горизонтального дренажа с учетом рельефа местности и дренирующего действия коллекторов. (в печати)

3. Гольцов Ю.Я. К расчету неустановившейся фильтрации грунтовых вод со свободной поверхностью.- „Науч.тр.ТашГУ," вып. 590. Ташкент, 1979.

4. Гольцов Ю.Я. Расчет горизонтального дренажа различного уровня заложения.-„Тр. ТИИИМСХа," вып. 121. Ташкент, 1981.

УДК 556.324+626.862:556.16
Ю.Я.Гольцов, руковод.группы
(Средазгипроводхлопок)

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГРУНТОВЫХ ВОД И ДРЕНАЖНОГО СТОКА ПРИ ПРОМЫВНОМ РЕЖИМЕ ОРОШЕНИЯ

Известны различные подходы к методам прогнозирования минерализации грунтовых вод и дренажного стока. Выделим только два из них, основанных на математических моделях, описывающих движение грунтовых вод со свободной поверхностью и миграцию растворимых в них солей (диссоциированных ионов), причем предполагается независимость плотности и вязкости грунтовых вод от концентрации солей. Это позволяет автономно рассматривать гидродинамическую сторону вопроса. При первом подходе математическая модель в виде системы двумерных уравнений решается численно с использованием ЭВМ. Второй подход предполагает сначала решение каким-либо методом (численным, аналитическим, ЭГДА и т.д.) уравнения движения грунтовых вод с построением лент тока, - результат, имеющий самостоятельное значение, так как при этом определяется направление движения. Затем по каждой ленте тока рассматривается решение одномерного уравнения конвективной диффузии. В данной работе предлагается метод многолетнего прогноза минерализации грунтовых вод и дренажного стока при промывном режиме орошения, в основе которого лежит второй подход и полученная довольно простая зависимость для функции тока ψ .

I. Задача установившегося движения грунтовых вод к систематическому горизонтальному дренажу в однородном однослойном пласте конечной мощности m , подстилаемом водоупором, решается с помощью уравнения Лапласа для функции тока $\psi(x,z)$:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z}=0, \qquad (1)$$

где X и Z соответственно горизонтальная и вертикальная координаты. Выделим половину междренья (рис. I) и для удобства дре-

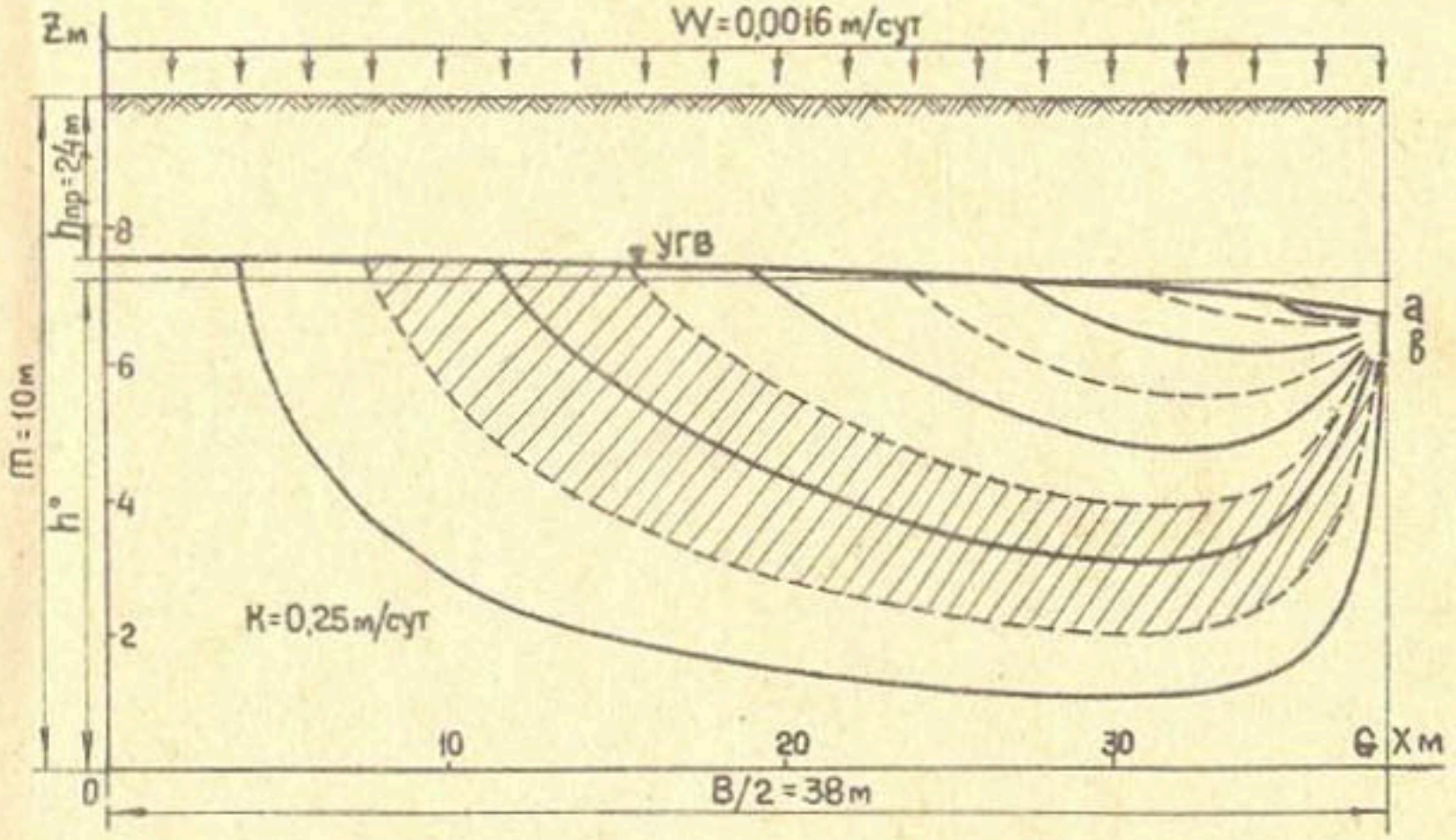


Рис. I. Ленты тока движения грунтовых вод к дрене:
///// - лента тока; линии тока: _ _ _ граничная, ____ осевая

нажную трубу заменим вертикальной щелью высотой d и шириной, стремящейся к нулю. Уравнение (I) рассмотрим при следующих граничных условиях:

$$\psi\big|_{x=0} = \psi\big|_{z=0} = \psi\Big|_{\substack{x=B/2 \\ 0\le z\le B}} = 0,$$

$$\psi\Big|_{\substack{x=B/2 \\ b\le z\le a}} = \frac{wB}{2}\,\frac{z-b}{a-b},\quad \psi\Big|_{\substack{x=B/2 \\ a\le z\le h^\circ}} = \frac{wB}{2},\quad \psi\big|_{z=h^\circ} = wx, \qquad (2)$$

где h° - некая осредненная прямая, на которую переносится влияние инфильтрационного питания постоянной интенсивности w :

$$h^\circ = a + \alpha_1(m - h_{пр} - a);\quad \alpha_1 = 0{,}5 \div 0{,}7;$$

$h_{пр}$ -проектная глубина залегания уровня грунтовых вод на междренье (x=0); B - междренное расстояние.

В подобной постановке задача рассматривалась в [I].

Замена свободной поверхности осредненной горизонтальной прямой h° обеспечивает достаточную точность вычисления основных фильтрационных характеристик потока грунтовых вод [2].

Применяя конечное интегральное преобразование [3] по координате z, несложно получить решение уравнения (I) при граничных

условиях (2), которое имеет вид

$$\Psi(x,z)=\frac{wxz}{h^\circ}+\frac{wB}{dh^\circ}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(z\omega_n)\cdot sh(x\omega_n)[\sin(a\omega_n)-\sin(B\omega_n)]}{\omega_n^2\, sh\left(\frac{B\omega_n}{2}\right)}, \quad (3)$$

где $\omega_n=\frac{\pi n}{h^\circ}$, $d=a-B$.

В случае точечного стока $B\to a\,(d\to 0)$ выражение (3) упрощается:

$$\Psi(x,z)=\frac{wxz}{h^\circ}+\frac{wB}{h^\circ}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(z\omega_n)\, sh(x\omega_n)\cos(a\omega_n)}{\omega_n\, sh\left(\frac{B\omega_n}{2}\right)}. \quad (4)$$

Используя известные условия Коши-Римана, найдем по (3) зависимость для напора грунтовых вод в любой точке области фильтрации рассматриваемой части междренья:

$$h(x,z)=C+\frac{w(z^2-x^2)}{2kh^\circ}-\frac{wB}{kdh^\circ}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\cos(z\omega_n)\,ch(x\omega_n)[\sin(a\omega_n-\sin(B\omega_n)]}{\omega_n^2\, sh\left[\frac{B\omega_n}{2}\right]}. \quad (5)$$

Константу C можно определить, например, задавая значение напора на контуре дрены; k - коэффициент фильтрации.

Принимая проектную глубину залегания уровня грунтовых вод $h_{пр}$ на междренье ($x=0, z=h^\circ$), получим зависимость, по которой осуществляется с помощью ЭВМ расчет междренного расстояния:

$$m-h_{пр}=C+\frac{wh^\circ}{2k}-\frac{wB}{kh^\circ d}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n[\sin(a\omega_n)-\sin(B\omega_n)]}{\omega_n^2\, sh\left[\frac{B\omega_n}{2}\right]}. \quad (6)$$

В случае точечного стока выражения (5) и (6) легко переписываются аналогично уравнению (4).

Приравнивая $h(x,z)$ и $\Psi(x,z)$ к постоянной величине, можно найти уравнение семейства линий равных напоров и уравнение семейства линий тока. Значение скоростей вдоль последних определяется по зависимости

$$V_s=\sqrt{V_x^2+V_z^2}, \quad (7)$$

где $V_x=\frac{\partial\Psi}{\partial z}$, $V_z=-\frac{\partial\Psi}{\partial x}$.

2. Процесс миграции солей (диссоциированных ионов) в грунтовых водах без учета их взаимодействия с твердой фазой по каждой ленте тока описывается одномерным уравнением конвективной

диффузии [4]:

$$m_o \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial S}\left(D(V_S)\frac{\partial C}{\partial S} - V_S C\right), \qquad (8)$$

где m_o - пористость; $C(S,t)$ - концентрация солей, г/л; $D(V_S)=D_o+\lambda V_s$ - коэффициент гидродинамической дисперсии, $м^2$/сут (D_o - коэффициент молекулярной диффузии, $м^2$/сут; λ - параметр гидродисперсии, м; V_S - скорость фильтрации грунтовых вод по ρ -той линии тока, определяемая из выражения (7), м/сут; S - криволинейная координата, направленная по оси ρ -той ленты тока в сторону движения воды, с началом на свободной поверхности; $0 \leqslant S \leqslant L_\rho$ - длина ρ -той линии тока, проходящей по оси ρ -той ленты тока; $\rho = \overline{1,P}$.

Начальное условие для (8) выражается уравнением $C(S,t)\big|_{t=0} = C^\circ(S)$. На свободной поверхности принимается условие, сформулированное в [5]:

$$D\frac{\partial C}{\partial S} = V_n(C - C_{инф}),$$

где $C_{инф}$ - концентрация инфильтрационных вод, поступающих на свободную поверхность грунтовых вод, г/л; V_n - величина инфильтрации на единицу длины свободной поверхности.

На контуре дрены принимается

$$\frac{\partial C}{\partial S} = 0.$$

Для решения уравнения (8) при указанных краевых условиях применена неявная разностная схема [6].

3. Основываясь на математических моделях движения грунтовых вод и миграции в них солей, рассмотренных выше, проведем количественную оценку минерализации грунтовых вод на междренье и дренажного стока при работе горизонтального систематического дренажа при промывном режиме орошения в однослойном пласте мощностью I0м. Коэффициент фильтрации суглинистого грунта k =0,25 м/сут; глубина заложения дрен $z_{др}=m-a$ =3,25м, d =0,5м, проектная глубина залегания уровня грунтовых вод на середине междренья (норма осушения) $h_{пр}$ =2,4 м, среднегодовое инфильтрационное питание W =0,00I6 м/сут. Другие исходные параметры: D_o =0,000I м/сут, λ =0,3Iм, m_o =0,4.

Междренное расстояние (B), найденное с помощью выражения (6),

при данных переметрах равно 76 м. $Q=\frac{BW}{2}$ - расход, поступающий в дрену с половины междренья, равен 0,0606 м/сут.

Построение лент тока равного расхода проводится следующим образом. Задается число лент тока P, которое определяет интервал $\Delta\varphi$ построения лент тока: $\Delta\varphi=\frac{Q}{2P}$. В нашем примере P=5. Линии тока (рис. I, пунктир) со значениями $2\rho\cdot\Delta\varphi$ (ρ=I,P-I) разделяют весь поток на заданные пять лент тока, по осям которых проходят линии тока со значениями (2p-I) $\Delta\varphi$, (p=I,P) (рис.I, сплошные линии). Каждая лента тока характеризуется осевой линией тока длиной L_ρ , значениями скоростей фильтрации вдоль последних и расходом воды $Q_\rho=\frac{Q}{P}$. В нашем примере Q_ρ =0,0I2I2 $\frac{м^2}{сут}$. Длины осевых линий тока приведены на рис.2. Здесь же представлены графики скоростей фильтрации по

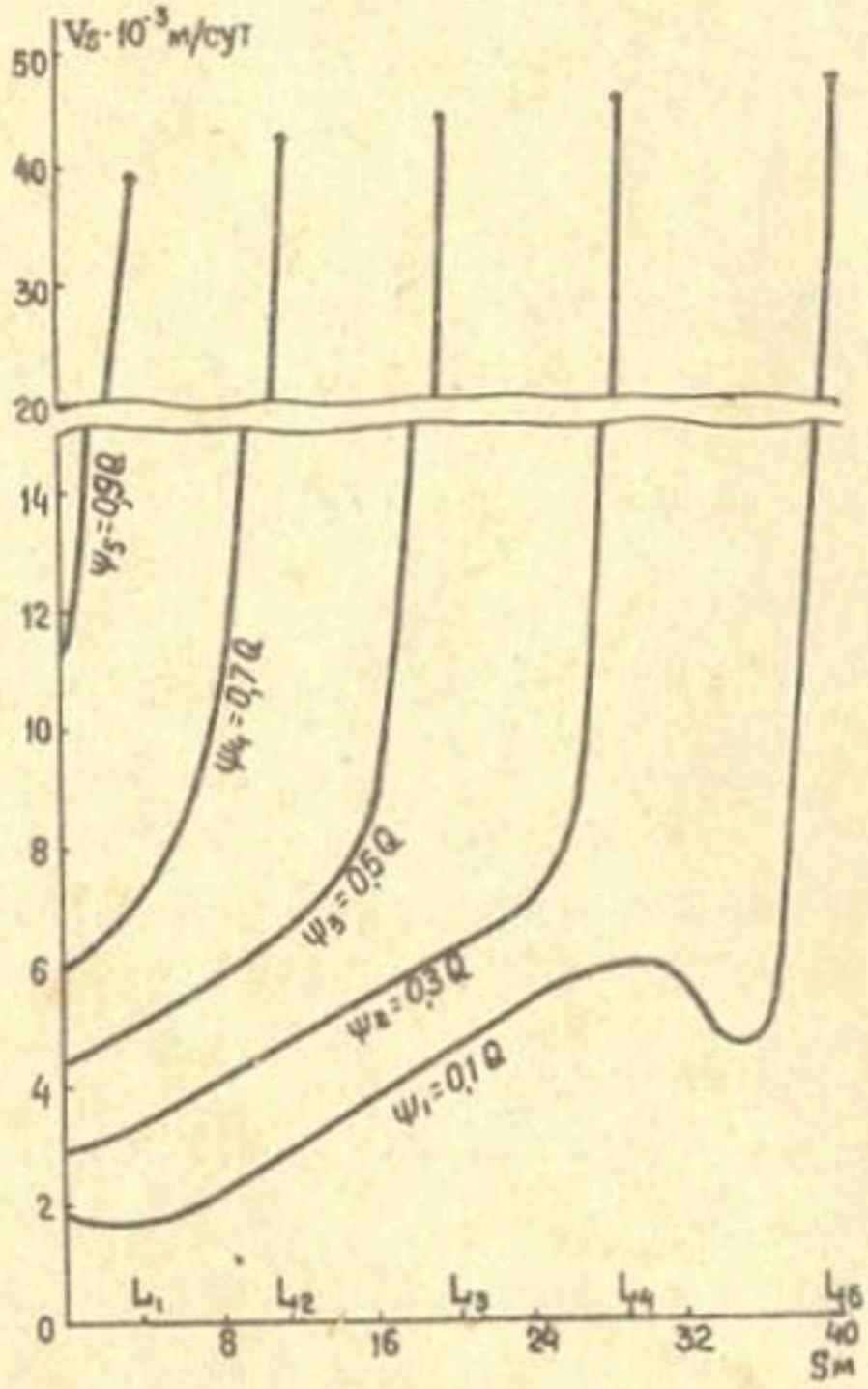


Рис.2. Значения скоростей фильтрации по осевым линиям тока

осевым линиям тока. Нарушение монотонности изменения скорости фильтрации по линии тока φ, =0,I Q объясняется расширением (при неизменности расхода) соответствующей ленты тока в зонах угловых точек 0 и G . Определив таким образом автономно основные фильтрационные характеристики потока грунтовых вод на междренье, проведем расчет минерализации грунтовых вод и продвижения фронта инфильтрирующей воды с концентрацией 5 г/л, принимая постоянной минерализацию грунтовых вод к началу расчета $C^{\circ}(S)$ =20 г/л. Результаты расчета продвижения фронта инфильтрирующей воды приведены на рис. 3. Полная замена грунтовых вод

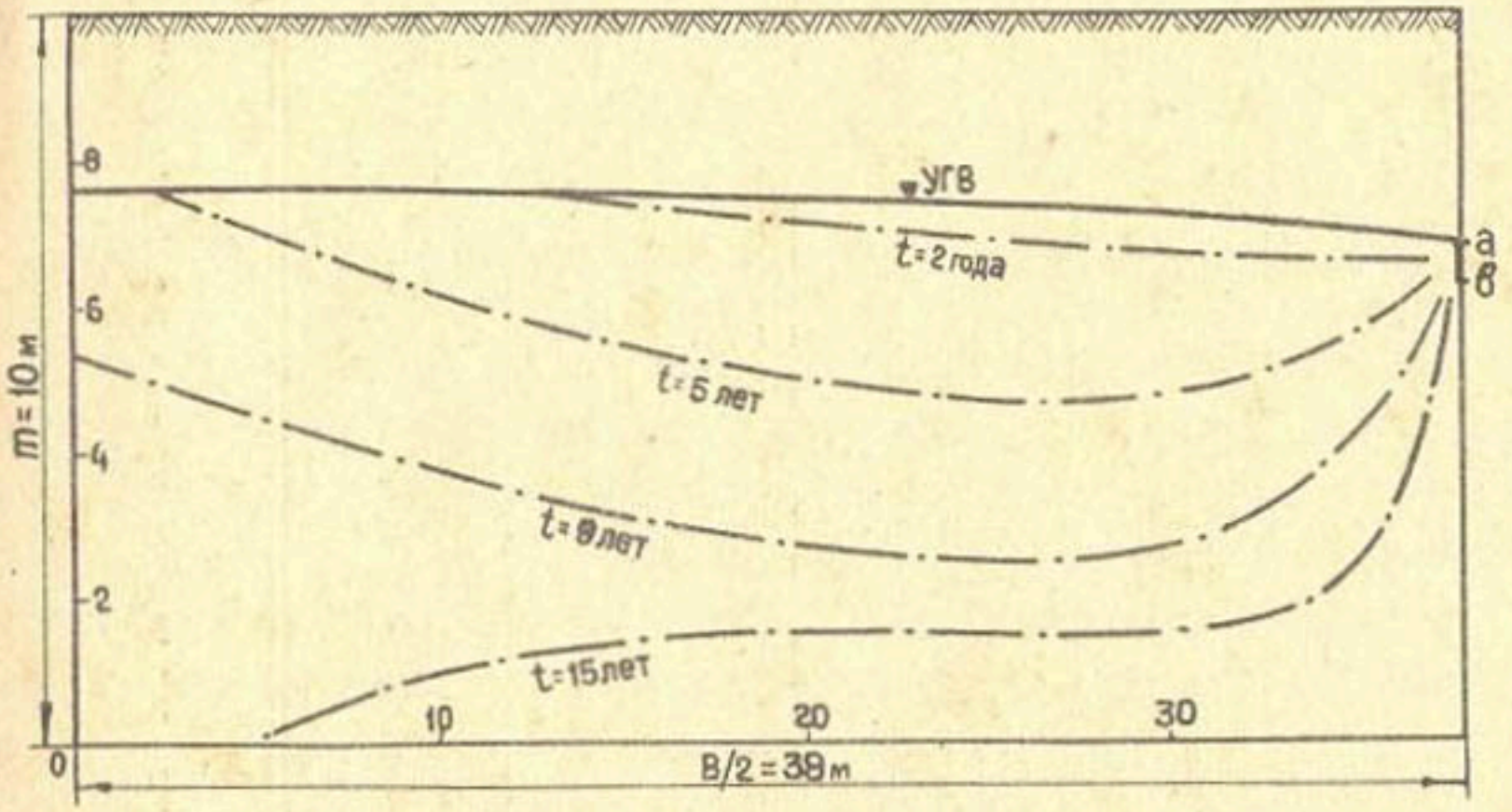


Рис. 3. Динамика продвижения фронта инфильтрирующей воды

инфильтрационными происходит за I8,55 лет. Расчет изменения минерализации дренажного стока выполняется по известной зависимости

$$C_{gp}(t)=\frac{\sum_{p=1}^{P} Q_p C_{p,gp}(t)}{Q}=\frac{\sum_{p=1}^{P} C_{p,gp}(t)}{P},$$

где $C_{p,gp}(t)$ – концентрация грунтовых вод на контуре дрены по р-той ленте тока в момент времени t (рис. 4).

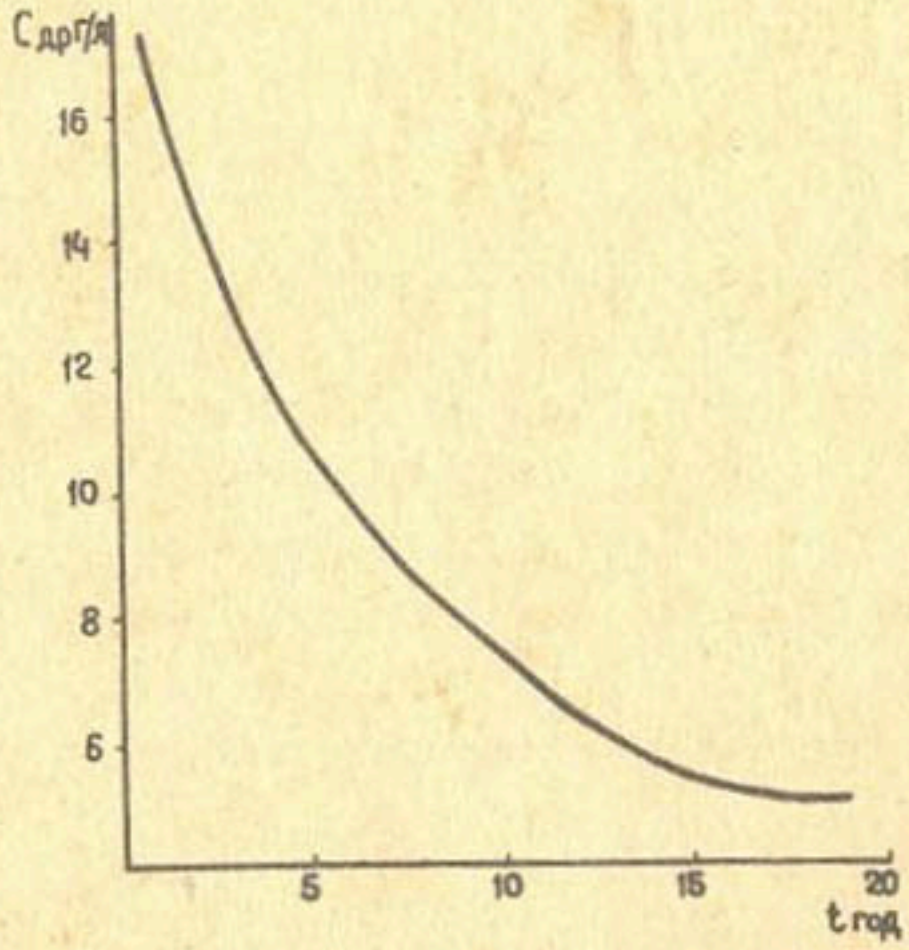


Рис. 4. Изменение минерализации дренажного стока

Все расчеты проведены на ЕС ЭВМ и позволяют получить информацию о движении грунтовых вод, а также на произвольный момент времени их минерализацию и минерализацию дренажного стока при промывном режиме орошения.

Предлагаемый метод дает возможность с достаточной степенью точности производить количественную оценку динамики минерализации грунтовых вод и дренажного стока, что существенно важно в практике проектирования мелиоративных систем.

Литература

I. Аванян А.К. Дренаж при освоении содовых солончаков. М., "Колос", I97I.

2. Эмих В.Н. Сопоставление приближенной и точной моделей фильтрации при дренажных промывках почв с водоупором.-„Изв. АН СССР. МЖГ," № 3. М., I982.

3. 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.

4. Веригин Н.Н. и др. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. М., "Колос", I979.

5. Хубларян М.Г. и др. Исследование гидродинамической задачи фильтрации конвективной диффузии в неоднородных и анизотропных средах.- "Водные ресурсы", I984, №3.

6. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М., "Наука", I97I.

УДК 626.824(282.255.I3)

Т.А.Трунова, канд.с.-х.наук,
гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

ИРРИГАЦИОННЫЙ ВОЗВРАТНЫЙ СТОК, ЕГО КАЧЕСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В БАССЕЙНЕ АМУДАРЬИ

Определение объема и качества ирригационного возвратного стока при ограниченных водных ресурсах Средней Азии имеет большое практическое значение для выявления возможности повторного его использования на орошение.

Процесс формирования возвратных вод изучали многие исследователи: Т.М.Аткарская [1], Л.В.Дунин-Барковский [2], Г.В.Еременко и А.Усманов [3], А.Т.Ильясов [4], В.П.Светицкий [5], С.И.Харченко [6], В.Л.Шульц [7] и др.

Метод расчета возвратного стока, предлагаемый в настоящей работе, отличается от существующих детальностью учета природной обстановки и, в первую очередь, гидрогеологических условий, определяющих закономерности его формирования и объем.

Согласно районированию по гидрогеологическим условиям, принятому в институте "Средазгипроводхлопок" [8], в аридной зоне выделяются следующие почвенно-мелиоративные области:

"а" - обеспеченного оттока грунтовых вод при глубоком их залегании, не влияющем на почвообразование;

"$а_I$" - обеспеченного местного оттока грунтовых вод;

"б" - выклинивания грунтовых вод при интенсивном водообмене;

"$б_I$"- выклинивания грунтовых вод в различных условиях водообмена;

"в" - затрудненного внешнего притока и оттока грунтовых вод;

"$в_I$"- крайне затрудненного внешнего притока и оттока грунтовых вод.

Формула расчета возвратного стока в общем виде представлена известным балансовым уравнением:

$$q = M + O - E + \Phi_к + П_с + (\underline{П} - \underline{О}), \qquad (I)$$

где q - возвратный сток, м³/га; M - оросительная норма, м³/га; O - осадки, м³/га; E - суммарное испарение, м³/га; $\Phi_к$ - фильтрация из каналов (без потерь из магистральных каналов), м³/га; $П_с$ - поверхностный сброс, м³/га; $\underline{П}$-$\underline{О}$ - разница между подземным притоком и оттоком грунтовых вод, м³/га.

Объем возвратного стока по почвенно-мелиоративным областям дифференцируется следующим образом:

"а", "$а_I$" - $q = П_с$ (2)

"б", "$б_I$" - $M + O - E + \Phi_к + (\underline{П} - \underline{О}) + П_с$ (3)

"в", "$в_I$" - $M + O - E + \Phi_к + П_с$. (4)

В почвенно-мелиоративных областях "а" и "$а_I$" (зоны погружения) возвратные воды формируются лишь из поверхностных сбросов. В силу обеспеченного оттока потери на поле и из каналов не могут быть возвращены в указанной зоне, а перехватываются коллекторно-дренажной сетью в виде подземного притока лишь в зонах выклинивания, т.е. в областях "б" и "$б_I$".

В почвенно-мелиоративных областях "б" и "$б_I$" возвратный сток включает все составные части уравнения (I).

В зонах рассеивания ("в" и "$в_I$"), в силу гидрогеологических условий, подземный приток отсутствует, а поверхностные сбросы, вследствие малых уклонов территории, имеют место лишь на рисовых системах.

Основой расчета всех элементов уравнения (I) служит районирование территории по климатическим, гидрогеологическим, почвенным условиям и степени освоенности земель с учетом технического состояния гидромелиоративных систем и сооружений в каждом из рассматриваемых районов. Подобный подход позволяет определить объем возвратного стока практически с каждого гидромодульного района и его качество, что обеспечивает более рациональное использование в местах формирования.

Рассмотрим принцип расчета основных составных частей балансового уравнения (I).

Величина о р о с и т е л ь н о й н о р м ы устанавливается в соответствии с рекомендациями, разработанными в институте

"Средазгипроводхлопок" [9]:

$$M = 10 K_1 K_2 K_3 E + П_с - Ж - О,$$

где E - суммарное испарение, мм; K_1 - коэффициент, учитывающий влияние литологического строения почвогрунтов на величину суммарного испарения; K_2 - коэффициент, учитывающий долю дренажного стока (при близком УГВ) или глубинную фильтрацию (при глубоком); K_3 - коэффициент, учитывающий вид возделываемой культуры; $Ж$ - участие грунтовых вод, м^3/га.

Расчет суммарного испарения осуществляется также по рекомендациям, изложенным в работе [9].

В условиях, исключающих участие грунтовых вод, суммарное испарение определяется в вегетационный период из выражения $E = \frac{E_o^{1,58}}{31,62}$, в невегетацию - по формуле $E_н = \frac{E_o^{1,28}}{5,0477}$,

где E, $E_н$ - среднемесячные значения суммарного испарения соответственно в вегетацию и невегетацию, мм; E_o - среднемесячная испаряемость по Н.Н.Иванову.

Влияние литологического строения почвогрунтов, вида возделываемой культуры и глубины залегания грунтовых вод на суммарное испарение учитывается введением дополнительных коэффициентов, полученных по результатам анализа многолетних исследований, которые выполнены различными организациями среднеазиатского региона.

Участие грунтовых вод в суммарном испарении находится по зависимостям из работы [9]. Количественные значения доли их участия приведены в табл. I.

Таблица I

Участие грунтовых вод в суммарном испарении в зависимости от УГВ и литологического строения почвогрунтов (процент E)

Литологическое строение почвогрунтов	Уровень грунтовых вод, м			
	I	I,5	2	2,5
Мощные песчаные и супесчаные	45	I9	3	-
Легко- и среднесуглинистые (пылеватые); суглинистые, облегчающиеся книзу	40	24	9	3
Среднесуглинистые (плотные); суглинистые, утяжеляющиеся книзу	35	I9	6	-
Глинистые; резкослоистые с наличием глин	4	3	-	-

Ф и л ь т р а ц и я из каналов ($\Phi_к$) вычисляется по известной формуле

$$\Phi_к = \frac{1-\eta}{\eta} M,$$

где η - коэффициент полезного действия оросительной сети.

Размер п о в е р х н о с т н ы х с б р о с о в устанавливается на основе районирования территории по уклонам местности и литологическому строению почвогрунтов в соответствии с рекомендациями Н.Т.Лактаева [10]. Следует учитывать, что при наличии инженерной системы поверхностные сбросы имеют место лишь с полей орошения, но не с системы, так как их использование обеспечивается в местах формирования, на нижележащих площадях. По отношению к массиву они не являются возвратными. При малых уклонах (нижнее течение рек) поверхностные сбросы имеют место, как правило, лишь на рисовых системах.

Р а з н и ц а м е ж д у п о д з е м н ы м п р и т о к о м и о т т о к о м принимается по данным гидрогеологических исследований. При выполнении расчетов применительно к водохозяйственным районам, в силу специфики их выделения, вся ирригационная вода остается в их пределах, т.е. отток с территории равен нулю. Подземный приток $\underline{П}$ в почвенно-мелиоративные области "б" и "$б_I$" за счет потерь ирригационной воды в зонах "а" и "$а_I$" в этом случае определяется из соотношения

$$\underline{П} = \left[\frac{(\Delta M_а + \Phi_{кa})\,\omega_а^*}{\omega_б + \omega_{б_1}}\right](\omega_б^* + \omega_{б_1}^*),$$

где $\Delta M_а = M + O - E$ - потери на полях орошения в почвенно-мелиоративных областях "а" и "$а_I$"; $\Phi_{кa}$ - фильтрационные потери из каналов в области "а"; $\omega_б, \omega_{б_1}$ - общие площади зон выклинивания в пределах водохозяйственного района; $\omega_а^*, \omega_б^*, \omega_{б_1}^*$ - орошаемые площади соответственно в областях "а", "б" и "$б_I$".

Подземный приток считается возвратным только с той территории областей "б" и "$б_I$", которая на данный уровень оснащена искусственным дренажем.

Объем возвратного стока с массива или водохозяйственного района на конкретный уровень развития орошения должен представлять собой средневзвешенную величину, учитывающую наличие орошаемых земель в названных выше почвенно-мелиоративных областях.

Известно, что основную долю возвратных вод составляет дренажный сток разной степени минерализации.

Минерализацию стока из горизонтальной дрены, при выполнении расчетов применительно к бассейнам крупных рек, можно вычислять по формуле, приведенной в работе [II]:

$$C = C_n + (C_o - C_n)\exp\left(-\frac{Wt}{m_o h_s}\right),$$

где C_n, C_o - прогнозная минерализация соответственно поливной воды и грунтовых вод, г/л; W - интенсивность инфильтрации, м/сут; t - время, в течение которого отводится дренажный сток интенсивностью W, сут; m_o - активная пористость, в долях объема; h_s - мощность активной зоны дрены, м.

Для оценки минерализации дренажного стока на фоне вертикального дренажа можно использовать зависимость, предложенную С.Я.Сойфер [I2].

Выполнение расчетов по прогнозу качества дренажного стока в большинстве случаев связано с определением прогнозной минерализации грунтовых вод. Этот расчет трудоемкий и выполняется, как правило, с применением ЭВМ.

При разработке "Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Амударьи" прогнозная минерализация грунтовых вод определялась по программе расчета водно-солевого режима, изложенной в работе [I3].

В результате выполненных расчетов, число которых составило 414, установлены наиболее общие закономерности изменения минерализации грунтовых вод во времени.

При соблюдении проектного режима орошения, характеризующегося величиной инфильтрационного питания в размере I7÷20% суммарного испарения, основными параметрами, влияющими на изменение содержания солей в грунтовых водах, являются: исходная их минерализация, содержание солей в почве и литологическое строение почвогрунтов, обусловливающее скорость передвижения солей. Содержание солей в поливной воде до I,5 г/л существенного влияния на минерализацию грунтовых вод не оказывает.

Зависимость прогнозной минерализации грунтовых вод (C_o г/л) на глубине горизонтальной дрены от исходного содержания солей в грунтовых водах ($C_{исх}$ г/л) и в двухметровом слое почвы ($S_{исх}$, $Na^{\cdot}$ мг·экв/I00г почвы) для наиболее распространенных

почвогрунтов аридной зоны - средне-и тяжелосуглинистых - представлена в табл.2.

Таблица 2

Зависимость прогнозной минерализации грунтовых вод от исходного содержания солей в грунтовых водах и в почве

Период времени от исходного уровня (t)	Граничные условия	Уравнения связи
t = I год	$0 < S_{исх} \leq 5,9$	$C_0 = 2,14 S_{исх} + 0,41 C_{исх} + 0,12$
	$5,9 < S_{исх} \leq 14$	$C_0 = 1,85 S_{исх} + 0,38 C_{исх} + 1,7$
	$S_{исх} > 14$	$C_0 = 1,87 S_{исх} + 0,3 C_{исх} + 4,52$
t = 2 года	$0 < S_{исх} \leq 5,9$	$C_0 = 1,58 S_{исх} + 0,26 C_{исх} + 0,63$
	$5,9 < S_{исх} \leq 14$	$C_0 = 0,8 S_{исх} + 0,23 C_{исх} + 7,14$
	$S_{исх} > 14$	$C_0 = 1,13 S_{исх} + 0,24 C_{исх} + 9,56$
t = 3 года	$0 < S_{исх} \leq 5,9$	$C_0 = 1,1 S_{исх} + 0,21 C_{исх} + 0,7$
	$5,9 < S_{исх} \leq 14$	$C_0 = 0,41 S_{исх} + 0,16 C_{исх} + 6,96$
	$S_{исх} > 14$	$C_0 = 0,6 S_{исх} + 0,14 C_{исх} + 10,87$
t = 5 лет	$0 < S_{исх} \leq 15,5$	$C_0 = 0,52 S_{исх} + 0,11 C_{исх} + 1,11$
	$S_{исх} > 15,5$	$C_0 = 0,68 S_{исх} + 0,22 C_{исх} - 0,83$
t = I0 лет	$0 < S_{исх} \leq 15,5$	$C_0 = 0,13 S_{исх} + 0,05 C_{исх} + 0,77$
	$S_{исх} > 15,5$	$C_0 = 0,27 S_{исх} + 0,05 C_{исх} - 1,35$
t = I5 лет	$S_{исх} > 0$	$C_0 = 0,05 S_{исх} + 0,01 C_{исх} + 0,98$

Ошибка в расчетах при пользовании этими уравнениями колеблется в диапазоне 0,4÷I,2 г/л. Рекомендуемые зависимости могут быть использованы для приближенной оценки прогнозной минерализации грунтовых вод на стадии разработки схем бассейнов крупных рек Средней Азии.

Ниже рассматриваются результаты расчета объемов ирригационного возвратного стока, его качества и рекомендации по использованию в бассейне реки Амударьи; дана количественная оценка ос-

новных параметров (оросительных норм, суммарного испарения), определяющих формирование ирригационного возвратного стока.

Расчетные значения оросительных норм на структурный гектар по водохозяйственным районам бассейна Амударьи и уровням развития орошения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Водохозяйственный район	Оросительная норма ($м^3$/га) по уровням развития орошения			
	1985 г.	I расчетный уровень	II расчетный уровень	Перспектива
I. Верхнее течение				
Пянджский	9400	9030	9120	8750
Вахшский	11260	9840	9070	8740
Кафирниганский	14010	13320	11650	11000
Сурхандарьинский	10790	10310	10280	10250
II. Кашкадарьинский	6800	6800	6800	7600
III. Каршинский	10600	10370	10300	10500
IУ. Бухарский	10540	10350	10160	10220
У. Туркменский прибрежный	11010	10600	10200	10150
УI. Зарафшанский	6540	6600	6830	7590
УП. Нижнее течение				
Зона Туямуюнского гидроузла	10200	10080	9780	9680
Зона Тахиаташского гидроузла	12940	12380	11680	11660
УШ. Каракумский	12460	12370	12320	12120

Оросительные нормы, принятые на время реконструкции водного хозяйства в бассейне, имеют некоторые отклонения от проектных величин в силу того, что они назначаются с учетом реальной обстановки в регионе. В частности, в Зарафшанском и Кашкадарьинском водохозяйственных районах при низкой существующей водообеспеченности оросительные нормы снижены. В соответствии с этим в Схеме разработаны рекомендации по рациональному распределению заданного объема воды с точки зрения минимума ущерба урожайности.

На территории с большими уклонами (верхнее течение Амударьи) до постройки сооружений, позволяющих собирать и регулировать поверхностные сбросы, оросительные нормы увеличены на их размер.

В остальных водохозяйственных районах их размер регулировался прогнозом водно-солевого режима с учетом сложившейся мелиоративной обстановки в регионе.

Расчетные значения суммарного испарения со структурного гектара представлены в табл. 4.

Таблица 4

Расчетные значения суммарного испарения со структурного гектара по водохозяйственным районам и уровням развития орошения

Водохозяйственный район	Суммарное испарение ($м^3$/га) по уровням развития орошения			
	1985 г.	I расчетный уровень	II расчетный уровень	Перспектива
I. Верхнее течение				
Пянджский	9650	9690	9770	9830
Вахшский	9700	9360	9330	9210
Кафирниганский	11910	12200	12200	12200
Сурхандарьинский	10330	10370	10360	10360
II. Кашкадарьинский	8130	8140	8150	8890
III. Каршинский	9620	9440	9390	9570
IУ. Бухарский	11170	10300	9450	9190
У. Туркменский прибрежный	11090	10230	9590	9210
УI. Зарафшанский	7100	7150	7230	8070
УП. Нижнее течение				
Зона Туямуюнского гидроузла	9980	9590	8680	8620
Зона Тахиаташского гидроузла	9990	9340	8410	8450
УШ. Каракумский	12800	11870	11270	10760

Расчетные годовые значения водопотребности и объемов формирующегося ирригационно-возвратного стока по уровням развития орошения в пределах каждого водохозяйственного района показаны в табл. 5. Расчет их осуществлялся для варианта развития орошения, предложенного институтом "Средазгипроводхлопок", согласно которому площадь орошаемых земель бассейна в перспективе значительно возрастет, а коэффициент полезного действия оросительных систем достигнет 0,74.

Таблица 5

Водохозяйственный район	1985г.			I расчетный уровень			II расчетный уровень			Перспектива		
	Водопотребность, млн. м³	Возвратный сток		Водопотребность, млн м³	Возвратный сток		Водопотребность, млн. м³	Возвратный сток		Водопотребность, млн. м³	Возвратный сток	
		млн. м³	процент водопотребности		млн. м³	процент водопотребности		млн. м³	процент водопотребности		млн. м³	процент водопотребности
I. Верхнее течение												
Пянджский	I502	623	4I	I540	582,4	38	I589	589,I	37	I70I	5I6,4	30
Вахшский	3509	I679	48	3546	I446,3	4I	3627	I23I,4	34	398I	I246	3I
Кафирниганский	2I7I	927,9	43	2372	879,2	37	2409	658,8	27	2643	596,8	23
Сурхандарьинский	4757	I598,3	34	4986	I500	30	550I	I576,3	29	6I26	I655,6	27
П. Кашкадарьинский	I533	553,I	36	I603	532,3	33	I608	483,6	30	2023	547,I	27
Ш. Каршинский	4688	I295,5	28	3663	I537,8	27	6828	I890,I	27	9304	2409,I	26
IУ. Бухарский	5850	2263,8	39	6034	2290,4	38	6094	2259	37	6443	2309	36
У. Туркменский прибрежный	3800	I633,2	43	3932	I65I,9	42	402I	I607,6	40	4I83	I605,3	38
УI. Зарафшанский	4206	I37I,9	33	4I72	I2I8,6	29	4I67	I07I,8	27	4633	I04I,8	22
УII. Нижнее течение												
Зона Туямуюнского гидроузла	8477	354I,4	42	8879	3620,9	4I	9I49	3696	40	9732	3664,6	38
Зона Тахиаташского гидроузла	8I87	4244,2	52	9467	4725	50	I0888	5346	49	I3262	6353,5	48
УШ. Каракумский	I5007	5022,7	34	I5708	52I2,9	33	I6I00	52I9,8	32	I6500	4885,8	30

Объем формирующегося возвратного стока в бассейне Амударьи (без районов бессточных рек - Зарафшанского и Кашкадарьинского) в 1985 г. составит 22,8 км^3, или 39% водопотребности; в I расчетном уровне - 23,4 км^3, или 38%; во II - 34,2 км^3, или 36%; в перспективе - 25,2 км^3, или 34%.

В соответствии с выполненными расчетами возвратный сток, выраженный в процентах водопотребности, стабильно уменьшается, отражая природно-хозяйственные особенности и техническое состояние гидромелиоративных систем и сооружений в различные периоды развития орошения в каждом водохозяйственном районе.

Ввиду нарастающего дефицита пресных вод проблема использования возвратного стока стала исключительно актуальной. Решение ее неразрывно связано с качеством возвратных вод.

Расчетные годовые значения минерализации возвратного стока (С) и поливной воды ($С_п$) с учетом внутриконтурного использования на орошение части возвратных вод по водохозяйственным районам и уровням развития орошения представлены в табл. 6.

Минерализация возвратного стока различна по водохозяйственным районам и уровням развития орошения. Менее концентрированный в верхнем течении Амударьи (за исключением Сурхандарьинского района), изменяется в основном в диапазоне 0,8÷2 г/л. Хорошего качества возвратный сток в Зарафшанском районе. В Кашкадарьинском водохозяйственном районе невысокая минерализация возвратного стока, при наличии засоленных земель, обусловлена низкими темпами развития орошения из-за отсутствия водных ресурсов. На всей остальной территории средневзвешенная его концентрация составляет 4÷6 г/л. В пределах каждого водохозяйственного района минерализация возвратного стока варьирует в широком диапазоне.

Вопросы рационального использования и отвода возвратного стока, формирующегося в бассейне Амударьи, решались в комплексе мер по охране окружающей среды исходя из следующих условий:

- сброс возвратного стока в Амударью лимитируется качеством воды в реке: ее минерализация в нижнем течении не должна превышать I г/л;

- используемый на орошение возвратный сток разбавляется речной водой до получения поливной воды со средневзвешенной концентрацией солей, не превышающей I,5 г/л.

Таблица 6

Прогноз минерализации поливной воды и возвратного стока в бассейне Амударьи по водохозяйственным районам и уровням развития орошения

Водохозяйственный район	Минерализация поливной воды ($С_п$) и возвратного стока (С) (г/л) по уровням развития орошения							
	1985 г.		I расчетный уровень		II расчетный уровень		Перспектива	
	$С_п$	С	$С_п$	С	$С_п$	С	$С_п$	С
I. Верхнее течение								
Пянджский	0,18	1,52	0,18	0,8	0,18	0,82	0,18	0,86
Вахшский	0,43	1,67	0,43	1,02	0,43	1,18	0,43	1,29
Кафирниганский	0,14	1,96	0,14	2,55	0,14	1,4	0,14	1,65
Сурхандарьинский	0,25	3,94	0,25	2,83	0,25	3,35	0,25	2,6
II. Кашкадарьинский	0,3	2	0,3	1,46	0,3	1,36	0,3	2,02
III. Каршинский	0,71	5,03	0,68	4,3	1,02	4,45	0,72	4,38
IУ. Бухарский	1,1	5,56	0,69	4,08	1,02	4,46	1,1	4,84
У. Туркменский прибрежный	0,65	6,32	0,59	4,8	0,97	4,6	0,84	4,37
УI. Зарафшанский	0,24	1	0,24	1,31	0,24	1,59	0,24	1,51
УП. Нижнее течение								
Зона Туямуюнского гидроузла	1,16	5,18	1	3,64	1,28	3,47	1,22	3,07
Зона Тахиаташского гидроузла	1,17	5,74	1,02	5	1,51	4,7	1,22	4,12
УШ. Каракумский	0,93	6,14	0,76	4,74	1,25	4,66	1,06	4,77

Таблица 7

Рекомендации по использованию возвратного стока в бассейне Амударьи

Водохозяйственный район	Использование возвратного стока (млн.м³) по уровням развития орошения											
	1985 г.			I расчетный уровень			II расчетный уровень			Перспектива		
	в реку	внутриконтурное орошение	в понижения	в реку	внутриконтурное орошение	в понижения	в реку	внутриконтурное орошение	в понижения	в реку	внутриконтурное орошение	в понижения
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
Верхнее течение												
Пянджский	623	-	-	582	-	-	589	-	-	5I6	-	-
Вахшский	I679	-	-	I446	-	-	I23I	-	-	I246	-	-
Кафирниганский	928	-	-	879	-	-	659	-	-	597	-	-
Сурхандарьинский	I598	-	-	I50I	-	-	I576	-	-	I656	-	-
Итого	4828	-	-	4408	-	-	4055	-	-	40I5	-	-
Среднее течение												
Каракумский	-	I082	394I	-	953	4260	-	2697	2523	-	2I00	2786
Каршинский	722	I74	400	525	250	763	755	809	326	589	542	I278
Туркменский прибрежный	57I	I00	962	657	I00	895	737	400	47I	5I3	290	802
Бухарский	830	48I	953	705	3I8	I267	I353	563	343	730	836	743
Итого	2I23	I837	6256	I887	I62I	7I85	2845	4469	3663	I832	3768	5609

Продолжение табл. 7

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
					Нижнее течение							
Зона Туямуюнского гидроузла	-	540	300I	-	600	302I	-	I32I	2375	-	I470	2I95
Зона Тахиаташского гидроузла	-	639	3605	-	700	933	-	I695	858	-	I980	4373
Итого	-	II79	6606	-	I300	7046	-	30I6	6026	-	3450	6568
Всего	695I	30I6	I2862	6295	292I	I423I	6900	7485	9689	5847	72I8	I2I77

На основе балансового метода установлены объемы возврата в реку и использования на орошение внутри контура по водохозяйственным районам и уровням развития орошения (табл. 7).

Как следует из представленного материала, в верхнем течении Амударьи, характеризующемся невысокой минерализацией возвратного стока, весь его объем сбрасывается в реку. В результате минерализация воды в Амударье (створ Керки) составляет 0,52÷0,55 г/л.

В среднем течении для выполнения граничных условий по минерализации речной воды возврат в реку по уровням развития орошения изменяется в диапазоне 16÷20% общего его объема. В нижнем течении сброс в реку не предусматривается. При этом среднегодовая минерализация воды в Амударье, в створе Туямуюн, составит 0,8÷0,9 г/л.

Вопрос о части возвратного стока, условно названной "сброс в понижения", решается индивидуально - создание природного комплекса (нижнее течение), использование другими потребителями, опреснение и т.д.

Рекомендации по использованию возвратного стока на орошение обосновывались расчетами солевого режима почвогрунтов. Результаты расчетов и прогноз мелиоративного состояния земель в бассейне Амударьи будут изложены в последующих публикациях.

Содержащиеся в настоящей работе материалы по водопотребности, формированию ирригационного возвратного стока, его качеству и применению легли в основу водохозяйственных балансов разработанной институтом "Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Амударьи".

Литература

1. Аткарская Т.И. Возвратные воды орошаемых земель Ферганской долины. - "Метеорология и гидрология", 1970, № 10, с.63-71.

2. Дунин-Барковский Л.В. О водном балансе орошаемой территории. - "Изв. АН СССР, Сер.геогр.", 1956, № 5, с. 61-73.

3. Еременко Г.В., Усманов А. Дополнительные источники орошения в Западной Фергане. - "Тр.САНИИРИ", вып. 113. Ташкент, 1967, с. 183-204.

4. Ильясов А.Т. Сток и водный баланс речных бассейнов Киргизии. - "Тр. САНИИГМИ", вып. 43. Ташкент, 1969, 295 с.

5. Светицкий В.П. Дополнительные водные ресурсы Ферганской долины. - "Вопросы гидротехники", вып.20, 1964, с.52-64.

6. Харченко С.И. Влияние орошения на водные ресурсы и водный баланс речных бассейнов, разработка методики определения возвратных вод и безвозвратных потерь. - "Тр. ГГИ", вып.208. М., 1973, с. 9-47.

7. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Л., Гидрометеоиздат, 1963, 302 с.

8. Шредер В.Р. и др. Расчетные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи. Ташкент, ин-т "Средазгипроводхлопок", 1970, 292 с.

9. Решетов Г.Г., Шредер В.Р., Трунова Т.А. Расчет оросительных норм хлопчатника. - "Гидротехника и мелиорация", 1978, № 4, с. 64-68.

10. Лактаев Н.Т. Полив хлопчатника. М., "Колос", 1978, 178с.

11. Веригин Н.Н. и др. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. М.,"Колос", 1979, 336 с.

12. Сойфер С.Я. Приближенный прогноз динамики минерализации дренажных вод на примере Джизакской степи. - "Тр. Средазгипроводхлопка", вып. 7. Ташкент, 1976, с. 42-51.

13. Методическое руководство по расчету мелиоративного дренажа для условий Средней Азии. Ташкент, Средазгипроводхлопок, 1977, 64 с.

УДК 556.164+556.535

Л.Н.Побережский, канд.геогр. наук, нач.отд.
(Средазгипроводхлопок)

О РЕЖИМЕ СТОКА И МИНЕРАЛИЗАЦИИ САЕВ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ТУРКЕСТАНСКОГО ХРЕБТА

Планы дальнейшего развития орошаемого земледелия в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи на фоне появления группировок маловодных лет объективно диктуют необходимость последовательного учета всех видов водных ресурсов независимо от их размеров. Этим обстоятельством достаточно аргументируется растущий в последнее время интерес к стоку малых горных рек, ресурсы которых используются не полностью или не используются вовсе.

Особый интерес представляют малые реки, стекающие с северного склона Туркестанского хребта, у подножия которого располагаются крупные массивы целинных земель с ограниченной водообеспеченностью.

Из числа саев северного склона Туркестанского хребта постоянно действующими являются (с востока на запад): Джалаирсай, Туркменсай, Заминсу, Аччисай, Шурчисай, Пшагарсай, Джантутсай, Арджасай, Раватсай.

Для определения водных ресурсов саев, химизма вод и твердого стока проведены трехлетние (1980-1983 гг.) натурные наблюдения с целью охватить разные по водности гидрологические годы.

Методика работ и схема размещения гидрометрических створов

Сравнительно малые площади водосборов исследуемых саев, а следовательно и их стоковых характеристик, исключают необходимость содержания водомерных постов, а требуемая точность достигается учащенными замерами расходов воды. В процессе рекогносцировки, предшествующей полевым работам, подтвердилось практически полное отсутствие суточного хода стока.

Иногда измерение расходов водотоков затруднялось интенсивным водозабором многочисленными мелкими арыками и обратным сбросом с орошаемых полей. В этих случаях искомый расход определялся как сумма отдельных измерений на элементах ирригационной и сбросной сети.

Северный склон Туркестанского хребта отличается характерным для подобных районов галечниковым сложением, в результате чего участки фильтрационных потерь (погружение стока) чередуются с участками выклинивания. В этих условиях необходимо было выбрать (установить) створ с максимальным поверхностным стоком, отражающим действительные водные ресурсы саев. Установлению створов с максимальным стоком был посвящен первый год полевых работ, в течение которого расходы каждого из саев параллельно и практически синхронно определялись на трех створах. В дальнейшем гидрометрические работы, равно как и отбор проб воды на мутность и химический анализ, проводились на постоянных створах по одному на сай.

Расходы воды измерялись гидрометрическими вертушками ГР-55 пять раз в месяц. Пробы воды на химический анализ отбирались один раз в месяц, а частота наблюдений за твердым стоком зависе-

ле от фазы водного режима саев.

Камеральная обработка полевых материалов выполнялась по методикам, изложенным в действующих "Наставлениях гидрометрическим станциям и постам".

Гидрометеорологическая характеристика периода производства работ

По всем саям северного склона Туркестанского хребта, за исключением Заминсу, отсутствуют сколько-нибудь длительные ряды наблюдений, позволяющие охарактеризовать период производства работ (1980-1983 гг.) с точки зрения водности. Поэтому воспользуемся данными по рекам Заминсу (ст.Дубоб) и Сазгар (ст.Кырк), имеющими более чем 30-летний ряд наблюдений. Несмотря на значительную разницу площадей бассейнов и в меньшей степени средневзвешенных высот, можно полагать, что изменение водности Заминсу и Сазгара пропорционально динамике водности других саев северного склона Туркестанского хребта. Такая гипотеза основана на общности орографических и почвенно-климатических условий, а также на примерно одинаковой доступности водосборов влажным воздушным массам.

Имеющиеся данные показывают, что 1980 и 1982 гг. были маловодными в исследуемом районе. Например, обеспеченность годового стока Сазгара составляла в эти годы соответственно 82 и 91%, а Заминсу - 98 и 75%. Если ориентироваться на метеостанцию Джизак, то можно констатировать, что годовая сумма атмосферных осадков за указанные годы составляла около 80% нормы.

Близкими к норме оказались 1981 и 1983 гг., причем весенний сток в общем маловодного (по накоплению осадков в горах) 1983 г. значительно повысился за счет интенсивных дождей в марте-мае. Например, метеостанция Шахристанский перевал зафиксировала в апреле 1983 г. 110 мм осадков при норме 74 мм.

В период производства полевых работ температурный режим отличался большой устойчивостью. Так, при годовой норме температуры воздуха по станции Джизак, равной 14,2°, в 1980,1981 и 1983 гг. среднегодовые значения соответственно были равны 14,4; 14,7; 14,1. Испаряемость на высоте Джизака(при годовой норме 1330 мм) в 1980 и в 1981 гг. составила около 1200 мм, а в 1982 г., равно как и в первом полугодии 1983, она была близка к норме, если судить по данным о температуре и относительной влажности воздуха.

Таким образом, характеризуя период производства работ в целом, отметим, что по гидрометеорологическим условиям он был близок к среднему, имели место маловодные годы, но отсутствовали многоводные.

Результаты работ

Годовой сток. Среди рек северного склона Туркестанского хребта выделяется площадью водосбора и соответственно расходом воды Зааминсу. Ее среднегодовой расход за период наблюдений - I,95 $м^3/с$ (пределы I,55÷2,53 $м^3/с$). Водность всех остальных саев в сумме составляет лишь около 40% Зааминсу.

Из саев наиболее значительны по площади бассейна Аччисай (272 $км^2$), Раватсай (I43 $км^2$) и Туркменсай (II0 $км^2$). Площадь бассейна других саев не превышает 80 $км^2$.

Питание рек осуществляется главным образом за счет таяния сезонных снегов и сработки запасов подземных вод, выклинивающихся через многочисленные родники. Различие в геологическом сложении бассейнов, проявляющееся в неодинаковой интенсивности накопления и сработки подземных вод, определяет слабую зависимость годовых стоков от площади водосбора. Например, наибольший сток (в среднем I4,I млн.$м^3$, пределы колебаний I2,7÷I6,2 млн.$м^3$) зафиксирован в замыкающем створе Раватсая, хотя площадь его бассейна почти вдвое меньше площади Аччисая при примерно одинаковых средневзвешенных высотах. Кстати, Аччисай в убывающем ряду среднегодовых расходов воды и объемов стока занимает лишь пятое место (табл. I). Последнюю строку в этом списке занимает Шурчисай, среднегодовой расход которого стабильно составляет 0,0I $м^3/с$.

Два столбца в конце табл. I численно равны водным ресурсам исследуемых саев и выражены соответственно в расходах воды и объемах стока. За вычетом Зааминсу водные ресурсы саев составляют 3I,3 млн.$м^3$/год, или I $м^3/с$. Точность этих данных не является абсолютной, так как погрешность расчета нормы прямо пропорциональна среднеквадратическому отклонению ряда и обратно пропорциональна корню квадратному из числа лет наблюдений.

Внутригодовое распределение стока. Даже беглый осмотр гидрографов стока позволяет отметить сравнительно высокую степень внутригодовой зарегулированности, что в числе прочих причин является результатом повышенной доли подземной составляющей в общем стоке рек.

Таблица I

Среднегодовые расходы воды (Q м^3/с) и объемы стока (W млн.м^3) саев северного склона Туркестанского хребта

Сай	1980-1981гг.		1981-1982гг		1982-1983 гг.		Среднее	
	Q	W	Q	W	Q	W	Q	W
Заминсу	1,77	55,9	1,55	48,9	2,53	80,4	1,95	61,7
Раватсай	0,52	16,2	0,42	13,3	0,4	12,7	0,45	14,1
Шагарсай	0,21	6,54	0,2	6,17	0,16	4,96	0,19	5,89
Джантутсай	0,11	3,48	0,12	3,68	0,08	2,61	0,1	3,26
Аччисай	0,11	3,41	0,1	3,21	0,1	3,16	0,1	3,26
Туркменсай	0,07	2,31	0,07	2,13	0,06	1,81	0,07	2,08
Джалаирсай	0,06	1,84	0,06	2,07	0,05	1,57	0,06	1,83
Арджасай	-		0,02	0,62	0,02	0,66	0,02	0,64
Шурчисай	0,01	0,23	0,01	0,25	0,01	0,21	0,01	0,23
Итого без р.Заминсу	1,1	34,1	1	31,4	0,88	27,6	1	31,29

Если внутригодовое распределение стока количественно охарактеризовать отношением его объемов за невегетационный и вегетационный периоды, то можно заключить, что большинство саев в холодное полугодие проносит стока на 20÷30% больше, чем в теплое (табл.2). Исключение составляет лишь Джалаирсай, сток которого в вегетацию в среднем на 26% больше, чем в невегетационный период. Не слишком большой разницей стока периодов вегетации и невегетации характеризуется Арджасай.

Зафиксированное на подавляющем большинстве саев значительное превышение зимнего стока над летним создает гидрологически благоприятные условия для его аккумуляции с последующим использованием в ирригационных и других целях. В этом плане наиболее перспективен Раватсай как по причине наибольшего превышения зимнего стока над летним (30%), так и в связи с максимальной водностью (14,1 млн. м^3/год).

Из выборки месяцев с максимальными и минимальными расходами воды (среднемесячные величины) видно, что наибольшие расходы наблюдаются в осенне-зимний период, реже весной, а наименьшие приурочены к июлю, когда при отсутствии атмосферных осадков иссякают

запасы подземных вод (табл. 3). И в этом случае особняком стоит Джелаирсай, водосбор которого, обладая специфическим строением, обеспечивает прохождение максимальных расходов летом и минимальных в осенне-зимний период.

Таблица 2

Соотношение между стоками невегетационного (X-III) и вегетационного (IУ-IX) периодов

Сай	1980-1981 гг.	1981-1982 гг.	1982-1983 гг.	Среднее
Джелаирсай	0,58	0,87	0,75	0,74
Туркменсай	1,32	1,04	1,2	1,19
Аччисай	1,17	1,36	1,26	1,26
Арджасай	-	1,07	1,1	1,08
Шурчисай	1,14	1,37	1,28	1,26
Пшагарсай	1,26	1,1	1,18	1,18
Джантутсай	1,19	1,02	1,12	1,11
Равatсай	1,2	1,42	1,29	1,30

Таблица 3

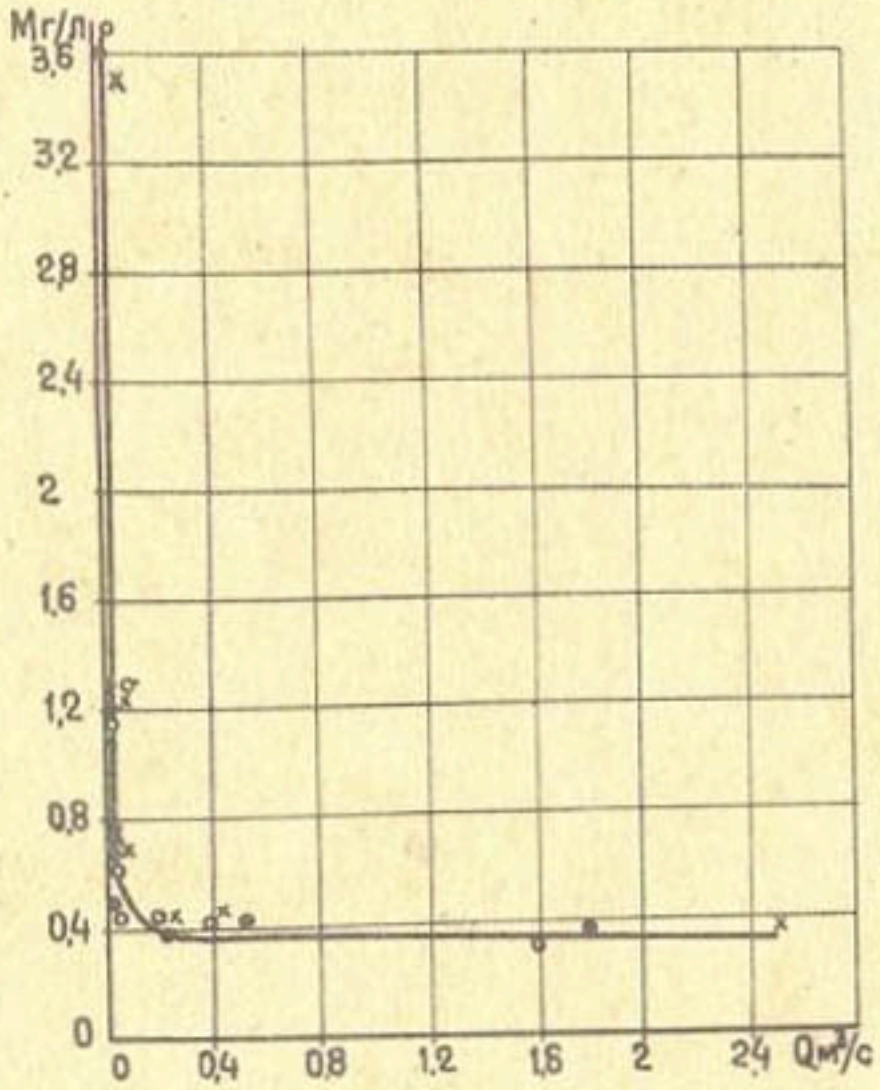
Месяцы с максимальными (*max*) и минимальными (*min*) средними расходами воды

Сай	1980-1981 гг.		1981-1982 гг.		1982-1983 гг.	
	max	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*
Джелаирсай	УП	П	IУ	XП	УП	XI
Туркменсай	XП	УШ	IУ	УП	У	XI
Аччисай	XП	УШ	XI	УП	I	УП
Арджасай	XП	УП	IX	УП	П	УП
Шурчисай	X	УШ	Ш	УП	XП	УП
Пшагарсай	XП	УП	XI	УП	УI	УП
Джантутсай	У	XП	IУ	УП	Ш	УП
Равatсай	IУ	УП	XI	УП	I	УШ
Итого по саям	IУ	УШ	XI	УП	У	УШ

Твердый сток. Вода всех саев отличается высокой прозрачностью, особенно с октября по февраль, когда твердый сток исчезающе мал и может быть приравнен к нулю. В остальное время года мутность воды также невысока (200-300, реже 400 г/м^3). Максимальная мутность (600-700 г/м^3) совпадает с максимумом атмосферных осадков, когда наиболее интенсивен поверхностный сток, определяющий смыв с площади водосборов.

Качество воды большинства саев высокое, в ней сравнительно мало солей (0,3÷0,7 г/л). С этой точки зрения нет ограничений для использования воды в ирригационных или хозяйственно-питьевых целях. Исключение составляет Шурчисай, вода которого сильноминерализована (3,5÷3,8 г/л) из-за наличия в его водосборе значительного количества легкорастворимых солей. Несколько повышена (I,I÷I,4 г/л) минерализация Туркменсая и Аччисая (табл. 4).

При прочих равных условиях минерализация речной воды определяется фазой водного режима реки или ее водностью.



Зависимость минерализации воды от ее расхода (среднегодовые данные): • 1980-1981 гг.; ○ 1981-1982 гг.; × 1982-1983 гг.

Таблица 4

Среднесезонная и среднегодовая минерализация воды (г/л) рек северного склона Туркестанского хребта

Сай	1980-1981 гг.			1981-1982 гг.			1982-1983 гг.			Средняя		
	УШ-IX	X-Ш	Годовая	IУ-IX	X-Ш	Годовая	IУ-IX	X-Ш	Годовая	IУ-IX	X-Ш	Годовая
Шурчисай	3,53	3,6	3,565	3,723	3,677	3,7	3,666	3,452	3,559	3,64	3,576	3,608
Арджасай	-	I,728	-	I,667	I,792	I,73	I,65I	I,799	I,725	I,659	I,773	I,7I6
Туркменсай	I,37	I,265	I,3I8	I,2II	I,256	I,233	I,268	I,306	I,287	I,283	I,276	I,279
Аччисай	I,I66	I,I79	I,I73	I,3I4	I,29	I,302	I,II7	I,I54	I,I35	I,I99	I,208	I,204
Джалаирсай	0,67I	0,68	0,675	0,666	0,635	0,65I	0,69I	0,658	0,675	0,676	0,658	0,667
Джантутсай	0,494	0,497	0,496	0,5I8	0,464	0,49	0,487	0,496	0,492	0,5	0,486	0,493
Равватсай	0,484	0,389	0,437	0,45	0,4	0,425	0,495	0,442	0,468	0,476	0,4I	0,443
Пшатарсай	0,398	0,398	0,398	0,45	0,439	0,444	0,47	0,485	0,478	0,439	0,44I	0,44
Заминсу	0,425	0,40I	0,4I3	0,3I5	0,339	0,327	0,309	0,367	0,338	0,35	0,369	0,359

Эта гидрологическая закономерность подтверждается рисунком, на котором нанесены фактические точки всех лет полевых исследований. Аналитически зависимость минерализации воды в реке от ее водности выражается уравнением

$$M = 2{,}613\, Q e^{-0{,}0023},$$

где M - среднегодовая минерализация речной воды, г/л;
Q - среднегодовой расход воды, $м^3/с$; e - основание натуральных логарифмов.

Это уравнение может быть использовано для оценки минерализации других рек региона, если известны среднегодовые расходы воды.

На основании полевых и камеральных исследований режима стока и минерализации постоянно действующих саев северного склона Туркестанского хребта можно сделать следующие выводы:

- суммарные водные ресурсы исследуемых саев равны около 31 млн.$м^3$/год (среднегодовой расход 1 $м^3/с$). Наибольший сток (14 млн.$м^3$/год) отмечен на Раватсае, а наименьший (0,2÷0,6 млн. $м^3$/год) - на Шурчисае и Арджасае. Годовой сток других саев колеблется в пределах 2÷6 млн.$м^3$/год;

- внутригодовое распределение стока саев характеризуется сравнительной равномерностью, но большинство из них в холодное полугодие проносят стока на 20-30% больше, чем в теплое. Обратным ходом отличается внутригодовое распределение стока Джалаирсая;

- вода всех саев прозрачна, особенно с октября по февраль. В остальное время года мутность ее также невысока (200-300, реже 400 $г/м^3$);

- качество воды большинства саев высокое (минерализация 0,3÷0,7 г/л). Исключение составляет Шурчисай (минерализация 3,5÷3,8 г/л). Минерализация Туркменсая и Аччисая несколько повышена (1,1÷1,4 г/л).

УДК 631.61:631.445.5

Г.Г.Решетов, канд.с.-х. наук, гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

О СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ОСВОЕНИИ И ОКУЛЬТУРИВАНИИ ПУСТЫННЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ*

До недавнего времени пустынные песчаные почвы из-за подверженности дефляции, сложности рельефа местности и низкого плодородия считались неэффективными в сельскохозяйственном использовании, в связи с чем их освоение отодвигалось на длительную перспективу. Однако многочисленные разносторонние исследования этих почв в последние два десятилетия опровергли распространенное представление о них как землях, непригодных для земледелия.

Местами неосваиваемые песчаные массивы вклиниваются в орошаемые участки (западная часть Голодной степи, I очередь орошения Каршинской степи) и, нарушая ландшафт освоения, являются источником формирования подвижных песков, засыпающих посевы, дороги и оросительную сеть. В то же время, по данным исследований, проведенных на небольших участках [1] и [2], эти территории при орошении могут эффективно использоваться для создания гарантированных и страховых запасов кормов, позволяя тем самым высвободить значительную часть более плодородных земель под хлопчатник. О пригодности песчаных почв для выращивания сельскохозяйственных культур свидетельствуют результаты многочисленных полевых опытов и лабораторных исследований, а также практика колхозов и совхозов.

Ю.С.Пунинский и В.П.Максименко [3] одной из причин, сдерживающих освоение песчаных земель, считают неприемлемость использования на них традиционных поверхностных способов распределения оросительной воды. В условиях высокой водопроницаемости и низкой водоудерживающей способности названных почв поддержание оптимального уровня влагозапасов связано с необходимостью частых поливов малыми нормами, что возможно только при наличии технически совершенных оросительных систем и применении широкозахватных высокопроизводительных дождевальных машин. Как известно, дождевание позволяет регулировать поливные нормы в широком диапазоне величин и тем самым поддерживать оптимальный уровень влагозапасов в почве.

х) Публикуется в порядке обсуждения.

Последнее обстоятельство дает возможность значительно сократить капиталовложения в строительство оросительных систем за счет исключения дренажа, водоудерживающих экранов, глинизации поверхности и других противофильтрационных мероприятий.

С целью изучения эффективности дождевания для орошения кормовых культур, выращиваемых на приозисных эоловых песках, ВНИИГиМ им.А.Н.Костякова совместно с институтом пустынь АН ТССР с 1972 г. ведет полевые исследования на южной окраине Центральных Каракумов. В первые годы освоения песчаных земель при поддержании предполивных влагозапасов в активном горизонте на уровне 45÷55% ППВ получены высокие показатели урожайности кормовых культур (кг/м^2): кукурузы в фазу молочной спелости 3,5÷4,2; сорго 5,5÷6; люцерны 5,7÷6,1 (сена 1,2÷1,5). Это свидетельствует о потенциальной продуктивности песков при освоении их под кормовые культуры.

Таким образом, орошение дождеванием при экономном расходовании воды и внесении обычных норм органо-минеральных удобрений позволяет довольно эффективно использовать эоловые пески для выращивания высокопродуктивных сельскохозяйственных культур. Для увлажнительных поливов дождеванием в процессе освоения песков ВНИИГиМом разработана специальная среднеструйная дождевальная установка (СДУП) с гибким пластмассовым водоводом, навешиваемая на трактор МТЗ-50.

По данным Н.Г.Минашиной [4], в недавнем прошлом при освоении песчаных земель предусматривалась кольматация путем подачи мутных вод на орошаемые участки. Кольматация, улучшая водно-физические свойства песчаных почв, повышает противодефляционную стойкость поверхности. Целесообразность кольматации при поверхностных способах полива не вызывает сомнения, но для этих целей необходимо изыскать либо мутные источники орошения, либо местные карьеры суглинисто-глинистых материалов для глинирования почв. Однако, по мнению Н.Г.Минашиной, технология глинования песчаных почв с использованием разных тонкочастичных материалов и ее механизация еще не разработаны.

Известен положительный опыт создания оазисов в Кызылкумах при орошении песчаных почв подземными водами, в том числе при поливах их дождеванием [5].

Немаловажен при освоении пустынных песчаных земель тот факт, что для их орошения пригодны и минерализованные воды [4] и [6]:

благодаря низкой влагоемкости и высокой водопроницаемости песчаных почв их промывка при необходимости не составляет труда и возможна даже с помощью минерализованных вод.

С целью борьбы против ветровой эрозии на пустынных песчаных (супесчаных) почвах многочисленными исследователями рекомендуется полосная система земледелия. При размещении сельскохозяйственных культур по полосам почва и посевы сохраняют устойчивость даже при интенсивной ветровой деятельности. Между полосами многолетних трав размещают посевы однолетних культур. Травы возделывают 3÷4 года, затем эти участки распахивают и травами засевают полосы, на которых выращивались однолетние сельскохозяйственные культуры. Ширина полос на песках не должна превышать 25 м.

В США [7] при освоении почв, подверженных ветровой эрозии, огромное значение придают системе агротехнических мероприятий, предохраняющих почвы от дефляции и размыва. Там большое внимание уделяют таким технологическим приемам возделывания сельскохозяйственных культур, как минимальная и нулевая обработки, которые обеспечивают сохранение на поверхности почвы растительных остатков. Нам представляется, что эти приемы обработки можно рекомендовать в сочетании с полосной системой земледелия и для освоения песчаных почв.

В 1980 г. институтом "Средазгипроводхлопок" были исследованы полупустынные песчано-супесчаные почвы Голодной степи в зоне существующего орошения. Исследования проводились в совхозе 14 им.Г.К.Жукова на двух опытно-производственных участках: на одном выполнялся полив дождеванием с помощью "Фрегата", на другом - по бороздам.

Результаты анализов механического состава почв обоих участков, приведенные в таблице, позволяют говорить об их низкой влагоемкости и высокой водопроницаемости.

Содержание гумуса в верхних горизонтах почв не превышает 0,3÷0,4%. Общее количество азота в связи с их малогумусностью низкое - 0,02÷0,04%. Подвижного фосфора содержится 0,8÷1,3 мг/100г почвы с максимумом в верхнем горизонте. Наличие карбонатов по всему профилю песчаных почв колеблется в пределах 4÷6% CO_2.

За вегетацию 1980 г. на опытно-производственном участке с орошением по бороздам было проведено три вегетационных полива хлопчатника, а на участке с орошением дождеванием - два полива зерновых.

Механический состав почв
(процент к воздушно-сухой почве)

Глубина, см	Размер фракции, мм						
	I÷0,I	0,I÷0,05	0,05÷0,0I	0,0I÷0,005	0,005÷0,00I	Менее 0,00I	Менее 0,0I
			Точка 7, полив по бороздам				
0-25	47,49	46,99	0,8	2,I6	0,32	2,24	4,72
25-55	49,II	47,45	0,88	0,4	I,2	0,96	2,56
55-I60	35,83	5I,2I	8,08	I,28	2,08	I,52	4,88
I60-200	I0,38	58,9	8,48	3,84	9,76	8,64	22,24
			Точка 2, полив дождеванием				
0-25	33,75	4I,6I	I3,36	I,52	0,72	9,04	II,28
25-50	25,52	52,88	I3,76	I,I2	0,24	6,48	7,84
50-75	24,27	48,93	I9,I2	I,76	2,24	3,68	7,68
75-I00	29,39	5I,89	I2,96	I,2	I,76	2,8	5,76
I00-I25	30,83	48,2I	I5,28	I,36	I,92	2,4	5,68
I25-I50	23,9	52,02	I8,72	I,2	I,2	2,96	5,36
I50-I75	4,84	32,25	52,4	0,I6	8	2,32	I0,48
I75-200	4,0I	24,I5	53,68	4,8	5,6	7,76	I8,I6

Характерные эпюры влажности почвогрунтов и их изменения в межполивные периоды при различных способах полива приведены на рис. I и 2. В зависимости от увлажненности после полива почвы иссушались в вегетацию на различную глубину. При поливах по бороздам глубина иссушения , как правило, достигала не менее I м, тогда как при поливах дождеванием она обычно составляла 50÷60 см.

При сложившемся водном режиме влажность в корнеобитаемой зоне на I0÷I5-й день после полива приблизилась к значениям максимальной молекулярной влагоемкости, что свидетельствует о необходимости проведения частых поливов малыми нормами.

По наблюдениям за солевым режимом, почвы на опытно-производственных участках незасоленные. Содержание натрия в метровом слое на всех наблюдаемых точках колебалось в пределах 0,I-0,6 мг.экв на I00 г почвы. За вегетационный период изменения количества натрия и накопления других солей не обнаружено.

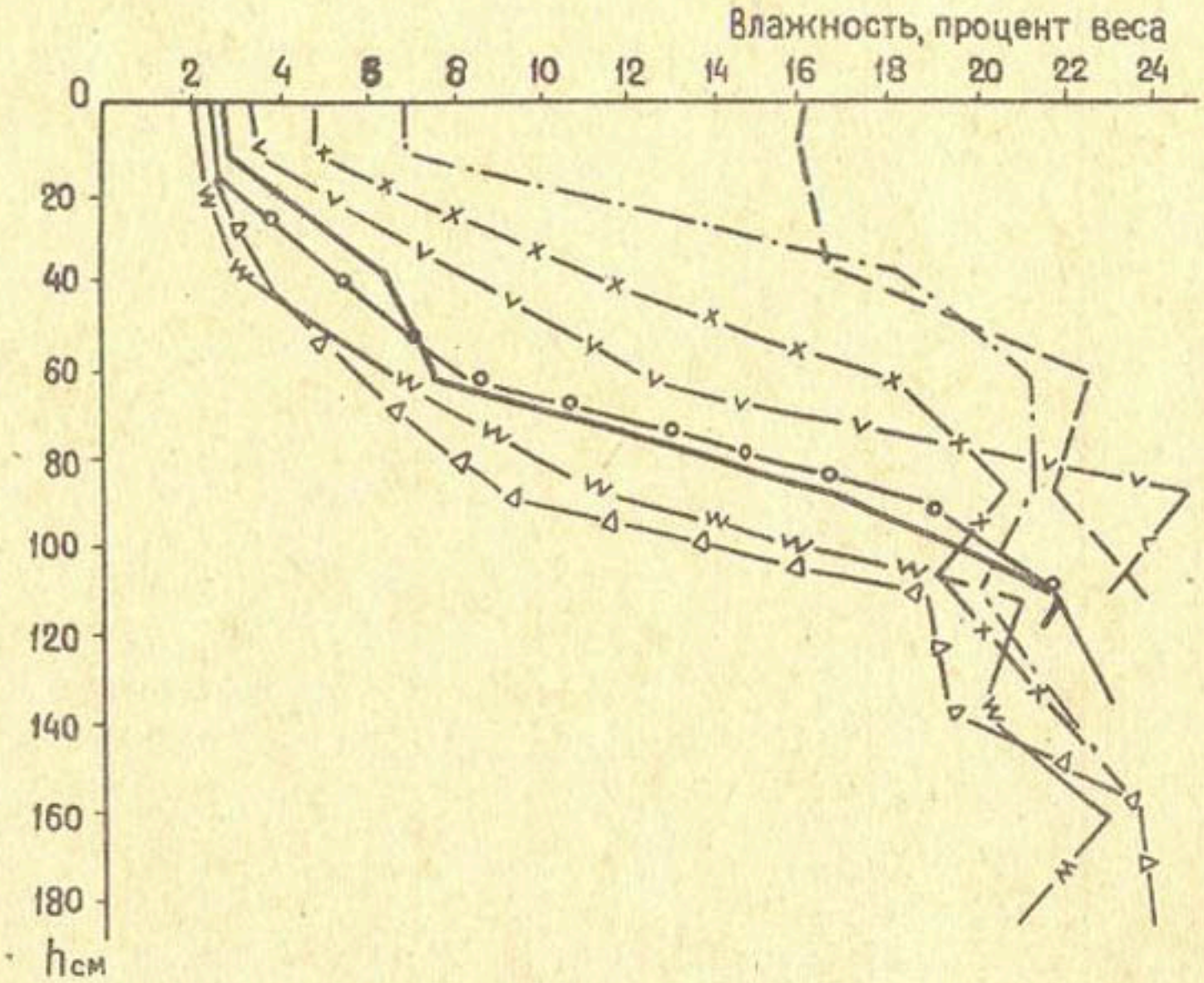


Рис. I. Динамика влажности почвогрунтов в точке 7 после второго полива по бороздам: — — в первый день; _ _ . _ на третий день; — x — на шестой день; — V — на десятый день; — O — на пятнадцатый день; — W — на двадцать первый день; — Δ — на двадцать четвертый день; ___ исходная влажность

Итоги изучения динамики влажности в межполивные периоды показывают, что оптимальная глубина увлажнения супесчано-песчаных почв Голодной степи зависит от возделываемой сельскохозяйственной культуры и характера ее корневой системы. Для пропашных культур с развитой корневой системой она составляет I÷I,2 м, для зерновых - 0,5 м.

Исследования института "Средазгипроводхлопок" подтвердили перспективность применения дождевания при освоении песчаных почв только при строгом соблюдении всех остальных агротехнических требований (внесение органических и минеральных удобрений, введение полосной системы земледелия, применение кулис и т.д.).

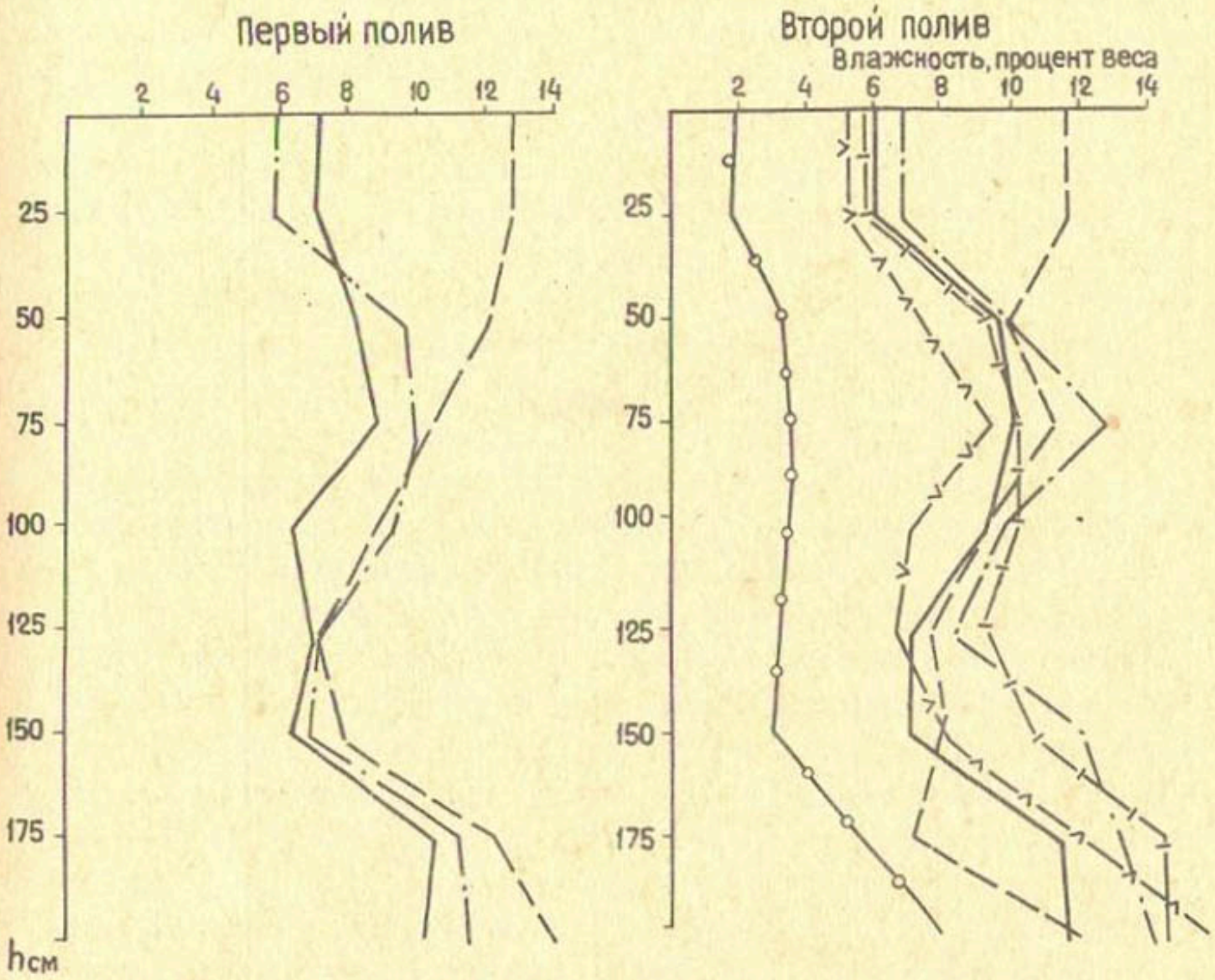


Рис. 2. Динамика влажности почвогрунтов в точке 2 после полива дождеванием: _ _ _ в первый день; _ . _ на третий день; _ , _ . _ на пятый день; _v_ на десятый день; _O_ на пятьдесят седьмой день; ___ исходная влажность

На основании проведенных институтом исследований земель, подверженных ветровой эрозии, и анализов результатов имеющихся публикаций составлены рекомендации по сельскохозяйственному освоению песчаных почв в совхозе I4[8] им. Г.К.Жукова Голодной степи, согласно которым для успешного их использования необходимо соблюдать систему мероприятий по созданию и постоянному повышению плодородия почв. В комплексе мер по защите почв от эрозии важное значение придается агротехническим приемам как менее дорогостоящим, наиболее доступным и надежным. К ним относятся: минимальная

и нулевая обработки, обеспечивающие сохранение на поверхности почвы растительных остатков, введение полосного земледелия, создание кулис, посев почвопокровных культур. Необходимо предусмотреть чередование полос сельскохозяйственных культур с большим почвозащитным эффектом (ячмень, пшеница, суданская трава, люцерна) и полос эрозионноопасных культур (кукуруза, сорго, картофель, овощи, хлопчатник). Полосы должны быть одинаковой ширины (20÷50 м), кратной захвату основных сельскохозяйственных орудий. Располагать их следует под прямым углом к направлению господствующих ветров. Между полосами многолетних трав (донник, эспарцет песчаный, люцерна) следует располагать посевы однолетних культур. Через 2÷3 года участки под травами распахиваются и используются под однолетние сельскохозяйственные культуры, а травами засевают другие полосы, бывшие под однолетними. После уборки зерновых полосы следует засевать другими повторными культурами. Посевы производятся по невспаханной стерне в антидефляционных целях. Ширина полос чередующихся сельскохозяйственных культур составляет 20÷50 м при поливе дождевальной машиной "Фрегат".

Для более надежной защиты почв от дефляции в перспективе необходима посадка полос древесно-кустарниковых насаждений по периметру зоны действия каждой дождевальной установки, для чего подбираются породы быстрорастущих деревьев с учетом местных условий.

На песчаных почвах более перспективны так называемые сложные полимерные удобрения (СПУ). Они комплексные (азотно-фосфорные), растворяются медленно и вносить их лучше один раз - при посеве, избегая излишних рыхлений почвы. Обычные азотные и фосфорные удобрения следует вносить дробно, в 3÷4 приема, в сочетании с органическими.

Таким образом, материалы конкретных исследований и литературных источников позволили разработать рекомендации по рациональному освоению песчаных почв. Предлагаемая система мероприятий предполагает получение высоких урожаев основных и повторных сельскохозяйственных культур, а также обеспечивает надежную защиту почв от дефляции.

Песчаные массивы можно превратить в оазисы с плодороднейшими почвами, для чего обязательно соблюдение следующих основных положений по сельскохозяйственному освоению и окультуриванию песчаных почв, обоснованные многочисленными исследователями:

I) освоение песчаных массивов представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных мелиоративных и агротехнических меропри-

тий, составляющими которого являются планировка поверхности, промывка почвогрунтов (при необходимости) и их окультуривание под покровом различных сельскохозяйственных культур;

2) технологию освоения песчаных почв определяет способ орошения сельскохозяйственных культур. По техническим условиям наиболее целесообразным является дождевание. Применение поверхностных способов полива допустимо после землевания песков;

3) планировка песков должна быть приурочена в основном к зимне-весеннему периоду, когда почвы влажные, обладают большей связностью и меньше подвержены дефляции. В антидефляционных целях запрещается начинать планировочные работы на песчаных массивах до подвода воды и распределения ее по участку. При этом предпочтительнее закрытая оросительная сеть с соответствующим оборудованием для дождевальной техники;

4) на песчаных почвах, в отличие от суглинисто-глинистых, нельзя возделывать одну сельскохозяйственную культуру на больших площадях с едиными агротехническими сроками. В целях предотвращения почв от развевания необходимо полосное чередование различных культур с неодинаковыми почвозащитными свойствами и агротехническими сроками. Нельзя допускать, чтобы пустовали значительные площади. Избежать этого позволяет полосная система земледелия. Высокоэффективны кулисные посевы;

5) годовую норму минеральных удобрений на песчаных почвах следует увеличить на 25÷30% против обычной, применяемой на орошаемых суглинках. Азотные и фосфорные удобрения вносятся в 3÷4 приема в сочетании с органическими. Навоз вносится в перепревшем виде из расчета 40÷50 т на гектар в осенне-зимний период;

6) сроки и глубина основной обработки почвы зависят от года освоения, предшествующей культуры, состояния окультуривания. В первые годы освоения следует избегать основной вспашки на глубину 25÷30 см, а если проводить ее (согласно требованиям агротехники), то только через полосу, во избежание интенсивной ветровой эрозии в невегетационный период. Междурядные обработки необходимы только для уничтожения сорняков.

Одновременно с посевом пропашных культур закладываются лесные полосы из быстрорастущих древесных пород - акации белой, лоха восточного, ясеня, абрикоса и др. При этом основные - шестирядные лесные полосы располагают перпендикулярно к направлению

господствующих ветров на расстоянии 150÷200 м друг от друга; трехрядные, вспомогательные (поперечные) – через 400÷500 м. Расстояния деревьев в междурядьях 2,5÷3 м, а в рядах – 2 м.

При орошении земель дождевальными установками типа "Фрегат" полезащитные лесные полосы закладываются по окружности орошаемого поля.

Литература

I. Бабаев А.Г. Оазисные пески Туркменистана и пути их освоения. Ашхабад, "Ылым", 1973.

2. Данильченко Н.В. Эффективность орошаемого кормопроизводства на пустынных пастбищах Казахстана. „Проблемы освоения пустынь", № I, 1972.

3. Пунинский Ю.С., Максименко В.П. Опыт дождевания кормовых культур на приоазисных песчаных землях Каракумов. – Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР, сер. I, вып. 3, М., 1979.

4. Минашина Н.Г. Мелиорация засоленных земель. М., "Колос", 1978.

5. Морозов Н.Л., Иванов В.Ф. Орошение на базе подземных вод. М., "Колос", 1968.

6. Рабочев И.С., Оразгельдыев М., Шарипов Д. Использование дренажных вод для орошения кормовых культур на песчано-пустынных почвах. – Мелиорация земель в Туркменистане, 1980, вып. 6.

7. Михайлина В.И. Агротехнические способы защиты почв от эрозии в США. М., ВНИИТЭИСХ, 1977.

УДК 631.61:631.445.5(575.18)

В.Ф.Сафонов, гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

ОБ ОСВОЕНИИ ЗАСОЛЕННЫХ ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ ДЖИЗАКСКОЙ СТЕПИ

Значительная площадь Джизакской степи представлена засоленными гипсоносными почвами со специфическими водными и физическими свойствами. Такие земли требуют иной, отличной от обычной, системы освоения, конечная цель которой – создание условий для устойчивого высокого плодородия почв при наименьших затратах труда и

средств.

До последнего времени принцип освоения засоленных земель, включая и гипсоносные, сводится к глубокому (100÷200 см и более) рассолению почвогрунтов за один сезон. Повышение эффективности промывки в этом случае предусматривается за счет усложнения как способов, так и технологии ее проведения, включающих использование электричества, омагниченной воды, различных химических соединений - кислот, структурообразователей и других химмелиорантов. Все это требует специальной подготовки полей, наличия высококвалифицированных поливальщиков, приобретения строительными организациями и хозяйствами техники, оборудования, химсоединений и других материалов, используемых только во время проведения капитальных промывок, что приводит к удорожанию их, а следовательно и к повышению стоимости гектара новоосваиваемых земель. При современных масштабах освоения это выражается в довольно значительной сумме. К тому же совсем немаловажно, что многие предложения по повышению эффективности промывки связаны с затратами больших объемов воды, столь дефицитной в среднеазиатском регионе.

Вместе с тем опыт освоения засоленных гипсоносных почв показывает, что на землях, промытых на глубину 60÷70 см, при соблюдении агротехнических правил в вегетационный период возможно получение удовлетворительных урожаев сельскохозяйственных культур, в том числе хлопка-сырца, при одновременном нарастающем рассолении почвогрунтов к концу вегетации.

В соответствии с вышеуказанным при разработке способа освоения рассматриваемых земель учитывались следующие положения:

- наличие большого количества гипса в пределах первого метра засоленных гипсоносных почв Джизакской степи обусловливает неблагоприятные водно-физические свойства, определяющие пониженную промываемость и специфический водно-солевой режим в послепромывной период;

- единовременная промывка их большими нормами (сверх 10 тыс. $м^3$/га), обеспечивающими глубокое рассоление до предела токсичности, принятого равным 0,01% Cl , нецелесообразна, так как при этом вода расходуется непроизводительно, с очень низким коэффициентом полезного действия;

- для описываемых почв характерно пониженное естественное плодородие, а потому пропуск через них больших объемов воды при-

водит к обеднению их элементами питания;

- опыт освоения засоленных гипсоносных земель в Средней Азии, странах Ближнего Востока и Северной Африке показывает, что главное в системе освоения таких почв - время, которое необходимо для улучшения их водно-физических свойств и повышения плодородия.

В основу предлагаемой работы легли материалы исследований, выполненных институтами САНИИРИ им.В.Д.Журина и "Средазгипроводхлопок" при участии ИП АН УзССР и других организаций на опытно-производственном участке (ОПУ) площадью 10 га, расположенном на землях джизакского совхоза № 5. Почвенно-мелиоративные условия ОПУ типичны для этого совхоза и значительной части земель Джизакской степи.

Участок находится на периферии конуса выноса р.Зарминсу, представляющей собой слабопокатую равнину мелкоземистых шлейфов. На описываемой территории распространены четвертичные отложения с довольно пестрым литологическим строением. По гидрогеологическим условиям это область подпора и выклинивания грунтовых вод, залегающих на глубине 2÷3 м. Минерализация верхнего слоя грунтовых вод высокая (20÷60 г/л), книзу она уменьшается до 10÷20 г/л, а на глубине 40÷50 м от поверхности не превышает 2÷3 г/л. Характер засоления смешанный - хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный. Растительность представлена густым покровом аджерека с отдельными кустами солянок, весной отмечаются густые пятна маков и ромашек.

Здесь распространены сероземно-луговые засоленные почвы в комплексе с солончаками. Почвогрунты засолены на всю глубину до грунтовых вод. Общие запасы солей в трехметровой толще по отдельным контурам колеблются от 400 до 800 т/га. Большая площадь участка представлена грунтами, содержащими 600÷800 т/га солей, при наличии хлора 0,15÷0,3% и натрия 0,1÷0,5%. Распределение солей по профилю неравномерное: наибольшее количество их сосредоточено в верхнем метре, с глубиной постепенно убывает. Характерной особенностью грунтов является их высокая гипсоносность. В горизонте максимального скопления, расположенного в пределах первого метра, содержание гипса по отдельным скважинам достигает 40÷50% веса почвы. В поверхностных гумусово-карбонатных горизонтах гипс представлен в виде мучнистых скоплений, состоящих из мельчайших кри-

сталлов. В гипсоносном горизонте преобладают кристаллы выпукло-ромбовидной формы. В подгипсовых горизонтах (до уровня грунтовых вод), где количество гипса не превышает 15÷20%, он находится в виде отдельных сросшихся кристаллов - друз [1].

По механическому составу почвогрунты слоистые, с чередованием легких и средних суглинков, с преобладанием в отложениях фракции крупной пыли (0,05÷0,01 мм). Характерными особенностями почв являются высокая плотность, особенно во втором и третьем метрах, где объемный вес достигает 1,63÷1,68 г/см^3, и низкие значения свободной пористости, что ставит под сомнение эффективность беспрерывной промывки. Водопроницаемость почв, определенная при поливе затоплением, не превышает 8 мм/ч.

Основному опыту на участке предшествовал разведочный. На делянке 25 м^2, расположенной рядом с ОПУ, в 1970 г. изучалась промываемость. В результате промывки опреснился слой 80 см. В 1971 г. здесь посеяли хлопчатник. При обычной агротехнике, оросительной норме 8800 м^3/га и благоприятном солевом режиме почвогрунтов получен урожай 18 ц/га (в пересчете на гектар). При общем уменьшении количества солей в зоне аэрации происходило некоторое перераспределение их по профилю с незначительным накоплением в верхнем горизонте (0÷50 см) в конце вегетации, по прекращении поливов. Осенью 1971 г., после сбора урожая, делянку вскопали на глубину 20 см, и тем закончился цикл работ на ней. Весной 1972 г., в середине апреля, провели профилактический полив нормой 1400 м^3/га. Спустя семь дней делянку снова вскопали, нарезали борозды (через 70 см) и посеяли хлопчатник. Агротехника его возделывания, как и в прошлом году, сводилась к поливам, междурядным обработкам после каждого полива и внесению удобрений. Всего за оросительный период хлопчатник получил семь поливов общей оросительной нормой 7900 м^3/га. Последняя близка к проектной, правда, несколько смещено время орошения: сентябрьская норма перенесена на август.

Наблюдения за ростом и развитием хлопчатника показали, что в вегетационный период растения не чувствовали угнетения и проходили в срок все фазы развития. Урожайность, составившая 24 ц/га (против 18 ц/га в прошлом году), подтверждает, что условия для произрастания хлопчатника были благоприятными.

На ОПУ исследовались солевой режим почвогрунтов, его направленность и интенсивность процессов солепереноса, которые опреде-

ляются целым рядом факторов, как-то: дренированность территории, водно-физические свойства и строение почвенного профиля, водный режим, состав культур и агротехника их возделывания, минерализация грунтовых вод и др. Определяющим моментом является исходный солевой профиль, вследствие чего солевой режим почвогрунтов опытного участка изучался при различных эпюрах исходного засоления.

В связи с этим задачей одного из вариантов опыта было выяснение процесса рассоления почв при обычном орошении и поведения культур при посеве на непромытых засоленных землях, промываемых в процессе вегетационных поливов. С этой целью люцерну и кукурузу посеяли на непромытых землях, имеющих опресненный (в результате зимне-весенних осадков) лишь верхний (до 20 см) слой.

Люцерну посеяли 28 апреля с нормой высева 8 кг/га, вручную, что обусловило неравномерную по площади густоту стояния. За период вегетации провели шесть поливов общей оросительной нормой 10000 $м^3$/га. Это соответствует проектной оросительной норме, но распределение ее во времени было несколько иным, чем запланировано. Солевой режим почвогрунтов под люцерной контролировался тремя точками (8, 11 и 12), по которым дважды (после полива нормами 5000 и 10000 $м^3$/га) отбирались образцы на анализ. Результаты анализа (рис. 1) показали, что за вегетацию происходит постепенное, от полива к поливу нарастающее по степени и глубине опреснение почвогрунтов. Оно за один вегетационный период, как и следовало ожидать, не достигает принятых пределов промываемости. Тем не менее рост и развитие люцерны проходили нормально, что указывает на необходимость пересмотра пределов промываемости.

Оставленная на второй год люцерна в вегетацию получила семь поливов (поливные нормы от 700 до 1500 $м^3$/га, общая оросительная норма 8480 $м^3$/га). К началу вегетации, по данным солевой съемки, почва под люцерной была опреснена (не до пределов токсичности) на глубину 1 м. Росла люцерна дружно и зазеленела по всему полю равномерно. Уже к концу апреля она имела высоту 70÷90 см, а в начале мая зацвела. Никаких признаков угнетения от солей не наблюдалось. Урожайность первого укоса была наиболее высокой. После укоса люцерна восстановилась и имела хороший вид. Однако на микроповышениях отмечались угнетение, а местами и полный выпад расте-

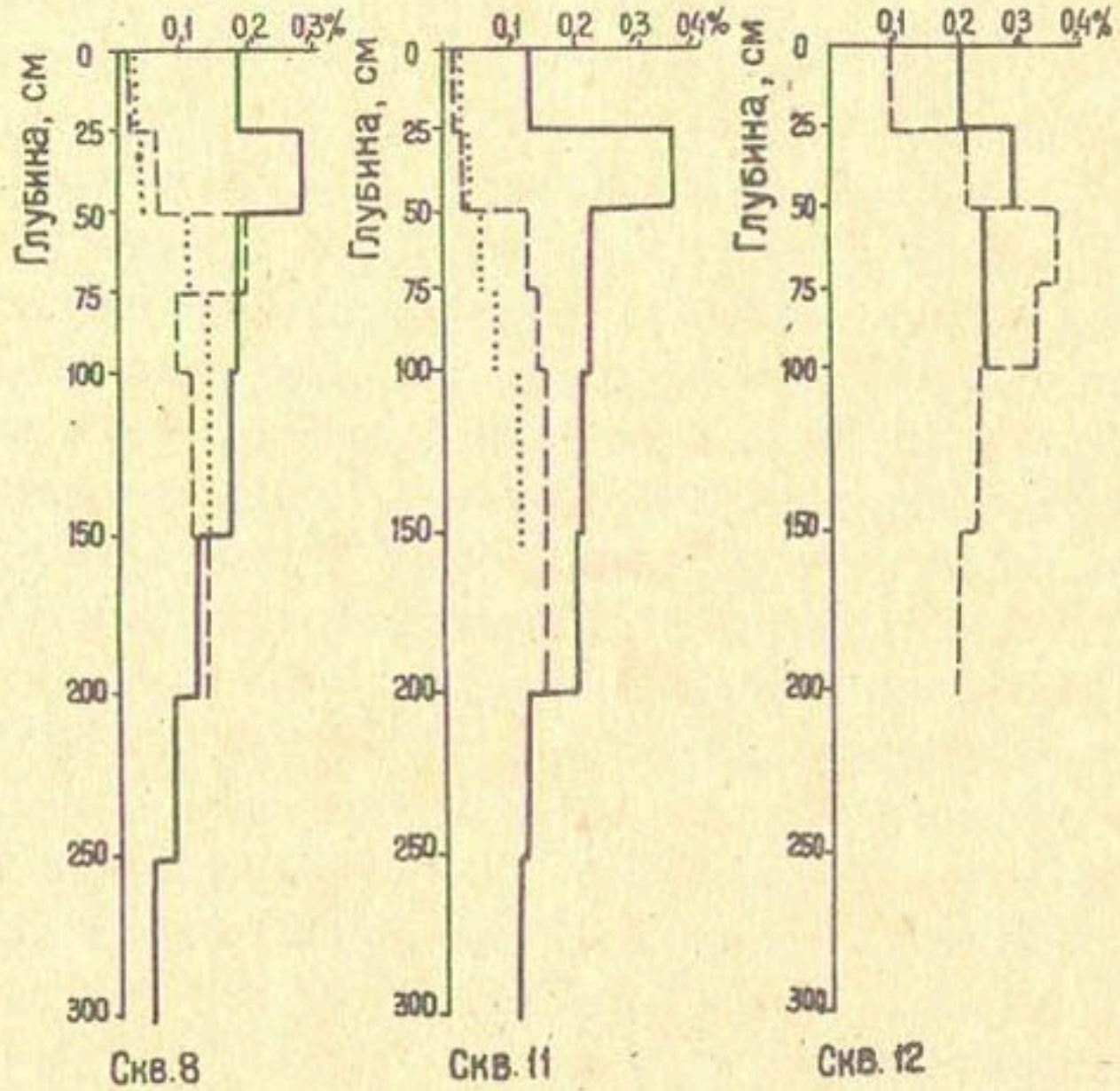


Рис. I. Распределение хлора по профилю почвы:
— исходное содержание; ––– содержание после подачи 5000 м³/га;
.... содержание после подачи I0000 м³/га

ний. На повышениях высота люцерны составляла лишь 60 см. Данные химанализов показали, что на выровненных, равномерно поливаемых участках более четко прослеживается нарастание опреснения по глубине. На микроповышениях, которые затоплялись на короткое время, а следовательно получили и меньше воды, процесс рассоления выражен слабее. За сезон было проведено три укоса с общей урожайностью 88,5 ц/га.

Кукурузу посеяли I9 июля с нормой высева 48 кг/га. Посеву предшествовал полив, так как почва к моменту посева была пересушена. Через 5÷7 дней появились всходы. В дальнейшем рост и развитие растений были неравномерными по длине борозды. Посевы имели вид седла. В голове и конце борозд, где по разным причинам происходило большее увлажнение, растения хорошо развивались и

достигали высоты I,5 м и более при густом стоянии. В середине борозд высота растений не превышала 80÷90 см при угнетенном их состоянии и разреженном стоянии, что объясняется солевым режимом почвогрунтов. Для ориентировочного суждения о солевыносливости кукурузы были отобраны образцы на анализ с двух площадок, одна из которых характеризует хорошее состояние растений с густым стоянием, а вторая - угнетенное состояние с разреженным стоянием. Данные анализа показали, что при содержании хлора в метровом слое в пределах 0,03÷0,07% растения хорошо себя чувствуют и нормально развиваются. При содержании хлора 0,08÷0,09% в слое 0÷50 см и больше 0,2% в слое 50÷I00 см происходит угнетение растений.

Таким образом, и люцерна и кукуруза сравнительно хорошо развиваются при засолении гораздо более высоком, чем считалось до сих пор. Но это не значит, что посевы необходимо производить в недопромытую почву. Следует пересмотреть порог промываемости и, где невозможно или нецелесообразно доводить опреснение до 0,0I% хлора, промывку можно и нужно заканчивать при более высоком остаточном содержании солей.

Итак, эксперимент показал возможность постепенного опреснения почв при выращивании культур без предварительной промывки. Основной опыт выполнен на фоне промывки, проведенной осенью I972 г. нормой около 5000 $м^3$/га. Как и следовало ожидать, в результате промывки содержание солей уменьшилось лишь в верхнем (до 50 см) слое, количество хлора в нем оставалось выше пределе токсичности.

Весной, перед посевом, была проведена повторная солевая съемка для выявления рассоляющего эффекта атмосферных осадков. Зимне-весенние осадки, по наблюдениям ряда исследователей, как правило, уменьшают содержание солей лишь в слое до 25 см, осаждая их в нижележащие горизонты. К осени в результате испарения солевой профиль возвращается к исходному. Однако рассоляющая роль осадков сильно возрастает, если им предшествует промывка. В этом случае атмосферные осадки становятся составляющей, увеличивающей промывную норму.

Предпосевная солевая съемка показала, что опреснение атмосферными осадками затронуло слой более I00 см.

На промытых до 0,04÷0,05% хлора почвах были посеяны основные севооборотные культуры: хлопчатник и люцерна. Солевой режим на

посевах определялся в двух взаимосвязанных направлениях. Общее течение процесса рассоления устанавливалось путем проведения ежегодных солевых съемок (в начале и конце вегетации сельскохозяйственных культур) по 48 закрепленным точкам с одновременной фиксацией уровня и минерализации грунтовых вод. Процесс солепереноса на участках, расположенных на неодинаковом расстоянии от дрен и оросителей (начало, середина и конец борозды) и занятых под разные культуры, изучался путем определения засоления в динамике в течение всего вегетационного периода. Образцы на анализ отбирались в начале и конце вегетации, а также до и после каждого полива. Рассматривая динамику солесодержания в течение шести лет, можно видеть общую направленность к ослаблению засоления с увеличением периода освоения. При этом наиболее резкое снижение засоленности приходится на первые годы освоения (рис. 2). В последующем происходит постепенное, нарастающее по глубине и степени опреснение почвогрунтов. В дальнейшем наступает стабилизация засоления с небольшим сезонным увеличением его в верхнем (0,5 м) слое к концу вегетации. В течение вегетации также отмечаются незначительные колебания содержания солей от полива к поливу, что характерно и для староорошаемых земель, подверженных засолению. Эти изменения происходят в пределах одной градации (от незасоленных до слабозасоленных), что практически не влияет на рост и развитие производимых культур.

Наблюдения за динамикой влажности показали, что в рассматриваемых условиях в формировании водного режима почв, помимо названных факторов (водно-физические свойства, сложение и строение почвенного профиля), большую роль играет режим водоподачи (рис. 3 и 4). При равной оросительной норме, но разном ее распределении складывается неодинаковый водный режим. Наиболее благоприятен он, в смысле снабжения водой растений, в варианте с большим числом поливов меньшими нормами. Так, при трех поливах влажность в слое 0÷50 см значительную часть времени находится в пределах ниже 65% ППВ, что недопустимо для засоленных почв. Аналогичная картина наблюдается и для слоя 0÷100 см, что также не является оптимумом для данных условий. При той же оросительной норме, но четырех поливах влажность в слое 0÷50 см только после второго полива (наиболее жаркий период) была ниже 65% ППВ. В слое 0÷100 см она перед поливами не опускалась ниже 70% ППВ. Это поло-

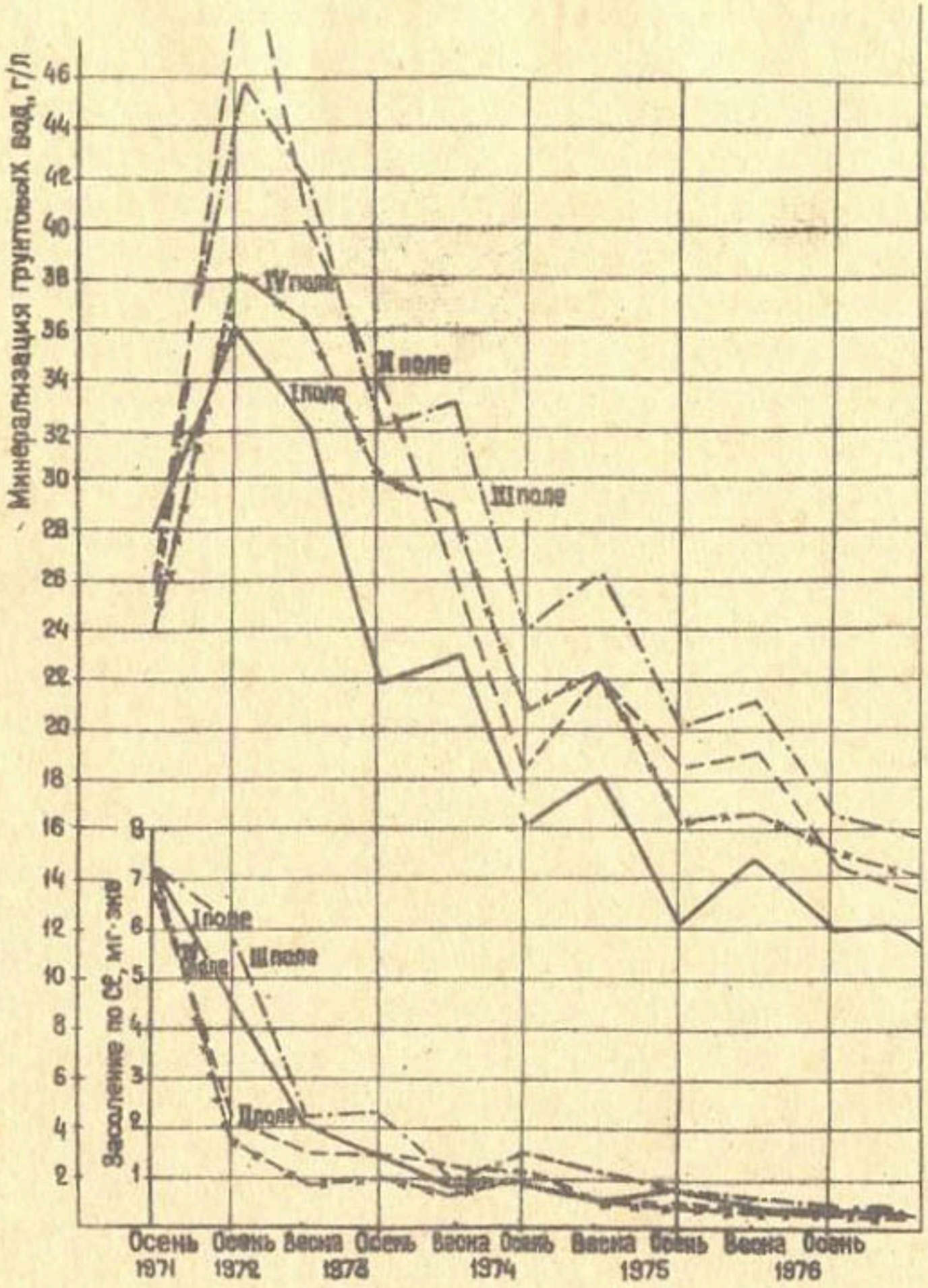


Рис. 2. Динамика рассоления метрового слоя почвогрунтов и грунтовых вод

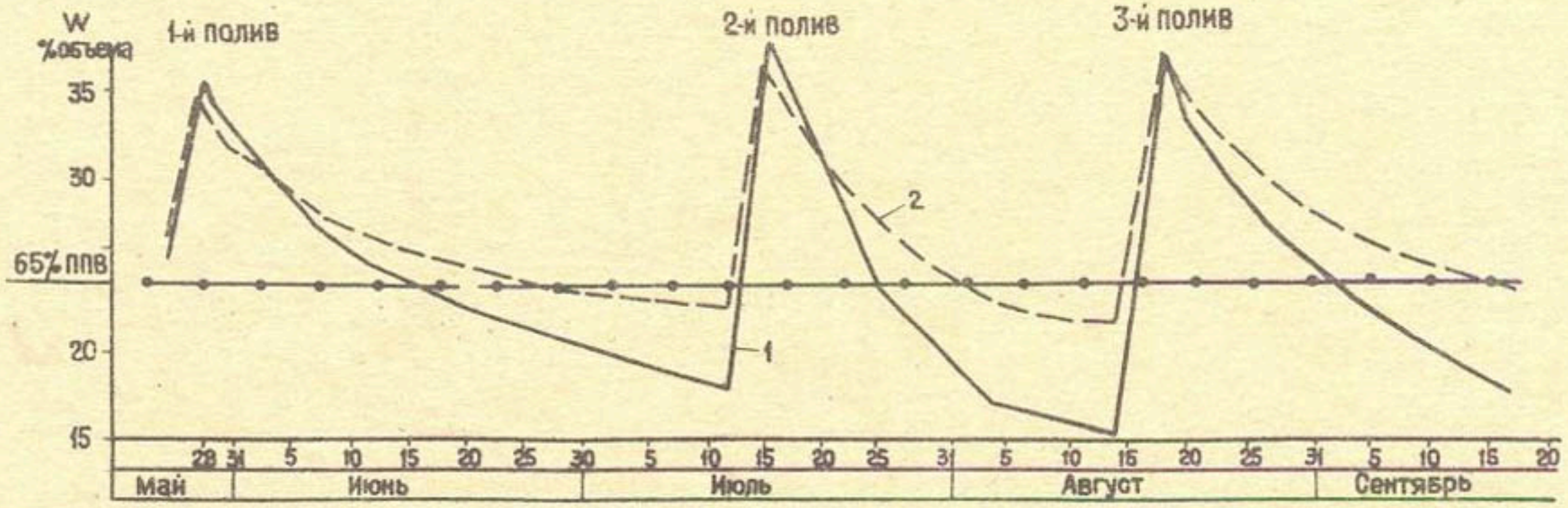


Рис. 3. Режим влажности почвы при трех поливах: I- в слое 0÷50 см; 2 - в слое 0÷100 см

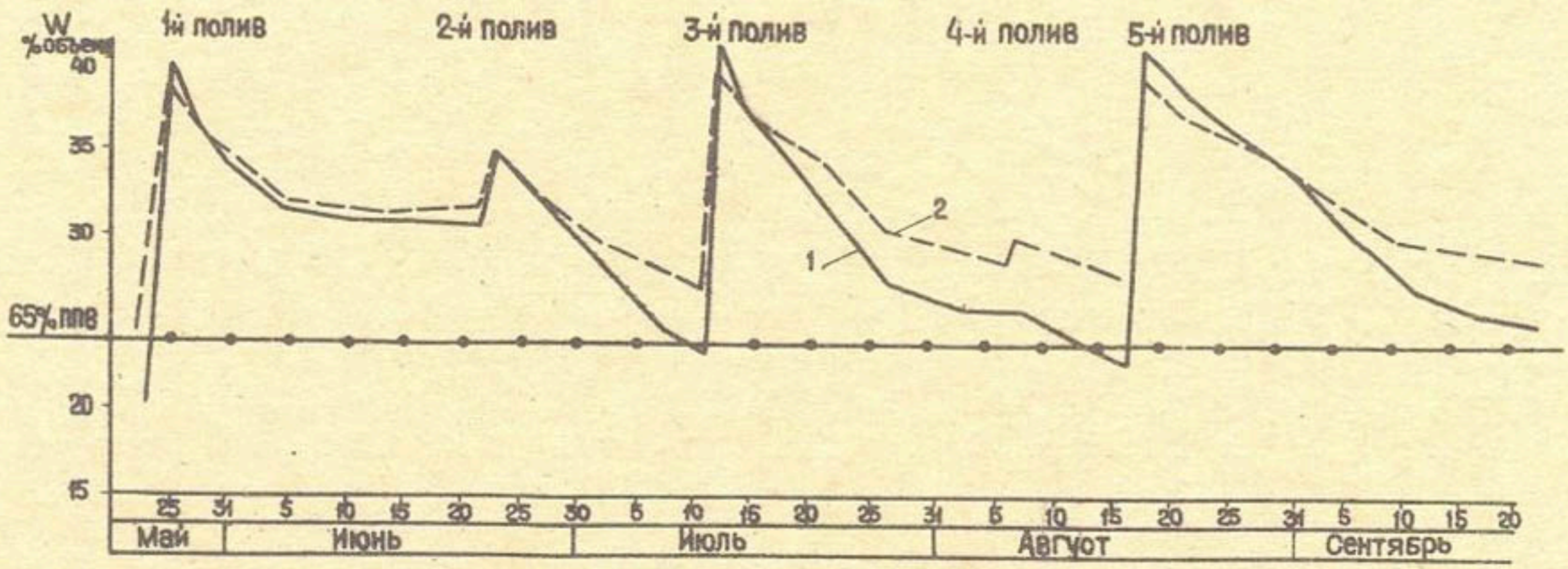


Рис.4. Режим влажности почвы при пяти поливах: I - в слое 0÷50 см; 2 - в слое 0÷100 см

ваше подтверждается данными о режиме влажности по третьему полю. Здесь хлопчатник посеяли между полями люцерны, которую поливали в пять приемов. Второй и четвертый поливы проводились в промежутках между поливами хлопчатника. Во время поливов люцерны под посевами хлопчатника наблюдался подъем уровня грунтовых вод и повышение влажности как в метровом, так и в верхнем, полуметровом, слое почвы. Хлопчатник здесь получил как бы пять поливов (два из которых очень малыми нормами), что не замедлило сказаться на режиме влажности. В течение всего вегетационного периода влажность в метровом горизонте не опускалась ниже 70% НПВ. Такой режим влажности наиболее благоприятен для водоснабжения растений.

Характерные особенности водного режима почв опытного участка - интенсивное расходование влаги из верхнего полуметрового слоя, особенно из горизонта 0÷25 см, и практически постоянная в течение всего вегетационного периода влажность на глубине 100÷200 см. Из суммарного расхода влаги за межполивной период 70-75% приходится на верхний полуметровый слой. В свою очередь, около половины его расходуется из верхнего 25-сантиметрового горизонта. 25% влаги расходует слой 50÷100 см. Довольно пологая кривая иссушения этого горизонта указывает, что сюда постоянно поступает влага из нижележащих слоев, т.е. происходит капиллярное подпитывание.

Материалы шестилетних исследований на опытно-производственном участке, характеризующемся утяжелением профиля почв книзу и наличием плотного гипсового горизонта, показали, что капиллярный подток практически прерывается на глубине 50÷75 см и водоснабжение растений обеспечивается в основном запасами влаги этого слоя.

Таким образом, поливную норму в первый период освоения следует рассчитывать на увлажнение слоя 0÷70 см и она не должна превышать 1000 $м^3$/га. При названной норме предел иссушения в корнеобитаемом слое (0÷50; 0÷75 см) наступает на 15÷20-й день после полива. При средних межполивных периодах 15÷20 дней необходимо в вегетацию проводить шесть поливов. Специфика рассматриваемых условий (значительная пересушка верхнего 25-сантиметрового слоя) требует проведения дополнительного вызывного полива нормой 400÷500 $м^3$/га. С учетом этого оросительная норма составит около 7000 $м^3$/га. В последующем, по мере окультуривания почв и изменения

свойств гипсоносного горизонта, изменится влагообмен зоны аэрации, в соответствии с чем увеличится поливная норма, что приведет к уменьшению количества поливов и сокращению оросительной нормы за счет снижения непроизводительных потерь при поливах и изменения климата (возрастания относительной влажности воздуха).

Данные об урожайности хлопчатника показывают, что она постепенно, из года в год растет и достигает 18 ц/га на шестой год освоения (рис. 5). Большая пестрота почвенного покрова по глубине

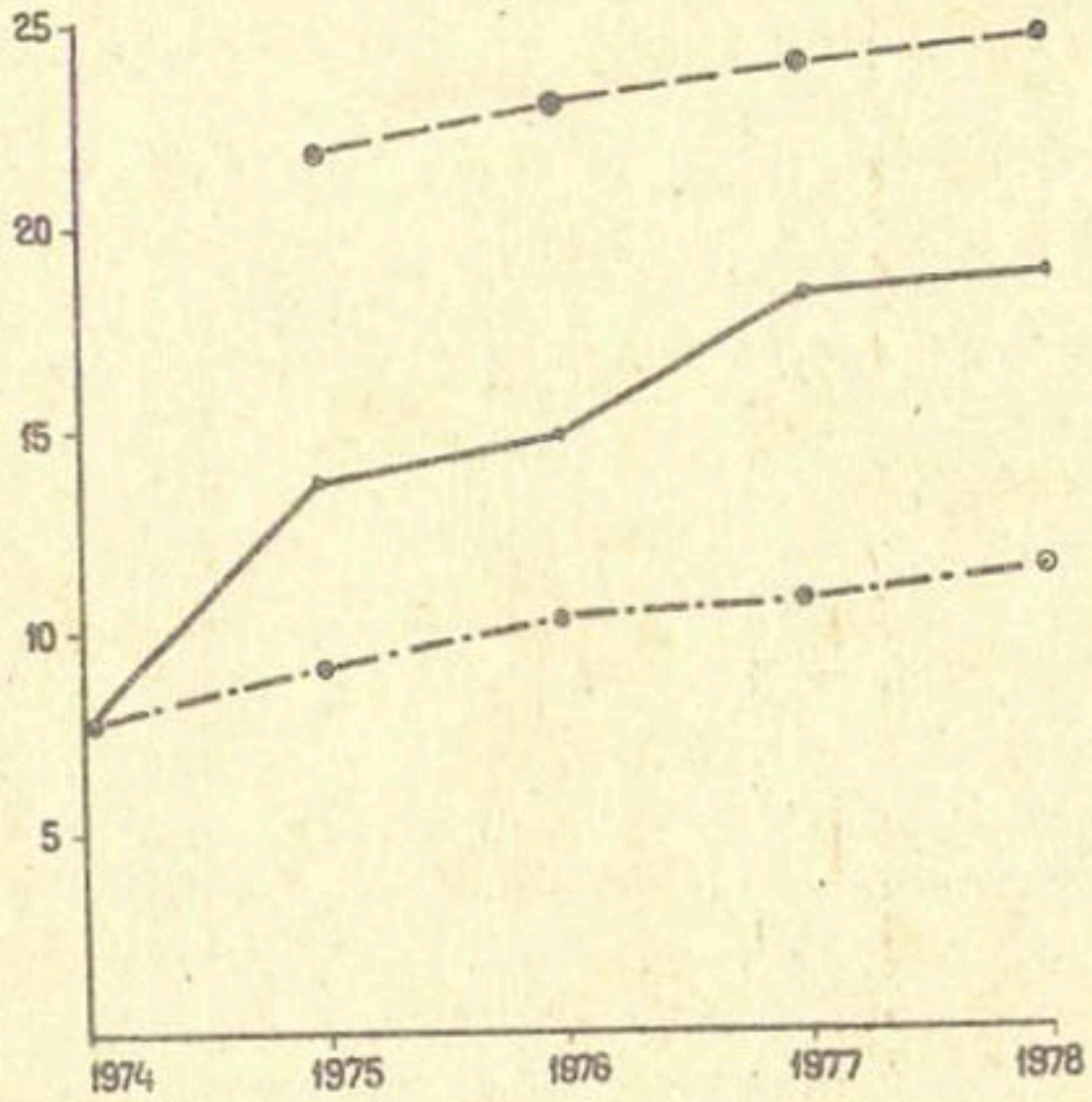


Рис. 5. Урожайность хлопчатника: 0 минимальная (монокультура хлопчатника); ● максимальная (хлопчатник после трехлетней люцерны); — средняя

залегания и содержанию гипса, наличию элементов питания, механическому составу и другим показателям обусловливает значительную разницу в урожайности. По отдельным фенологическим площадкам она колебалась от 8 до 25 ц/га . Но наряду с этим прослеживается определенная зависимость ее от предшествующей культуры (табл. I). Максимальные урожаи хлопка (28÷31 ц/га) получены после распашки люцерны второго и третьего года стояния и наименьшие (9-10 ц/га) - на монокультуре хлопчатника.

Таблица I

Урожайность хлопчатника (ц/га)
в зависимости от предшествующей культуры

Хлопчатник				Люцерна		
первого года	второго года	третьего года	четвертого года	первого года	второго года	третьего года
I0,3	9	I0,3	II,6	I5,6	28,3	3I,3

Таблица 2

Урожайность люцерны (сено, ц/га)

Номер укоса	Люцерна		
	первого года стояния	второго года стояния	третьего года стояния
I	5,6	45,2	39,9
2	I2	30,3	26,4
3	2I	25,I	22,I
Итого	38,6	I00,6	88,4

Анализ данных об урожайности люцерны, приведенных в табл. 2, свидетельствует, что в наших опытах наибольший урожай люцерны получен на второй год стояния и несколько снижается на третий. Объяснение этому обстоятельству не найдено. Производственный опыт освоения подобных земель должен выявить лучшие сроки распашки люцерников.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

I) засоленные гипсоносные почвы Джизакской степи в силу особенностей их водно-физических свойств и строения почвенного профиля относятся к категории трудномелиорируемых земель;

2) имея пониженную промываемость и специфический водно-солевой режим в послепромывной период, такие почвы требуют иной, отличной от засоленных негипсоносных почв, системы первичного освоения и окультуривания. Главное в этой системе не единовременные большие затраты воды, труда и средств, а распределение их рацио-

нальными нормами во времени;

3) рекомендуемая поэтапная гидробиологическая система, предусматривающая постоянную водную нагрузку на промытой площади и затенение ее растительностью, включает в себя:

- первичное опреснение почвогрунтов при капитальной промывке на глубину 50÷60 см. Более глубокое опреснение связано с неоправданными затратами значительных объемов воды, труда и средств;

- обязательный посев на промытых землях культур-освоителей, при возделывании которых происходит дальнейшее рассоление почвогрунтов как по степени, так и по глубине. Культурами-освоителями могут быть как однолетние (сорго, кукуруза, травы, тритикале), так и многолетние (люцерна, суданская трава, колумбова трава). Наибольшим мелиоративным эффектом обладает люцерна при трехлетнем ее стоянии.

Внедрение хлопково-люцерновых севооборотов и их строгое соблюдение обязательны для засоленных гипсоносных почв;

- учитывая расход влаги по горизонтам и зону распространения корневой системы, ограниченную верхним уровнем гипсоносного слоя, можно рекомендовать в начальный период освоения поливные нормы из расчета необходимости увлажнения не метровой толщи, а слоя 50÷75 см;

- исходя из строения почвенного профиля и допустимого предела иссушения почв перед поливом (65% НВ) назначать поливную норму не выше 1000 $м^3$/га. Количество поливов должно быть не менее шести. При значительной, выше допустимых пределов, пересушке верхнего 25-сантиметрового слоя, что случается довольно часто, необходим вызывной полив нормой 400÷500 $м^3$/га. С учетом этого оросительная норма для хлопчатника в первый период освоения составит 6500÷7000 $м^3$/га;

4) исследуемые почвы в исходном состоянии характеризуются, как правило, малыми запасами питательных веществ, что требует при полном фоне минеральных удобрений внесения и органических;

5) планировка земель должна осуществляться с учетом залегания гипсовых горизонтов. При ее выполнении, по возможности, следует сохранять верхний плодородный слой;

6) предлагаемая система освоения мелиоративно эффективна и экономически целесообразна. Экономическая эффективность поэтапно-

го освоения гипсоносных засоленных почв складывается из снижения расходов воды на промывку и получения дополнительной сельскохозяйственной продукции. Ожидаемый общий экономический эффект от внедрения этого способа освоения составляет 432 руб/га [7].

Литература

1. Лим В.Д. Гипсоносные почвы Джизакской степи и их освоение. Автореф. канд.дис. Новосибирск, 1981.

2. Волобуев В.Р. Развитие опреснения в глубь почвогрунтов.- "Гидротехника и мелиорация", 1967, № 5.

3. Лунев В.Г. Влияние слабоводопроницаемых гипсированных прослоек в почвогрунтах на агромелиоративные условия Голодной степи. Автореф. канд.дис. Ташкент, 1968.

4. Сафонов В.Ф., Паренчик Р.И. Промываемость почвогрунтов Джизакской степи. - Сб.науч.тр. САНИИРИ, вып. 139, Ташкент, 1973.

5. Сафонов В.Ф. и др. О рациональной промывной норме. - "Хлопководство", 1979, № 8.

УДК 631.67:631.43

А.К.Бакиев, вед.инж.
(Средазгипроводхлопок)

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ СЕРО-БУРО-СЕРОЗЕМНЫХ ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ

XXУI съездом КПСС и Продовольственной программой СССР предусмотрено комплексное освоение земель Каршинской и Джизакской степей. Особое внимание уделяется обеспечению высоких темпов сельскохозяйственного производства на основе его интенсификации и высокоэффективного использования орошаемых земель.

В южной части Каршинской степи, на контакте между широтной пустынной зоной и вертикальным поясом шириной 5÷10 км, сформировались серо-буро-сероземные гипсоносные почвы. Почвообразование в этих условиях, переходных от пустынных к пустынно-степным, формирует морфологические признаки как сероземов - наличие дернового и поддернового горизонтов, так и серо-бурых почв - присутствие характерных для них генетических горизонтов.

Как указывалось в работе [7], такие почвы отличаются низким

плодородием, легким механическим составом, близким залеганием гипса, глубоким залеганием грунтовых вод, сложным рельефом местности и подверженностью суффозионным явлениям.

Учитывая, что площадь с подобными почвами значительна, а опыта освоения практически нет, институт "Средазгипроводхлопок" провел исследования названных почв на опытно-производственном участке (ОПУ) совхоза "Самарканд" (№ 3) Каршинской степи.

Орошение, по мнению авторов работ [2], [3] и др., в корне меняет почвообразовательный процесс, приводит к формированию самостоятельного типа почв в результате изменения их водного, воздушного, теплового и прочих режимов.

Наши наблюдения за серо-буро-сероземными почвами подтверждают это положение. Несмотря на довольно малый период орошения (три года), воздействие ирригации очевидно: в определенной мере изменились профиль, водный режим, водно-физические и агрохимические свойства указанных почв. Смена непромывного типа водного режима на ирригационный привела к активной миграции водорастворимых солей и отчасти гипса (табл. I). Изменения, происшедшие в механическом составе изучаемых почв в итоге орошения, иллюстрируются табл. 2.

Таблица I

Изменение засоления серо-буро-сероземных гипсоносных почв в результате орошения

Номер шурфа	Глубина, см	Содержание солей, мг.экв/100г почвы						
		HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na	K
П-6	0÷26	0,9	2,03	5,75	5,4	2,93	0,68	0,I4
		0,4	I,06	5,39	3,9	I,43	0,75	0,I3
	26÷48	I	0,68	I2,69	I3,6	0,8I	0,I5	0,08
		0,35	0,38	I0,66	9,53	I,52	0,35	0,I5
	48÷72	0,35	0,45	I5,57	I3,22	2	0,I2	0,02
		0,2	0,34	I3,34	I2,57	0,57	0,2	0,08
	72÷98	0,3	0,34	I5,98	I3,4I	0,63	0,I2	0,02
		0,2	0,34	I4,25	I3,33	0,66	0,I5	0,08

Примечание: В табл. I и 2 цифры в числителе - данные об исходном состоянии, в знаменателе - после трех лет орошения.

Таблица 2

Изменение механического состава серо-буро-сероземных гипсоносных почв в результате орошения

Номер шурфа	Глубина, см	Размер фракции, мм						
		I–0,I	0,I–0,05	0,05–0,0I	0,0I–0,005	0,005–0,00I	Меньше 0,00I	Меньше 0,0I
П-6	0–26	I2,I8	20,06	42,96	3,2	8,56	I3,04	24,8
		I3,9	2I,7	35,8	7,6	I3,6	7,4	28,6
	26–48	II,09	I6,03	42,48	8,96	9,52	II,92	30,4
		I4	I8,8	34,4	9,2	I3,2	I0,4	32,8
	48–72	3I	27,5	3I,4	2,7	4,I	I,3	8,I
		35,3	26,I	30,2	3,2	4	I,2	8,4
	72–98	52,8	20,4	I4,3	2,I	7	3,4	I2,5
		54,9	I9,5	I2,8	2,8	6,8	3,2	I2,8

Морфологическое и микроморфологическое изучение почв до и после трех лет орошения, выполненное нами, позволило не только выявить изменения в профиле почв, но и установить определенную закономерность в перераспределении солей в зависимости от возраста отложений и механического состава: почвогрунтам четвертичных отложений свойственна сильная загипсованность и менее выраженное засоление при облегченном механическом составе, а неогеновым породам – сильная засоленность и меньшая гипсоносность при тяжелом механическом составе (рис. I и 2).

Микроморфологическими исследованиями установлено, что в надгипсовом слое при орошении гумусно-глинистые частицы диспергируются и под действием сил гравитации перемещаются вниз по профилю. В горизонте гипсовых аккумуляций поливная вода, несмотря на довольно трудную растворимость гипса (2 г/л), хотя и медленно, разрушает его кристаллы и перемещает их вниз.

Наблюдения за водным режимом серо-буро-сероземных гипсоносных почв показали некоторое увеличение влагоемкости, особенно в верхних слоях. Это подтверждают и гидрофизические данные, приведенные на рис. 3. Орошение несколько улучшило и водно-физические свойства изучаемых почв. За время исследований отмечались: сни-

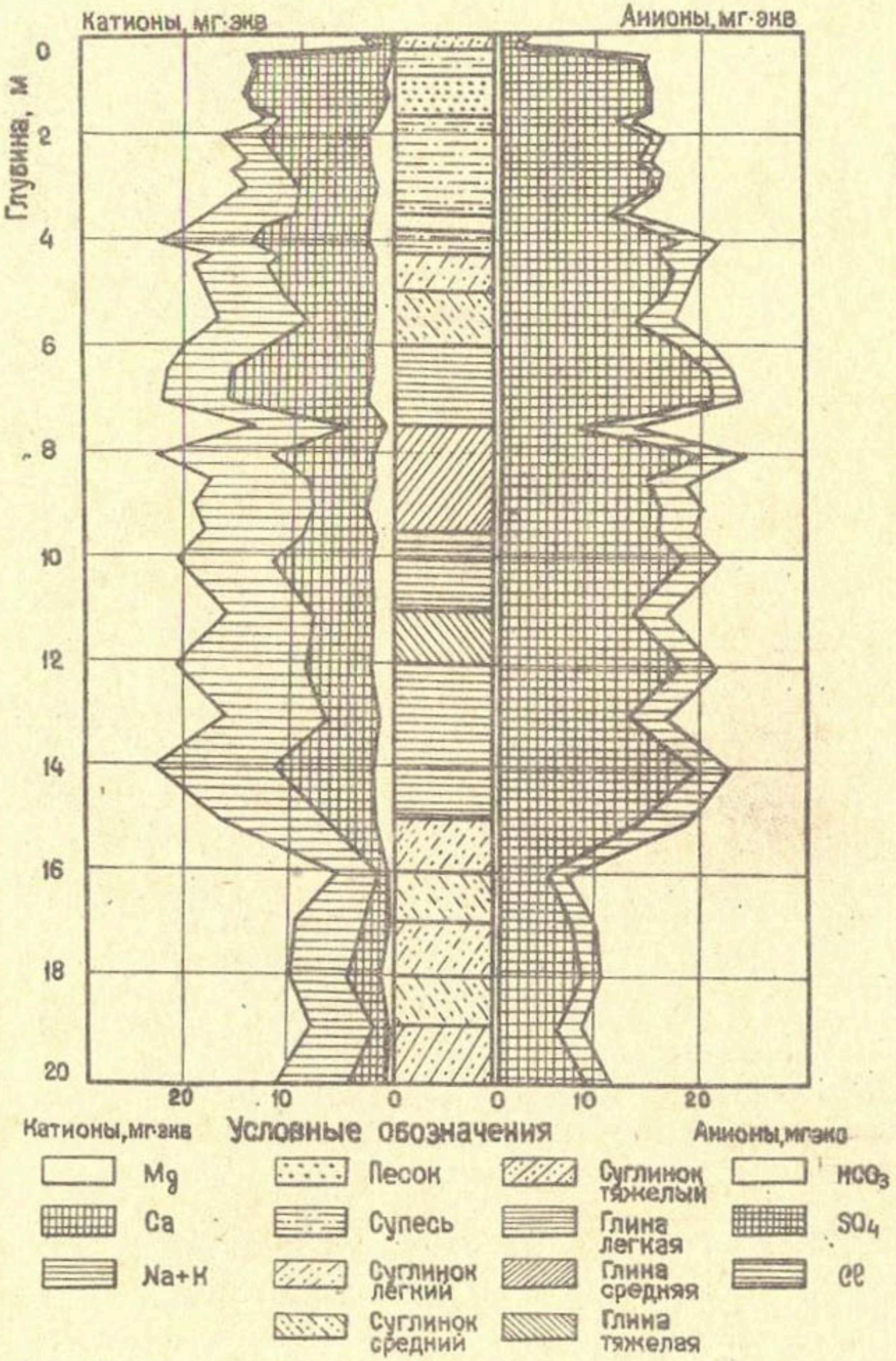


Рис. I. Литологический и солевой профиль целинной серо-буро-сероземной гипсоносной почвы (П-5)

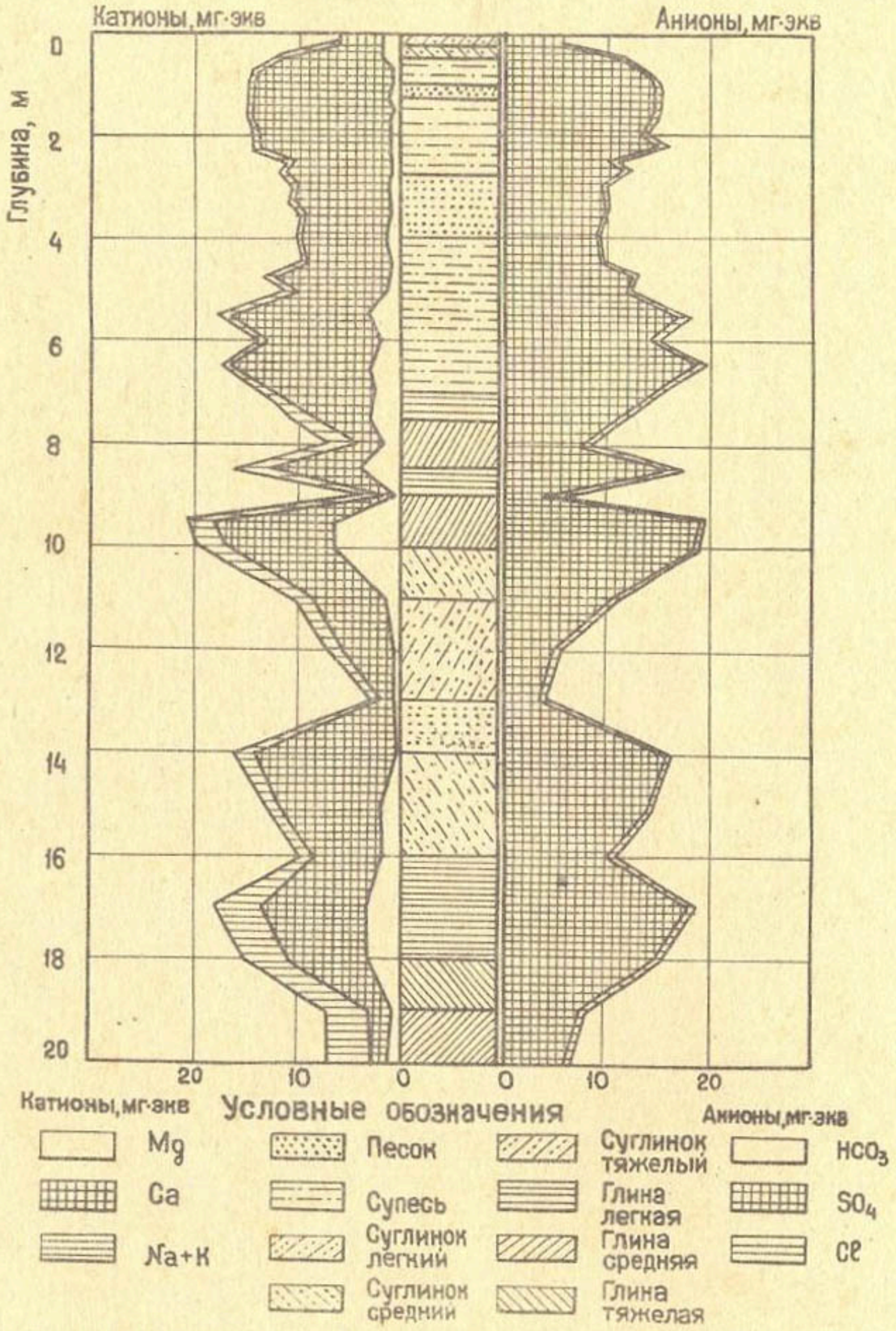


Рис. 2. Литологический и солевой профиль орошаемой серо-буро-сероземной гипсоносной почвы (П-6)

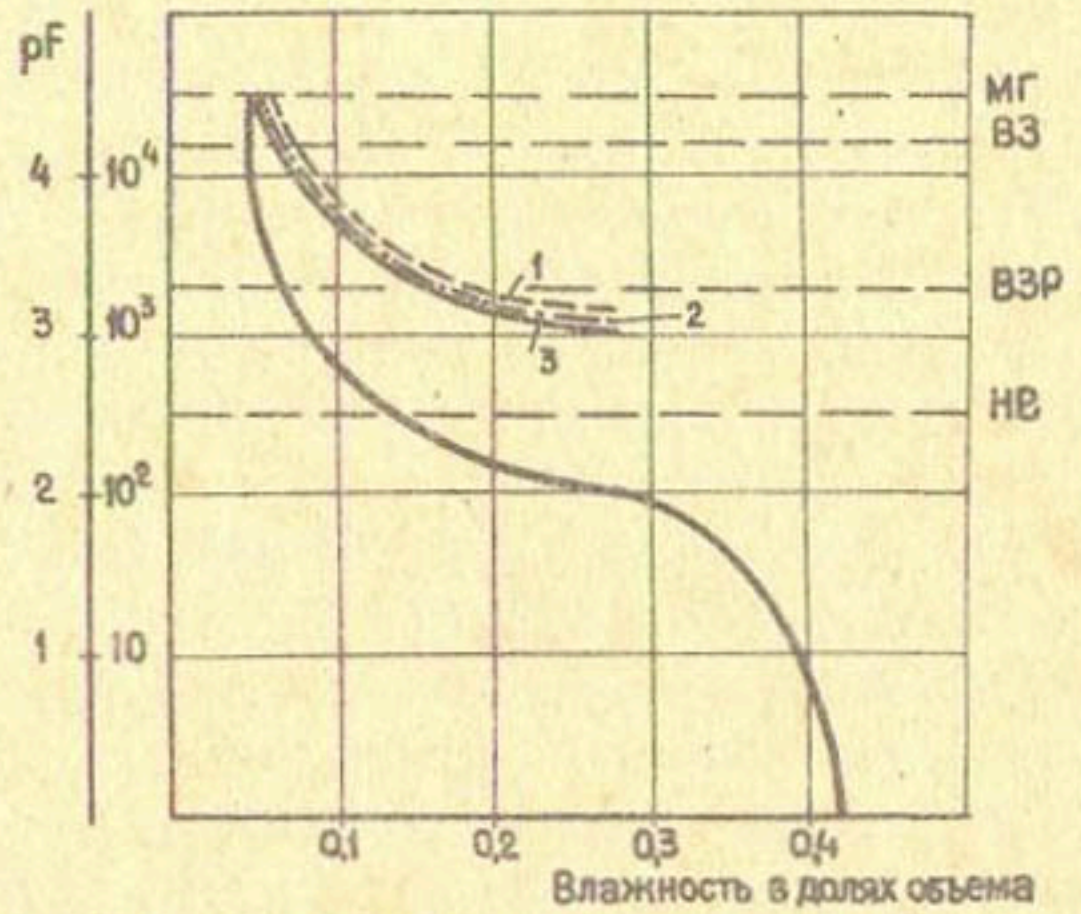


Рис. 3. Зависимость потенциала почвенной влаги (pF) от влажности (W): I - I98I г.; 2 - I982г.;3 - I983 г.

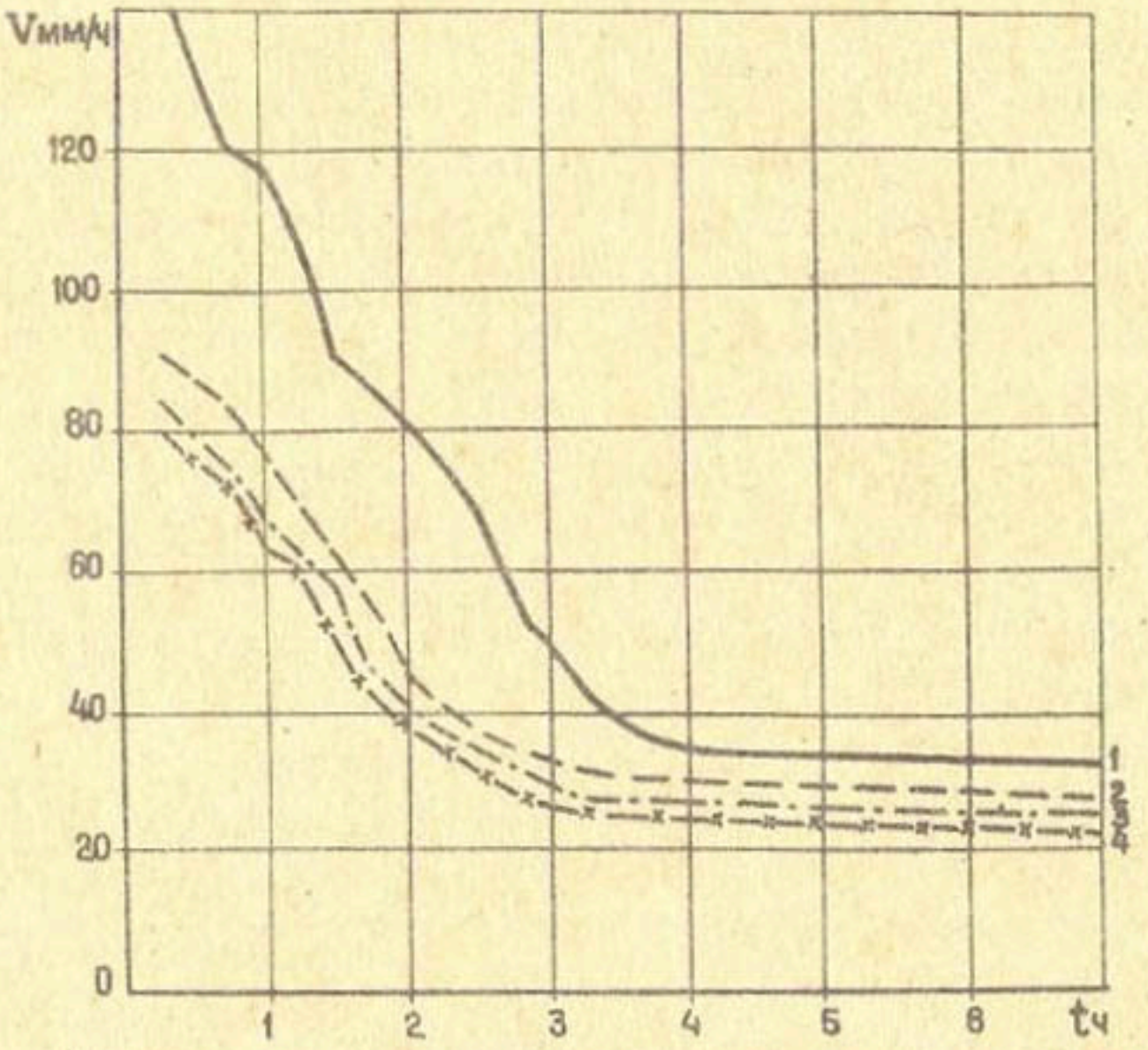


Рис. 4. Изменение водопроницаемости серо-буро-серозёмных гипсоносных почв при орошении:I - I980г.;2 - I98I г.;3- I982 г.; 4-I983 г.

жение водопроницаемости (рис. 4), увеличение объемной и удельной масс, уменьшение порозности и суффозионных явлений. Механизм образования последних связан с особенностями серо-буро-сероземных гипсоносных почв: легким механическим составом, высоким содержанием шестоватого гипса (до 50%), высокой водопроницаемостью. При правильной системе обработки этих почв на фоне различных культур-освоителей и оптимальной водоподаче на орошаемые земли суффозионные явления постепенно уменьшались. В наших исследованиях на спланированном участке при длине борозды 50÷100м с расходом в борозду 0,1÷0,5 л/с и уклонах 0,001÷0,02 образования суффозионных воронок практически не наблюдалось.

Интересен и тот факт, что в итоге орошения серо-буро-сероземных почв уже в первые годы активизируется жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Изучая приемы окультуривания названных почв в Каршинской степи, С.А.Каплун выявила, что на целине за три года исследований микрофлора, использующая органический и минеральный источники азота, развивалась хорошо только в дерновом горизонте - 0÷5 см. Удельный вес актиномицетов высокий - осенью 25÷98%, вниз по профилю количество их убывает.

В первый же год освоения та же микрофлора обильно развивалась не только в пахотном и подпахотном горизонтах, но и в почве с естественным залеганием генетических слоев и при срезке. Следовательно, микрофлора может существовать и в гипсовых аккумуляциях. Численность актиномицетов с годами увеличивается.

Интенсивное развитие микроорганизмов в гипсоносных почвах способствовало переработке органических удобрений. В процессе жизнедеятельности происходила минерализация самих микроорганизмов, что обогащало почву энергетическим материалом и приводило к быстрому окультуриванию земель.

Проведенные в течение трех лет наблюдения позволяют сделать вывод, что низкоплодородные серо-буро-сероземные гипсоносные почвы при орошении, окультуривании в люцерновом севообороте и внесении органо-минеральных удобрений в сочетании с прогрессивной обработкой почв, борьбой с эрозией и сорняками могут значительно повысить свою производительную способность. Это подтверждается полученным здесь средним урожаем сельскохозяйственных культур (ц/га): хлопчатник - 19 (при внесении минеральных удобрений) и 25 (при органо-минеральных удобрениях), люцерна - 71, ку-

куруза - 370, подсолнечник - II, бахчевые - 215, лук - 670, картофель - 74, маш - 10.

Литература

I. Бакиев А.К., Решетов Г.Г. Серо-буро-сероземные почвы Каршинской степи и пути их сельскохозяйственного использования.- Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем. Тр.ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1983.

2. Орлов М.А. Изменение почвообразовательных процессов пустынь Средней Азии под влиянием орошения. - "Хозяйственное освоение пустынь Средней Азии и Южного Казахстана". Ташкент, 1934.

3. Горбунов Б.В., Кимберг Н.В. Классификация почв Узбакской ССР. -„Тр.Узб. фил. Геогр. о-ва", вып. 6. Ташкент, 1962.

УДК 631.43(575.18)

В.В.Масленников, канд.с.-х.наук,
руковод.группы
(Средазгипроводхлопок)

УЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА И ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД ПРИ ОСВОЕНИИ II ОЧЕРЕДИ ДЖИЗАКСКОГО МАССИВА

Джизакская степь расположена в южной части Голодной степи и занимает площадь 314 тыс.га. Схемой генерального плана орошения и освоения Джизакского массива предусматривается оросить 183,6 тыс.га (нетто), из них 150 тыс.га - целинные и богарные земли. Площадь первой очереди - 50 тыс.га.

Для эффективного освоения земель второй очереди необходимо исследование почв этой обширной территории с целью назначения оптимального комплекса агроэкономических мероприятий.

В геоструктурном отношении массив представляет предгорные покатости Туркестанского хребта, сложенные лессовыми отложениями террас верхнего яруса (Ломакинское плато). Лессы прорываются аллювиально-пролювиальными отложениями конусов ломакинской и деллювиально-пролювиальными хаваастской групп саев.

Лессовые террасы относительно однородны по механическому составу почвообразующих пород. Для конусов выноса характерна дифференциация пород, утяжеляющихся к периферии. В связи со ска-

званным механический состав и водно-физические свойства рассматриваются в разрезе генетических типов покровных отложений. Основой для этого служит литолого-геоморфологическое районирование, приведенное на рисунке, согласно которому выделяются следующие типы покровных отложений, являющие собой почвообразующие породы: I - аллювиально-пролювиальные конусов выноса ломакинской группы саев; II- лессовые террас верхнего яруса; III- аллювиальные долин крупных логов; IУ - аллювиально-пролювиальные Заминского конуса выноса и межконусного Обручевского понижения; У - делювиально-пролювиальные периферии конусов выноса хаваастской группы саев.

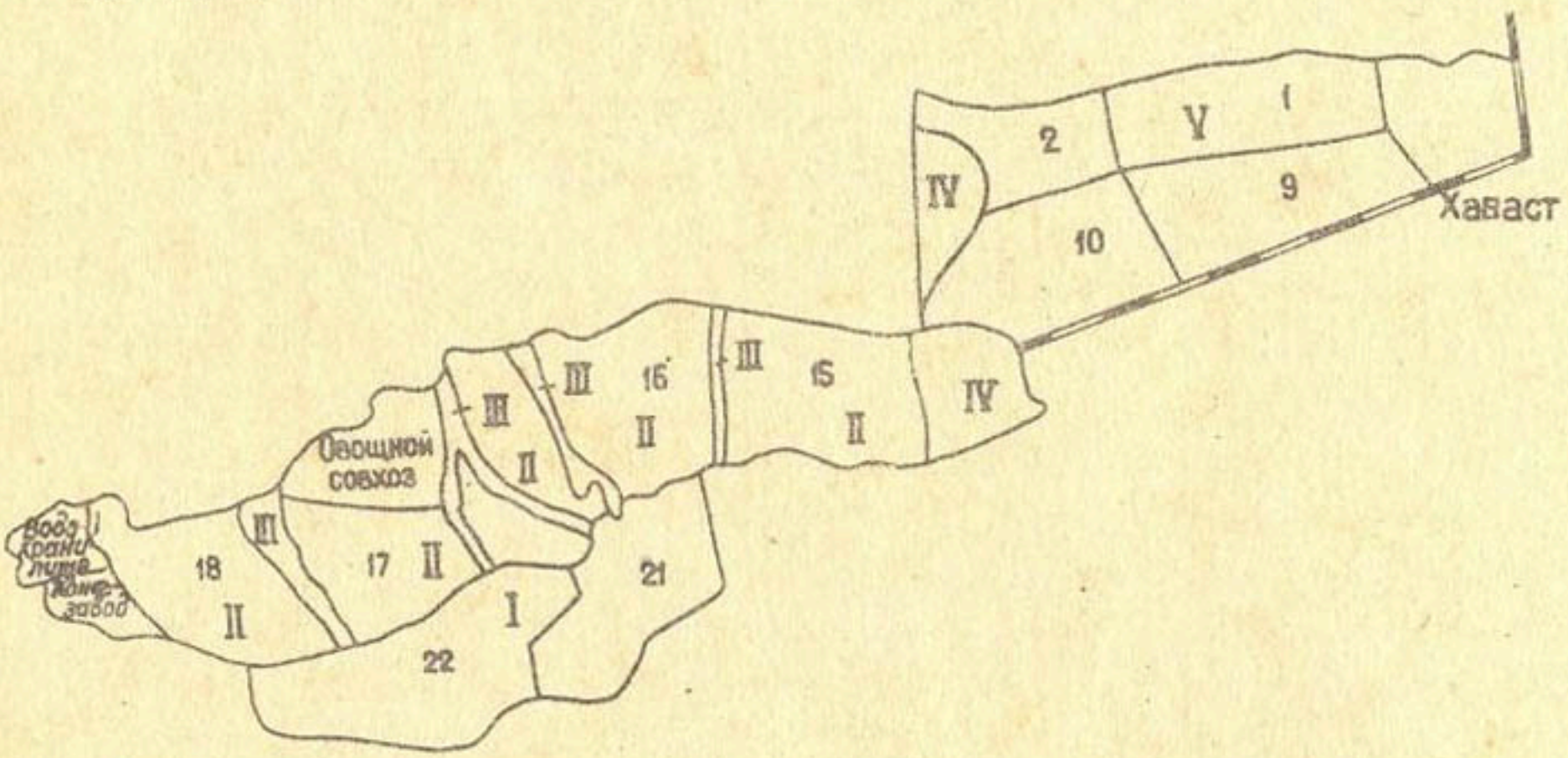


Схема литолого-геоморфологического районирования: [1|2] номер и границы совхоза; [I/II] номер и границы литолого-геоморфологического района

По механическому составу вышеперечисленные отложения делятся в соответствии с классификацией Н.А.Качинского на: глинистые, тяжелосуглинистые, среднесуглинистые, легкосуглинистые, супесчаные, песчаные.

Рассмотрим физические и водные свойства почвогрунтов: удельный (УВ) и объемный (ОВ) вес, общая порозность, предельная полевая влагоемкость (ППВ), порозность аэрации, влажность после полива, максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ), запас продуктивной влаги, водопроницаемость в двух измерениях - фильтра-

ция при первом и втором поливах (интервал измерения 2-3 дня), приведенные в табл. I.

Покровные отложения первого района представлены средними суглинками. Развитые здесь типичные сероземы - неплотного сложения. В первом и во втором метрах: удельный вес в связи с малой гумусностью составляет 2,69 г/см^3, объемный - соответственно I,35 и I,4 г/см^3, общая порозность 48 и 50%, ППВ - 30 и 32%, порозность аэрации I8 и I6%, влажность после полива 30 и 34%, ММВ - 20%. Запас продуктивной влаги, используемой растениями, в верхнем метре II, во втором - I3%. Водопроницаемость обычная для суглинистых грунтов: при первом поливе фильтрация 20, при втором - I5 мм/ч.

Данная характеристика почвогрунтов первого района показывает, что они обладают хорошими водно-физическими, а следовательно и агрономическими свойствами. При орошении и освоении этой территории потребуются сравнительно простые противоэрозионные мероприятия - соблюдение правил техники полива допускаемыми расходами воды (по условиям неразмываемости), приведенными в табл.2.

Для повышения естественного плодородия достаточно проведение несложного агрокомплекса - внесение повышенных доз минеральных удобрений(I50÷200 кг/га азота и I00÷I50 кг/га фосфора) и введение травопольных севооборотов.

На лессовых покровных отложениях второго района развиты типичные сероземы с более легким механическим составом - легкие суглинки, характерными особенностями которых являются преобладание крупной пыли - частиц 0,05÷0,0I мм (45-65%), отсутствие песка и незначительное содержание ила - частиц меньше 0,00I мм.

В верхнем и во втором метре удельный вес их соответственно 2,67 и 2,68 г/см^3; объемный вес в первом метре I,3, во втором - I,4 г/см^3, что говорит о менее плотном, чем отложения пролювиальных шлейфов, сложении. В соответствии с этим общая порозность верхнего метра выше (50%), а второго метра ниже (48%), чем в первом районе. ППВ - 29 и 30%, влажность после полива 32 и 33%. Порозность аэрации при ППВ 20 и I6%, т.е. воздухообеспеченность лессов, согласно работе [I], в первом метре хорошая. ММВ - 2I и 20% объема. Запас продуктивной влаги I2 и I3%. Водопроницаемость при первом поливе 28, при втором - I2 мм/ч.

Таблица I

Водно-физические свойства почвогрунтов

Геоморфологический район	Точки и площадки	Литологический состав почвогрунтов	Гипс, %	УВ, г/см³	ОВ, г/см³	Водно-физические показатели (процент объема)						Водопроницаемость, мм/ч	
						Общая пористость	ППВ	Порозность аэрации	Влажность после полива	ММВ	Запас продуктивной влаги	фильтрация	
												I	II
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4
I	T-I	Среднесуглинистые	Нет	2,69	I,35	48	30	I8	30	20	II	20	I5
				2,69	I,4	50	32	I6	34	20	I3		72
II	II-4	Легкосуглинистые (лессы)	Нет	2,67	I,3	50	29	20	32	2I	I2	28	I2
				2,68	I,4	48	30	I6	33	20	I3		
III	II-2	Тяжелосуглинистые сильнозагипсованные	40	2,56	I,5	42	37	4	-	24	-	I6	I0
			20	2,67	I,35	49	43	6	44	24	I9		
IV	II-22	Тяжелосуглинистые	I0	2,65	I,45	43	30	20	32	2I	II	20	I0
			I0	2,7	I,5	49	35	I8	34	2I	I4		

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II	I2	I3	I4
IУ	П-24	Глинистые	I÷5	2,69	I,5	48	35	20	39	26	I2	IO	5
			5÷IO	2,69	I,55	47	37	II	40	26	I3		
У	П-IO	Легкосуглинистые среднезагипсованные	24	2,68	I,37	48	25	23	30	I5	I4	I5	I5
			IO	2,7	I,55	42	34	8	30	I9	4		
У	П-8	То же, но сильнозагипсованные	40	2,65	I,26	52	22	29	28	I6	II	I9	I9
			I5	2,7	I,45	45	30	-	22	-	-		
У	П-20	Тяжелосуглинистые среднезагипсованные	29	2,7I	I,45	46	33	I3	33	22	I2	I2	5
			28	2,7	I,52	43	27	I6	28	20	9		

Примечание: В числителе приведены данные по первому метровому горизонту, в знаменателе - по второму.

Таблица 2

Допускаемые расходы воды в поливной борозде (по условиям неразмываемости), л/с

Почвы по механическому составу	Вариант опыта	Уклон поверхности борозды						
		0,04	0,02	0,01	0,007	0,005	0,002	0,001
		Расход воды						
Суглинистые	Воздушно-сухая почва	0,03	0,06	0,19	0,19	0,29	0,81	1,46
Легкосуглинистые	Увлажненная почва	0,05	0,12	0,15	0,22	0,33	0,98	1,46
Среднесуглинистые	Увлажненная почва	0,06	0,13	0,29	0,46	0,67	2,01	1,46
Суглинистые и легкосуглинистые	Почва обработана полимером К-9 дозой 10 кг/га	0,07	0,15	0,36	0,58	0,89	2,05	1,46
Суглинистые и легкосуглинистые	Почва обработана полимером дозой 30 кг/га	0,21	0,55	1,41	2,33	3,76	2,05	1,46

Орошение сероземов лессовых террас, вследствие высокой порозности и рыхлого сложения, приведет к некоторому уплотнению почвогрунтов и снижению фильтрации, что может вызвать просадочные явления. В связи с этим перед их освоением следует спровоцировать просадку замочкой грунта и провести планировочные работы.

Большие уклоны, сильная расчлененность поверхности района и высокая размываемость лессов будут способствовать развитию плоскостной ирригационной эрозии и овражкообразованию. Поэтому потребуются предупреждающие эрозию мероприятия. Предупредить эрозию почв при орошении можно путем повышения сопротивляемости размыву строгой дозировкой расходов поливной воды. На участках со средними уклонами (0,002÷0,007) рекомендуется уклон борозды 0,005÷0,002 при расходе воды в поливной борозде 0,33 и 0,98 л/с,

чтобы избежать переполнения и прорыва борозды. На участках с крутыми склонами следует делать борозды с уклонами 0,01÷0,005, расход воды в них 0,15÷0,33 л/с. При очень больших уклонах (> 0,05) целесообразно нарезать контурные борозды в направлении к горизонталям.

Другим способом, снижающим смыв почв, является предварительная замочка поливных борозд малыми расходами, благодаря чему заметно повышается расход в борозде - на легких почвах в 1,2, на средних - в 2,2 раза (табл. 2).

Наиболее радикальной мерой повышения противоэрозионной стойкости почвогрунтов считается обработка борозд структурообразующими клеящими полимерами К-4 и К-9. По данным эрозионной экспедиции МГУ, обработка дна поливных борозд клеящими полимерами (30÷40 кг/га) на грунтах этого района не только предохраняет почву и внесенные минеральные удобрения от смыва, но и позволяет значительно увеличить расход воды в поливной борозде (табл. 2).

Систематическое возделывание пропашных культур и обработка почв на эрозионноопасных участках приводят к распылению лессов и усилению эрозии. Для ослабления интенсивности указанных процессов, помимо совершенствования техники полива, рекомендуются следующие агротехнические мероприятия:

1) сокращение сроков пребывания почв под пропашными культурами и максимальное удлинение пребывания под культурой, улучшающей структуру и повышающей устойчивость к эрозии;

2) обработка почвы только при оптимальной влажности, когда почва хорошо крошится;

3) внедрение методов так называемой минимальной обработки почв с совмещением операций;

4) посевы дерновообразующих трав и запрещение выпаса скота на крутых неосваиваемых склонах.

Помимо борьбы с плоскостной эрозией, при орошении потребуется осуществление мер по предотвращению овражкообразования на эрозионноопасных участках. При их проведении обязательны: учет необходимости сброса оросительной воды с поливных карт и устройство сбросных гидротехнических сооружений с закреплением сбросных каналов дерновообразующими травами. Для отвода сброса к сопрягающим сооружениям, примыкающим к крутым и высоким бортам логов и оврагов, по нижнему краю поля необходимы водоотводящие канавы с вы-

сотой валов 0,5÷0,6 м и шириной поверху 2÷2,5 м.

Вода, скопившаяся в сборных канавах, отводится по трубчатым и шахтным водосбросам, устройство которых сопровождается замочкой и уплотнением почвы у оголовков сопрягающих сооружений.

Осуществление перечисленных мер сводит опасность ирригационной эрозии и овражкообразования до минимума.

Для повышения естественного плодородия требуется несложный агрокомплекс - внесение повышенных норм минеральных удобрений: 200÷250 кг/га азота и 100÷150 кг/га фосфора.

Аллювиальные отложения, слагающие долины больших логов, расчленяющих Ломакинское плато (Ш район), представлены слоистыми суглинками, утяжеляющимися во втором метре до глин. Развитые на них луговые и сероземно-луговые почвы характеризуются высоким содержанием гипса, достигающим в верхнем метре 40% и снижающимся книзу до 20%, засолением, низким удельным весом - 2,56 г/см^3, плотным сложением (объемный вес 1,5 и 1,35 г/см^3) и низкой общей порозностью (42 и 49%). Предельная полевая влагоемкость первого метра 37, второго - 43%, что обусловливает низкую воздухообеспеченность этих почв. ММВ - 24%. Порозность аэрации при ППВ в верхнем метре составляет 4, во втором - 6%. Водопроницаемость по I фильтрации 16, по второй - 10 мм/ч, запас продуктивной влаги во втором метре 19%. При освоении почв третьего района потребуется улучшение водно-физических свойств агротехническими приемами: ограничением срезок при планировке, промывками нормой 5÷15 тыс.м^3/га-и повышение плодородия за счет внесения высоких норм минеральных удобрений, а также посева трав (люцерны).

Аллювиально-пролювиальные отложения Заминского конуса выноса и Обручевского понижения (IУ район) представлены неравномерно чередующейся свитой тонких слоев тяжелых суглинков и глины. Почвы содержат 30-40% крупной пыли (0,05÷0,01 мм) и 50-70% физической глины (частицы $<$ 0,01 мм). Развитые на этих отложениях полугидроморфные лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы отличаются плотным сложением, повышенной влагоемкостью, низкой водопроницаемостью и очень слабой загипсованностью (5÷10%). Объемный вес в верхнем метре тяжелосуглинистых почв составляет 1,45, во втором - 1,5 г/см^3, глинистых - соответственно 1,5 и 1,55 г/см^3. Удельный вес колеблется в верхнем метре от 2,65 до 2,69 г/см^3, во втором - 2,69 ÷ 2,7 г/см^3. Общая порозность тяже-

лых суглинков 43 и 49, глинистых почв 48 и 47%. ППВ в первом метре тяжелосуглинистых почв - 30, во втором - 35%, глинистых - соответственно 35 и 37%. Порозность аэрации хорошая - в верхнем метре 20, во втором - II÷I8%. ММВ высокая: тяжелосуглинистых почв - 2I, глинистых - 26%, а запас продуктивной влаги соответственно II и I2% в первом метре, I3 и I4%-во втором. Водопроницаемость по I фильтрации тяжелосуглинистых почв 20, глинистых - I0 мм/ч, по второй соответственно I0 и 5 мм/ч.

Почвогрунты описанного района, имеющие, помимо тяжелого механического состава,/ засоление и солонцеватость, трудны в освоении и требуют улучшения водно-физических свойств агротехническими приемами.

На засоленных почвах рекомендуются промывки нормами от 5 до I5 тыс.$м^3$/га (в зависимости от засоления), а на солонцеватых - химические мелиорации. Для улучшения водно-физических свойств и плодородия почв, по данным полевых опытов, проведенных институтом "Средазгипроводхлопок", необходимо внесение 8÷I0 т/га сыромолотого гипса и 50 т/га навоза. Из других мелиорантов можно использовать отходы биологических заводов - лигнин (4 т/га) и биологический ил (2÷2,5 т/га).

Создание почвенного плодородия возможно при внесении больших доз минеральных удобрений (200÷250 кг/га фосфора и 250÷300 кг/га азота)и посеве культур освоителей - люцерны и бобовых.

Делювиально-пролювиальные отложения равнин, образованных шлейфами конусов выноса Хавастской группы саев (У район), представлены разными по механическому составу почвообразующими породами - от легких до тяжелых суглинков, в неодинаковой степени засоленных и загипсованных (I0÷40%). Характерно для них высокое содержание частиц крупной пыли (50÷70%) с участием мелкого песка (I2÷I5%). Физической глины в легких суглинках 20÷30, в тяжелых - 54÷60%. Облегчению механического состава почвогрунтов также способствует относительно большое количество гипса (20÷40%) и сильное засоление. На этих отложениях развиты полугидроморфные солончаковатые и солончаковые почвы. Удельный вес легкосуглинистых средне- (24%) и сильнозагипсованных (40%) почвогрунтов составляет соответственно 2,68 и 2,65 г/$см^3$, тяжелосуглинистых среднезагипсованных - 2,7I г/$см^3$, а объемный вес соответственно - I,37; I,26 и I,45 г/$см^3$. Общая порозность легкосуглинистых сред-

незагипсованных почв 48 в верхнем метре и 42% во втором, сильнозагипсованных - соответственно 52 и 45%, а тяжелосуглинистых среднезагипсованных - 46 и 43% (см. табл. I, П-IO, П-8, П-20). ППВ легкосуглинистых средне- и сильнозагипсованных почв соответственно составляет 25 и 22% в верхнем метровом горизонте, 34 и 30% во втором метре, тяжелосуглинистых - в первом метре 33, во втором 27%. Порозность аэрации при ППВ в легкосуглинистых почвах хорошая:23 и 29, в тяжелосуглинистых значительно хуже - I3%. ММВ легких почв I5 и I6, тяжелосуглинистых - 22%. Водопроницаемость легких почв по I фильтрации I5 и I9, тяжелосуглинистых - I2 мм/ч. По второй - соответственно I5,I9 и 5 мм/ч.

В целом водно-физические свойства района благоприятны для развития орошаемого земледелия. Однако из-за сильных засоленности и загипсованности почвогрунтов этого района необходимы ограничения слоя срезки при планировке: при глубине верхней границы гипсового горизонта I м срезки не должны превышать 0,5÷0,75м, при глубине 0,5 м не должны быть больше 0,3 м, при верхней границе гипсового горизонта меньше 0,3 м срезки не допускаются. После планировки рекомендуется промывка нормами от 5 до I5 тыс. $м^3$/га в зависимости от засоления.

Для повышения естественного плодородия и создания биологически активного слоя необходимы: внесение больших доз минеральных удобрений(азота 250÷300 кг/га, фосфора 200÷250 кг/га) и посев культур-освоителей (люцерны, бобовых).

На основании проведенных исследований земель П очереди орошения и освоения Джизакской степи можно сделать следующие выводы:

I) физические и водные свойства почв в целом по изученной части массива благоприятны для орошаемого земледелия;

2) загипсованность почвогрунтов в долинах логов, расчленяющих лессовые террасы Ломакинского плато (Ш район) и периферии конусов выноса хавастской групп саев (У район), как показали производственные опыты с посевом хлопчатника и других культур, при проведении соответствующего агрокомплекса мероприятий не является препятствием к их освоению;

3) тяжелые суглинистые и глинистые засоленные и солонцеватые почвогрунты Обручевского понижения (IУ район) требуют промывки засоленных почв, улучшения водно-физических свойств химической мелиорацией и повышения естественного плодородия путем введения травопольных севооборотов.

Литература

I. Розов Л.П. Мелиоративное почвоведение. М., ГИСЛ, 1956.

2. Панков М.А. Мелиоративное почвоведение. Ташкент, "Укитувчи", 1974.

3. Рекомендации по применению удобрений в республиках Средней Азии. Ташкент, САО ВАСХНИЛ, 1974.

УДК 626.8:556.3.001.362

Н.М.Игнатиков, гл.спец.
(Средазгипроводхлопок)

ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИЗНАКОВ АНАЛОГИИ В МЕЛИОРАТИВНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Основой теоретических представлений и обобщений мелиоративной гидрогеологии, как и любой отрасли знания, является накопленный опыт, осмысливание которого начинается с систематизации. Некоторые теоретические положения системного подхода к решению проблемы влияния инженерной деятельности человека на окружающую среду, к чему имеет прямое отношение и мелиоративная гидрогеология, получили развитие в исследованиях Г.К.Бондарика [I], М.А.Шубина [2] и других, где применительно к разработке классификаций, задач, стадий и методов инженерно-геологического прогнозирования приводятся определения геологических систем, в том числе природно-техногенных, геотехнических, инженерно-геологических. В этих системах геологическая среда и искусственный объект рассматриваются как единый процесс, состоящий из подсистем геологической среды и техногенеза. Техногенез, в нашем случае представленный мелиорацией земель, оказывает многофакторное влияние на окружающую среду и приводит к изменению не только активной части геосферы, но и таких компонентов окружающей среды, как биосфера, гидросфера, атмосфера. Оптимальные условия функционирования такой природно-техногенной системы определяются оптимумом выходного ее элемента - массой вещества, представленной урожаем сельскохозяйственной культуры. В этой сложной природно-техногенной системе мелиоративная гидрогеология является комплексным элементом и, в свою очередь, тоже может рассматриваться как система хотя и с более элементарными, но достаточно сложными связями.

Исследование внутреннего развития гидрогеолого-мелиоративной системы включает определенные операции, важнейшие из которых:

- естественно-исторический анализ;
- историко-экономический анализ;
- наблюдения за происходящими в системе процессами и анализ современного ее состояния;
- прогноз возможного развития.

Естественно-исторический анализ системы необходим для изучения закономерностей формирования естественных гидрогеологических условий, которые определяются наличием и взаимодействием геолого-генетических комплексов пород и типов подземных вод, их особенностями. Предпосылками их служат такие природные факторы, как географическое положение, геолого-структурные особенности, климатические условия. В изучении гидрогеологических условий мелиорируемых земель к настоящему времени достигнуты определенные рубежи, так как вопросы гидрогеологического районирования для целей мелиорации были первоочередными при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях на массивах орошения и осушения [3]-[14]. Весь сложный комплекс гидрогеологических условий находит отражение на специализированных картах: карте гидрогеологического районирования для целей мелиорации и карте гидрогеолого-мелиоративного районирования. Обе эти карты, по существу, основываются на региональных исследованиях геолого-структурных особенностей и гидрогеологических условий "применительно главным образом к построению прогноза режима уровня грунтовых вод, выявлению объектов-аналогов, обоснованию региональной геофильтрационной схематизации для ориентировочного выбора рациональных типов дренажа и его параметров" [15].

Историко-экономический анализ необходим для установления тех гидрогеологических явлений и процессов, которые развиваются под влиянием деятельности человека. Характер этой деятельности зависит прежде всего от ее направленности, а та, в свою очередь, определяется, например в Средней Азии, основными комплексами орошаемого земледелия: хлопковым, рисовым, плодоовощным или зерновым [16], которые различаются по режиму орошения, а режим оказывает прямое влияние на запасы грунтовых вод. Немаловажную роль в формировании этих запасов играют также способ орошения (затоплением, по бороздам, дождеванием, капельное) и характер ирригационной сети (открытые каналы в земляном русле или с противофильтра-

ционным покрытием, напорные и безнапорные трубопроводы). В расходовании грунтовых вод велико значение мелиорации. Различные виды дренажа (горизонтальный, вертикальный, комбинированный), наряду с прямым назначением - отвод излишка грунтовых вод, оказывают неоднозначное влияние на водопотребление и солевой режим. Очевидно, что совокупность описанных техногенных элементов или их групп создает предпосылки для ожидаемого внутреннего развития гидрогеолого-мелиоративной системы и поэтому может рассматриваться как вторая группа признаков аналогии или элементов системы.

Наблюдения за происходящими в системе процессами наиболее полно могут быть проведены на специальных участках орошаемых земель, к которым в первую очередь следует отнести ключевые и опытные участки при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях, станции и площадки при изучении элементов водного и солевого баланса грунтовых вод и грунтов зоны аэрации, а также действующие мелиоративные системы при надлежащем оборудовании их средствами наблюдения (объекты-аналоги). Методика исследований на опытных участках, водобалансовых станциях и площадках нашла отражение в теоретических и нормативных работах [7], [15], [17], [18]. Сравнительно слабее освещена методика инженерно-геологических и гидрогеологических исследований на объектах-аналогах, хотя в настоящее время все чаще предпринимаются попытки использования объектов-аналогов при проектировании. Дело в том, что если рассматривать аналогию как сходство различных явлений по какому-либо признаку или их группе, то аспект использования таких признаков может стать первым шагом на пути к превращению их в новое качество - критерии подобия, которые позволяют от сделанных по аналогии предположений перейти к достоверным прогнозам. Нужно оговориться, что если понимать объект-аналог как природно-техногенную систему, оптимальные условия работы которой определяются оптимумом выходного ее элемента - урожайностью сельхозкультур, то, помимо зависимости "выходной элемент - подземные воды", в этой системе функционируют связи с климатом, почвами, животным миром, деятельностью человека и проч., которые также надлежит изучать совместно с комплексным гидрогеолого-мелиоративным элементом (или системой второго порядка). Границы такой системы устанавливаются условно по линиям исчезновения или ослабления

взаимодействия техногенного объекта со средой, но в то же время в определении их немаловажную роль играет целенаправленность изучения функционирования системы.

Для исследования гидрогеолого-мелиоративных условий освоения засоленных земель границы системы могут приниматься по контурам орошаемых полей площадью 5-10 га в хозяйствах на сильнозасоленных и чрезвычайно засоленных землях. На таком участке проводятся работы с целью уточнения геолого-литологического строения территории до первого регионального или условного водоупора, уточнения водно-физических и фильтрационных свойств пород зоны аэрации, а также гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и разделяющих слоев, определения параметров влаго- и солепереноса на фоне рассоляющих промывок и дренажа.

Объектом-аналогом постоянного горизонтального дренажа может служить часть хозяйства с достаточно развитой дренажной сетью. На выбранном объекте проводятся комплексные водобалансовые исследования с изучением динамики влаги в зоне аэрации, статей баланса грунтовых вод и солевого баланса. Решение перечисленных вопросов может осуществляться на опытно-производственном участке площадью 30-50 га, занимающем не менее 3-5 орошаемых полей.

Основными задачами исследований вертикального дренажа на объекте-аналоге являются: определение величины внешнего притока грунтовых вод, инфильтрационного питания и изменения его в зависимости от сработки уровня грунтовых вод, радиуса влияния дренажной системы, установление закономерностей изменения структуры водно-солевого баланса грунтов зоны аэрации и грунтовых вод под влиянием дренажа, выявление рациональных конструктивных особенностей и оптимального режима работы как отдельных скважин, так и дренажной системы в целом. Решение этих задач осуществляется путем целенаправленных исследований на опытно-производственном участке с эксплуатационными скважинами, расположенными по сетке в форме квадрата или близкой к нему на репрезентативной площади. Количество скважин определяется необходимостью образования на участке контура без внешнего подземного питания для расчетов величины инфильтрации.

По защитному вертикальному дренажу на объекте-аналоге производится определение параметров дренажа и гидрогеологических параметров среды, оценка влияния дренажа на режим грунтовых вод смеж-

ных орошаемых массивов и величины инфильтрационного и напорного питания грунтовых вод в зависимости от работы дренажа. Этот объект представляет собой линейный ряд или иную систему постоянно действующих эксплуатационных скважин, предназначенных для перехвата потока грунтовых вод полностью или частично.

На объектах-аналогах в зоне устойчиво глубокого залегания грунтовых вод (глубже 3 м) гидрогеологические работы должны быть направлены на выяснение геолого-литологического строения и гидрогеологических параметров первого от поверхности водоносного горизонта до регионального или местного водоупора с целью получения данных для притока и оттока грунтовых вод.

На лессовых грунтах, претерпевших в результате орошения просадку, производится изучение ее величины, изменения физико-механических свойств и вещественного состава грунтов всей толщи пород, относившихся до орошения к потенциально просадочным.

Описанными примерами не исчерпываются возможные целевые объекты-аналоги, но и они свидетельствуют, что признаки аналогии в мелиоративной гидрогеологии весьма тесно связаны с целевыми аспектами и однозначно не решаются. Принципы оптимизации таких признаков вытекают из закономерностей внутреннего развития исследуемой системы. В мелиоративной гидрогеологии эти закономерности выявляются в процессе естественно-исторического и экономического анализа, а также в результате специальных гидрогеологических и инженерно-геологических работ на опытных участках, водобалансовых станциях и объектах-аналогах.

Выраженные в критериях подобия, эти закономерности становятся основополагающими при составлении прогнозов изменения гидрогеолого-мелиоративных условий с целью разработки методов оптимального управления такими изменениями. Вопросам прогноза изменения мелиоративных параметров в последнее время уделяется большое внимание. В частности, в монографии Н.Н.Ходжибаева и В.Г.Самойленко [19] обстоятельно рассмотрены основные требования к этим прогнозам, дифференцированы оптимальные методы их обоснования, даны применяемые в практике проектирования мелиоративных мероприятий и перспективные методы расчетов - натурного подобия, вариационно-статистический, балансовый, аналитический.

Литература

I. Бондарик Г.К. О геосистемах и их свойствах. - „Тр. ВСЕГИНГЕО", вып. Ш. М., I976.

2. Шубин М.А. Инженерно-геологические системы. - "Изв. высш.учеб. заведений. Геология и разведка", М., I977, № I0.

3. Богомолов Г.В. и др. Принципы регионального гидрогеологического районирования для решения задач мелиорации. - „Тр.Союзводпроекта", вып. 46. М., I976.

4. Гейнц В.А. О принципах гидрогеолого-мелиоративного районирования орошаемых районов. - "Разведка и охрана недр". М., I950, № I0.

5. Игнатиков Н.М. О принципах мелиоративно-гидрогеологического обоснования сельскохозяйственного освоения внутренних межгорных впадин. - „Тр.ГИДРОИНГЕО", вып. 5. Ташкент, I980.

6. Кац Д.М. Влияние орошения на грунтовые воды. М., "Колос", I976.

7. Кац Д.М., Шестаков В.М. Мелиоративная гидрогеология. М., Изд-во МГУ, I98I.

8. Крылов М.М. О методике гидрогеолого-мелиоративного районирования Узбекистана. - „Изв. АН УзССР". Ташкент, I952, № 3.

9. Мелиоративно-гидрогеологическое картирование. Киев, "Наукова думка", I967.

I0. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. М., Союзводпроект, I972.

II. Роговская Н.В. Методика гидрогеологического районирования для обоснования мелиорации. М., Госгеолтехиздат, I959.

I2. Сойфер А.М., Сойфер С.Я. Районирование орошаемых земель по типовым фильтрационным схемам. - „Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок", вып. I. Ташкент, I97I.

I3. Ходжибаев Н.Н. Гидрогеолого-мелиоративное районирование. Ташкент, "Фан" АН УзССР, I975.

I4. Шестаков В.М. Теоретические основы подпора, водопонижения и дренажа. М., Изд-во МГУ, I965.

I5. Богомолов Ю.Г., Жабин В.Ф., Хачатурьян В.Х. Изменение гидрогеологических условий под влиянием мелиорации. М., "Наука", I980.

I6. Дунин-Барковский Л.В. Физико-географические основы ирригации. М., "Наука", I976.

I7. Кац Д.М. и др. Рекомендации по методике комплексных воднобалансовых исследований на орошаемых землях. М., ВНИИГиМ, I978.

I8. Кац Д.М. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. М., ВНИИГиМ, I978.

I9. Ходжибаев Н.Н., Самойленко В.Г. Гидрогеолого-мелиоративные прогнозы. Кн. I (I976), кн. II (I978). Ташкент, "Фан".

УДК 626.874:626.86

В.Е.Клыков, канд.физ.-мат.наук,доц.
Д.Ф.Шульгин, д-р техн.наук,проф., зав.каф.
(Калининский политехнический институт)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ ПРОЦЕССОВ ИОННОГО ОБМЕНА В ПОЧВАХ ПРИ НЕПОЛНОМ НАСЫЩЕНИИ

В настоящее время в связи с широким развитием орошения во многих районах страны (Средняя Азия, Закавказье, Северный Кавказ, бассейны Дона, Днепра и т.д.) ощущается дефицит водных ресурсов. Наряду с этим наблюдается ухудшение качества оросительных вод, что связано с поступлением в источники орошения промышленных стоков и дренажно-сбросных вод повышенной минерализации. Поэтому сейчас приобретает большое значение проблема использования минерализованных вод в орошаемом земледелии *[I]÷[3]*.

Решение этого вопроса требует осторожности и всестороннего изучения. В ряде случаев длительное орошение минерализованными водами может привести к тяжелым последствиям: ухудшению водно-физических свойств почв и выходу их из строя вследствие осолонцевания и засоления.

Эти процессы могут иметь место при орошении минерализованными водами лессовых почв Средней Азии, несмотря на наличие в них значительного количестве гипса и малую их сорбционную емкость.

Указанные негативные явления развиваются, если орошение минерализованными водами способствует вытеснению из почвенного поглощающего комплекса (ППК) ионов кальция и накоплению там ионов

натрия. Такое положение складывается, когда оросительные воды имеют повышенную щелочность, а природные запасы солей кальция в почве истощены. Процессы, приводящие к осолонцеванию, развиваются в почвах длительное время. На первых порах внедрение натрия в ППК не приводит к заметным изменениям почвенных свойств и положение считается благополучным. В дальнейшем, когда содержание натрия здесь достигает 5÷10% общей емкости поглощения, происходит резкое ухудшение водно-физических свойств, разрушается структура почв. Противоположное действие оказывает кальций, являющийся хорошим коагулятором и структурообразователем. Его накопление в ППК способствует свертыванию почвенных коллоидов и образованию водопрочной структуры [4].

В связи с этим весьма важно исследование миграции солей в почвогрунтах орошаемых земель с учетом обменной сорбции катионов. Количественный прогноз рассмотренных явлений позволит предсказать ухудшение водно-физических свойств и своевременно спланировать необходимые мероприятия по химической мелиорации, предупреждающие деградацию почв.

В ряде работ [5]-[7] и др. рассматривались математические модели динамики многообменной сорбции в пористых средах при полном насыщении влагой порового пространства. Ниже рассмотрена постановка задачи для случая неполного насыщения, характерного в условиях орошаемого земледелия. Ввиду чрезвычайной сложности количественного описания рассматриваемых явлений при формулировке задачи приняты некоторые упрощения:

1) не учитывается влияние растворимых солей на передвижение влаги в почве;

2) рассматривается движение только двух ионов (натрия и кальция), наиболее сильно влияющих на свойства почв;

3) процесс обмена каждой пары ионов происходит независимо от присутствия в почве других ионов;

4) суммарное содержание ионов кальция и натрия в ППК в каждом сечении почвы не изменяется во времени;

5) фильтрация многокомпонентной смеси, каковой является поровый раствор в почве, описывается независимыми уравнениями конвективной диффузии.

С учетом сделанных предположений задача по прогнозу динамики ионов Na и Ca в поровом растворе и ППК зоны аэрации математически сформулируется в виде

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

$$m\frac{W}{W_n}\frac{\partial C_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D_1\frac{\partial C_1}{\partial z}\right) - V\frac{\partial C_1}{\partial z} - \frac{\partial N_1}{\partial t}, \qquad (2)$$

$$m\frac{W}{W_n}\frac{\partial C_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D_2\frac{\partial C_2}{\partial z}\right) - V\frac{\partial C_2}{\partial z} - \frac{\partial N_2}{\partial t}, \qquad (3)$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = \beta_1(C_1 - C_1^*), \qquad (4)$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = \beta_2(C_2 - C_2^*), \qquad (5)$$

$$\frac{N_1}{\sqrt{N_2}} = a\frac{C_1^*}{\sqrt{C_2^*}}, \quad N_1(z,t) + N_2(z,t) = N_\Sigma(z), \qquad (6)$$

$$t=0: W(z,0) = W_0(z),\ C_i(z,0) = C_{i0}(z),\ N_i(z,0) = N_{i0}(z),\ i=1,2; \qquad (7)$$

$$z=0: \begin{cases} K(W)\left[1 - z(W)\frac{\partial W}{\partial z}\right] = \varepsilon(t), & (8) \\ \varepsilon(t)\left[C_i(0,t) - C_{ni}\right] = D_i\frac{\partial C_i(0,t)}{\partial z}, \quad i=1,2; & (9) \end{cases}$$

$$z=h:\ W(h,t) = W_n,\ \frac{\partial C_i(h,t)}{\partial z} = 0\ \left(\text{или } C_i(h,t) = C_i^{гв}\right),\ i=1,2. \qquad (10)$$

Здесь введены следующие обозначения:

$W(z,t)$ – объемная влажность почвы;

$K(W) = K_\varphi\left(\frac{W - W^*}{W_n - W^*}\right)^n$ – коэффициент влагопроводности (K_φ – коэффициент фильтрации, W_n – влажность почвы при полном насыщении (пористость), W^* – максимальная гигроскопическая влажность; $n = 3 \div 5$);

$z(W) = \frac{\partial\varphi(W)}{\partial W}$, $\varphi(W)$ – зависимость капиллярного давления от влажности почвы;

$C_i(z,t)$, $N_i(z,t)$ – концентрации ионов соответственно в почвенном растворе и в ППК;

C_{i0}, N_{i0} – то же, в начальный момент;

$W_0(z)$ – начальное распределение влажности;

m – активная пористость почвы;

$D_i = D_{mi} + \lambda_i\frac{W}{W_n}|V|$ – коэффициент конвективной диффузии

($D_{мi}$ - коэффициент молекулярной диффузии, λ_i - параметр дисперсии);

$V(z,t)$ - скорость влагопереноса в зоне неполного насыщения, определяемая из выражения

$$V(z,t)=K(W)\left[1-z(W)\frac{\partial W}{\partial z}\right]; \qquad (II)$$

$\varepsilon(t)$ - водопоступление на поверхность почвы (инфильтрация - испарение - транспирация);

β_i - коэффициент скорости сорбционного обмена;

$C_i^*(z,t)$ - равновесные концентрации ионов в почвенном растворе;

a - коэффициент изотермы обмена;

$N_\Sigma(z)$ - суммарное содержание ионов Na и Ca в ППК, не изменяющееся во времени;

h - глубина залегания поверхности грунтовых вод, считающаяся неизменной в течение расчетного периода времени;

$C_i^{гв}$ - концентрация ионов в грунтовых водах;

$i=1$ и $i=2$ - индексы, относящиеся соответственно к характеристикам ионов Na и Ca.

Зависимость $\psi=f(W)$ принималась однозначной (гистерезис не учитывался). Для ее аппроксимации использовалась наиболее простая функция:

$$\psi=A(W-W_{пер})^3+B(W-W_{пер})+\psi_{пер},$$

которая достаточно хорошо повторяет ход экспериментально найденных зависимостей $\psi(W)$ для различного типа почв. Здесь A,B - постоянные коэффициенты, $W_{пер}$ - влажность в точке перегиба функции $\psi=f(W)$, $\psi_{пер}=f(W_{пер})$.

В случае преобладающего испарения с поверхности почвы ($\varepsilon<0$) в граничном условии (9) следует положить $C_{ni}=0$, $i=1,2$.

Отметим, что в формулированной задаче уравнение влагопереноса (I) с соответствующими краевыми условиями может решаться независимо от остальных. Решение задачи (I)÷(10) в целом позволяет осуществлять прогноз водного режима, а также динамики ионов Na и Ca в почвенном растворе и ППК на орошаемых землях.

Задача (I)÷(10) решалась методом конечных разностей. Уравнение (I) вычислялось с использованием явной разностной схемы. Решение системы уравнений (2)÷(6) осуществлялось по неявной схеме. Здесь нелинейная система разностных уравнений решалась методом итераций.

Для решения задачи составлена программа на алгоритмическом языке Алгол-60.

Ниже рассмотрен пример расчета на ЭВМ влагопереноса в почве при следующих исходных данных:

K =0,06 м/сут	A=I4800	W_n =0,447
W^*=0,I3	B=0,0I	$\psi_{пер}$=-I,Iм.
n =5	$W_{пер}$=0,405	
ε =0,0I м/сут	h =3 м	

Начальное распределение влажности $W_o(z)$ принято равновесным, удовлетворяющим уравнению

$$[3A(W_o - W_{пер})^2 + B]\frac{dW_o}{dz} = 1.$$

При таком задании в начальный момент времени скорость влагопереноса в зоне аэрации $W_o(z)$ будет равна нулю.

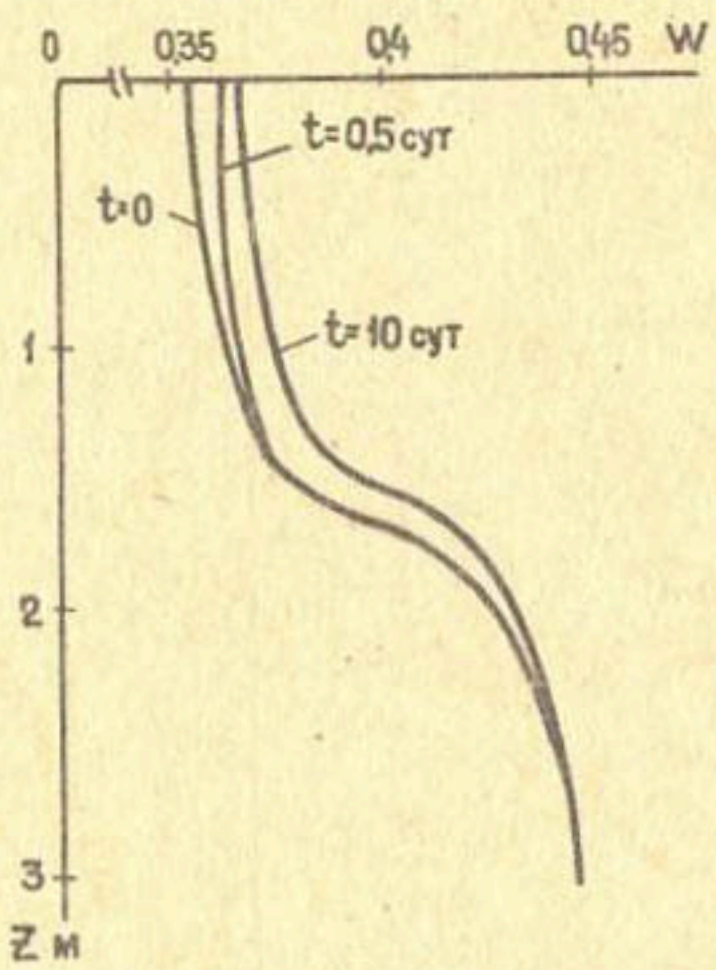


Рис. 1

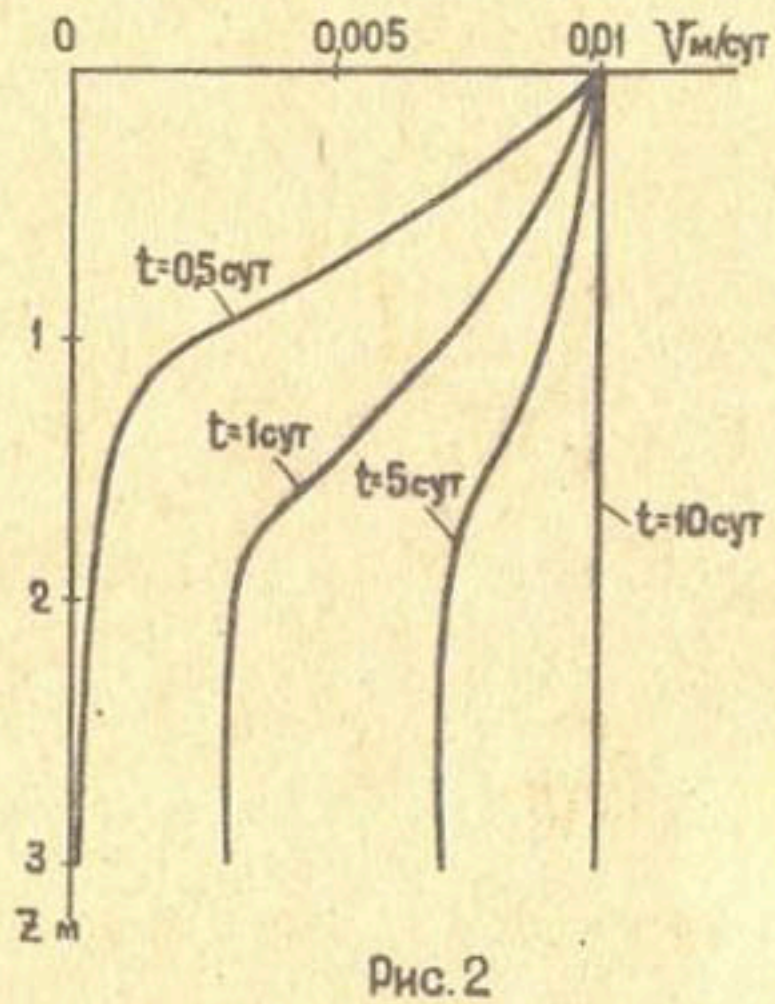


Рис. 2

На рис. I и 2 показано полученное при расчетах изменение во времени влажности и скорости влагопереноса.

Литература

I. Использование минерализованных вод для орошения. М., "Колос", I973.

2. Баскаченко И.Н. Использование природных минерализованных вод в сельском хозяйстве. М., "Колос", I975.

3. Нестерова Г.С. Возможность использования соленых вод для орошения сельскохозяйственных культур. М., МСХ СССР, I972.

4. Горбунов Н.И. Минералогия и коллоидная химия почв. М., "Наука", I974.

5. Рачинский В.В. Теория динамики ионного обмена. У.Динамика обменной сорбции разновалентных ионов при стационарном режиме. ЖФХ, т.XXXУI, вып.9. М., I962.

6. Клыков В.Е., Шульгин Д.Ф. Численное решение на ЭВМ задачи солевого прогноза в почве с учетом катионного обмена. - Сб. науч.тр. "Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии", вып. 7. Ташкент, Средазгипроводхлопок, I976.

7. Айдаров И.П., Клыков В.Е., Пестов Л.Ф., Шульгин Д.Ф. Математическая модель динамики ионов натрия и кальция в почвах. - "Почвоведение", I978, № 8.

УДК 62I.39I:68I.322.0I

Н.М.Беленький, канд.техн.наук, доц., зав.каф.

Д.В.Ким, канд.техн.наук,доц.

В.А.Кривопишин, ассист.

(ТашИИТ)

В.Ю.Толстунов, науч.отд.

(Средазгипроводхлопок)

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ПО ЦЕПЯМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Современные сети телемеханики (ТМ) гидромелиоративных систем (ГМС) представляют собой совокупность технических устройств диспетчерского (ДП) и контролируемых пунктов (КП), а также линейных сооружений, образующих тракт передачи сигналов телеуправления (ТУ) и телесигнализации (ТС). Они могут быть организованы на базе

цепей и каналов либо существующей сети связи, либо вновь созданной.

Характерной особенностью сети ТМ ГМС является разветвленность ее линии связи и параллельное включение в каждую ветвь аппаратуры контролируемых пунктов, входное сопротивление которой отлично от волнового сопротивления цепей. Кроме того, использование существующей линии связи в большинстве случаев обусловливает неоднородность фидера из-за наличия в нем цепей воздушной и кабельной линий. Следовательно, каждый фидер сети ТМ ГМС может быть рассмотрен как неоднородная групповая цепь с множеством разветвлений, качество передачи сигналов по которой оценивается величиной рабочего затухания. Однако в существующей практике проектирования сети ТМ ГМС не учитываются дополнительные затухания, вызванные неоднородностью фидера. Это обстоятельство несколько снижает экономичность проектируемой сети и ее эксплуатационную надежность.

В настоящей работе рассматривается методика расчета рабочего затухания сигналов ТУ и ТС в цепях ТМ ГМС, которая учитывает явления многократных отражений, обусловленных несогласованностью входных сопротивлений КП и волновых сопротивлений цепей связи, а также несогласованностью последних разных линий.

Методику оценки качества передачи сигналов рассмотрим на примере сети ТМ, изображенной на рисунке.

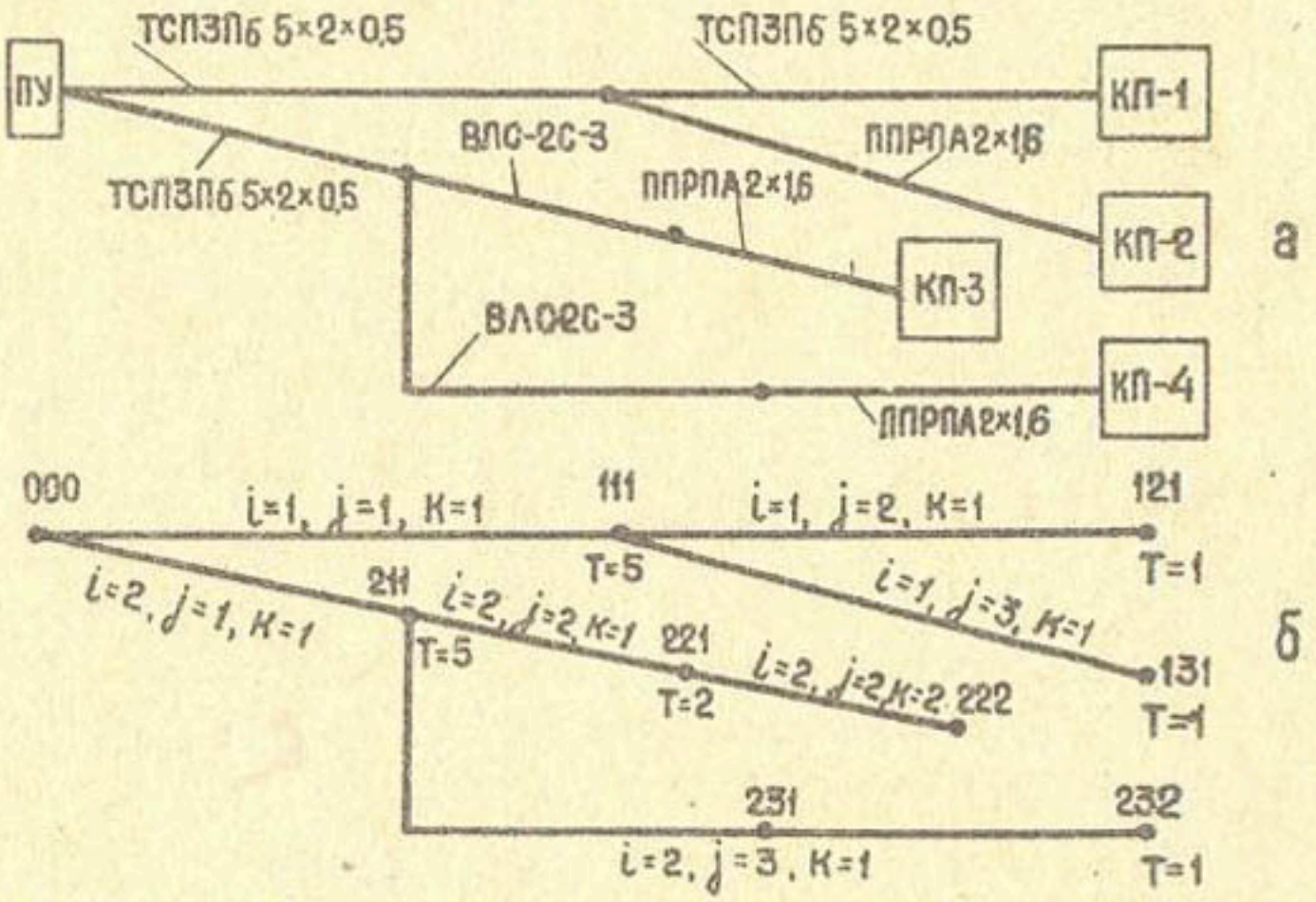


Схема организации сети ТМ (а) и ее математическая модель (б)

К схеме организации сети ТМ введем следующие обозначения:

i - номер разветвления, исходящего из точки подключения пункта управления (ПУ) или выхода канала тональной частоты (т.ч.);

j - номер ответвления в каждом разветвлении. Введем следующее ограничение: дальнейшее разветвление сети возможно только от ответвления, имеющего наибольший порядковый номер; K - номер точки неоднородности сети ТМ, обусловленной изменением вида или типа линии связи, наличием согласующих или развязывающих устройств, подключением КП или дальнейшим разветвлением сети; Т - дополнительный признак неоднородности, вызванной: Т=I - подключением КП в конце ответвления, Т=2 - несогласованностью цепи из-за изменения вида или типа линии связи, Т=3 - включением согласующего устройства в разрез разнородных цепей, Т=4 - подключением КП вдоль ответвления, Т=5 - узлом коммутации, из которого начинается последующее ответвление.

Тогда любую точку (или участок) сети можно описать тремя символами - i, j, K, первый из которых указывает номер разветвления, второй - номер ответвления в данном разветвлении, а третий - номер точки неоднородности участка сети начиная от узла коммутации.

Для удобства отображения структуры сети будем присваивать впереди лежащим участкам, характеризуемым протяженностью (длиной) ℓ и волновыми параметрами передачи $Z_в$ и γ , также трехзначный символ, соответствующий точке неоднородности сети. При этом алгоритм расчета качества передачи сигналов ТУ и ТС по разветвленным цепям включает следующие этапы:

I) приведение разветвленной цепи к неразветвленной для сигналов ТУ ("свертывание" цепи);

2) приведение разветвленной цепи к неразветвленной для сигналов ТС;

3) расчет условий прохождения сигналов ТУ (тока) к каждому КП (последовательное "развертывание" цепи);

4) расчет условий прохождения сигналов ТС (тока) от каждого КП к ПУ или входу канала т.ч.;

5) определение рабочих затуханий, уровней передачи и приема, построение диаграммы уровней.

Реализовать указанный алгоритм целесообразно, учитывая направление передачи, которое характеризуется надстрочным индексом ℓ

при распространении сигнала ТУ в сторону конца цепи и индексом О - при передаче сигнала ТС в сторону ее начала.

Проследим реализацию предложенного алгоритма расчета качества передачи при организации сети ТМ ГМС по схеме и ее математической модели, изображенным на рисунке.

Этап I. Для определения условий распространения сигналов ТУ найдем коэффициент отражения, обусловленный несогласованностью входного сопротивления КП-4 $Z_{КП_{232}}$ и волнового сопротивления линии $Z_{В_{232}}$ из выражения

$$\rho^{\ell}_{232} = \frac{Z_{КП232} - Z_{В232}}{Z_{КП232} + Z_{В232}}. \qquad (I)$$

Зная ρ^{ℓ}_{232}, вычислим входное сопротивление $Z^{\ell}_{ВХ232}$ участка цепи в точке 232 перехода кабельной линии в воздушную:

$$Z^{\ell}_{ВХ232} = Z_{В232} \frac{1 + \rho^{\ell}_{232} e^{-2\gamma_{232}\ell_{232}}}{1 - \rho^{\ell}_{232} e^{-2\gamma_{232}\ell_{232}}}, \qquad (2)$$

где $Z_{В232}, \gamma_{232}$ - волновые параметры передачи участка цепи ℓ_{232}.

Аналогично определим коэффициент отражения ρ^{ℓ}_{231} и входное сопротивление $Z^{\ell}_{ВХ231}$ в точке 231:

$$\rho^{\ell}_{231} = \frac{Z^{\ell}_{ВХ232} - Z_{В231}}{Z^{\ell}_{ВХ232} + Z_{В231}}; \qquad (3)$$

$$Z^{\ell}_{ВХ231} = Z_{В231} \frac{1 + \rho^{\ell}_{231} e^{-2\gamma_{231}\ell_{231}}}{1 - \rho^{\ell}_{231} e^{-2\gamma_{231}\ell_{231}}}. \qquad (4)$$

Так же можно найти и входные параметры ответвления $j = 2$.

Учитывая, что в точке 2II возникает параллельное соединение входных сопротивлений двух ответвлений ($j=2$ и $j=3$), следует определить их эквивалентное сопротивление

$$Z^{\ell}_{ЭКВ211} = \frac{1}{\frac{1}{Z^{\ell}_{ВХ221}} + \frac{1}{Z^{\ell}_{ВХ231}}}, \qquad (5)$$

а затем коэффициент отражения

$$\rho^{\ell}_{211} = \frac{Z^{\ell}_{ЭКВ211} - Z_{В211}}{Z^{\ell}_{ЭКВ211} + Z_{В211}} \qquad (6)$$

и обусловленное им входное сопротивление последующего участка цепи

$$Z^{\ell}_{вх_{211}} = Z_{в_{211}} \frac{1 + p^{\ell}_{211} e^{-2\gamma_{211}\ell_{211}}}{1 - p^{\ell}_{211} e^{-2\gamma_{211}\ell_{211}}} . \qquad (7)$$

Аналогично вычисляются входное сопротивление $Z^{\ell}_{вх_{111}}$ разветвления $i = I$, а потом эквивалентное входное сопротивление, которое оказывает сеть поступающему сигналу ТУ:

$$Z^{\ell}_{экв_{000}} = \frac{1}{\frac{1}{Z^{\ell}_{вх_{211}}} + \frac{1}{Z^{\ell}_{вх_{111}}}} . \qquad (8)$$

Этап 2. Для определения условий распространения сигналов ТС найдем входные сопротивления участков сети в сторону ее начала, например, от КП-2.

Коэффициент отражения p^{0}_{110} определяется эквивалентным входным сопротивлением $Z^{0}_{экв_{110}}$, обусловленным параллельным соединением входного сопротивления аппаратуры ПУ (или канала т.ч.) $Z_{пу_{000}}$ и входного сопротивления $Z^{\ell}_{вх_{211}}$ разветвления $i = 2$ в сторону его конца:

$$p^{0}_{110} = \frac{Z^{0}_{экв_{110}} - Z_{в_{111}}}{Z^{0}_{экв_{110}} + Z_{в_{111}}} , \qquad (9)$$

где

$$Z^{0}_{экв_{110}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{пу_{000}}} + \frac{1}{Z_{вх_{211}}}} . \qquad (10)$$

Входное сопротивление $Z^{0}_{вх_{111}}$ участка цепи относительно точки III найдем из выражения

$$Z^{0}_{вх_{111}} = Z_{в_{111}} \frac{1 + p^{0}_{110} e^{-2\gamma_{111}\ell_{111}}}{1 - p^{0}_{110} e^{-2\gamma_{111}\ell_{111}}} . \qquad (11)$$

Эквивалентное сопротивление в точке III обусловливается параллельным соединением входных сопротивлений $Z^{0}_{вх_{111}}$ в сторону начала сети и $Z^{\ell}_{вх_{121}}$ ответвления $j = 2$

$$Z^{0}_{экв_{130}} = \frac{1}{\frac{1}{Z^{0}_{вх_{111}}} + \frac{1}{Z^{\ell}_{вх_{121}}}} . \qquad (12)$$

Тогда

$$p^{0}_{130} = \frac{Z^{0}_{экв_{130}} - Z_{в_{131}}}{Z_{экв_{130}} + Z_{в_{131}}} \qquad (13)$$

и

$$Z^{o}_{вх_{131}} = Z_{в131}\,\frac{1+\rho^{o}_{130}\,e^{-2\gamma_{131}\ell_{131}}}{1-\rho^{o}_{130}\,e^{-2\gamma_{131}\ell_{131}}}. \qquad (14)$$

Таким образом, первые два этапа расчета сети ТМ ГМС сводятся к вычислению матриц входных сопротивлений и коэффициентов отражений от каждой точки неоднородности сети как в сторону ее начала, так и в сторону конца.

Этап 3. Величину тока $I_{i,j,k}$, поступающего к каждому КП при передаче сигналов ТУ, можно определить, проследив условия его распространения с учетом многократных отражений, возникающих в каждой точке неоднородности сети ТМ.

Положим ток I^{ℓ}_{000} за исходный

$$I^{\ell}_{000} = \sqrt{\frac{0{,}1\,\rho_{м\,000}}{Z^{\ell}_{экв\,000}}\cdot 10^{-3}},$$

где $\rho_{м\,000}$ - абсолютный уровень тока ПУ, и определим ток в точке неоднородности 2II с учетом многократных отражений

$$I^{\ell}_{экв_{2II}} = I^{\ell}_{000}\,\frac{Z^{\ell}_{экв\,000}}{Z^{\ell}_{вх\,2II}}\,e^{-\gamma_{2II}\ell_{2II}}\,\frac{1-\rho^{\ell}_{2II}}{1-\rho^{o}_{2I0}\rho^{\ell}_{2II}\,e^{-2\gamma_{2II}\ell_{2II}}}. \qquad (15)$$

Как видно из схемы математической модели, приведенной на рисунке, ток $I^{\ell}_{экв_{2II}}$ разветвится в точке 2II на два направления - к точкам неоднородности 22I и 23I:

$$I^{\ell}_{22I} = I^{\ell}_{экв_{2II}}\,\frac{Z^{\ell}_{экв_{2II}}}{Z^{\ell}_{вх\,22I}}\,e^{-\gamma_{22I}\ell_{22I}}\,\frac{1-\rho^{\ell}_{22I}}{1-\rho^{o}_{220}\rho^{\ell}_{22I}\,e^{-2\gamma_{22I}\ell_{22I}}}, \qquad (16)$$

$$I^{\ell}_{23I} = I^{\ell}_{экв_{2II}}\,\frac{Z^{\ell}_{экв_{2II}}}{Z^{\ell}_{вх\,23I}}\,e^{-\gamma_{23I}\ell_{23I}}\,\frac{1-\rho^{\ell}_{23I}}{1-\rho^{o}_{2II}\rho^{\ell}_{23I}\,e^{-2\gamma_{23I}\ell_{23I}}}. \qquad (17)$$

Тогда токи, поступающие на КП-3 (точка 222)и КП-4 (точка 232), соответственно могут быть найдены из выражений

$$I^{\ell}_{222} = I^{\ell}_{22I}\,e^{-\gamma_{222}\ell_{222}}\,\frac{1-\rho^{\ell}_{222}}{1-\rho^{o}_{22I}\rho^{\ell}_{222}\,e^{-2\gamma_{222}\ell_{222}}}, \qquad (18)$$

$$I^{\ell}_{232} = I^{\ell}_{23I}\,e^{-\gamma_{232}\ell_{232}}\,\frac{1-\rho^{\ell}_{232}}{1-\rho^{o}_{23I}\rho^{\ell}_{232}\,e^{-2\gamma_{232}\ell_{232}}}. \qquad (19)$$

Токи, поступающие к остальным КП сети ТМ, можно определить аналогично. Однако при отсутствии согласующих устройств в точках неоднородности цепей и развязывающих устройств в узлах коммутации возникают волны многократных отражений от соседних точек неоднородности, которые в определенных условиях (большая степень несогласованности и малое затухание участков сети) могут вызвать некоторые погрешности в расчетах.

Учтем указанные вторичные отражения. Пусть в начале сети (точка 000) отсутствует развязывающее устройство. Тогда в разветвление i =2 будут частично поступать отраженные волны тока из разветвления i =I. Покажем последовательность их определения.

Ток, поступающий к точке неоднородности III, будет частично отражаться к началу цепи. Его величину в этой точке вычислим из выражения

$$I^{o}_{экв\,III} = I^{\ell}_{000}\,\frac{Z^{\ell}_{экв\,000}}{Z_{вх\,III}}\,e^{-\gamma_{III}\ell_{III}}\,\frac{\rho^{\ell}_{III}}{1-\rho^{o}_{IIo}\,\rho^{\ell}_{III}\,e^{-2\gamma_{III}\ell_{III}}}. \qquad (20)$$

Примем полученный ток за исходный (вторичного отражения) и определим его величину в начале цепи:

$$I^{o}_{экв\,II0} = I^{o}_{экв\,III}\,e^{-\gamma_{III}\ell_{III}}\,\frac{1-\rho^{o}_{II0}}{1-\rho^{o}_{II0}\,\rho^{\ell}_{III}\,e^{-2\gamma_{III}\ell_{III}}}. \qquad (21)$$

Часть этого тока из-за вторичного отражения перейдет в i =2.

$$I^{\ell'}_{210} = I^{o}_{экв\,II0}\,\frac{Z^{\ell}_{экв\,000}}{Z^{\ell}_{вх\,211}} \qquad (22)$$

и поступит в точку 2II

$$I^{\ell'}_{211} = I^{o}_{210}\,e^{-\gamma_{211}\ell_{211}}\,\frac{1-\rho^{\ell}_{211}}{1-\rho^{o}_{210}\,\rho^{\ell}_{211}\,e^{-2\gamma_{211}\ell_{211}}}. \qquad (23)$$

Кроме того, в эту же точку поступит суммарный ток вторичного отражения из точек 222 и 232

$$I^{\ell''}_{211} = I^{o}_{221}\,e^{-\gamma_{221}\ell_{221}}\,\frac{\rho^{o}_{210}}{1-\rho^{o}_{220}\,\rho^{\ell}_{221}\,e^{-2\gamma_{221}\ell_{221}}} + \qquad (24)$$

$$+ I^{o}_{231}\,e^{-\gamma_{231}\ell_{231}}\,\frac{\rho^{o}_{211}}{1-\rho^{o}_{211}\,\rho^{\ell}_{231}\,e^{-2\gamma_{231}\ell_{231}}},$$

где

$$I^{o}_{221} = I^{\ell}_{221}\,e^{-\gamma_{222}\ell_{222}}\,\frac{\rho^{\ell}_{222}}{1-\rho^{o}_{221}\rho^{\ell}_{222}\,e^{-2\gamma_{222}\ell_{222}}}\,e^{-\gamma_{222}\ell_{222}}\,\frac{1-\rho^{o}_{221}}{1-\rho^{o}_{221}\rho^{\ell}_{222}\,e^{-2\gamma_{222}\ell_{222}}}, \qquad (25)$$

$$I^{\circ}_{231} = I^{\ell}_{231}\, e^{-2\gamma_{232}\ell_{232}} \frac{\rho^{\ell}_{232}(1-\rho^{\circ}_{231})}{1-\rho^{\circ}_{231}\rho^{\ell}_{232}e^{-2\gamma_{232}\ell_{232}}}. \qquad (26)$$

Таким образом, за исходный ток сигнала ТУ в точке 2II следует принять суммарный ток, обусловленный первичным и вторичным многократным отражением от всех соседних точек неоднородности

$$I^{\ell}_{экв\,рез} = I^{\ell}_{экв\,2II} + I^{\ell'}_{экв\,2II} + I^{\ell''}_{экв\,2II} = I^{\ell}_{экв\,2II}\left\{1 + \frac{Z_{экв\,000}}{Z^{\ell}_{вх\,III}} e^{-2\gamma_{III}\ell_{III}} \frac{\rho_{III}(1-\rho^{\circ}_{II0})}{1-\rho^{\circ}_{II0}\rho^{\ell}_{III}e^{-2\gamma_{III}\ell_{III}}} + \right. \qquad (27)$$

$$+\left[\frac{Z^{\ell}_{экв\,2II}}{Z^{\ell}_{вх\,22I}} e^{-2\gamma_{22I}\ell_{22I}} \frac{\rho^{\circ}_{220}(1-\rho^{\ell}_{22I})}{1-\rho^{\circ}_{220}\rho^{\ell}_{22I}e^{-2\gamma_{22I}\ell_{22I}}} e^{-2\gamma_{222}\ell_{222}} \frac{\rho^{\ell}_{222}(1-\rho^{\circ}_{22I})}{1-\rho^{\circ}_{22I}\rho^{\ell}_{222}e^{-2\gamma_{222}\ell_{222}}} + \right.$$

$$\left.\left. + \frac{Z_{экв\,2II}}{Z^{\ell}_{вх\,23I}} e^{-2\gamma_{23I}\ell_{23I}} \frac{\rho^{\circ}_{2II}(1-\rho^{\ell}_{23I})}{1-\rho^{\circ}_{2II}\rho^{\ell}_{23I}e^{-2\gamma_{23I}\ell_{23I}}} e^{-2\gamma_{232}\ell_{232}} \frac{\rho^{\ell}_{232}(1-\rho^{\circ}_{23I})}{1-\rho^{\circ}_{23I}\rho^{\ell}_{232}e^{-2\gamma_{232}\ell_{232}}} \right]\right\}.$$

Анализ формулы (27) показывает, что множитель, заключенный в фигурные скобки, представляет собой сумму убывающих членов, причем слагаемые в квадратных скобках весьма малы по величине. В реальных цепях связи параметры передачи колеблются в достаточно широких пределах (I0÷I5%).

Следовательно, в инженерных расчетах сетей ТМ ГМС можно ограничиться лишь вторичными многократными отражениями, возникающими в направлении, попутном распространению сигнала от ближайшей точки неоднородности сети. Тогда результирующий ток сигнала ТУ, поступающего в КП-2 и КП-3, следует определять по формулам

$$I^{\ell}_{222\,рез} = I^{\ell}_{221}\left[1 + e^{-2\gamma_{221}\ell_{221}} \frac{\rho^{\circ}_{220}(1-\rho^{\ell}_{22I})}{1-\rho^{\circ}_{220}\rho^{\ell}_{221}e^{-2\gamma_{221}\ell_{221}}}\right] \qquad (28)$$

и

$$I^{\ell}_{232\,рез} = I^{\ell}_{231}\left[1 + e^{-2\gamma_{231}\ell_{231}} \frac{\rho^{\circ}_{2II}(1-\rho^{\ell}_{23I})}{1-\rho^{\circ}_{2II}\rho^{\ell}_{23I}e^{-2\gamma_{231}\ell_{231}}}\right]. \qquad (29)$$

Этап 4. Расчет условий прохождения сигналов ТС сводится к нахождению уровня передачи $\rho^{\circ}i,j,k$ тока, исходящего из каждого КП. и обеспечивающего номинальный уровень приема на входе ПУ или канале т.ч. Пусть требуется определить исходящий уровень передачи сигнала ТС из некоторого КП, в общем случае равный

$$\rho^{\circ}i,j,k = \rho^{\circ}_{000\,min} + a^{\circ}\rho\, i,j,k\,, \qquad (30)$$

где $P^{o}_{ooo\,min}$ - минимально допустимый уровень приема сигнала ТС, дБ; $a^{o}_{pi,j,k}$ - рабочее (остаточное) затухание в цепи связи, дБ.

Рабочее затухание определяется из формулы

$$a^{o}_{pi,j,k} = 10 lg \frac{P^{o}_{oi,j,k}}{P^{o}_{ooo}}, \qquad (31)$$

где $P^{o}_{oi,j,k}$ - максимальная мощность, которую может отдать источник сигнала ТС согласованной нагрузке; P^{o}_{ooo} - мощность, получаемая нагрузкой (на входе аппаратуры ПУ или канала т.ч.):

$$P^{o}_{oi,j,k} = \frac{E^{2}_{kp}}{2Z_{kp}} = \left(I^{o}_{kpi,j,k}\right)^{2} Z_{kp}, \qquad (32)$$

$$P^{o}_{ooo} = \left(I^{o}_{ooo}\right)^{2} Z_{kp}. \qquad (33)$$

Тогда рабочее затухание равно

$$a^{o}_{pi,j,k} = 20 lg \left| \frac{I^{o}_{kpi,j,k}}{I^{o}_{ooo}} \right| + 10 lg \left| \frac{Z_{kp}}{Z_{py}} \right|. \qquad (34)$$

Ток, входящий в цепь из любого КП, зависит от входного сопротивления $Z_{vx\,i,j,k}$ цепи в точке подключения КП и находится из выражения

$$I^{o}_{i,j,k} = \sqrt{\frac{10^{0,1 P_{mi,j,k}}}{Z^{o}_{vx\,i,j,k}} \cdot 10^{-3}}. \qquad (35)$$

Здесь

$$P_{mi,j,k} = 20 lg \left| \frac{I^{o}_{i,j,k}}{I^{o}_{kpi,j,k}} \right| + 10 lg \left| \frac{Z^{o}_{vx\,i,j,k}}{R_{o}} \right|. \qquad (36)$$

Зная исходящий ток I^{o}_{232} сигнала ТС в точке 232, рассмотрим условия его распространения. Ток, поступающий в точку 231, равен

$$I^{o}_{231} = I^{o}_{232} e^{-\gamma_{232} l_{232}} \frac{1 - P^{o}_{231}}{1 - P^{o}_{231} P^{l}_{232} e^{-2\gamma_{232} l_{232}}}, \qquad (37)$$

а в точку 211

$$I^{o}_{211} = I^{o}_{231} e^{-\gamma_{231} l_{231}} \frac{1 - P^{o}_{211}}{1 - P^{o}_{211} P^{l}_{231} e^{-2\gamma_{231} l_{231}}}. \qquad (38)$$

В точке 2II входящий ток I^{0}_{211} разветвится на оба направления. Ток, идущий к началу цепи, находим из соотношения

$$I^{0}_{211} = I^{0}_{211} \frac{Z^{0}_{экв\,211}}{Z^{0}_{вх\,210}}. \qquad (39)$$

Ток I^{0}_{210}, поступающий в начало цепи, определим из выражения

$$I^{0}_{210} = I^{0}_{211} \frac{Z^{0}_{экв\,211}}{Z^{0}_{вх\,210}} e^{-\gamma_{211} l_{211}} \frac{1 - p^{0}_{210}}{1 - p^{0}_{210} p^{l}_{211} e^{-2\gamma_{211} l_{211}}}. \qquad (40)$$

Полученный ток I^{0}_{210} вновь ответвляется в ПУ и в разветвление I. Первый из них найдем по формуле

$$I^{0}_{000} = I^{0}_{210} \frac{Z^{0}_{экв\,210}}{Z^{0}_{вх\,000}} = I^{0}_{211} \frac{Z^{0}_{экв\,210}}{Z^{0}_{вх\,000}} \frac{Z^{0}_{экв\,211}}{Z^{0}_{вх\,210}} e^{-2\gamma_{211} l_{211}} \frac{1 - p^{0}_{210}}{1 - p^{0}_{210} p^{l}_{211} e^{-2\gamma_{211} l_{211}}}. \qquad (41)$$

Вторичные многократные отражения от соседних точек неоднородности можно учесть равенствами (27)-(29).

Этап 5. На последнем этапе определяются рабочие затухания, выбираются места установки согласующих, развязывающих и усилительных устройств, строятся диаграммы уровней передачи и приема.

Рабочее затухание сигнала ТУ к КП-4 рассчитываем по формуле

$$a^{ТУ}_{р\,233} = \ell n \left| \frac{E}{I_{Н\,232} 2\sqrt{Z_г Z_Н}} \right|. \qquad (42)$$

Ток, протекающий через входное сопротивление КП-4 ($I_{Н232}$), равен

$$I_{Н232} = E \frac{Z_{В100}}{Z_г Z_{В100} + Z_г Z_{В200} + Z_{В100} Z_{В200}} \frac{Z_{В221}}{Z_{В221} + Z_{В231}} e^{-\gamma_{232} l_{232}} e^{-\gamma_{231} l_{231}} \times$$
$$\times e^{-\gamma_{211} l_{211}} \frac{1 - p^{l}_{232}}{1 - p^{l}_{232} p^{0}_{231} e^{-2\gamma_{232} l_{232}}} \frac{1 - p^{l}_{231}}{1 - p^{l}_{231} p^{0}_{211} e^{-2\gamma_{231} l_{231}}} \times \qquad (43)$$
$$\times \frac{1 - p^{l}_{211}}{1 - p^{l}_{211} p^{0}_{000} e^{-2\gamma_{211} l_{211}}}.$$

Подставив формулу (43) в выражение (42), получим

$$a^{ТУ}_{р\,233} = \alpha_{211} l_{211} + \alpha_{231} l_{231} + \alpha_{232} l_{232} + \qquad (44)$$
$$+ \ell n \left| \frac{Z_г Z_{В100} + Z_г Z_{В200} + Z_{В100} Z_{В200}}{2\sqrt{Z_г Z_Н} \cdot Z_{В100}} \right| + \ell n \left| \frac{Z_{В221} + Z_{В231}}{Z_{В221}} \right| +$$
$$+ \ell n \left| \frac{1 - p^{l}_{232} p^{0}_{231} e^{-2\gamma_{232} l_{232}}}{1 - p^{l}_{232}} \right| + \ell n \left| \frac{1 - p^{l}_{231} p^{0}_{211} e^{-2\gamma_{231} l_{231}}}{1 - p^{l}_{231}} \right| + \ell n \left| \frac{1 - p^{l}_{211} p^{0}_{000} e^{-2\gamma_{211} l_{211}}}{1 - p^{l}_{211}} \right|.$$

Аналогично рассчитывается рабочее затухание сигналов ТУ и ТС остальных КП.

Значения уровней передачи и приема уточняются после выбора места установки согласующих и развязывающих устройств, а также линейных усилителей.

Построение диаграммы уровней передачи сигналов ТУ и ТС является заключительным моментом расчета качества передачи. Диаграмма уровней передачи позволяет судить о правильном выборе согласующих устройств, количестве усилителей и т.д.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

I) расчет качества передачи сигналов в сети ТМ ГМС целесообразно производить по участкам, составляющим фидер, с учетом многократных отражений, вызванных несогласованностью и неоднородностью трактов;

2) предлагаемый метод расчета рабочего затухания разветвленной групповой цепи обеспечивает достаточно высокую точность. Однако большая трудоемкость вычислительных операций требует применения ЭВМ.

УДК 626.824+626.83

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

ВОДОДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ КАНАЛОВ С НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ФАКТИЧЕСКУЮ ДИНАМИКУ ПОТОКА

Для поддержания расчетного напора при подаче воды к насосной станции или водовыпуску на магистральном канале строится подпорное перегораживающее сооружение. Три участка канала перед ним: магистральный подводящий, отводящий к насосной станции или водовыпуску и транзитный (продолжение магистрального) - образуют вододелительный узел. В каскаде насосных станций магистральный подводящий канал I с перегораживающим сооружением 2 и водозабором по пути проектируют в плане по трассе полива с расчетным уклоном, а отводящий канал 3 к насосной станции 4 выполняют под прямым углом к каналу (рис. I). Как правило, $Q_{нс}$ - бóльшая часть расхода магистрального канала Q - поступает к насосной станции, а меньшая его часть $Q_{тр}$ - через транзитный участок 5 вододелителя и перегораживающее сооружение транспортируется в транзитный канал 6. Обычно перегораживающее сооружение располагают ниже по

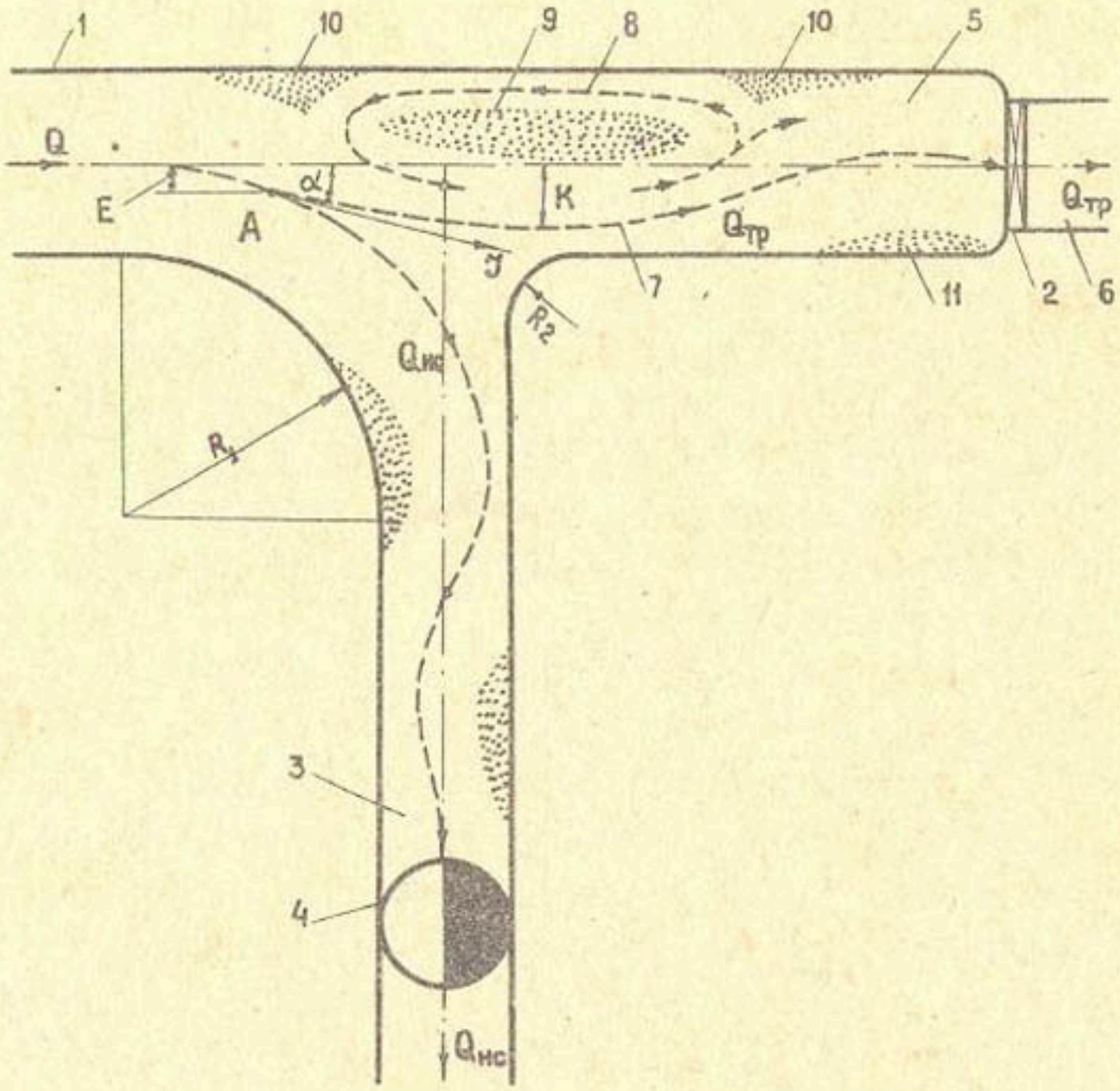


Рис.I. Схема фактического движения водных потоков в прямолинейном вододелителе: I - магистральный подводящий канал; 2 - перегораживающее сооружение; 3 - отводящий канал вододелителя; 4 - насосная станция; 5 - транзитный участок вододелителя; 6 - транзитный канал; 7 - фактическая ось движения транзитного потока воды; 8 - циркуляционное движение потока; 9,I0,II - участки отложения наносов

течению, в некотором удалении от поворота к насосной станции. Транзитный участок канала от поворота к насосной станции до перегораживающего сооружения такой же ширины (B) и глубины (h), как и канал до створа насосной станции. Отводящий канал и магистральный подводящий сопрягаются закруглениями R_1 и R_2 с обеих сторон.

В работе описанного вододелительного узла и в нормальном режиме эксплуатации, и при внезапных аварийных отключениях аг-

регатов насосной станции имеются существенные недостатки.

На рис. I показано фактическое движение водных потоков в нормальном режиме эксплуатации. Вначале рассмотрим особенности движения в магистральном канале. При разделении потока магистрального канала Q в точке А на отводящий $Q_{нс}$ и транзитный $Q_{тр}$ динамическая ось транзитного потока 7 отклоняется от прямолинейного направления по стрелке γ под углом α и смещается от оси магистрального канала на величину Е в сторону отводящего за счет действия поворачивающего потока $Q_{нс}$. При дальнейшем движении ось транзитного потока смещается до величины К и угол α постепенно уменьшается. Затем транзитный поток поворачивает в сторону оси магистрального канала.

Следовательно, в прямолинейном вододелителе, как видно из рис. I, фактическое движение транзитного потока происходит по кривой со смещением от оси магистрального канала, в результате чего на участке с $Q_{тр}$ образуется циркуляционный поток 8, причем в его середине 9 и в периферийных зонах IO отлагаются наносы за счет избыточной ширины русла. Аналогичный процесс, сопровождающийся отложением наносов, происходит в зоне II транзитной части. Такие же особенности имеет движение потока и в прямолинейном отводящем канале.

Перечисленные недостатки характерны для работы вододелителей на каналах с насосными станциями и на самотечных в нормальном режиме эксплуатации. Теперь рассмотрим, что происходит с потоком при внезапном отключении НС. Возникающая обратная волна движется со скоростью

$$V_в = V_{нс} - \sqrt{\frac{g\omega}{B}}. \qquad (I)$$

Так, в отводящем канале к джизакской насосной станции № 2 при гидравлических параметрах его b =I4 м, m=3, h =6 м, B=50 м, ω =I92 м^2, $Q_{нс}$=I4I м^3/с и начальной скорости течения воды $V_{нс}$ = 0,734 м/с скорость движения фронта обратной волны составляет $V_в = 0{,}734 - \sqrt{\frac{9{,}81 \cdot 192}{50}} = -5{,}4$ м/с.

Волна, ударяя перпендикулярно по дамбе канала против створа насосной станции, вызывает перелив через дамбу и ее разрушение. Кроме того, волна может повредить перегораживающее сооружение, его затворы и их оборудование.

Результаты натурных исследований работы существующих крупных вододелителей на Сырдарье и Южном Голодностепском канале подтвердили приведенные данные анализа особенностей движения водных потоков и выявленные недостатки прямолинейных вододелителей. Из схемы первоначально прямолинейного русла отводящего канала I к сырдарьинской насосной станции № 3 в Голодной степи УзССР с производительностью $Q_{нс}$ = 20 м^3/с (рис. 2) видно, что

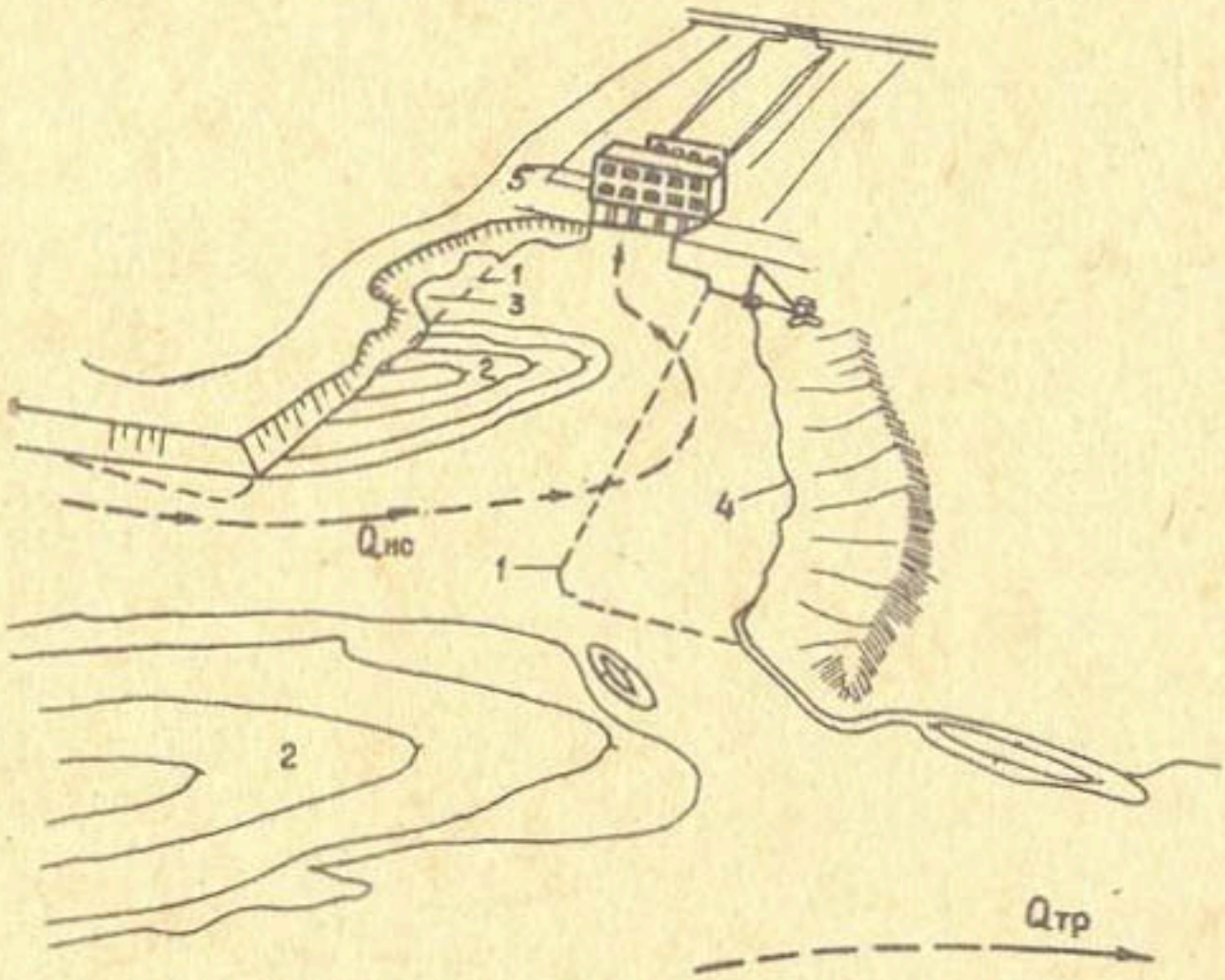


Рис.2. Схема изменения прямолинейного русла отводящего канала к сырдарьинской насосной станции № 3: I - первоначальные границы русла отводящего канала; 2 - участки неравномерного отложения наносов; 3 - зона размыва дамбы канала; 4 - криволинейное русло отводящего канала, сформировавшееся при эксплуатации НС; 5 - насосная станция

естественно сформировавшееся русло и движение потоков имеют следующие отличительные особенности:

- русло отводящего канала и водный поток в нем стали криволинейными в плане;

- динамическая ось потока сместилась примерно на 0,7 ширины канала;

- в отводящем канале и русле реки отложились наносы 2 по криволинейной образующей ;

- дамба канала 3 у насосной станции размыта;

- при эксплуатации канала производится очистка участка 4 от наносов экскаватором по криволинейной образующей естественно сформировавшегося русла.

Подобные зоны отложения наносов и смещения оси водного потока имеют место в самотечном подводящем и отводящем канале (рис.3 и 4).

Анализ работы и натурных исследований прямолинейного вододелителя показывает, что в результате естественного переформирования его участков уменьшается пропускная способность канала, возрастают затраты на ремонт размываемой дамбы и очистку отложений наносов. Причины отмеченных недостатков прямолинейного вододелителя следующие:

- несоответствие геометрических осей участков вододелителя фактическим осям движения потоков воды;

- несоответствие ширины каналов и величины живого сечения потока в участках вододелителя расходу воды, вследствие чего скорости водных потоков в разных створах неодинаковы и в зонах с пониженной скоростью отлагаются наносы.

Из изложенного совершенно очевидно, что для уменьшения отрицательного воздействия движения водных потоков в вододелительном узле необходимо совершенствовать его гидравлический режим.

Для обеспечения нормальной работы вододелительного узла при внезапном отключении НС нужно решить задачу по защите участков вододелителя от отрицательного воздействия мощной волны, отраженной от насосной станции. Следует также усовершенствовать конструкцию вододелителя с целью уменьшения деформации (размыва) его русла на внешних сторонах поворотов и уменьшения отложения наносов на их внутренних сторонах. Осуществить поставленные задачи позволяет новое техническое решение конструкции вододелителя, предложенное автором данного исследования.

Рекомендуемый вододелитель (рис. 5) разработан с учетом отмеченных особенностей естественного формирования потоков воды, а образующие его каналов выполнены криволинейными и с учетом естественного смещения динамических осей водных потоков в нем. Конструктивные особенности этого вододелителя рассматриваются дальше.

В устройство введен потокоразделитель 7, образованный выпуклыми участками дамб отводящего 3 и транзитного 5 каналов вододелителя, которые создают в пересечении острую кромку, направленную

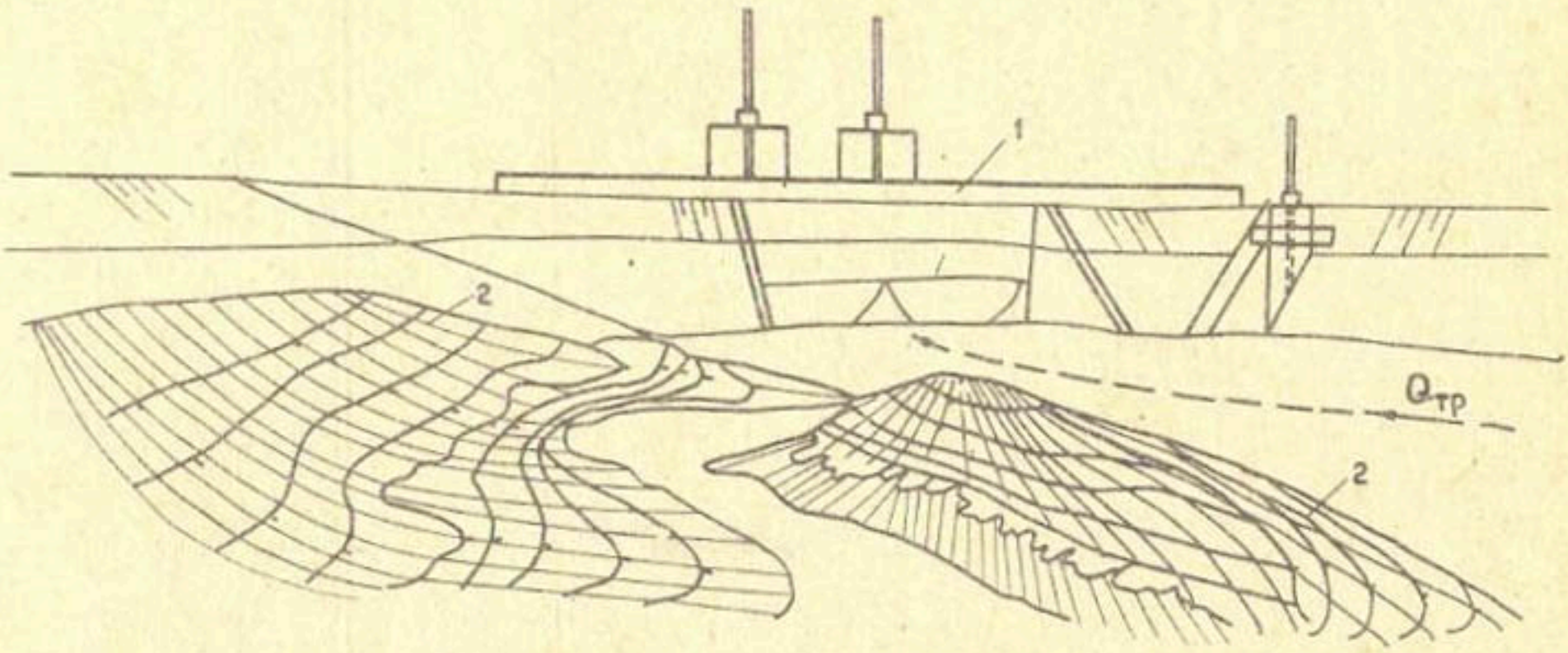


Рис.3. Неравномерное отложение наносов в транзитной части вододелителя на пк 923 Южного Голодностепского канала ($Q_{тр.макс}$ = 42 м^3/с): I - перегораживающее сооружение; 2 - зона отложения наносов

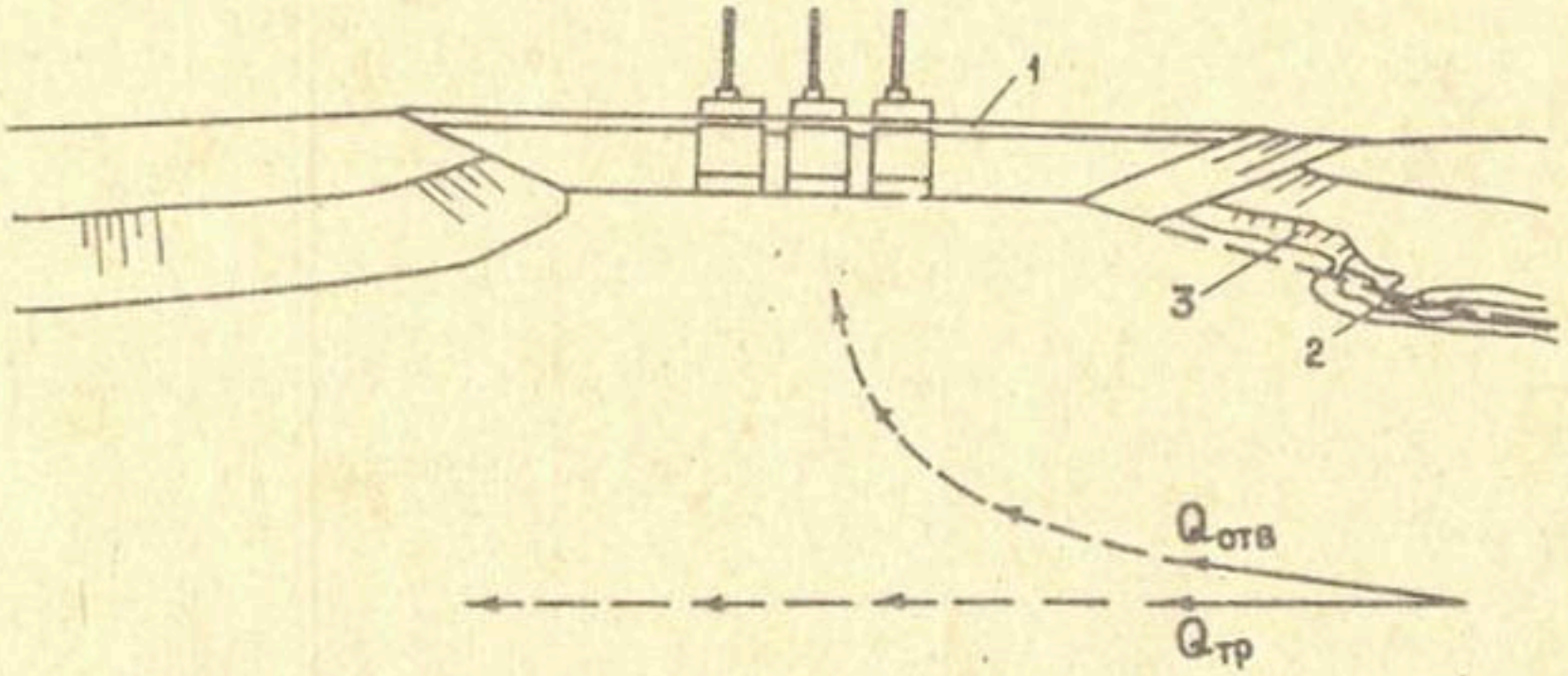


Рис.4. Неравномерное отложение наносов и размыв в отводящей части Центральной ветки вододелители на пк 624 Южного Голодностепского канала ($Q_{отв.макс}$ = 164 м^3/с): I- головное сооружение Центральной ветки; 2 - зона отложения наносов; 3 - зона размыва

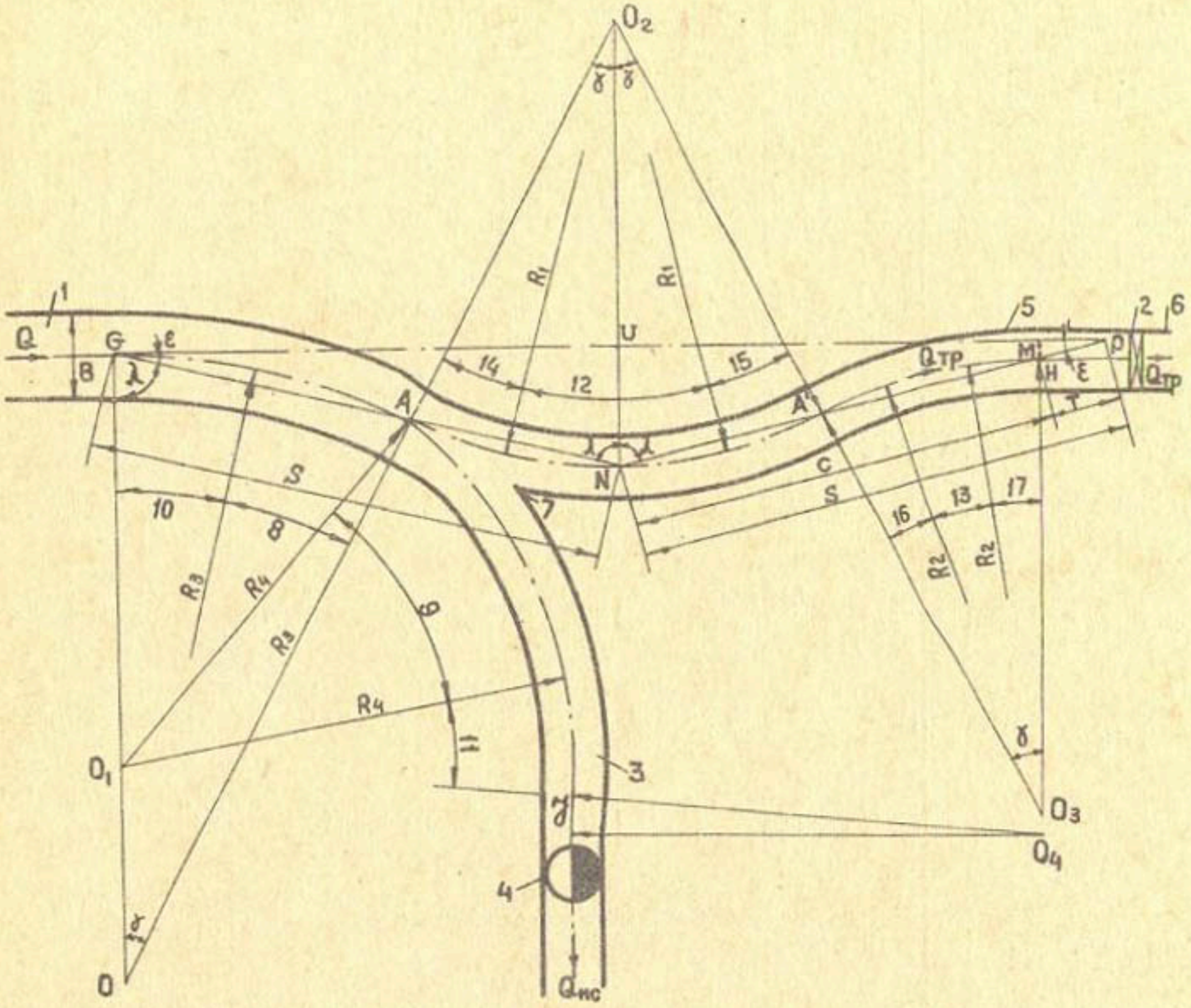


Рис.5. Схема вододелителя, учитывающего фактическую динамику водных потоков: I - магистральный подводящий канал; 2 - перегораживающее сооружение; 3 - отводящий канал вододелителя; 4 - насосная станция; 5 - транзитный участок вододелителя; 6 - транзитный канал; 7 - потокоразделитель; 8,9,I2,I3 - участки поворотов, описанные по радиальным кривым; I0,II,I4,I5,I6,I7- участки поворотов, выполненные по клотоидным переходным кривым переменного радиуса, сопрягающие радиальные и прямолинейные части вододелителя

навстречу потоку. Потокоразделитель позволяет выполнить сопряжение отводящего и транзитного каналов с магистральным во всех створах вододелителя с постоянным соотношением

$$\frac{Q}{\omega}=\frac{Q_{нс}}{\omega_{нс}}=\frac{Q_{тр}}{\omega_{тр}}=V=const, \qquad (2)$$

где Q, $Q_{нс}$, $Q_{тр}$ - расходы соответственно в магистральном, отводящем и транзитном каналах вододелителя; ω, $\omega_{нс}$, $\omega_{тр}$ - площади живого сечения соответственно в магистральном, отводящем и транзитном каналах вододелителя; V - скорость течения воды.

В результате достигаются одинаковые скорости течения воды во всех створах вододелителя, что способствует уменьшению размыва русла и отложения наносов в нем.

Кроме того, в предлагаемом устройстве транзитный канал вододелителя выполнен криволинейным, а ось его прямолинейной части смещена относительно оси магистрального канала в сторону отводящего на величину М. Обоснуем необходимость этого смещения.

В подводящем канале прямолинейное движение потока воды с расходом Q в начале поворота в точке G нарушается. Поворот приводит к появлению в потоке поперечной циркуляции, и чтобы не возникло отложений наносов и зон размыва русла, необходимо восстановить прямолинейность движения транзитного расхода $Q_{тр}$ с учетом закономерностей естественного криволинейного движения потоков воды (меандра) /I/.

Длина меандра тем больше, чем меньше кривизна русла, т.е. чем больше радиус кривизны. Приближенно принимают длину половины меандра равной радиусу кривизны. Например, если радиус кривизны R =7 В (где В - ширина русла), то длина кривой также равна 7 В. При очень большом радиусе кривизны русло неустойчиво: у вогнутого берега образуется отмель из-за отхода от него потока. Кривизна меандра устойчивого русла в плане приближенно может быть очерчена по сопрягающим дугам окружностей радиусом /I/

$$R=(7\div 8)\,B. \qquad (3)$$

Ширина русла влияет на устойчивость его в плане. Постоянство ширины В выражается через критерий А /I/ и определяется из формулы

$$A=\frac{BJ^{0,2}}{Q^{0,5}}, \qquad (4)$$

т.е.

$$B = A\frac{Q^{0,5}}{J^{0,2}}, \qquad (5)$$

где А - параметр, характеризующий поперечный профиль устойчивого русла (значение А для малых уклонов I,I÷I,3; примем среднее значение А=I,2); В - ширина устойчивого русла в плане, м; J - продольный уклон водной поверхности в русле; Q - руслоформирующий расход, $м^3/с$.

Подставляя значение В из уравнения (5) в формулу (3), получим радиусы поворотов R_1, R_2, R_3, R_4 каждого из трех каналов вододелителя, выраженные через их расходы. Уклон J для всех трех каналов, расположенных на одной местности, принимают постоянным (например, J = 0,00005).

Радиус поворота R_3 подводящего канала, выраженный через расход, определяется зависимостью

$$R_3 = 7A\frac{Q^{0,5}}{J^{0,2}} = 60,88\ Q^{0,5}. \qquad (6)$$

Длина поворота на участке GA равна

$$GA = \frac{R_3}{2} = 30,44\ Q^{0,5}. \qquad (7)$$

Радиус поворота R_4 отводящего канала составляет

$$R_4 = 7\,B_{нс} = 60,88\ Q_{нс}^{0,5}. \qquad (8)$$

Длина поворота на участке AJ равна

$$AJ = \frac{R_3}{2} = 30,44\ Q_{нс}^{0,5}. \qquad (9)$$

Длина транзитной части вододелителя в соответствии с законом формирования меандра складывается из двух участков: ANA' и A'H. Радиусы поворота транзитного канала

$$R_I = R_2 = 7B_{тр} = 60,88\ Q_{тр}^{0,5}. \qquad (10)$$

Длина поворота на участках ANA' и A'H равна

$$ANA' = R_I = 60,88\ Q_{тр}^{0,5}, \qquad (11)$$

$$A'H = \frac{R_2}{2} = 30,44\ Q_{тр}^{0,5}. \qquad (12)$$

Из формул (3)-(12) следует, что радиусы и длины участков поворотов пропорциональны $Q_l^{0,5}$. Так как на участке GA подводящего канала радиус и длина поворота больше радиуса и длины поворота транзитного канала на участке A'H, ось транзитного канала смещена на величину M относительно оси подводящего.

Из рис. 5 следует, что треугольники $O_2AN, O_2A'N$ и $O_3A'H$ равны между собой и подобны треугольнику OAB, углы γ при их вершинах O_2 и O равны в соответствии с построением их по зависимостям (7), (11), (12).

В транзитном канале точки N, A', H находятся на одной прямой; продолжая ее до пересечения с линией оси подводящего канала в точке P, получим треугольник PUN , равный треугольнику GUN, так как равны их углы λ, NUG и NUP.

Из треугольника PUN определим величину смещения оси транзитного канала относительно оси подводящего (M):

$$M = T\sin\varepsilon , \qquad (13)$$

где $T = S - C$, $S = 3,5(B + B_{тр})$, $C = 7B_{тр}$.

$$M = (S - C)\sin\varepsilon = \left[3,5(B + B_{тр}) - 7B_{тр}\right]\sin\varepsilon .$$

$$M = 3,5(B - B_{тр})\sin\varepsilon . \qquad (14)$$

Преобразуя выражение (14) - подставляя в него значение $B = A\frac{Q^{0,5}}{J^{0,2}}$, получим формулу для определения величины смещения:

$$M = \frac{3,5A \cdot \sin\varepsilon}{J^{0,2}}\left(Q^{0,5} - Q_{тр}^{0,5}\right) . \qquad (15)$$

Угол ε найдем из треугольника PUN:

$$\varepsilon = 90^\circ - \lambda , \qquad (16)$$

где $\lambda = \frac{180^\circ - \gamma}{2} = 90^\circ - \frac{\gamma}{2}$ (17)

из треугольника $O_2 N A'$.

Следовательно, $\varepsilon = \frac{\gamma}{2}$, (18)

где $\gamma = \frac{360^0}{6{,}28\ R} \cdot 0{,}5\ R = 28{,}64^0$, (I9)

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{2} = 14{,}32^0, \quad \sin\varepsilon = 0{,}2474. \qquad (20)$$

Тогда из формулы (I5) для приведенных значений A=I,2; $\mathcal{J}$ = 0,00005 получим

$$M = \frac{3{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}2474}{0{,}00005^{q2}} (Q^{0,5} - Q_{тр}^{0,5}) = 7{,}53(Q^{0,5} - Q_{тр}^{0,5}). \qquad (2I)$$

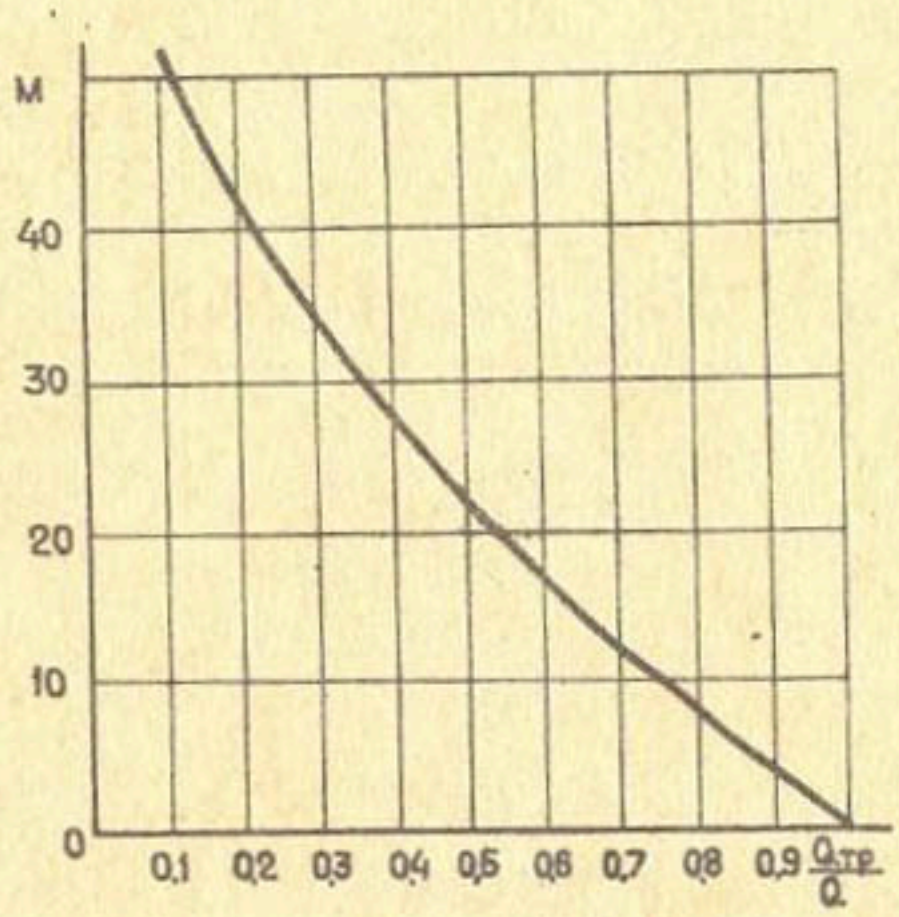


Рис.6. График изменения величины смещения M прямолинейной части транзитного канала относительно оси магистрального в зависимости от соотношения расходов отводящего и магистрального каналов

График изменения величины смещения прямолинейной части транзитного канала относительно оси магистрального (M) в зависимости от соотношения расходов отводящего и магистрального каналов приведен на рис. 6.

Третья особенность предлагаемого устройства позволяет улучшить динамику потока при его повороте с прямолинейного направления на радиальное и наоборот.

Обычно сопряжение прямолинейных участков подводящего и отводящего каналов вододелителя (см. рис. I) выполняют по радиальной кривой R_I. При радиальном повороте с прямолинейного участка

канала на круговую кривую на поток воды воздействует мгновенное скачкообразное изменение центробежной силы (F): от $F_\infty = 0$ на прямом участке канала до $F_R = \frac{V^2}{g}\frac{\rho}{R}$ при входе на радиальную кривую, а при выходе потока с круговой кривой на прямолинейный отрезок центробежная сила (F) скачкообразно изменяется от $F = F_R$ на круговой кривой до $F = F_\infty = 0$ на прямом участке канала, где V - скорость течения воды в руслах вододелителя; g - ускорение силы тяжести; P - вес единицы объема жидкости; R - радиус поворота русла канала. Резкое изменение F приводит к увеличению циркуляции потока воды на повороте, вызывающей размыв и заиление каналов вододелителя.

Для уменьшения отрицательного воздействия центробежной силы поворачивающего потока на каналы вододелители необходимо, чтобы F в потоке увеличивалась постепенно от нуля в начале поворота до F_R в начале радиальной кривой, а после радиального участка постепенно уменьшалась от F_R до нуля. С этой целью в рекомендуемом вододелителе (рис. 5) на повороте радиальные участки с прямолинейными сопряжены переходными кривыми переменного радиуса.

Поворот GAJ на подводящем и отводящем каналах выполнен из трех частей: в середине его радиальные отрезки 8 и 9 (радиусы R_3 и R_4) сопряжены с прямолинейными каналами I и 3 через переходные кривые IO и II. Аналогично на транзитном канале вододелителя каждый поворот ANA' и $A'H$ включает три части: радиальные участки I2 и I3 (радиусы R_I и R_2) и сопрягающие переходные кривые переменного радиуса I4, I5, I6, I7. Величина z_i изменяется постепенно от бесконечности на прямом отрезке канала до R_3, R_4, R_1, R_2 на участках радиальных кривых 8, 9, I2, I3. Определим требования к уравнению переходной кривой, позволяющей уменьшить размыв и заиление каналов на поворотах. Оно должно удовлетворять следующим условиям:

- поток должен двигаться с постоянной линейной скоростью

$$V = \frac{S}{t} \qquad (22)$$

и постоянной угловой скоростью

$$\omega' = \frac{\alpha}{t}; \qquad (23)$$

- следует обеспечить плавность и равномерность поворота потока с прямолинейного направления (от $z = \infty$) на требуемый

угол, соответствующий началу радиальной кривой (до $r=R$). Это достигается, если радиус кривизны r участков сопряжения меняется обратно пропорционально углу поворота α на длине l_o

$$r=\frac{l_o}{\alpha}. \qquad (24)$$

Угол α , равный нулю на прямом участке, увеличивается до постоянного значения α_o на круговой кривой радиуса R :

$$\alpha_o=\frac{l_o}{R}; \qquad (25)$$

- асимптотой переходной кривой должна быть прямая оси абсцисс для сопряжения ее с прямолинейным участком вододелителя, т.е.

$$r=\infty \quad \text{при} \quad \alpha=0. \qquad (26)$$

Определим уравнение переходной кривой, удовлетворяющей вышеуказанным требованиям, т.е. зависимостям (22)-(26).

Из выражения (22)

$$t=\frac{S}{V}, \qquad (27)$$

из формулы (23)

$$t=\frac{\alpha}{\omega'}. \qquad (28)$$

Приравнивая левые и правые части уравнений (27) и (28), получим

$$\frac{S}{V}=\frac{\alpha}{\omega'}. \qquad (29)$$

Из отношения (29)

$$\alpha=\frac{S\,\omega'}{V}. \qquad (30)$$

Подставляя зависимость (30) в выражение (24), определим переменный радиус кривизны:

$$r=\frac{l_o V}{S\,\omega'}, \qquad (3I)$$

где S - длина переходной кривой.

Для условий равномерного движения воды величины l_o, V и ω' будут постоянными, т.е.

$$\frac{l_o V}{\omega'}=a=const. \qquad (32)$$

Следовательно, уравнение (3I) переходной кривой примет вид

$$r=\frac{a}{S}, \qquad (33)$$

где r - переменный радиус кривизны от $r=\infty$ до $r=R$;
$a=const$; S - длина дуги.

Это выражение соответствует уравнению клотоиды [2]. Асимптотой ее является прямая оси абсцисс, т.е. в начале координат клотоида имеет $z = \infty$, что соответствует поставленному условию сопряжения переходной кривой с прямолинейным участком канала в вододелителе.

Отмеченные конструктивные особенности рекомендуемого вододелителя позволяют:

I) выполнить каналы вододелителя на всех отрезках шириной и сечением, пропорциональными расходам. В результате устраняются участки с повышенными и пониженными скоростями потоков. Скорости в любом сечении русла вододелителя одинаковые и по величине равные скорости течения в магистральном канале. Это дает возможность свести к минимуму размываемые и заиляемые участки в вододелителе;

2) выполнить русла вододелителя направленными в соответствии с осями фактических потоков, что снижает поперечную циркуляцию воды в вододелителе, а следовательно уменьшает размываемые и заиляемые участки;

3) отраженный водный поток, возникающий в отводящем канале к НС при внезапном отключении ее насосных агрегатов, направить не перпендикулярно, а по касательной к противолежащей дамбе магистрального канала, что делает возможным устранить разрушающее действие отраженной волны на участки вододелителя, подводящего канала и транзитное перегораживающее сооружение, т.е. достичь увеличения надежности работы вододелителя и канала;

4) увеличить равномерность движения отраженного потока на поворотах вододелителя за счет введения переходных кривых между прямолинейными и радиальными частями его каналов. В итоге на поворотах достигнуто ослабление интенсивности поперечной циркуляции при движении отраженного потока, что способствует уменьшению его разрушающего действия на вододелитель.

В предложенном конструктивном решении вододелителя движение воды происходит по законам естественных потоков, что уменьшает участки размыва и заиления. В результате снижаются эксплуатационные затраты на очистку от заиления и на ремонт разрушенных участков канала.

Затраты на усложнение конструкции рекомендованного вододелителя окупаются за счет сокращения ежегодных эксплуатационных расходов.

Литература

I. Алтунин С.Т. Регулирование русел. М., Сельхозиздат, 1962.
2. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. М., "Наука", 1964.

УДК 626.823:93

Р.М.Тюменев, руковод.группы
(Средазгипроводхлопок)
В.А.Рожнов, канд.техн.наук, зав.лаб.
(Институт автоматики АН КиргССР)

ЗАЩИТА ОТ ЗАИЛЕНИЯ И РАЗМЫВА МНОГОПРОЛЕТНОГО ГИДРОСООРУЖЕНИЯ ИЗБИРАТЕЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЕГО ЗАТВОРАМИ

В оросительный канал обычно подается вода с большим содержанием взвешенных наносов, которые постепенно откладываются в его русле. Однако при вододелении отложения наносов перед гидросооружением или за ним бывают настолько неравномерны, что нарушают эксплуатационные режимы его работы и уменьшают пропускную способность. Большая неравномерность отложений особенно характерна для прямолинейных участков канала с перегораживающим сооружением и боковым отводом. Объясняется это тем, что канал от створа бокового отвода до перегораживающего сооружения обычно проектируется той же ширины, что и до створа. В таких случаях расход воды за отводом меньше, что снижает среднюю скорость течения воды. Практика эксплуатации показала, что при рассматриваемой конфигурации канала не только увеличивается количество отлагающихся наносов, но меняется и характер их отложения по ширине канала - оно становится неравномерным. Рассмотрим указанные явления на примере джизакского каскада насосных станций (НС).

Высокопроизводительные НС забирают из магистрального канала от 35 до 82% расхода, причем к насосной станции вода поступает по отводящему каналу, расположенному перпендикулярно к магистральному. Несколько ниже створа бокового отвода на магистральном канале размещается перегораживающее сооружение для регулирования расхода транзитной части. В месте деления потока магистрального канала Q на поток, идущий к насосной станции $Q_{нс}$, и поток транзитной части $Q_{тр}$ динамическая ось $Q_{тр}$ увлекается поворачивающим

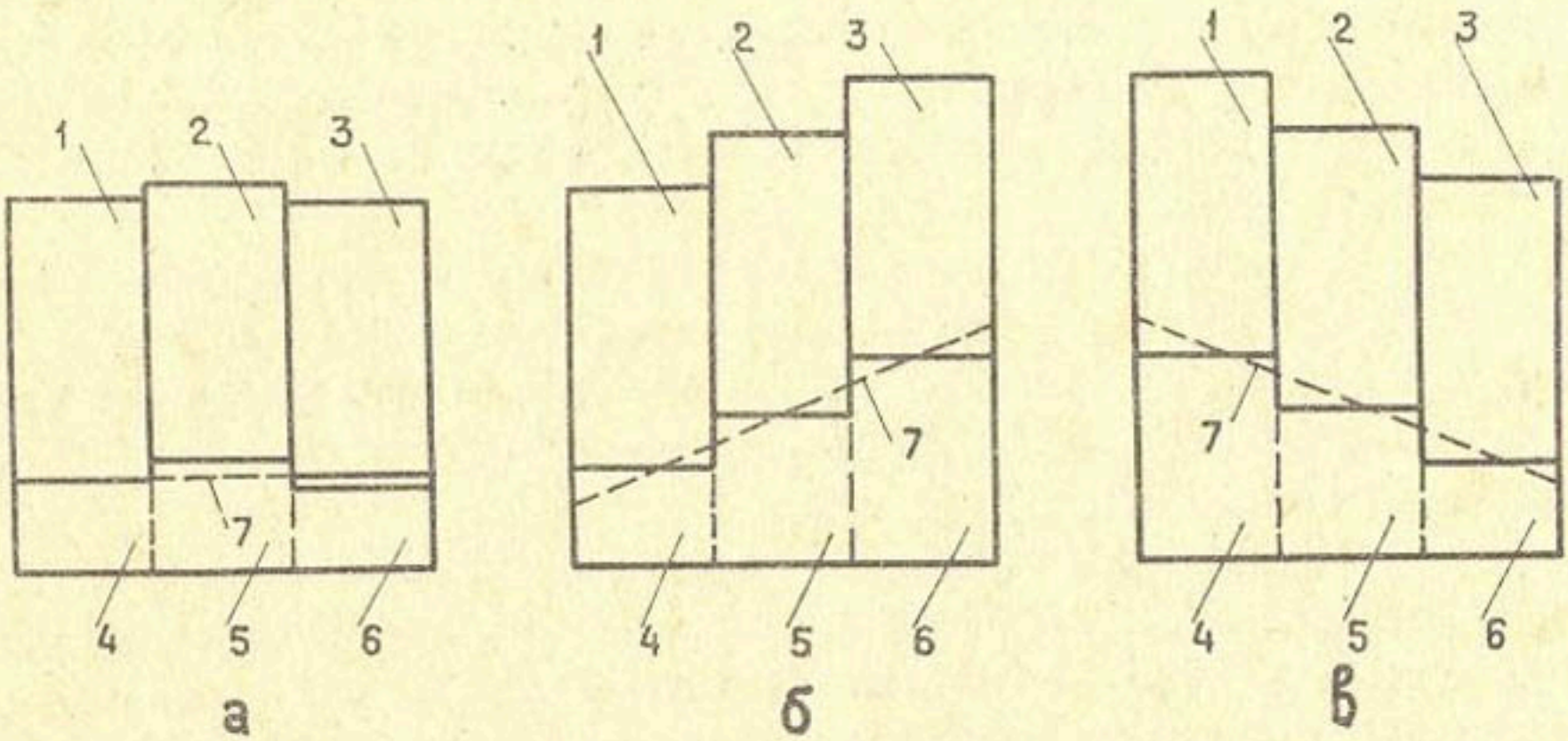
потоком $Q_{нс}$ в сторону насосной станции и смещается от оси канала. Отмеченное явление приводит к неравномерности эпюры скоростей потока и к неустойчивости русла канала. В результате происходит отложение наносов на одних участках вододелителя и размыв русла - на других.

Для уменьшения указанных отрицательных явлений перегораживающее сооружение на магистральном канале необходимо выполнять многопролетным, а величины открытия его затворов устанавливать с неравномерностью, обратной неравномерности эпюры скоростей транзитного потока.

При изменении расходов в канале потребуется изменение величины водопропускных отверстий перегораживающего сооружения. Для достижения необходимой точности регулирования расхода и уменьшения мощности потребляемой электроэнергии принято управление затворами многопролетного гидросооружения производить поочередно. При автоматическом управлении поочередное перемещение затворов обычно осуществляется с помощью релейных распределителей команд, что дает возможность последовательно управлять всеми затворами от одного авторегулятора. Однако релейные распределители не могут реализовать работу затворов с заданной неравномерностью эпюры скоростей потока по каналу.

Рассмотрим устройство, которое позволяет изменять динамическую ось потока при подходе его к гидросооружению, если оно многопролетное. В данном случае задача может быть решена путем установки затворов с водопропускными отверстиями различной величины. При этом по оси зоны отложения наносов они должны быть больше, а по оси зоны размыва - меньше их среднего значения. Возможные сочетания величин открытия затворов многопролетного сооружения приведены на рис. I. Указанное их соотношение позволяет создать равномерную эпюру скоростей течения в потоке на участке канала перед гидросооружением или за ним за счет увеличения скорости течения по оси зоны отложения наносов и уменьшения скорости течения по оси зоны размыва. В результате создается равномерный режим течения воды, исключающий зоны размыва русла и отложения наносов.

Рассмотрим технологические и технические возможности реализации устройства, позволяющего обеспечить нужное соотношение размеров водопропускных отверстий.



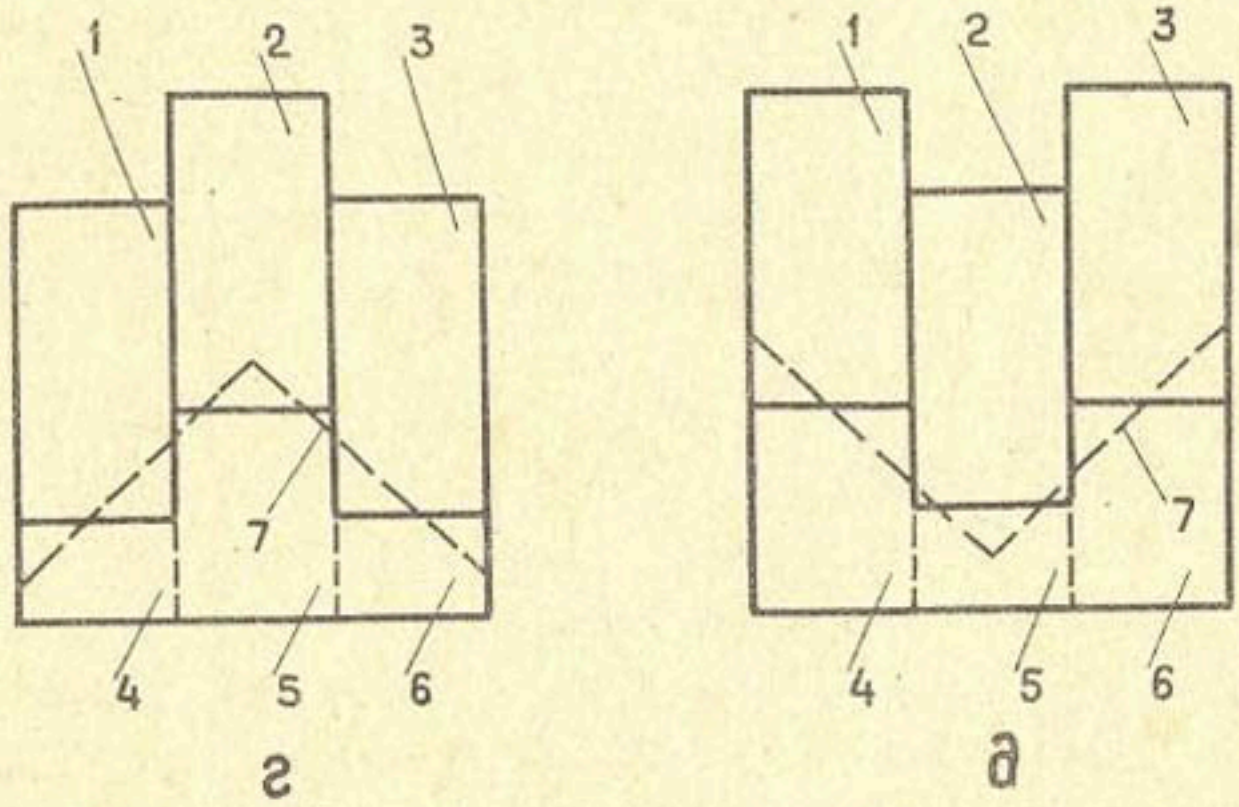


Рис.I. Возможные соотношения величин открытия затворов многопролетного гидросооружения для выравнивания эпюры скоростей воды возле него в зависимости от места отложения наносов: а) равномерно по всему фронту сооружения, б) справа, в) слева, г) в середине, д) слева и справа (I,2,3 - затворы; 4,5,6 - водопропускные отверстия; 7 - средняя линия положения затворов)

Как показал анализ функционирования многопролетных гидросооружений с централизованным или автоматическим управлением его затворами, для достижения заданной неравномерности положений затворов необходимо выполнение следующих основных технологических условий.

Во-первых, из-за многорежимного характера работы гидросооружений при изменениях расхода воды в течение вегетации следует изменять суммарную величину водопропускных отверстий в соответствии с требуемым изменением расходов и с учетом заданной неравномерности открытий затворов.

Во-вторых, при поступлении управляющих команд необходимо организовать последовательное перемещение каждого из затворов с соблюдением заданной конфигурации водопропускных отверстий и минимальным разбросом положения отверстий относительно требуемой конфигурации.

В-третьих, необходимо последовательное доведение затворов до крайних верхнего или нижнего положений, если требуется соответственно полностью открыть все затворы для пропуска через гидросооружение максимального расхода или полностью их закрыть для прекращения пропуска воды.

В-четвертых, следует восстановить заданную неравномерность величин водопропускных отверстий затворов, если в предыдущем режиме расхода воды они были полностью открыты или полностью закрыты.

В-пятых, на качестве работы устройства не должно сказываться временное отсутствие электропитания.

С учетом вышеперечисленных требований разработан усовершенствованный селективный распределитель команд, который отличается от рекомендованного [x] тем, что позволяет управлять затворами многопролетного гидросооружения с сохранением заданной конфигурации, при каждой команде выбирая тот затвор, кромка которого наиболее удалена от линии требуемой конфигурации, с учетом направления его перемещения. Необходимая конфигурация положений затворов и водопропускных отверстий устанавливается с помощью задатчиков опережения и отставания перемещения каждого из затворов.

---

x) Тюменев Р.М. Селективный распределитель команд. (Институт "Средазгипроводхлопок") Авт.свид. СССР, № 311312, ЦНИИПИ, 1971, № 24.

Принципиальная схема предлагаемого селективного распределителя команд приведена на рис.2.

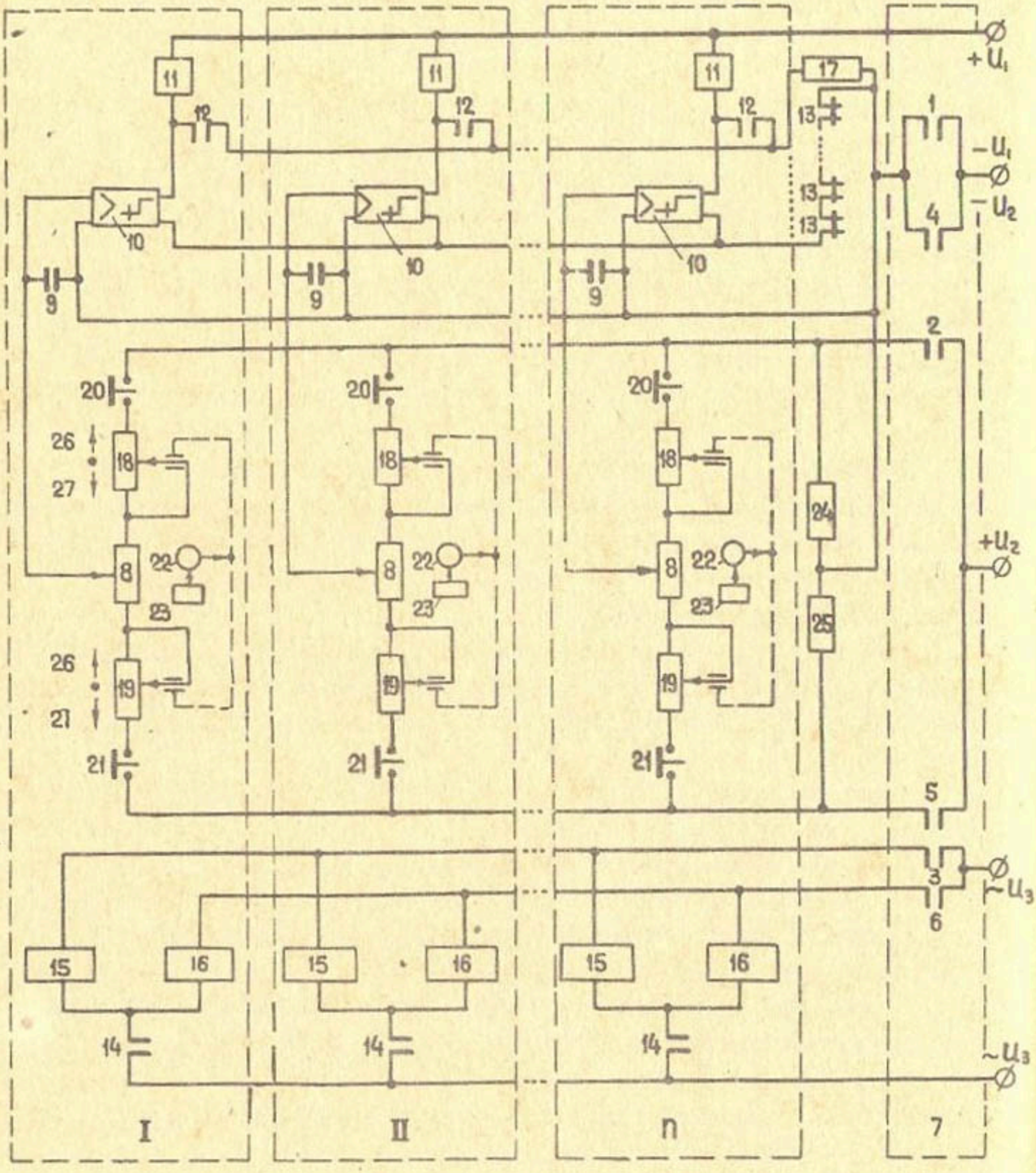


Рис.2. Принципиальная схема селективного распределителя команд управления затворами многопролетного гидросооружения с заданным соотношением величин открытия затворов

Селективный распределитель команд состоит из нескольких одинаковых модулей - I,II,..., n (по количеству управляемых затворов), которые включаются от управляющих контактов на закрытие (I,2,3) и на открытие (4,5,6) цепей централизованного или автоматического управления 7. Группы контактов I,2,3 и 4,5,6 осуществляют выбор полярности питающих напряжений в соответствии с командой управления на закрытие или открытие затворов.

Каждый модуль содержит датчик положения затвора 8 и конденсатор 9, включенные к входу усилителя с однополярной релейной характеристикой I0. К выходу усилителя I0 подключено реле выбора управляемого затвора II с контактом самоблокировки I2. Вторые (размыкающие) контакты I3 реле II включены последовательно в цепь питания усилителей I0. Третьи (замыкающие) контакты I4 реле II подключены в цепь управления магнитных пускателей I5 и I6 электроприводов затворов. Резистор I7 в цепи самоблокировки служит для ограничения тока через реле II.

Датчик положения затвора 8 каждого модуля подключен в цепь дистанционного управления 7, к контакту на закрытие 2, через потенциометр I8 уставки опережения затвора и конечный выключатель нижнего положения затвора 20, а к цепи дистанционного управления 7, к контакту на открытие 5, - через потенциометр I9 уставки опережения затвора и конечный выключатель верхнего положения затвора 2I. Движки потенциометров уставки I8 и I9 подключены непосредственно к датчику положения затвора 8 и механически связаны с реверсивным блоком уставки задания 22, осуществляющим изменение величины уставки опережения или отставания затвора. Блоки 22 уставок связаны с блоками 23 управления уставкой опережения или отставания затвора. Резисторы 24 и 25 включены последовательно, причем средняя их точка подключена к минусу источника питания датчиков и задатчиков через контакты I и 4 цепи дистанционного управления 7, а крайние точки - к плюсу через контакты 2 и 5.

Направление изменения уставки задания потенциометров I8 и I9 на опережение движения затвора при команде "закрытие" указано позицией 26, на опережение движения затвора при команде "открытие" - позицией 27.

Затворы сооружения I,2,3 (см. рис. I), например, с тремя пролетами имеют водопропускные отверстия 4,5,6 соответственно. Средняя линия положения затворов 7 устанавливается задатчиками опережения и отставания в модулях I,II,..., n и при работе может быть

горизонтальной, с подъемом вправо, с подъемом влево, "елочкой" вверх, "елочкой" вниз и других конфигураций.

Рассмотрим принцип работы селективного распределителя команд.

В исходном состоянии, при отсутствии управляющей команды, контакты I,2,3,4,5,6 (рис. 2) цепи дистанционного управления 7 разомкнуты, на датчики положения затворов 8 напряжение не подано, конденсаторы 9 разряжены, на выходах усилителей I0 напряжение отсутствует, все реле II управляемых затворов обесточены, контакты I3 замкнуты, контакты I4 разомкнуты, магнитные пускатели I5 и I6 приводов затворов обесточены.

При поступлении управляющей команды от цепи дистанционного управления 7, например, на закрытие затворов замыкаются контакты I,2,3 цепи дистанционного управления 7 (авторегулятора или диспетчерского пункта). Положительное напряжение подается на верхние (по схеме) выводы датчиков положения затворов 8 через контакт 2, отрицательное - на нижние выводы через контакт I и резистор 25. Начинают заряжаться все конденсаторы 9 по цепи: $+U_2$, контакт 2, конечные выключатели 20, потенциометры I8, датчики положения затворов 8, конденсаторы 9, контакт I, $-U_2$. Зарядка конденсаторов 9 будет происходить до положительного напряжения переключения одного из усилителей I0. Конденсатор 9 зарядится раньше в том модуле, в котором при поступлении команды сумма сопротивлений участка движок потенциометра датчика положения затвора 8 и включенная часть потенциометра I8 меньше, чем в других модулях. Это соответствует большей (относительно средней линии) величине открытия затвора, подключенного к данному модулю, перед поступлением команды управления и (или) установке движка потенциометра I8 в положение на опережение при закрытии (вверх по схеме).

Когда напряжение на конденсаторе 9 достигнет порога переключения усилителя I0, включится реле II. Оно самоблокируется контактом I2 через резистор I7 к минусу источника питания, контактом I3 отключит питание всех усилителей (чтобы не включились другие модули) и контактом I4 данного модуля включит питание магнитного пускателя выбранного привода затвора, причем включение магнитного пускателя на закрытие определено замкнувшимся контактом 3 при поступлении команды от цепи дистанционного управления 7.

После окончания команды устройство обесточивается и возвращается в исходное состояние. Конденсаторы 9 всех модулей разряжаются через датчики положения затворов 8, потенциометры I8 и резистор 24.

При появлении команды от цепи дистанционного управления 7 на открытие затворов замыкаются контакты 4,5,6 цепи дистанционного управления 7. Положительное напряжение подается на нижние (по схеме) выводы датчиков положения затворов 8 через контакт 5, а отрицательное - на верхние выводы через контакт 4 и резистор 24. Начинается заряд всех конденсаторов по цепи: $+U_2$, контакт 5, конечные выключатели 2I, потенциометры I9, датчики положения затворов 8, конденсаторы 9, контакт 4, $-U_2$.

До положительного напряжения переключения одного из усилителей I0 раньше зарядится конденсатор 9 в том модуле, в котором при поступлении команды сумма сопротивлений участка движок потенциометра датчика положения затвора 8 и включенная часть потенциометра I9 меньше, чем в других модулях. Это соответствует меньшей (относительно средней линии) величине открытия затвора, подключенного к данному модулю, перед поступлением команды управления и (или) установке движка потенциометра I9 в положение на опережение при открытии (вниз по схеме). Далее работа схемы аналогична описанной выше, за исключением того, что в выбранном модуле включение магнитного пускателя на открытие определено замкнувшимся контактом 6 при поступлении команды от цепи дистанционного управления 7.

Если какой-либо затвор при перемещении дошел до своего нижнего предельного положения, то вход его модуля отключается от цепи команды на опускание соответствующим конечным выключателем нижнего предельного положения затвора 20. При поступлении в последующем команды противоположного знака (на открытие) этот модуль остается готовым к работе со стороны выключателя соответствующего (верхнего) предельного положения. В верхнем предельном положении затвора вход соответствующего модуля отключается конечным выключателем верхнего предельного положения затвора 2I.

Изменение уставок на опережение или отставание хода каждого из затворов осуществляется блоком управления уставкой 23, который включает в соответствующем направлении реверсивный привод блока уставки задания 22, связанный с движками потенциометров уставок I8 и I9. Изменение уставки 23 может осуществляться как от команды

с диспетчерского пункта, так и с помощью местного управления.

Распределитель команд изготовляется на основе серийных средств: реле типа Р25, датчиков положения затвора типа ДПЗ и ключевых переключающих устройств. В качестве последних применяются серийные корректирующие приборы К26.I. Все перечисленные устройства выпускаются отечественными заводами.

Описанные способ и устройство могут быть применены на любых многопролетных гидросооружениях и настроены на режим как с неравномерным, так и с равномерным открытием затворов.

Предложенный распределитель команд в обычных условиях позволяет управлять затворами при изменении расходов, придерживаясь средней линии для получения потока, равномерного по ширине канала. В тех случаях, когда необходимо создать неравномерные эпюры скоростей потока на подходе к перегораживающему сооружению или за ним, с помощью уставки заданий осуществляют неравномерное расположение затворов по определенной конфигурации, которое позволяет в каждом конкретном случае так сформировать поток воды, чтобы не происходило неравномерного отложения наносов или размыва берега канала. Применение рекомендуемого устройства даст возможность улучшить эксплуатацию каналов, уменьшить затраты на очистку и ремонт их берегов.

УДК 621.876:627.845

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

ПОЛЫЕ ВИНТЫ ПОДЪЕМНИКОВ ЗАТВОРОВ

Направление на рачительное использование материальных ресурсов требует нового подхода к производству и расходованию "хлеба промышленности" - металла. Намечено улучшить качество проката, повысить его прочность и коррозиестойкость, наладить выпуск проката, применяемого без дополнительной обработки, сократить потери металла при обработке изделий за счет расширения сортамента выпускаемой продукции.

В первую очередь задача экономии металла имелась в виду при наших исследованиях эффективности применения полых винтов в подъемниках затворов гидротехнических сооружений. Использование их

позволит значительно уменьшить металлоемкость конструкции и потери на обработку, а также повысить сопротивление сжимающим силам.

Известно, что подбор площади сечения металлического стержня, подверженного растяжению, определяется условиями прочности, т.е. сопротивлением материала разрыву. Поперечное сечение стержня, подверженного сжатию, определяется сопротивлением изгибу, которое уменьшается с удлинением стержня. Работа винтов подъемников включает и условия растяжения - при подъеме затвора, и условия сжатия - при дожиме затвора на порог.

В нашей предшествующей публикации [1] отмечено, что для винта грузоподъемностью I т достаточна площадь сечения сплошного винта 0,5 $см^2$, т.е. диаметр винта при приложении только растягивающих усилий должен быть 8 мм. Винт такого сечения, имея высоту 2900 мм, не выдержит сжатия даже силой в 20 кг. Чтобы он не гнулся под действием сжимающей силы в I т, необходимо площадь поперечного сечения увеличить в 20÷25 раз. Совершенно очевидно, что применение полых стержней в подобных обстоятельствах является не только экономически наивыгоднейшим, но и определяющим, поскольку сопротивление изгибу полых конструкций выше по сравнению со сплошными.

В настоящее время винты для подъемников затворов гидротехнических сооружений изготавливаются из сплошных металлических круглых стержней, и на их долю приходится 40÷44% веса подъемника. Как показал анализ существующих разработок, гибкости этих винтов близки к предельным. Кроме того, нужно учитывать и другие неизбежные моменты при изготовлении и монтаже: отклонение оси стержня от прямолинейного направления; применение стержней для изготовления винтов из металла низкого качества с неоднородной структурой; эксцентричное приложение сжимающей силы к винту, - вследствие которых при нагрузках меньше расчетных возможно боковое выпучивание и искривление стержня винта до аварийного положения, что делает невозможным маневрирование затворами. Нужно отметить, что боковое выпучивание происходит очень интенсивно. Прогиб достигает I0÷I5 см при увеличении сжимающей силы всего на I÷I,5% от той, при которой выпучивание началось.

Применение полых (трубчатых) стержней для изготовления винтов подъемников позволит:

- подбирать площадь сечения по допускаемым или близким к ним напряжениям на прочность;

- повысить надежность и работоспособность конструкции за счет незначительного увеличения наружного диаметра полых стержней винтов и ограничения гибкости (λ =I00÷I50).

Используя эти факторы, можно расширить область применения винтовых подъемников за счет удлинения винта.

При проектировании винтов для проверки прочности пользуются условием

$$\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma_-], \qquad (I)$$

$$[\sigma_-] = \frac{\sigma_т}{n_т}, \qquad (2)$$

где σ - напряжение сжатия, кг/см^2; P - усилие сжатия, кг; F - площадь поперечного сечения, см^2; $[\sigma_-]$ - допускаемое напряжение на сжатие, кг/см^2; $\sigma_т$ - напряжение текучести, кг/см^2; $n_т$ - запас прочности для стали.

Это условие предполагает, что стержень все время вплоть до разрушения его напряжением $\sigma_т$ работает на осевое сжатие.

Простейшие опыты показывают, что далеко не всегда причиной разрушения стержня является доведение напряжения сжатия до предела текучести. Длинный стержень изогнется от значительно меньших усилий. Поэтому для сжатых стержней, помимо проверки на прочность, необходима проверка на устойчивость.

Сила, вызывающая нарушение устойчивого положения стержня, называется критической силой $P_к$. При ней прямолинейная форма перестает быть устойчивой формой равновесия сжатого стержня. $P_к$ вызывает в сжатом стержне напряжение, называемое критическим: $\sigma_к = \frac{P_к}{F}$.

Чтобы обеспечить устойчивость прямолинейной формы стержня, сжатого силой P , необходимо выполнить условие прочности $\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma_-]$ и условие устойчивости

$$\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma_у], \qquad (3)$$

где $[\sigma_у]$ - допускаемое напряжение на устойчивость, равное критическому, деленному на коэффициент запаса на устойчивость:

$$[\sigma_у] = \frac{\sigma_к}{n_у}. \qquad (4)$$

Для определения $\sigma_к$ необходимо знать $P_к$. $P_к$ вычислена Л.Эйлером путем интегрирования приближенного дифференциального уравнения изогнутой оси стержня с шарнирно закрепленными концами. Деформация стержня предложена весьма малой, а при малых прогибах справедливо уравнение изгиба

$$EJ\frac{d^2y}{dx^2}=M=-Py, \tag{5}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2}+\kappa^2y=0, \tag{6}$$

$$\kappa^2=\frac{P}{EJ}, \tag{7}$$

где P - усилие сжатия, вызывающее малый прогиб; EJ - жесткость стержня, зависящая от материала и формы (E-модуль упругости, J - момент инерции); y - ордината прогиба; x - расстояние (по оси абсцисс) от шарнира (принятого в системе координат за начало отсчета) до момента прогиба.

Путем интегрирования уравнения (6) Эйлером была получена формула для определения критической силы:

$$P_к=\frac{\pi^2EJ}{\ell^2}, \tag{8}$$

где ℓ - длина стержня, см.

По известной критической силе вычисляется критическое напряжение:

$$\sigma_к=\frac{P_к}{F}=\frac{\pi^2EJ}{\ell^2F}=\frac{\pi^2Ei^2}{\ell^2}=\frac{\pi^2E}{\left(\frac{\ell}{i}\right)^2}=\frac{\pi^2E}{\lambda^2}. \tag{9}$$

Из формулы видно, что величина критической силы (из-за практически постоянного для сталей E) зависит от гибкости $\left(\lambda=\frac{\ell}{i}\right)$, т.е. от длины стержня и формы его поперечного сечения.

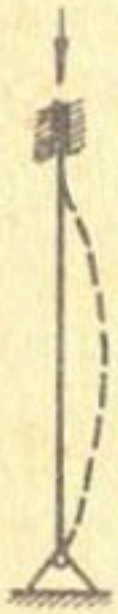
Для стержня с различными способами заделки концов гибкость стержня определяется по формуле

$$\lambda=\frac{\nu\ell}{i}, \tag{10}$$

где $\nu\ell$ - приведенная длина стержня, см; $i=\sqrt{\frac{J}{F}}$ - радиус инерции, см.

Понятие о приведенной длине было введено Ф.С.Ясинским. Для стержня с заделанным верхним концом и шарнирно опертым нижним (рис. I) он вычислил коэффициент: $\nu=\frac{1}{\sqrt{2}}=0{,}7$.

По такой схеме работает винт подъемника, у которого верхний конец удерживается гайкой, а нижний крепится шарниром к затвору.



Для расчета винта формула $P_к$ примет вид

$$P_к \approx \frac{\pi^2 EJ}{(0{,}7\ell)^2} \approx 2\,\frac{\pi^2 EJ}{\ell^2} \qquad (II)$$

и верна лишь в известных границах: когда $\sigma_{кр}(\lambda)$ достигает предела пропорциональности $\sigma_{пц}$. На рис. 2 формула (II) представлена гиперболической кривой, которая называется гиперболой Эйлера.

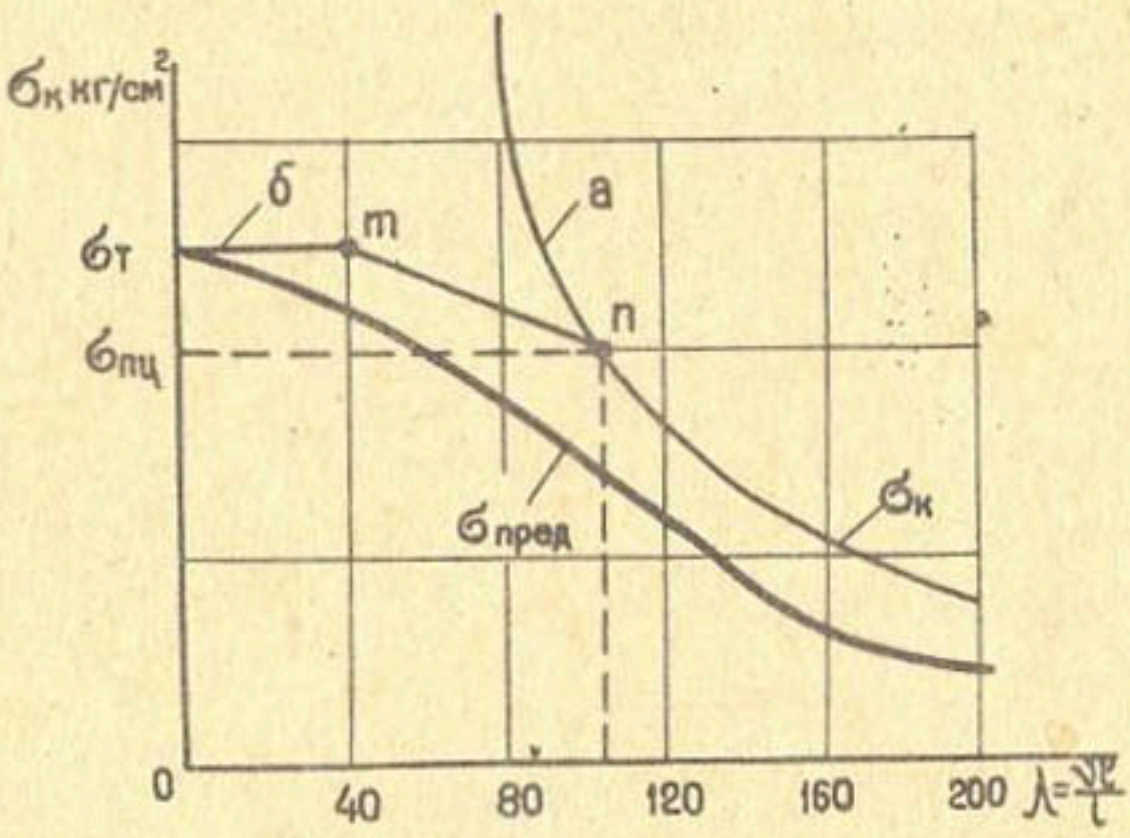


Рис. 2. Зависимость предельного напряжения от гибкости λ : а - критическое напряжение для упругого состояния; б - критическое напряжение для пластичного состояния

При пользовании этой кривой надо иметь в виду: формула (9) получена интегрированием дифференциального уравнения изогнутой оси в предположении, что напряжения в стержне в момент потери устойчивости не превосходят предела пропорциональности $\sigma_{пц}$. Следовательно, мы имеем право пользоваться значениями критических напряжений, вычисленных по формуле Эйлера, если они ниже этого предела для данного материала, т.е.

$$\sigma_к \leqslant \sigma_{пц}, \qquad \text{или}$$

$$\frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leqslant \sigma_{пц}. \qquad (12)$$

Если из формулы (12) найти λ, то условие применимости формулы Эйлера примет вид

$$\lambda_{пц} \geqslant \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{пц}}}. \qquad (13)$$

Для стержней из пластического материала, например для стелей, формулой Эйлера можно пользоваться лишь при $\lambda \geqslant 85 \div 100$.

Опыты показывают, что короткие стержни с $\lambda \leqslant 40$ теряют несущую способность не из-за нарушения устойчивости прямолинейной формы, а вследствие нарушения прочности материала при сжатии по достижении опасных для него напряжений $\sigma_т$ при пластическом состоянии материала, т.е. критические напряжения для пластических материалов практически близки к пределу текучести.

Установлено, что стержни средней гибкости ($40 < \lambda < 85 \div 100$), наиболее широко применяемые в конструкциях, теряют устойчивость прямолинейной формы при напряжениях $\sigma_к$, превышающих $\sigma_{пц}$, но меньших $\sigma_т$. Для таких стержней закон изменения критических напряжений в зависимости от гибкости близок к прямолинейному и описывается элементарной формулой Тетмайера-Ясинского

$$\sigma_к = a - b\lambda, \qquad (14)$$

где коэффициенты a и b зависят от материала и подбираются так, чтобы при $\lambda = \lambda_{пред}$ $\sigma_к = \sigma_{пц}$, а при малых гибкостях $\sigma_к \approx \sigma_т$.

Выше отмечалось, что для сжатых стержней нужны две проверки:

на прочность: $\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma]$, где $[\sigma] = \frac{\sigma_т}{n_т}$, (15)

и на устойчивость: $\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma_у]$, где $[\sigma_у] = \frac{\sigma_к}{n_у}$. (16)

Причем при расчете на прочность площадь стержня $F = F_{нетто}$, а при расчете на устойчивость $F = F_{брутто}$.

Связь между допускаемыми напряжением на устойчивость (16) и на прочность (15) устанавливается из их отношения

$$\frac{[\sigma_y]}{[\sigma_-]} = \frac{\sigma_к}{n_y} \frac{n_т}{\sigma_т}, \qquad \text{или}$$

$$[\sigma_y] = \frac{\sigma_к}{\sigma_т} \frac{n_т}{n_y} [\sigma_-]. \qquad (17)$$

Обозначая $\varphi = \frac{\sigma_к}{\sigma_т} \frac{n_т}{n_y}$, получим $[\sigma_y] = \varphi[\sigma_-]$, (18)

где φ - коэффициент уменьшения основного допускаемого напряжения для сжатых стержней.

Как уже отмечалось, в реальных конструкциях неизбежны отклонение оси стержня от прямолинейного направления и эксцентричное приложение сжимающей силы (рис. 3). Поэтому боковое выпучи-

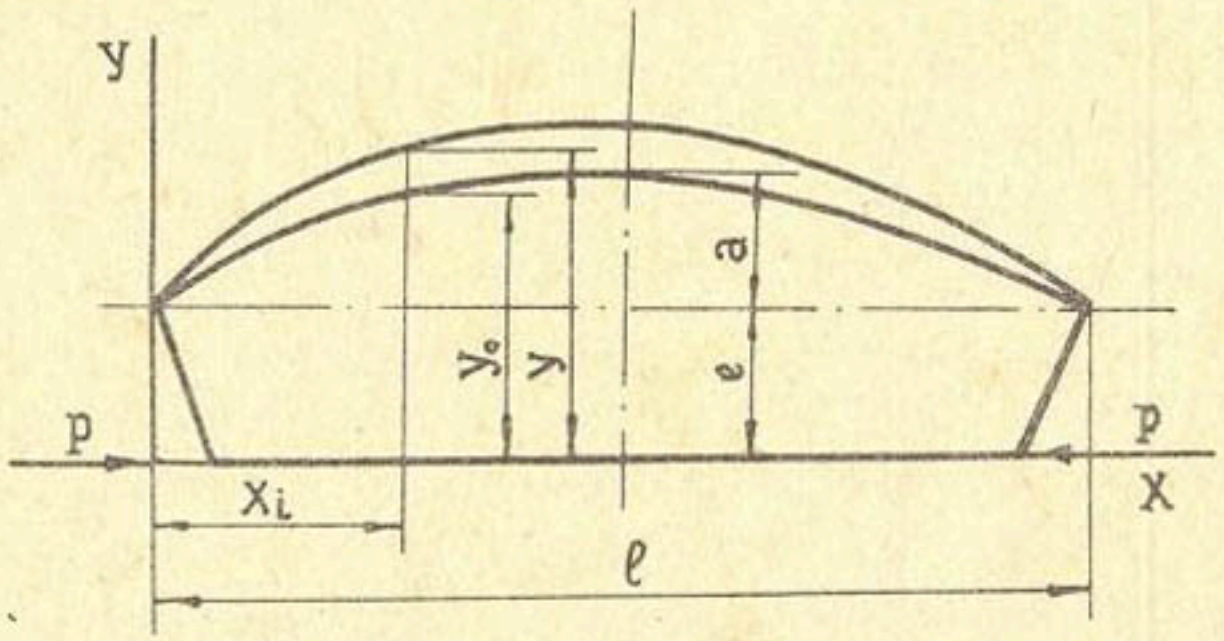


Рис. 3. Сжатие стержня с начальным прогибом и эксцентриситетом приложения силы P

вание стержня начинается уже при нагрузках меньше критических, а напряжение в его поперечных сечениях распределяется неравномерно. Максимальное напряжение в сжато изогнутом стержне при начальном прогибе a определяется из отношения

$$\sigma_{max} = \frac{P}{F} + \frac{P y_{max}}{W}, \qquad (19)$$

откуда

$$\sigma_{max} = \sigma\left(1 + \frac{F}{W} y_{max}\right), \qquad (20)$$

где $\sigma = \frac{P}{F}$; W - момент сопротивления сечения при изгибе;

$$y_{max} = \frac{a}{1 - \frac{\sigma}{\sigma_{пред}}}, \qquad (21)$$

с учетом формулы (9) получим

$$\sigma_{max} = \sigma\left(1 + \frac{N\lambda}{1 - \frac{\sigma\lambda^2}{\pi^2 E}}\right), \qquad (22)$$

где $N = \frac{a}{\ell}\frac{\sqrt{EJ}}{W}$. (23)

На основании статистических данных можно считать, что влияние начального прогиба и эксцентриситета достаточно надежно учитывается в формуле (23), если принять

$$\frac{a}{\ell} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}. \qquad (24)$$

Параметр $\frac{\sqrt{FJ}}{W}$ для сплошных круглых стержней отличается от параметра для полых.

Подставляем в формулу (23) значения F, J и W

для сплошных стержней: $J = 0{,}05d^4$, $W = 0{,}1d^3$, $F = 0{,}785d^2$;

для полых стержней $J = 0{,}05D^4(1+\alpha^4)$, $W = 0{,}1D^3(1-\alpha^4)$, $F = 0{,}785D(1-\alpha^2)$.

После соответствующих преобразований и подсчетов для сплошных стержней

$$N_c = 0{,}00495, \qquad (25)$$

для полых

$$N_п = 0{,}00495\frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2}}, \qquad (26)$$

где $\alpha = \frac{d}{D}$; $\sqrt{1+\alpha^2} > 1$; $\frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2}} < 1$. Подсчитано, что $N_c > N_п$ на I5-20%.

Когда максимальные напряжения σ_{max} достигнут предела текучести при сжатии $\sigma_т$, определяющая сжимающая нагрузка будет равна $\sigma_{пред}$.

Обозначив $\varphi = \frac{\sigma_{пред}}{\sigma_т} \leqslant 1$ и подставив в формулу (22) значения $\sigma_{max} = \sigma_т$ и $\sigma = \sigma_{пред}$, получим уравнение

$$\frac{1}{\varphi} = 1 + \frac{N\lambda}{1 - \varphi\frac{\lambda^2\sigma_т}{\pi^2 E}}, \qquad (27)$$

связывающее коэффициент φ с гибкостью λ свойствами материала $\sigma_т/E$ и геометрическим параметром N.

Для нормальной работы винтов подъемников потеря устойчивости недопустима. Чтобы обеспечить устойчивость, граничная нагрузка не должна превышать 0,5÷0,7 $P_к$. Поэтому $\sigma_{пред}$ надлежит быть 0,5÷0,7 $\sigma_к$, а коэффициент запаса прочности n лежит в промежутке

$$\frac{1}{0{,}5} < n < \frac{1}{0{,}7}, \quad \text{или} \quad 2 < n < 1{,}4.$$

В расчетах принимают $n = 1{,}6$.

Для определения величины $\varphi(\lambda)$ необходимо:

- с учетом n построить кривую $\sigma_{пред}$, которая пройдет ниже кривой $\sigma_к$;
- уравнение (27) привести к виду

$$\varphi^2 \frac{\lambda^2 \sigma_т}{\pi^2 E} - \varphi\left(\frac{\lambda^2 \sigma_т}{\pi^2 E} + N\lambda + 1\right) + 1 = 0 ; \qquad (28)$$

- найти корень уравнения

$$\varphi = \frac{\left(\frac{\lambda^2 \sigma_т}{\pi^2 E} + N\lambda + 1\right) - \sqrt{\left(\frac{\lambda^2 \sigma_т}{\pi^2 E} + N\lambda + 1\right)^2 - 4\frac{\lambda^2 \sigma_т}{\pi^2 E}}}{2\frac{\lambda^2 \sigma_т}{\pi^2 E}} \qquad (29)$$

или с учетом графика, приведенного на рис. 2,

$$\varphi = \frac{\left(\frac{\sigma_т}{\sigma_{пред}} + N\lambda + 1\right) - \sqrt{\left(\frac{\sigma_т}{\sigma_{пред}} + N\lambda + 1\right)^2 - 4\frac{\sigma_т}{\sigma_{пред}}}}{2\frac{\sigma_т}{\sigma_{пред}}} . \qquad (30)$$

По формуле $\sigma_у = \frac{P}{F} \leqslant \varphi[\sigma_-]$

условие прочности винтов с учетом возможного их бокового выпучивания примет вид

$$\frac{P}{\varphi F} \leqslant [\sigma_-]. \qquad (31)$$

По формулам (29) или (30) выполнен расчет коэффициента φ для полых круглых стержней - труб, изготовленных из углеродистых качественных конструкционных сталей: ст.10, ст.20, ст.40, ст.45, механические свойства, геометрические и другие параметры которых приведены в табл. I.

Таблица I

Марка стали	$\sigma_т$	E	$\sigma_{пц}$	$\pi^2 E$	N
Ст.10	2100	$1{,}9 \cdot 10^6$	1500	18752248	$4{,}38 \cdot 10^{-3}$
Ст.20	2500	$2{,}02 \cdot 10^6$	1600	19936601	
Ст.40	3400	$2{,}135 \cdot 10^6$	2400	21071605	
Ст.45	3600	$2{,}04 \cdot 10^6$	2500	20133993	

На основании данных табл. I по формуле (9) подсчитаны $\sigma_к$ от $\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{пц}}}$ до $\lambda = 220$.

Подставив вычисленные коэффициенты a и b в формулу (14), определим критическое напряжение:

для ст.10 $\sigma_к = 2433 - 8{,}33\,\lambda$,
для ст.20 $\sigma_к = 3000 - 12{,}5\,\lambda$,
для ст.40 $\sigma_к = 4141 - 18{,}52\,\lambda$,
для ст.45 $\sigma_к = 4885 - 22{,}13\,\lambda$.

Подсчитаны $\sigma_к$ в промежутке от (λ =40; $\sigma_т$) до $\lambda=\sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{пц}}}$.
В промежутке ($0 < \lambda \leqslant 40$) $\lambda=\sigma_т$.

Результаты расчетов приведены в табл. 2. По данным этой таблицы и выбранному коэффициенту запаса n =I,6 подсчитаны

Таблица 2

Зависимости $\sigma_к = f(\lambda)$

λ	Критическое напряжение				Предельное напряжение			
	ст.I0	ст.20	ст.40	ст.45	ст.I0	ст.20	ст.40	ст.45
0	2I00	2500	3400	3600	I3I2	I562	2I25	2250
I0	2I00	2500	3400	3600	I3I2	I562	2I25	2250
20	2I00	2500	3400	3600	I3I2	I562	2I25	2250
30	2I00	2500	3400	3600	I3I2	I562	2I25	2250
40	2I00	2500	3400	3600	I3I2	I562	2I25	2250
50	20I6	2375	32I5	3378	I260	I484	2009	2III
60	I933	2250	3030	3I57	I208	I406	I894	I973
70	I850	2I25	2845	2936	II56	I328	I778	I835
80	I767	2000	2659	27I5	II04	I250	I662	I697
89,7	-	-	-	2500	-	-	-	I562
90	I683	I875	2474	2486	I052	II72	I546	I552
93,7	-	-	2400	-	-	-	I500	-
I00	I600	I750	2I07	20I3	I000	I094	I3I6	I257
II0	I5I7	I625	I74I	I664	948	I0I6	I087	I039
III,6	-	I600	-	-	-	I000	-	-
III,8	I500	-	-	-	937	-	-	-
I20	I30I	I383	I463	I398	8I3	864	9I4	873
I30	II08	II80	I247	II9I	692	736	778	744
I40	956	I0I6	I075	I027	597	635	67I	64I
I50	832	883	936	895	520	553	585	559
I60	732	779	823	786	457	487	5I4	49I
I70	648	689	729	698	405	43I	455	435
I80	578	6I5	650	62I	36I	384	406	388
I90	520	552	583	558	325	345	364	348
200	468	498	526	503	292	3II	328	3I4
2I0	425	452	477	457	266	282	298	285
220	387	4II	435	4I6	242	252	272	260

предельные напряжения $\sigma_{пред} = \frac{\sigma_к}{n} = \frac{\sigma_к}{1,6}$. Характер изменения $\sigma_{пред}$ для выбранных сталей показан пунктирной линией на рис. 4.

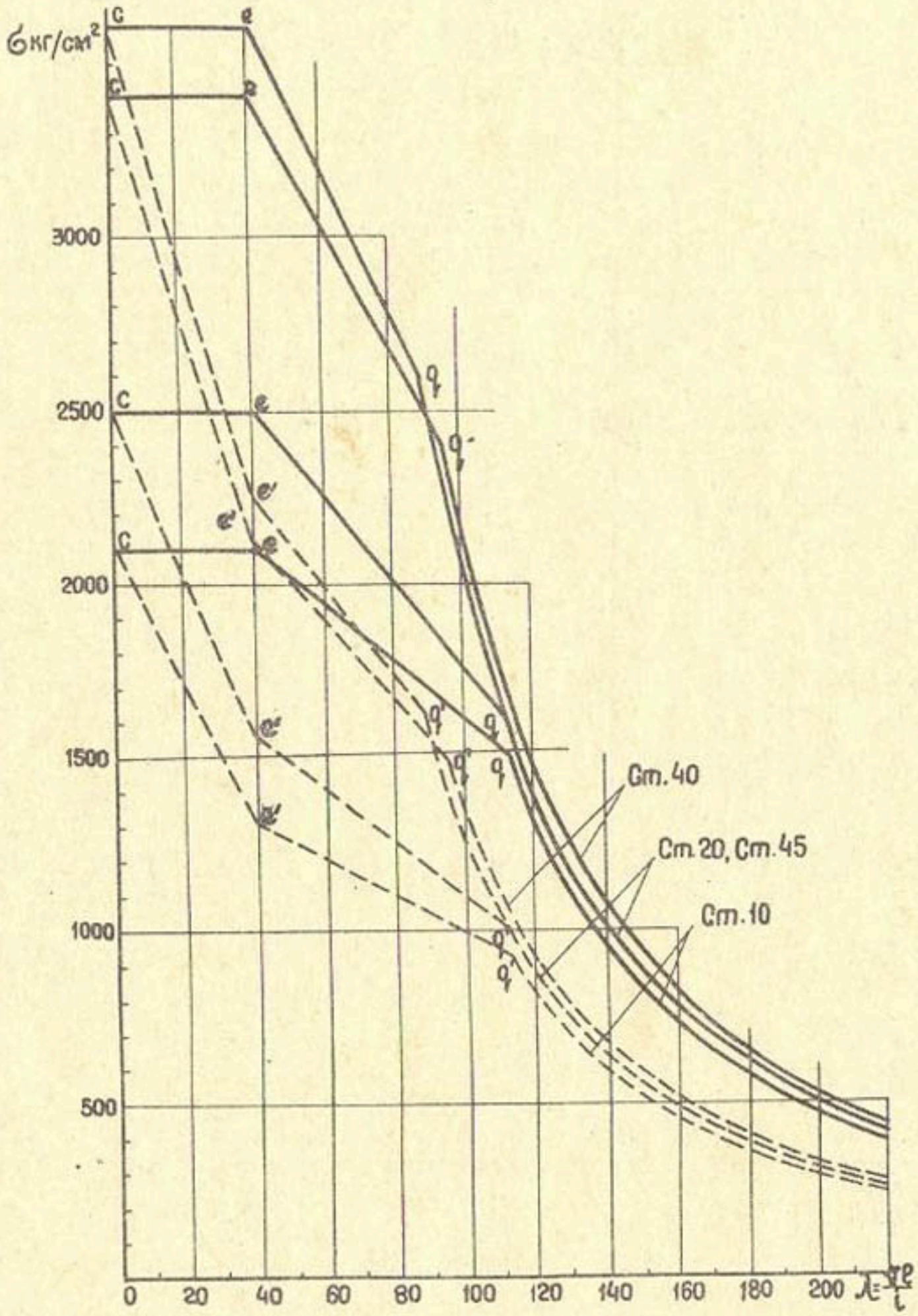


Рис. 4. График критических и предельных напряжений для ст.I0, ст.20, ст.40, ст.45

Для промежутка $0 < \lambda \leqslant 40$ составлены линейные уравнения:
ст.I0 $\sigma_{пред} = 2100 - 19,675\,\lambda$; ст.20 $\sigma_{пред} = 2500 - 23,425\,\lambda$;
ст.40 $\sigma_{пред} = 3400 - 31,785\,\lambda$; ст.45 $\sigma_{пред} = 3600 - 33,75\,\lambda$.

Порядок расчета

1. По формуле (10) определяется гибкость λ.

2. В соответствии с вычисленной гибкостью и выбранным материалом принимается коэффициент φ по табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициента $\varphi = f(\lambda)$

λ	Ст.10	Ст.20	Ст.40	Ст.45
0	1	1	1	1
10	0,772	0,772	0,772	0,772
20	0,669	0,669	0,669	0,669
30	0,585	0,585	0,585	0,585
40	0,511	0,511	0,511	0,511
50	0,479	0,476	0,474	0,472
60	0,451	0,444	0,441	0,436
70	0,425	0,415	0,411	0,404
80	0,402	0,389	0,383	0,373
90	0,38	0,363	0,356	0,343
100	0,359	0,339	0,311	0,288
110	0,34	0,316	0,265	0,244
120	0,3	0,277	0,227	0,209
130	0,263	0,241	0,197	0,181
140	0,232	0,212	0,172	0,158
150	0,206	0,188	0,152	0,139
160	0,184	0,167	0,135	0,123
170	0,165	0,15	0,12	0,11
180	0,149	0,135	0,108	0,099
190	0,135	0,122	0,098	0,089
200	0,122	0,111	0,089	0,08
210	0,112	0,101	0,081	0,073
220	0,103	0,093	0,074	0,067

3. Из формулы (31) находится напряжение дожима и сравнивается с допускаемым напряжением материала на сжатие $[\sigma_-]$. Если $\sigma > [\sigma_-]$, то увеличивая поперечное сечение или уменьшая длину винта, расчет повторяется в указанной последовательности, пока не будет выдержано условие $\sigma \leqslant [\sigma_-]$.

Пример расчета

Рассчитать винт пятитонного подъемника с электроприводом типа 59В.

Исходные данные. Длина винта 450 см. Материал - труба с наружным диаметром $d_н$ =8,3 см, внутренним диаметром $d_в$ =5,1см. Резьба винта трапецеидальная двухзаходная с шагом 0,8 см, наружный диаметр резьбы $d_р$ =7,9 см, внутренний диаметр $d_з$ =7 см.

Решение. Определяем гибкость по формуле $\lambda = \frac{\nu l}{i}$, где

$$i = \frac{1}{4}\sqrt{d_з^2 + d_в^2} = \frac{1}{4}\sqrt{7^2 + 5{,}1^2} = 2{,}16 \text{ см},$$

$$\nu l = 0{,}7 \cdot 450 = 315 \text{ см},$$

$$\lambda = \frac{315}{2{,}16} = 146.$$

По табл. 3 находим коэффициент для ст.45. Он равен 0,146. Напряжение сжатия $\frac{P}{\varphi F} \leqslant [\sigma_-]$. Для ст.45 $[\sigma_-]$ = 2000 кг/см^2;

$F = 0{,}785 \quad (d_з^2 - d_в^2) = 0{,}785\ (7^2 - 5{,}1^2) = 18$ см^2

$$\frac{5000}{0{,}146 \cdot 18} = 1900 \text{ кг/см}^2 < 2000 \text{ кг/см}^2.$$

Если исходные данные: поперечное сечение, эксцентриситет приложения сжимающей силы - будут отличаться от параметров табл.1, то расчет ведется по следующей методике.

По формулам (9),(10),(23) вычисляются $\sigma_к$, λ , N , затем $\sigma_к$ сравнивается с $\sigma_{тц}$. Если $\sigma_к > \sigma_{тц}$, то из формулы (13) определяется $\lambda_{тц}$ и строят график, подобный приведенному на рис. 4.

Для вычисленной гибкости по построенному графику находится $\sigma_к$ и определяется $\sigma_{пред} = \frac{\sigma_к}{n}$. По формуле (30) рассчитывается φ . Напряжение сжатия сравнивается с допускаемым.

Литература

1. Архангельский В.К., Попов В.С. Испытание и выбор оптимальных параметров винтов подъемников для затворов гидротехнических сооружений.-Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем. Сб. науч. тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1983.

2. Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. Изд. 4-е. Киев, "Вища школа", 1979.

3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Изд. 15-е. М., Техиздат, 1976.

4. Писаренко Г.С. и др. Справочник по сопротивлению материалов. Киев, "Наукова думка", 1975.

5. Биргер И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин. Изд. 3-е. М., "Машиностроение", 1979.

УДК 621.646.2:626.824

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

ВЕНТИЛИ-ВОДОВЫПУСКИ ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ТРАНСПОРТИРУЮЩИЙ РУКАВ

Трубчатые водораспределительные и оросительные системы в условиях возрастающего дефицита поливной воды находят все большее распространение в практике мелиоративного строительства.

Закрытая оросительная сеть отличается сравнительно небольшими напорами (до 0,25÷0,3 МПа) и требует применения облегченной водораспределительной и водозапорной арматуры. В настоящее время детально разработана и широко используется в строительстве закрытой ирригационной сети арматура, заимствованная из системы водоснабжения. Она требует значительных капитальных затрат на изготовление, повышенного расходования металла и не отвечает специфике работы ирригационной сети, а именно: сезонности и наличию в оросительной воде твердой составляющей. Поэтому первоочередной задачей является разработка облегченной, упрощенной арматуры для трубчатых закрытых оросительных систем, позволяющей с достаточной точностью распределять поливную воду.

В институте "Средазгипроводхлопок" разработаны и проходят ведомственные испытания опытные образцы вентилей-водовыпусков, рассчитанных на напоры до 0,3 МПа и пропускную способность до 100 л/с. Предварительная проверка этих образцов подтвердила их надежность в эксплуатации, долговечность и работоспособность.

Однако совместная работа последних с гибкими транспортирующими рукавами, широко применяемыми при поливах хлопчатника

с забором воды из бетонных лотков-каналов, ограничена предельно допустимыми напорами 0,02 МПа.

Исходные требования, позволяющие обеспечить длительное безаварийное действие транспортирующего рукава, следующие:

- плавность и равномерность растекания потока на выходе из патрубка вентиля-водовыпуска;
- предельно допустимая средняя скорость истечения потока из патрубка не должна превышать 1,1÷1,2 м/с;
- избыток энергии потока на участке сопряжения напорного трубопровода с транспортирующим рукавом должен быть максимально погашен.

Выполнение этих требований возможно при создании наиболее благоприятных условий для гашения энергии потока за счет:

- дополнительных сопротивлений и активного соударения струй в гидранте;
- максимального расширения потока и активного перемешивания его во внутренней полости вентиля-водовыпуска;
- плавного и равномерного растекания потока на выходе из патрубка.

Интенсивное гашение энергии потока в гидранте может быть достигнуто:

- созданием в стояке дополнительных сопротивлений, попеременно сужающих и расширяющих поток. Но этот метод малоприемлем, так как требует сравнительно большой протяженности участка гашения;
- соударением струй за счет расщепления потока на два и более с последующим соединением их под определенным углом, при котором происходит турбулентное смешение потоков с различными скоростями.

В процессе этого смешения имеет место обмен количеством движения между частицами жидкости, обладающими различными скоростями: струя с большими скоростями теряет часть своей кинетической энергии, передавая ее струе с меньшими скоростями [1].

На рис. 1 приведены предлагаемые варианты расщепления:

- расщепление на три потока (рис. 1,а): основной и два боковых, протекающих по трубопроводам значительно меньшего диаметра ($d_2 \approx 0,5d$, где d - внутренний диаметр основного стояка, мм) и подключающихся к основному по касательной. Такое подключение обеспечивает возникновение поперечных течений, способствуя, при выравнивании поля скоростей, значительным потерям кинети-

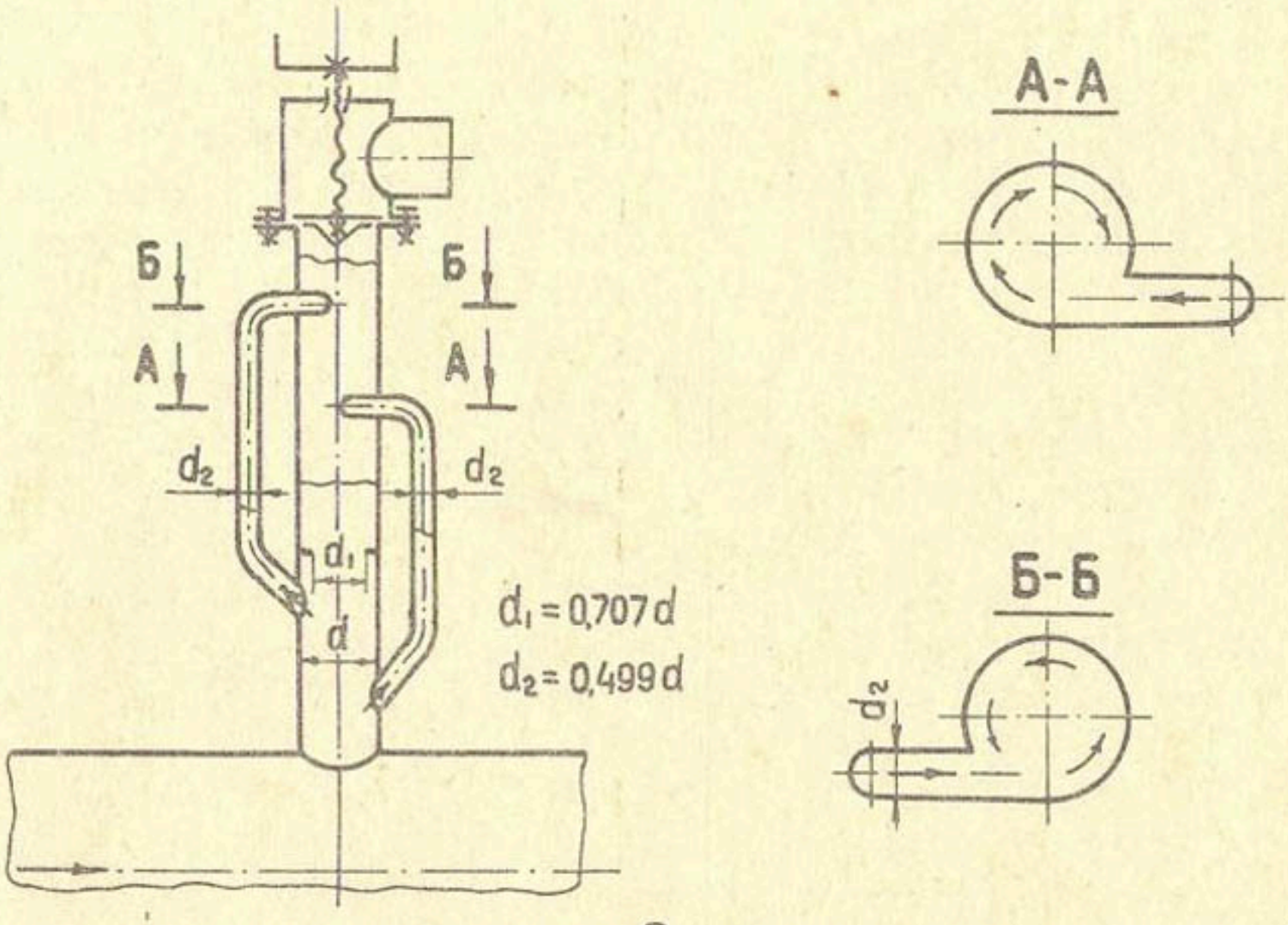


Рис.I. Варианты гашения энергии потока в гидрантах:
а) расщепление потока на три составляющих; б) встречный подвод воды к гидранту; в) подключение гидранта с боковым водоводом

ческой энергии потока;

- подача воды из напорного трубопровода по двум выводам одинакового диаметра $d_1 \approx 0{,}7\,d$ с последующим подключением их под прямым углом к гидранту (рис. I,б). На участке подключения за счет соударения струй и активного их перемешивания происходит интенсивное гашение избытка кинетической энергии потока;
- подключение трубчатого водовода диаметром $0{,}7d$ к основному стояку под прямым углом (рис. I,в). Для уменьшения скорости протекания потока в стояке на расстоянии $I{,}5 \div 2\,d$ от места подключения трубчатого водовода устанавливается диафрагма.

Выпуск воды при вышеописанных конструкциях стояков может осуществляться через вентиль с клапанным запорным устройством (рис. I,в) при таких размерах основных деталей:

- внутренний диаметр корпуса вентиля $d_в = I{,}2 \div I{,}4\,d$, но не менее диаметра патрубка;
- высота корпуса $h_к = I{,}4 \div I{,}6\,d$;
- диаметр клапана $d_к = d + 30$ мм;
- диаметр выпускного патрубка не менее $0{,}8\,d_р$, где $d_р$ - диаметр транспортирующего рукава.

Наилучшие условия для гашения избытка энергии потока и возможности равномерного его распределения на выходе из патрубка обеспечиваются различными гасительными системами, устанавливаемыми в корпусе вентиля-водовыпуска.

На рис. 2 приведена конструкция вентиля-водовыпуска с запорным устройством в виде щелевого стакана с вертикальными отверстиями в стенке. Выполненные исследования [2] подтвердили надежность и работоспособность конструкции, позволили установить оптимальные размеры отдельных элементов и габаритные размеры вентиля-водовыпуска.

Для обеспечения длительной совместной работы транспортирующего рукава с вентилем-водовыпуском необходимо выдержать рекомендуемые размеры последнего:

- внутренний диаметр корпуса вентиля ($d_в$) следует принимать равным $I{,}4 \div I{,}6\,d$;
- диаметр выпускного патрубка $d_п = 0{,}8 \div 0{,}95\,d_р$;
- высота корпуса $h_в = I{,}2d + d_п$;
- высота щелевого стакана $h_щ = 0{,}9 \div I\,d$;
- ход винта ($h_х$) ограничивается величиной $0{,}9\,h_щ$;
- диаметр щелевого стакана ($d_щ$) - $0{,}9 \div 0{,}95\,d$;

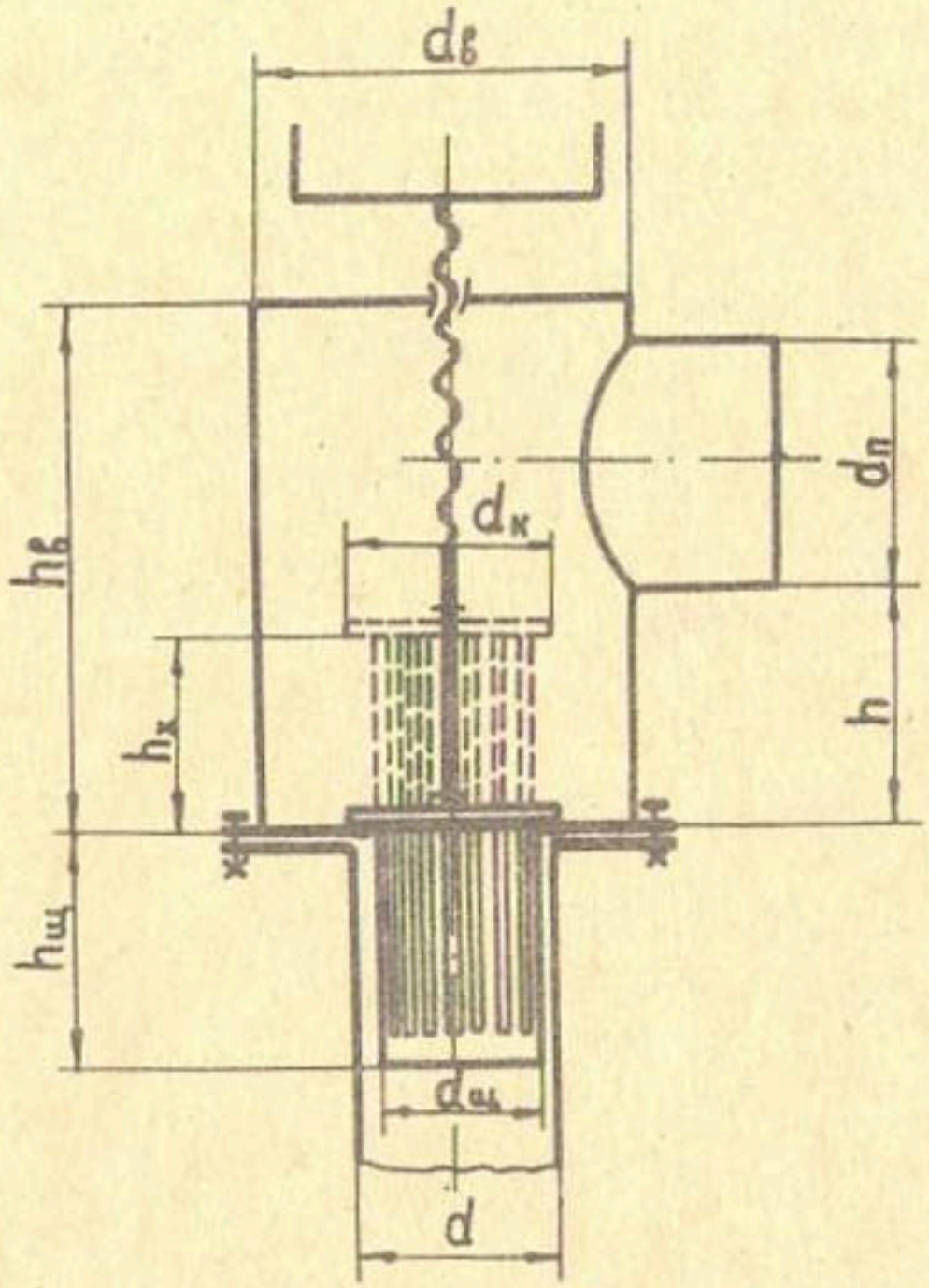


Рис.2. Вентиль с щелевым стаканом

- суммарная площадь щелей $\omega_щ \geq 1{,}1\,\omega$

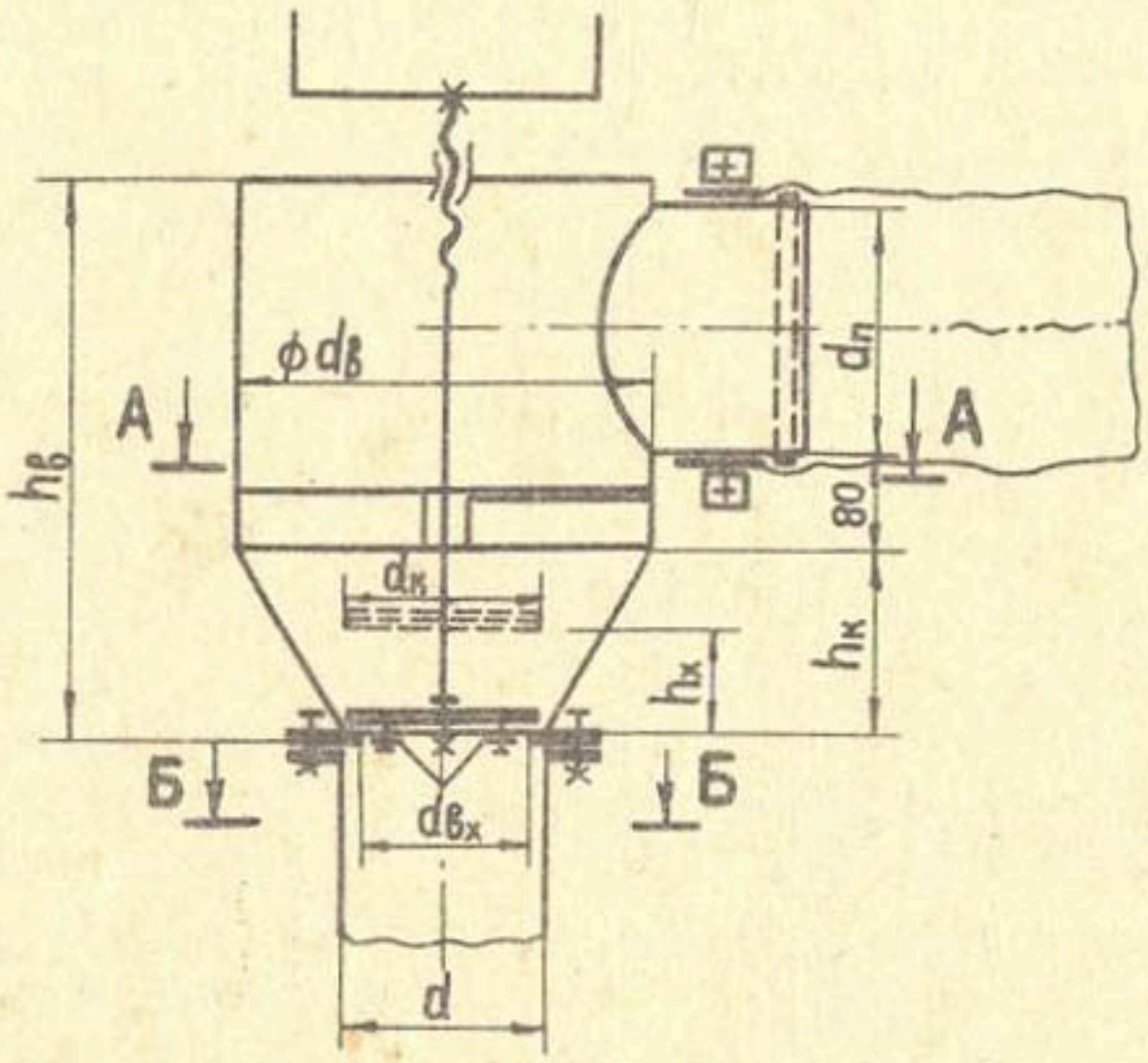
(ω – площадь внутреннего сечения стояка).

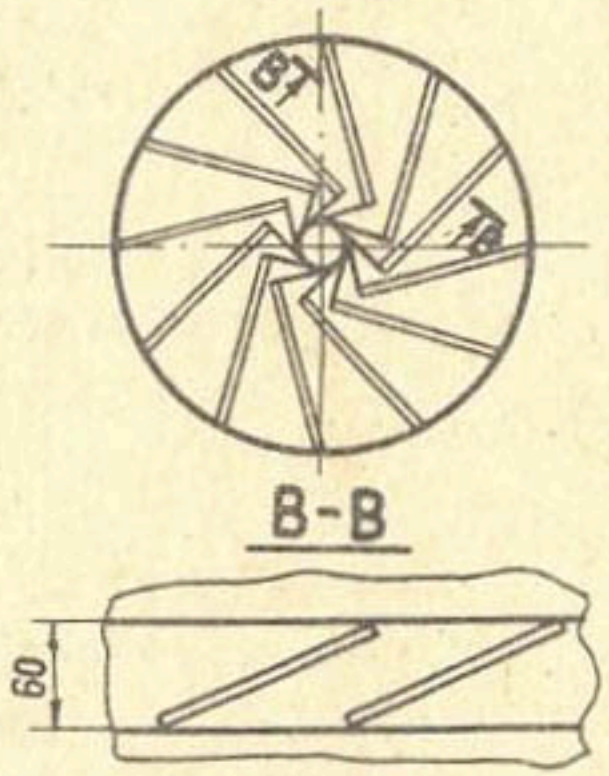
Однако вентиль-водовыпуск с щелевым запорным устройством имеет существенный недостаток - небольшую регулирующую способность при малых открытиях запорного устройства и давлении в напорном трубопроводе более 0,1 МПа.

В процессе стендовых испытаний были учтены слабые стороны вышеописанной конструкции и разработан вентиль-водовыпуск с коническим сопряжением и гасителем в виде однорядных наклонных и двурядных горизонтально расположенных лопаток (рис. 3), жестко закрепленных на корпусе вентиля выше его конусной части. Запорное устройство этого вентиля может быть тарельчатым (рис. 3) и коническим. Последнее подробно описано в работе [2].

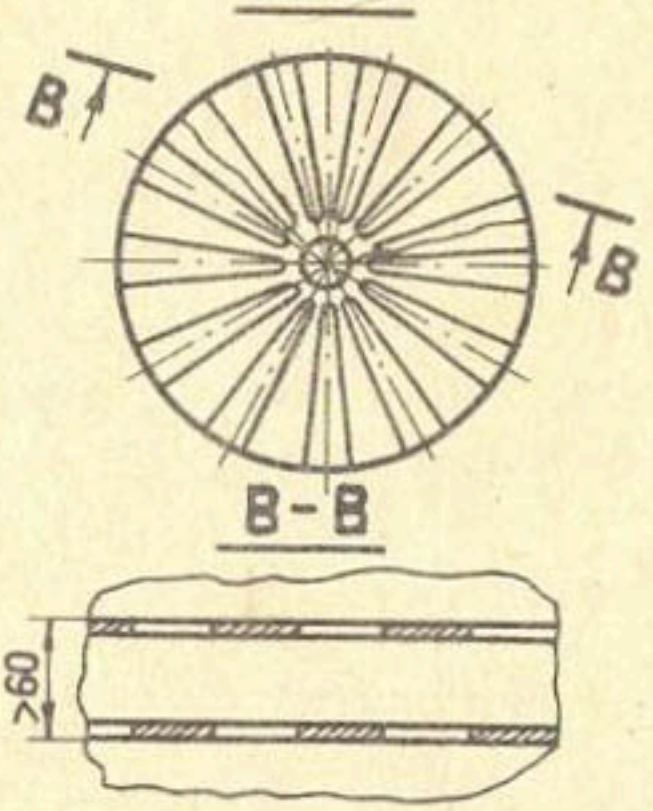
Обладая высокой пропускной способностью, эта конструкция содействует, при высоких скоростях выходящего из стояка потока, максимальному гашению его избыточной энергии и создает условия, позволяющие:

- сравнительно точно регулировать величину выпускаемого расхода;





а



б

Рис.3. Вентиль с коническим сопряжением, тарельчатым клапаном и двумя вариантами гасителей: лопастным (а), щелевым (б)

- обеспечить плавность растекания и симметричность эпюры скоростей на выходе потока из патрубка в транспортирующий рукав за счет соударения струй и дополнительного сопротивления.

Ниже приведены рекомендуемые размеры вентиля-водовыпуска с коническим сопряжением:

- диаметр цилиндрической части корпуса вентиля ($d_в$) I,4÷I,6 d ;
- диаметр выпускного патрубка ($d_п$) 0,8÷0,95 $d_р$;
- диаметр входного отверстия вентиля ($d_{вх}$) 0,9 d ;
- диаметр запорного клапана ($d_к$) I÷I,I d, но не менее $d_{вх}$+30 мм;
- высота конусной части вентиля ($h_к$) 0,6÷0,8 d ;
- полная высота корпуса ($h_в$) 80+(0,7÷0,9)d+$d_п$.

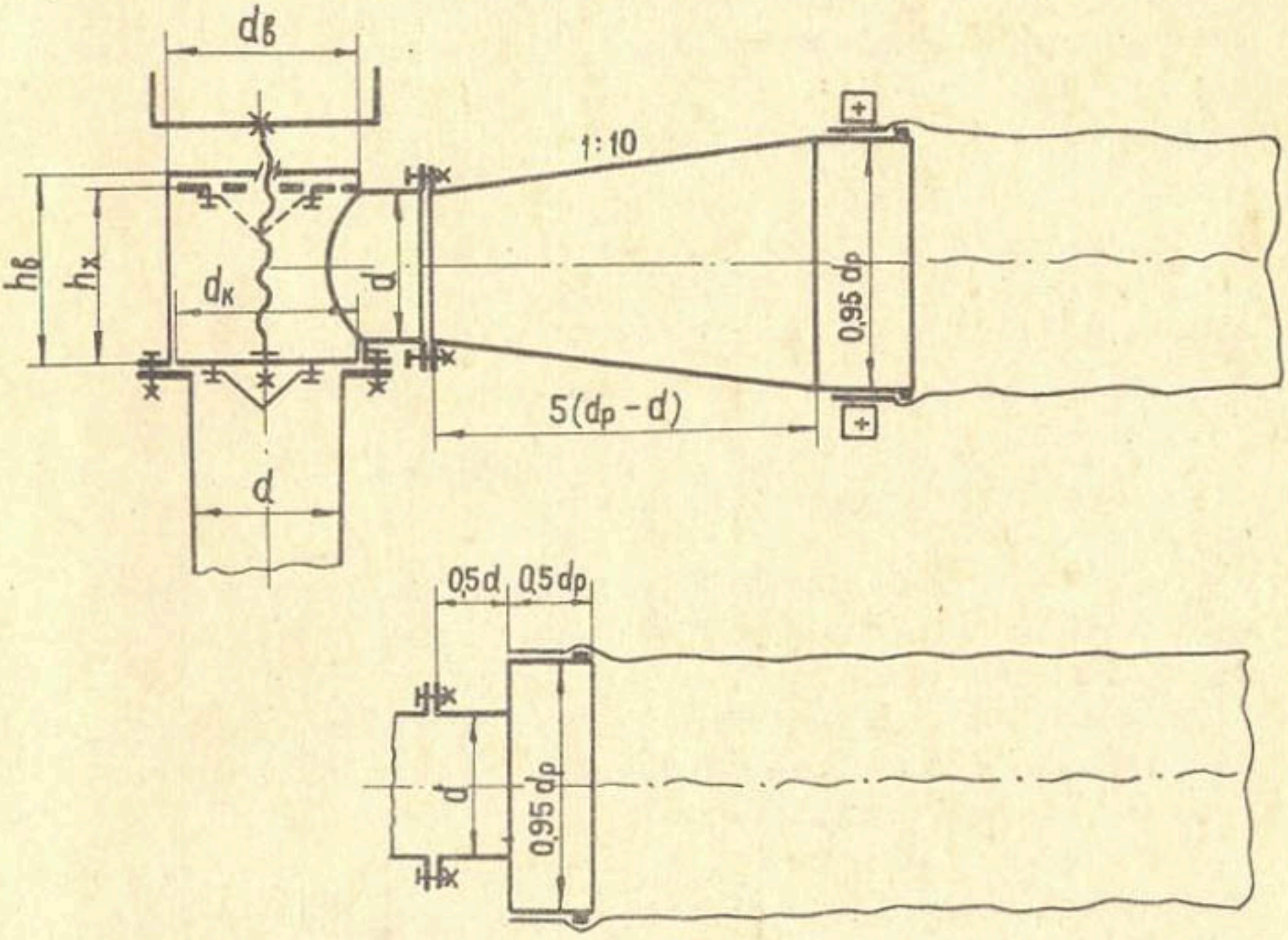


Рис.4. Вентиль с двумя вариантами раструбов

Для подключения транспортирующего рукава на существующих системах, оборудованных вентилями меньших, чем предлагаемые в данной работе, размеров, необходимо между выходным патрубком и рукавом вмонтировать переходный раструб. Размеры его указаны на рис. 4.

Результаты испытаний рекомендуемых вентилей-водовыпусков подтвердили возможность длительной совместной работы вентиля с транспортирующим рукавом.

Литература

I. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления. М.-Л., "Энергоиздат", I954.

2. Попов В.С., Архангельский В.К., Нусретов А. Гидравлические исследования водовыпусков из закрытой оросительной сети в гибкие трубопроводы. - Обоснование проектных решений современных мелиоративных систем Средней Азии. "Тр.ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, I982.

УДК 626.823.54:62I.643

А.А.Туманов, канд.техн.наук,
ст.науч. сотр.
(Ташкентский филиал ВНИИ "ВОДГЕО")
С.Е.Мирецкий, гл.инж.проекта
(Средазгипроводхлопок)

КОНСТРУКЦИИ ВЕНТИЛЕЙ ГИДРАНТОВ ВОДОВЫПУСКОВ ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Для подачи воды из трубчатой напорной оросительной сети в поливные трубопроводы применяются гидранты с вентилями конструкции Средазгипроводхлопка.

На низконапорной комбинированной оросительной сети с рабочими напорами, не превышающими 0,I÷0,I5 МПа, используют вентили тарельчатого типа модели ВГ.

При повышенных напорах в ирригационной сети, особенно в предгорных зонах, имеют применение гидранты с щелевым и коническим запорными органами, позволяющими регулировать свободный напор в широком диапазоне (от 0,03 до 0,6 МПа). Расчетный расход вентиля - до I00 л/с, диаметр стояка гидранта - 200 мм.

Вентили-гидранты с щелевым запорным органом исследованы и разработаны Средазгипроводхлопком на стадии типовой рабочей документации и широко распространены на массивах орошения.

В последнее время исследования вентилей гидрантов, направленные на оптимизацию их конструкции, ведутся также Ташкентским филиалом ВНИИ "ВОДГЕО".

Данная работа, в основу которой легли материалы этих исследований, освещает два вопроса: I) возможность применения вентилей тарельчатого типа модели ВГ при больших напорах с целью расширения диапазона их использования и 2) изучение гидрантов с вентилями диафрагменного типа с гидроприводом.

Гидрант с тарельчатым запорным устройством состоит из корпуса I с опорным фланцем 2, установленным на фланец стояка 3, который является одновременно седлом запорного элемента - тарели 4, шарнирно прикрепленной к концу подъемного винта 5. Герметизация запорного органа водовыпуска в закрытом положении осуществляется прижатием тарели к резиновой прокладке 6, зажатой между фланцами 2 и 3. Достаточно длительный опыт эксплуатации этой конструкции на самотечных системах с напором, не превышающим 0,15 МПа, показал удовлетворительные результаты. Для выявления возможности использования рассматриваемого запорного устройства при большем давлении на гидравлическом стенде Ташкентского филиала ВНИИ "ВОДГЕО" были проведены испытания серийных промышленных образцов (рис.I,а).

Регулирующая способность арматуры обычно оценивается по характеру изменения коэффициента гидравлического сопротивления ζ, значения которого для испытываемых гидрантов в зависимости от подъема тарели $h_т$ приведены на рис. 2. Обращает на себя внимание горизонтальный участок графика в диапазоне $h_т$=30÷80мм, в пределах которого возрастание значения хода тарели не приводит к увеличению расхода, поскольку площадь кольцевой щели между торцом тарели и внутренней стенкой корпуса остается неизменной. Это вызвано конструктивной особенностью гидранта: выпускной патрубок врезан в корпус на расстоянии, обеспечивающем возможность монтажа гидранта на фланце стояка.

Характерно, что именно на этом участке при напорах свыше 0,25 МПа наблюдаются интенсивная вибрация тарели и всего корпуса, а также значительный износ резьбы винта.

Вибрация вызвана шарнирной подвеской тарели к винту и усиленной пульсацией потока, происходящей из-за постоянного изменения

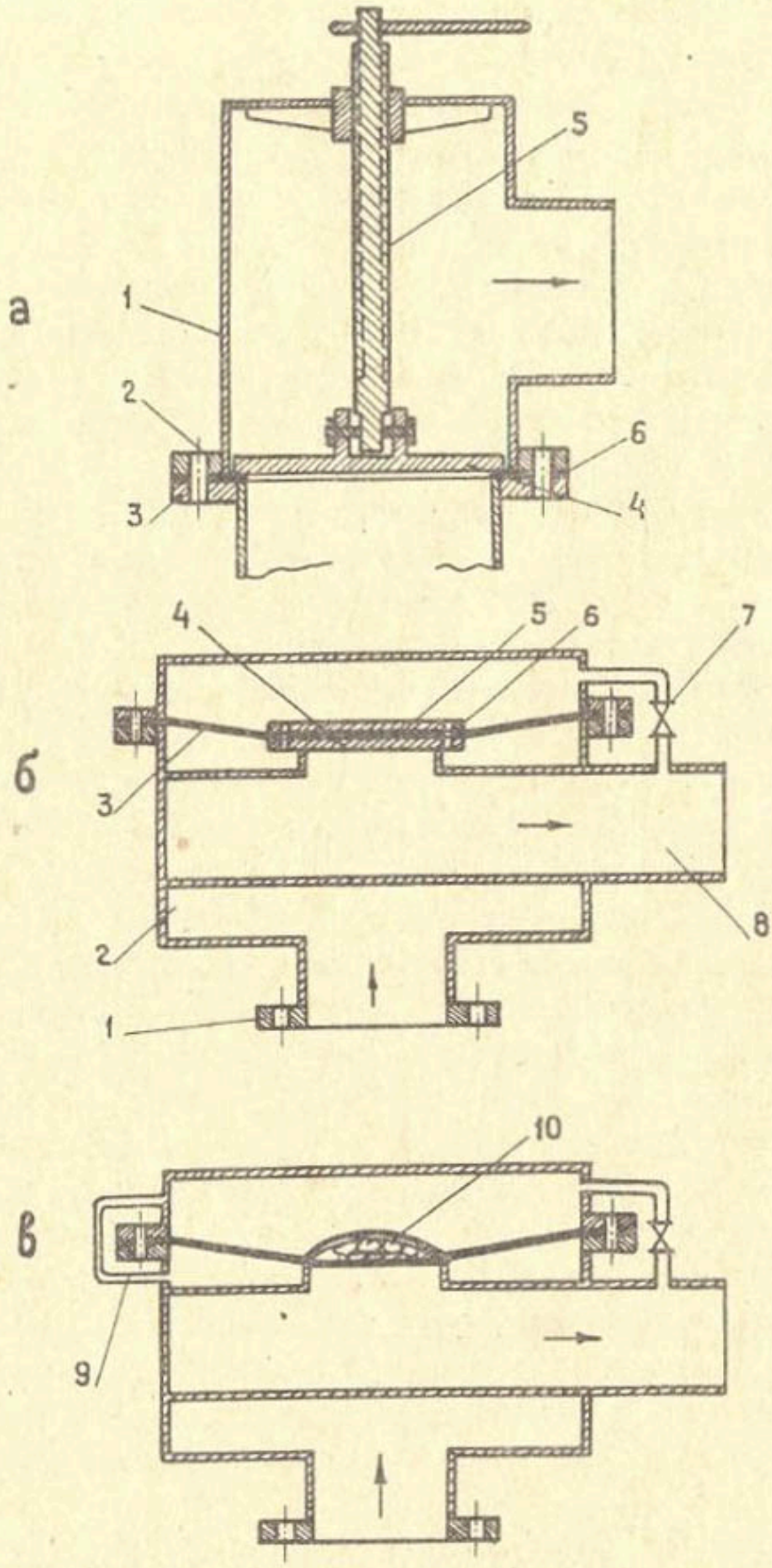


Рис.I. Вентили гидрантов водовыпусков для напорной оросительной сети: а - с тарельчатым запорным элементом; б - с гидроприводом и частично разгруженным запорным элементом; в - с гидроприводом и частично разгруженным эластичным запорным элементом

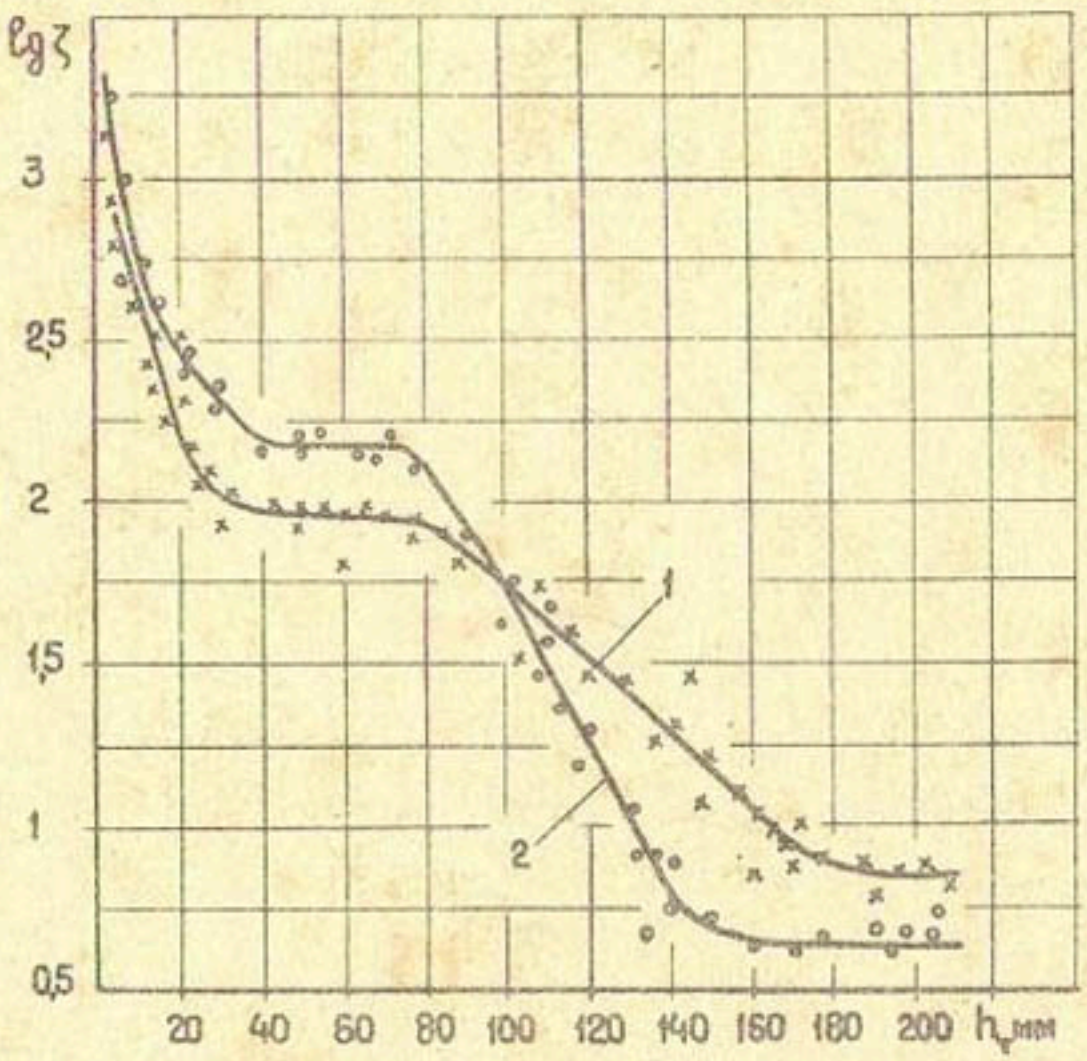


Рис.2. График зависимости изменения коэффициента сопротивления серийного гидранта ВГ-7I от подъема тарели: I- гидрант $Д_у$=I50 мм; 2 - гидрант $Д_у$=200 мм

проходного сечения кольцевой щели. Необходимость приложения значительного усилия для подъема тарели приводит к постепенному стачиванию резьбы винта, увеличению протечки через втулку и в итоге - отказу вследствие срезания резьбы.

Второй горизонтальный участок графика $\ell g \zeta = F(h_1)$ отвечает полностью выдвинутому винту и работе гидранта в автомодельной области. Именно эти значения ζ используются для расчета максимальной пропускной способности водовыпуска.

Как видно из графика, вентиль регулирует расход путем дросселирования тарелью отверстия выпускного патрубка в узкой области h_1 =80÷I50 мм и фактически может использоваться как запорное устройство с несколькими промежуточными положениями, потому что точно зафиксировать какой-либо расход при шарнирной подвеске тарели довольно сложно.

Недостатком конструкции является и большая площадь контакта запорного элемента с потоком, в результате чего для изменения положения тарели по высоте необходимо приложить к рукоятке зна-

чительное сдвигающее усилие.

Открыть вентиль рукояткой длиной 280 мм, которой он комплектуется, даже при давлении в сети 0,2÷0,25 МПа практически невозможно. Необходимость создания большого крутящего момента с помощью увеличения плеча в 2÷3 раза приводит к быстрому износу резьбы винта на участке $h_т$=0÷50 мм, в результате чего основной причиной отказа в процессе наработки на ресурс при давлении 0,4÷0,6 МПа является срезание резьбы винта, причем для гидранта $Д_у$=I50 мм ресурс в три раза ниже проектного, а для гидранта $Д_у$=200 мм - в 8÷I0 раз.

Отсутствие сальника во втулке приводит к протечке, достигающей 350÷500 см^3/мин при давлении 0,6 МПа. Кроме того, резиновая прокладка уплотнения тарели изнашивается после 30÷40 циклов настолько, что при давлении 0,6 МПа протечка в I0÷I5 раз превышает нормативную для арматуры Ш класса.

Все указанные недостатки ограничивают область применения гидранта $Д_у$=I50 мм напорами до 0,I5 МПа, а гидранта $Д_у$=200 мм - 0,I МПа.

Нужно отметить, что вследствие трудности маневрирования при напоре свыше 0,25 МПа, узком диапазоне дросселирования и вибрации корпуса данная конструкция не может использоваться на участках сети, где требуется погасить избыточный напор.

Как упоминалось выше, при необходимости регулирования и гашения избыточного напора на гидрантах применяются вентили с щелевым и коническим запорными органами.

Другой перспективной конструкцией, позволяющей выполнять указанные функции и имеющей принципиальную возможность автоматизации регулирования напоров, является вентиль диафрагменного типа с гидроприводом. Такое устройство было разработано институтом "Средазгипроводхлопок", изготовлено в ГСКБ по ирригации и испытано на стенде в Ташкентском филиале ВНИИ "ВОДГЕО". Принципиальная схема гидранта водовыпуска с диафрагменным вентилем с гидроприводом изображена на рис. I,б.

Водовыпуск включает: подводящий патрубок с опорным фланцем I, корпус 2, разделенный резиновой мембраной 3 на две части, седло 4, на которое опирается жесткий центр 5 с двумя дросселирующими отверстиями 6 по краям, импульсную линию 7 с вентилем управления. Поливной рукав навешивается на отводящий патрубок 8. При необходи-

мости проведения полива вентиль линии 7 открывается, и вода из полости над мембраной сбрасывается в отводящий патрубок. В результате давление в этой полости падает, несмотря на приток через дросселирующие отверстия. За счет возникшего перепада давлений по обе стороны мембраны жесткий центр вместе с мембраной отходит от седла, и вода из внутренней полости гидранта поступает в сбросной патрубок.

Регулируя вентилем поступление воды в полость над мембраной и сброс, тем самым изменяют в ней давление. Это позволяет дросселировать величину кольцевой щели между седлом и жестким центром, чем достигается изменение подаваемого расхода. Когда вентиль перекрыт, давление в полостях по обе стороны мембраны выравнивается, потому что они сообщаются между собой дросселирующими отверстиями.

Однако, поскольку площади приложения сил различны: сверху давление воздействует по всей площади мембраны, снизу - по кольцевой площади, ограниченной контуром заделки и отверстием выпускного патрубка, то результирующая направлена вниз. Жесткий центр садится на седло и принимает на себя одностороннюю нагрузку, в то время как бо́льшая площадь мембраны оказывается разгруженной. Тем самым повышается ее ресурс, а следовательно и надежность работы водовыпуска.

Испытания экспериментального образца при давлении 0,I5 МПа показали отсутствие протечки через уплотнение жесткого центра при наработке I50 циклов "открыто-закрыто", отсутствие разрывов полотнища мембраны по контуру заделки и возле жесткого центра. При большем давлении была отмечена вибрация запорного элемента, особенно при пропуске малых расходов и в конечной фазе посадки жесткого центра на седло. Вибрация возникала вследствие появления эжекционного эффекта с приближением жесткого центра к седлу, неравномерного поступления воды через дросселирующие отверстия в полость над мембраной и как результат - самопроизвольного захлопывания выпускного отверстия запорным элементом. При мгновенной посадке центра на седло давление в полости под мембраной резко возрастало, в то время как над ней запаздывало, что приводило к открытию выпускного отверстия. Так возникала серия волн повышенного давления с амплитудой 0,03÷0,08 МПа, приводивших к вибрации корпуса гидранта.

Для устранения описанного явления была уменьшена на 50% суммарная площадь дросселирующих отверстий с целью увеличения времени заполнения полости корпуса над мембраной, т.е. времени срабатывания гидропривода. Однако эта мера не уменьшила амплитуды пульсации; продолжительность же вибрации возросла в 1,6 раза. Были предприняты также попытки установки поршневого амортизатора и пружины по центру запорного элемента. Наиболее эффективной оказалась установка конической пружины, однако технологическая сложность надежного закрепления ее и изменения затяжки побудила отказаться от этого варианта.

Итак, в первоначальном виде испытуемый вентиль гидранта может использоваться при давлении в трубопроводе до 0,15 МПа.

Второй рекомендуемый к практическому применению вариант вентиля гидранта с гидроприводом представлен на рис. 1,в. Он отличается от предыдущего отсутствием жесткого центра, большей толщиной мембраны - 5 мм (у предыдущей конструкции 3 мм), введением дополнительной импульсной линии 9 взамен дросселирующих отверстий и наличием опорной решетки 10, установленной врасточку торцв седла.

При нарастании давления над мембраной прежде всего начинается прогиб ее центральной части, которая, упираясь в решетку, перекрывает часть отверстий. По мере дальнейшего возрастания давления полотнище мембраны распластывается по поверхности решетки, перекрывая все большее число отверстий, - тем самым исключается резкая отсечка подаваемого расхода. В предлагаемой конструкции около 70% площади полотнища мембраны разгружено от давления воды при неработающем водовыпуске, в участок с односторонней нагрузкой опирается на сферическую решетку.

Устройство было испытано в диапазоне рабочих напоров 0,05÷0,6 МПа, показало высокую герметичность перекрытия, полное отсутствие вибрации и возможность эффективного регулирования подаваемого расхода.

Отношение суммарной площади отверстий решетки к площади перекрытого ею седла - 0,45. Введение решетки снизило коэффициент расхода водовыпуска с 0,35 до 0,28, что для эксплуатации несущественно, поскольку гидрант должен гасить избыточный напор помимо выполнения функций запорного устройства. Потери напора гидранта с выпускным патрубком $Д_у$=150 мм могут быть найдены по за-

висимости

$$h = \zeta \frac{V^2}{2g},$$

где ζ - коэффициент сопротивления, отвечающий скважности решетки 0,45, равен I2,2; V - скорость, отнесенная к сечению выпускного патрубка, м/с.

Пропускная способность гидранта при полностью открытом вентиле управления, наибольшем ходе мембраны (55 мм) и диаметре ее 580 мм находится по зависимости

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g\Delta H},$$

где μ - коэффициент расхода, равный 0,28; ω - площадь сечения выпускного патрубка, м^2; ΔH - действующий перепад напоров - "трубопровод-поливной рукав".

Поскольку мембрана является одновременно основным элементом привода и запорным устройством и от ее прочности зависит работоспособность гидранта, были проведены ресурсные испытания мембран из различных материалов.

Отказом считали: I) потерю гидрантом регулирующей способности вследствие появления утечки воды сквозь разрывы в полотнище мембраны; 2) нарушение герметичности в закрытом положении запорного органа.

За критерий технического ресурса мембраны принималась способность ее выдержать 300 циклов "открыто-закрыто" при давлении в подводящем трубопроводе до 0,6 МПа. Наименьшее давление срабатывания привода - 0,05 МПа, отвечающее пропуску расхода 60 л/с. После наработки каждых I00 циклов проводились осмотр мембраны и замеры протечки при давлении 0,6 МПа.

Испытаны мембраны: однослойная из технической резины толщиной 5 мм и многослойная - из трех слоев "мелиоративной" капроновой ткани с резиновым покрытием. Первая проработала весь цикл испытаний, вторая выдержала лишь 52 цикла, после чего давление в подводящем трубопроводе при закрытом гидранте упало на 50% вследствие утечки через разрывы в полотнище мембраны. Осмотр мембраны показал, что ткань истерта и надорвана из-за продавливания ее в отверстия решетки и наличия на них заусениц, а резиновое покрытие отслаивается от нее.

По результатам ресурсных испытаний можно сделать следующее заключение:

- увеличение размера отверстий решетки (просвет $d \geqslant 20$ мм)

требует применения более жестких мембран. При использовании однослойной мембраны из резины толщиной 5 мм размер отверстий должен быть 0,13÷0,15 диаметра седла;

- для увеличения срока службы мембраны необходима обработка краев отверстий решетки во избежание надрезов;

- мембрана из 5-миллиметровой резины удовлетворяет условиям работы гидранта до 0,6 МПа;

- исследованная конструкция гидранта с эластичным запорным элементом устойчиво и надежно обеспечивает подачу расхода от 3 до 60 л/с в диапазоне напоров 0,05÷0,6 МПа, причем применение такого конструктивного решения запорного устройства позволяет сократить габариты корпуса на 25% за счет уменьшения предельного размера мембраны.

УДК 622.235.5:626

О.А.Арутюнов, канд.техн.наук,
управляющий трестом
Р.З.Камалян, канд.техн.наук,
нач.лаб.
(Трест "Средазспецстрой")
Н.Р.Хамраев, д-р техн.наук,
начальник Главсредазирсовхозстроя

СКВАЖИННЫЕ ЗАРЯДЫ ВЫБРОСА В ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Масштабы использования энергии взрыва в гидромелиоративном строительстве непрерывно расширяются, о чем свидетельствует опыт применения взрывных технологий во многих районах страны, в частности в Средней Азии. Значительно ускоряя темпы строительства, взрывы на выброс все более успешно конкурируют с механическим способом [1] и [2]. Особенно ощутимы преимущества метода взрыва при сооружении крупных каналов в сложных гидрогеологических условиях. Достижения практики в части совершенствования технологии взрывных работ позволяют надеяться на возрастание технических и экономических показателей строительства взрывом в перспективе. Это очень существенно в связи с необходимостью реализации крупных гидромелиоративных проектов.

В настоящее время при сооружении каналов в основном исполь-

зуются методы камерных (сосредоточенных) и траншейных (горизонтально удлиненных) зарядов выброса. Однако с увеличением масштабов взрывов возникает ряд трудностей, ставящих под сомнение возможность эффективного применения указанных способов. Наиболее перспективны в технологическом отношении скважинные заряды выброса (СЗВ) диаметром 350 мм и более: они позволяют, во-первых, осуществлять полную механизацию проходки скважин, во-вторых, получать зарядные выработки практически неограниченной глубины в разных грунтах.

СЗВ представляет собой непрерывный цилиндрический заряд, расположенный в вертикальной плоскости. Необходимым условием для него является $h_з \gg d$, где $h_з$ - высота скважинного заряда, d - диаметр.

Скважинные заряды выброса располагают сериями в один или несколько рядов с определенными расстояниями между скважинами в ряду a и между рядами скважин b (в общем случае значения a и b переменные).

В строительстве гидромелиоративных объектов СЗВ используются сравнительно недавно [3], хотя в горном деле скважинные заряды применяются давно и особенно широко как заряды дробления [4]. Это, по-видимому, и послужило одной из объективных причин отсутствия научно обоснованных методов расчета оптимальных параметров СЗВ. Эффективность действия скважинных зарядов выброса в грунтах определяется многими факторами, для установления которых требуются систематические экспериментальные исследования. При взрыве заглубленного заряда ВВ грунт деформируется и вовлекается в движение, характер которого, несомненно, будет зависеть, по меньшей мере, от мощности источника взрыва (W) и глубины его заложения (h_o). Кроме указанных переменных, следует учитывать изменения свойств источника взрыва и геологии среды. В частности, выражение для поля максимальных смещений $\bar{\delta}$ должно быть функцией вида

$$\bar{\delta} = \bar{\delta}(W, h_o, \mathcal{D}, \mathcal{T}), \qquad (1)$$

где $\mathcal{D}$ и $\mathcal{T}$ - параметры, характеризующие изменения свойств источника взрыва и геологии среды, а также влияющие на видимый объем воронки выброса, т.е.

$$V = V(W, h_o, \mathcal{D}, \mathcal{T}). \qquad (2)$$

Таким образом, и видимый объем воронки, и максимальные смещения зависят от одних и тех же независимых переменных, характеризующих геологию и геометрию расположения заряда. Посему уместно предположить, что между объемом воронки и движением грунта существует некоторая явная связь, а именно:

$$V \sim \bar{\delta} \sim F(W, h_o, D, T).$$

Для СЗВ, имеющего форму цилиндра, выражение (2) можно записать в виде

$$V = V(h_3, d, \ell, W, D, T), \qquad (3)$$

где ℓ - высота забойки, м.

Отсюда следует, что для нахождения оптимальных параметров СЗВ необходимо располагать зависимостью типа (3), которая, по анализу имеющейся литературы, в теории взрывного дела практически отсутствует, а это обусловливает потребность в проведении экспериментальных или опытно-промышленных взрывов.

Основными исходными данными при составлении проекта буровзрывных работ в гидромелиоративном строительстве являются: гидрогеологические условия, тип используемого ВВ, масса заряда, проектные параметры выемки (ширина по верху и по дну, коэффициент заложения откосов). Приняв глубину заложения зарядов (h_o) равной глубине образуемой взрывом выемки (H), вычисляют линейную величину заряда по формуле $Q_I = k h_o^2 f(n)$, где k - расчетный удельный расход ВВ, кг/м^3; $f(n)$ - функция показателя выброса.

Значение показателя выброса n определяется графически. Глубина зарядной скважины L принимается равно $1{,}25\,h_o$. Высота заряда устанавливается из выражения $h_3 = \varphi L$ (значение φ изменяется в интервале $\frac{2}{3} \leqslant \varphi < 1$, зависит от диаметра заряда и типа ВВ). При известных d и h_3 нетрудно найти массу СЗВ: $Q_{ск} = \rho h_3$, где ρ - вместимость ВВ на 1 м скважины, кг/м.

Расстояние a между скважинами определяют по зависимости

$$a = \frac{N Q_{ск}}{Q_I},$$

где N - количество рядов скважин.

В табл. 1 приведены результаты расчетов параметров СЗВ по вышеизложенной методике для участка Аму-Бухарского магистрального канала 3-й очереди (АБМК-3, пк 61+00÷65+00).

Таблица I

Расчетные параметры скважинных зарядов выброса ϕ 800 мм

Глубина скважины L, м	ЛНС h_o, м	Высота заряда $h_з$, м	Масса заряда в скважине $Q_{ск}$, кг	Масса заряда на I м Q_I, кг/м	Расстояние между скважинами a, м
I4,4	II,6	8,64	3905	I480	5,3
I5	I2	9	4068	I54I	5,3
I5,6	I2,4	9,3	4203	I645	5,I
I6	I2,8	9,6	4339	I753	4,9
I6,6	I3,3	9,96	450I	I893	4,7
I7,3	I3,8	I0,38	469I	2038	4,6
I7,8	I4,2	I0,68	4827	2I58	4,5
I8,6	I4,9	II,I6	5044	2376	4,2
I9	I5,2	II,4	5753	2472	4,2

Примечание: Показатель действия взрыва n =2,25; вместимость скважины p =452 кг/м; количество рядов N =2; расстояние между рядами b =4 м.

И хотя рекомендуемый метод далек от совершенства (не только не учитывает свойств среды, но и допускает произвол в выборе значений некоторых параметров), при точном выполнении всех технологических операций удается получать достаточно удовлетворительные результаты.

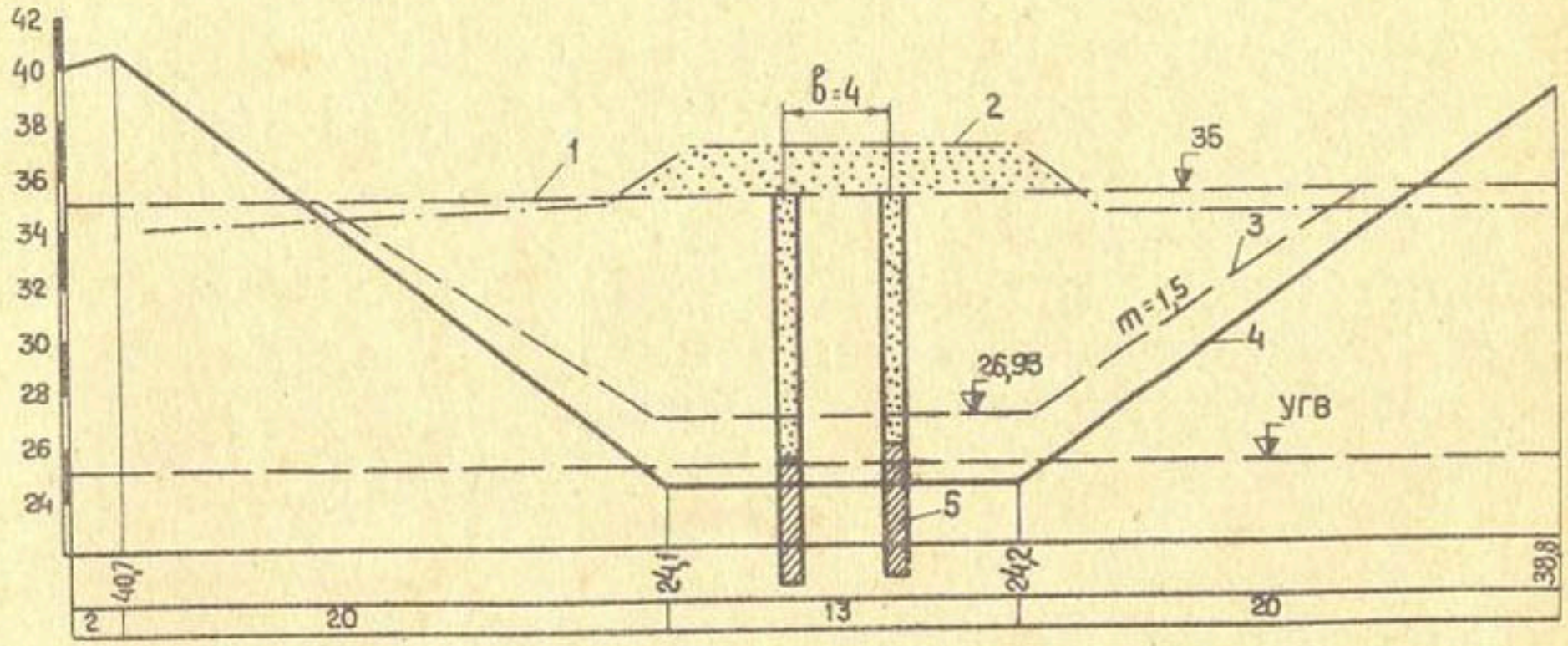
На рисунке приводится поперечное сечение выемки (маркшейдерская съемка), образовавшейся на участке АБМК-3 (пк 62÷80) при использовании двухрядных СЗВ диаметром 800 мм. В качестве основного ВВ был применен водоустойчивый граммонит 30/70, так как при глубине скважин I5-I8 м уровень грунтовых вод составлял 9-I0 м. Отметим некоторые технологические особенности осуществления СЗВ на данном участке. По окончании обычной забойки производилась обваловка грунтом над зарядами на всем фронте взрывных работ и срезка грунта с бортов будущей выемки, в результате чего дневная поверхность принимала трапецеидальную форму. Этим достигалась возможность продления действия продуктов детонации в полости

Таблица 2

Проектные и фактические параметры выемки, образованной двухрядными СЗВ (ϕ 800 мм)

Пикет	Глубина выемки H, м		Ширина выемки, м					Площадь поперечного сечения S, м²		Удельный расход ВВ q, кг/м³	
			по верху B		по дну $B_н$						
	проектная	фактическая	проектная	фактическая	проектная	на уровне проектной глубины	фактическая	проектная	фактическая	проектный	фактический
пк 62+80	8,4	I0,8	38	4I,2	I4	I9,8	I3	222	292,7	5,54	4,2
пк 63+40	8,I	I0,5	37,6	37,8	I4	I9,6	II,2	2I3	265	5,46	4,38
пк 64+00	8,I	I0,6	37,8	39	I4	I6	I0	2I2	255,7	5,42	4,49
пк 64+60	8	II	37,8	38	I4	I7,2	I0	208	246,8	5,38	4,53
пк 65+I0	8	II	37,6	40,4	I4	I8	II	208	275	5,37	4,06
пк 65+64	8	I0,8	38,4	39	I4	I6	9	209	254,7	5,39	4,42

Примечание: В качестве взрывчатого материала были использованы: I) основное ВВ - граммонит 30/70; 2) боевик - тротиловые шашки ТГ-400; 3) ДШ марки ДШВ.



Результат взрыва двухрядных СЗВ:I - начальная форма дневной поверхности; 2- форма поверхности после обваловки; 3- проектный контур выемки; 4- фактический профиль выемки; 5- заряд ВВ

взрыва и облегчения работы зарядов по бортам выемки. Как видно из рисунка, фактические параметры выемки, образовавшейся после взрыва, существенно превышают проектные. Указанная тенденция отмечена и на других участках, параметры выемки на которых приведены в табл. 2.

Полученные результаты и данные более ранней работы [3] позволяют сделать следующие выводы:

- скважинные заряды выброса могут быть успешно применены в гидромелиоративном строительстве в широком спектре гидрогеологических условий;

- особенно эффективны СЗВ при сооружении крупных каналов в связи с возможностью полной механизации проходки скважинной выработки практически неограниченной глубины;

- необходимо проводить детальные экспериментальные и теоретические исследования по механике СЗВ для решения проблем, связанных с определением оптимальных параметров скважинных зарядов;

- особое внимание следует уделять вопросам совершенствования буровых установок, решение которых может существенно повысить экономическую эффективность применения СЗВ.

Литература

I. Кушнарев Д.М., Беликов М.П. Взрывные работы в гидромелиоративном и сельском строительстве. М., Стройиздат, 1972.

2. Вовк А.А. Основы прикладной геодинамики взрыва. Киев, "Наукова думка", 1976.

3. Овчаров В.В., Арутюнов О.А., Швецов В.Я. Экономическая эффективность строительства коллекторов взрывами на выброс скважинными зарядами (на примере освоения Каршинской степи). - В кн.: Тезисы докладов на IУ Всесоюзной межвузовской научной конференции. Ташкент, 1979.

4. Семенюк И.А., Оберемок О.Н. Взрывные работы на открытых горных разработках. Днепропетровск, 1974.

5. Проектирование взрывных работ в промышленности. М., "Недра", 1983.

УДК 622.235.5

В.Г.Дыскин, ст.инж.
Р.З.Камалян, канд.техн.наук,
науч.лаб.
(Трест "Средазспецстрой")

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПОДЗЕМНОГО ВЗРЫВА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

При расчете взрывов на выброс, как правило, используется схема радиального разлета грунта от центра заряда [1]-[3], хотя ее применение не совсем правомерно. Экспериментально доказано [4], что частицы грунта движутся по радиальным направлениям от центра заряда только на камуфлетной стадии. На стадии газового ускорения траектории их отклоняются в сторону свободной поверхности, т.е. нарушается радиальность движения. Такое несоответствие между расчетной схемой и действительностью может привести к существенным погрешностям при определении эффекта действия взрыва. В частности, если рассчитывать массу выбрасываемого грунта по схеме радиального разлета частиц от центра заряда, то значительная часть объема грунта (до 35% [4]), выброшенного и уплотненного в результате расширения взрывной полости, остается неучтенной.

В предлагаемом исследовании приводится разработанная на основе современных представлений о механизме образования воронки [4] инженерная схема расчета взрыва на выброс, сущность которой заключается в следующем. Движение частиц грунта, в соответствии с работой [5], рассматривается в двух системах координат: YOX и YO_IX_I. На камуфлетной стадии - в системе координат YOX, на стадии газового ускорения - в системе YO_IX_I. Причем точка O_I (точка пересечения образующих воронки) во второй системе координат является центром радиального разлета грунта на стадии газового ускорения. В результате расчета взрыва определяются: объем взрывной воронки; масса выбрасываемого грунта; масса грунта, оставшегося в зоне уплотнения; радиус зоны уплотнения; объем грунта в навале и его профиль.

Указанные эффекты, за исключением последнего, характеризуют действие взрыва на так называемой активной стадии его развития, последний же определяется стадией инерциального разлета грунта. В связи с этим рассмотрим в отдельности каждую из указанных стадий взрыва на выброс.

Расчет действия взрыва на выброс на активной стадии

Схема расчета показана на рис. I. Здесь приняты следующие обозначения: h_0 - глубина заложения заряда, R_0 - радиус заряда, R_1 - радиус взрывной полости к моменту начала стадии газового ускорения, R_2 - радиус границы зоны уплотнения, φ - угол откоса воронки выброса к горизонту, θ_0 - предельный угол метания в системе координат YO_IX_I. Начальная плотность грунта ρ_0, плотность грунта в зоне уплотнения ρ.

Введем безразмерные параметры

$$\omega_0 = \frac{R_0}{h_0}, \quad \omega_1 = \frac{R_1}{h_0}, \quad \omega_2 = \frac{R_2}{h_0}.$$

Из закона сохранения массы следует

$$\rho = \frac{\omega_2^3 - \omega_0^3}{\omega_2^3 - \omega_1^3}\,\rho_0. \tag{I}$$

Значения углов θ_0 и φ определяются по формулам

$$\left.\begin{aligned} \theta_0 &= \operatorname{arctg} n - \operatorname{arctg}\frac{\omega_1}{\sqrt{1 + n^2 - \omega_1^2}}, \\ \varphi &= \frac{\pi}{2} - \theta_0, \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

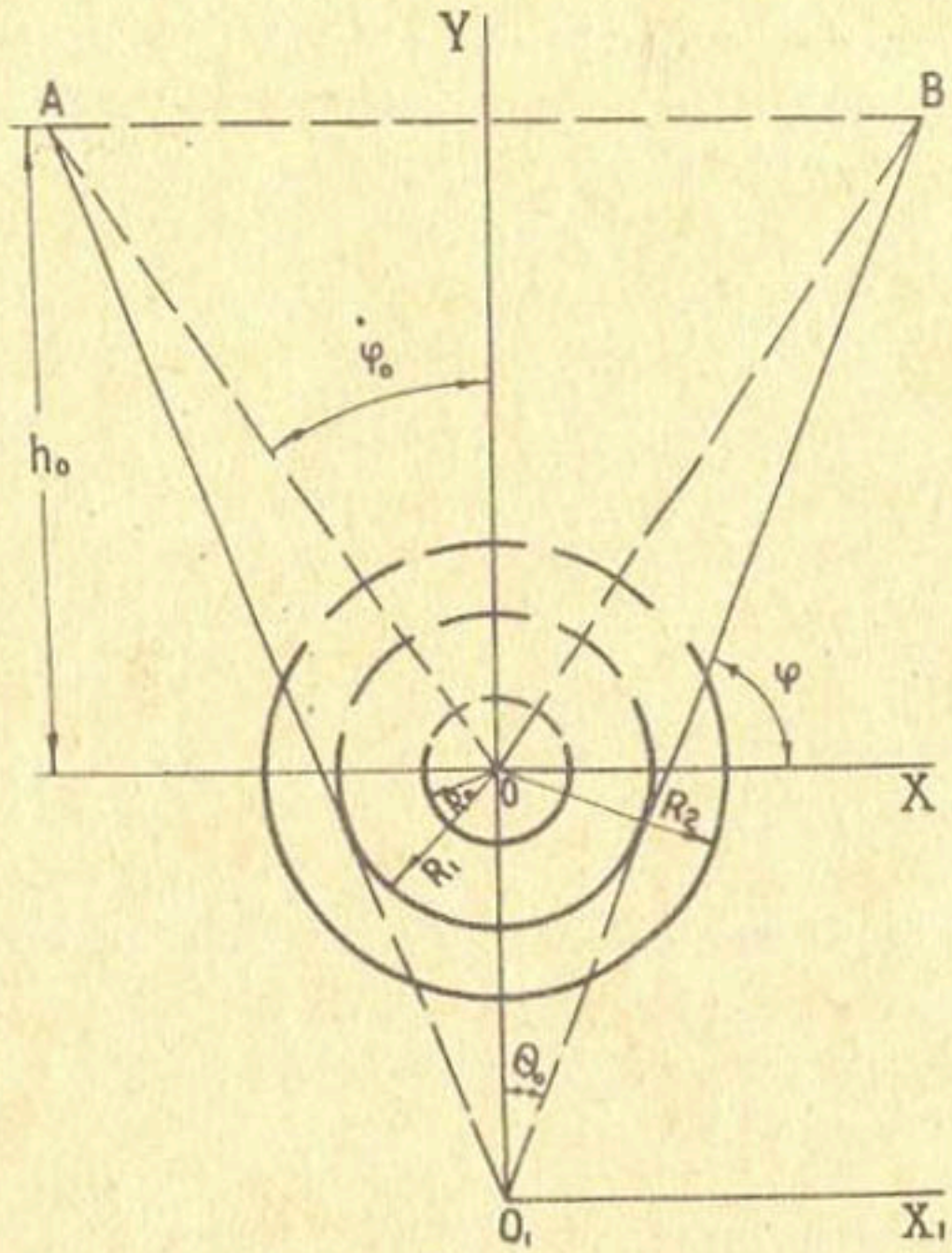


Рис.I. Схема расчета взрыва на выброс сосредоточенными зарядами

где n - показатель действия взрыва.

Зависимость между углами α_i, β_i и θ_i (рис. 2), определяющими движение грунта в разных системах координат, имеет вид

$$tg\,\theta_i = \frac{\sin\alpha_i}{\ell + \cos\alpha_i} = \frac{\sin\beta_i}{m + \cos\beta_i}, \qquad (3)$$

где $\ell = \frac{1}{\cos\varphi}$, $m = \frac{\omega_1 \ell}{\omega_2}$.

Так как θ_i определяет угол откоса воронки φ, то удобно выразить α_i и β_i через θ_i в явном виде

$$\left.\begin{aligned} \alpha_i &= \theta_i + \arcsin(\ell \sin\theta_i) \\ \beta_i &= \theta_i + \arcsin(m \sin\theta_i). \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Для предельного угла метания θ_0 из выражения (2) следует $\sin\theta_0 = \cos\varphi$ и $\alpha_0 = \theta_0 + \frac{\pi}{2}$, $\beta = \theta_0 + \arcsin\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)$.

Масса грунта M_i, выбрасываемого на дневную поверхность

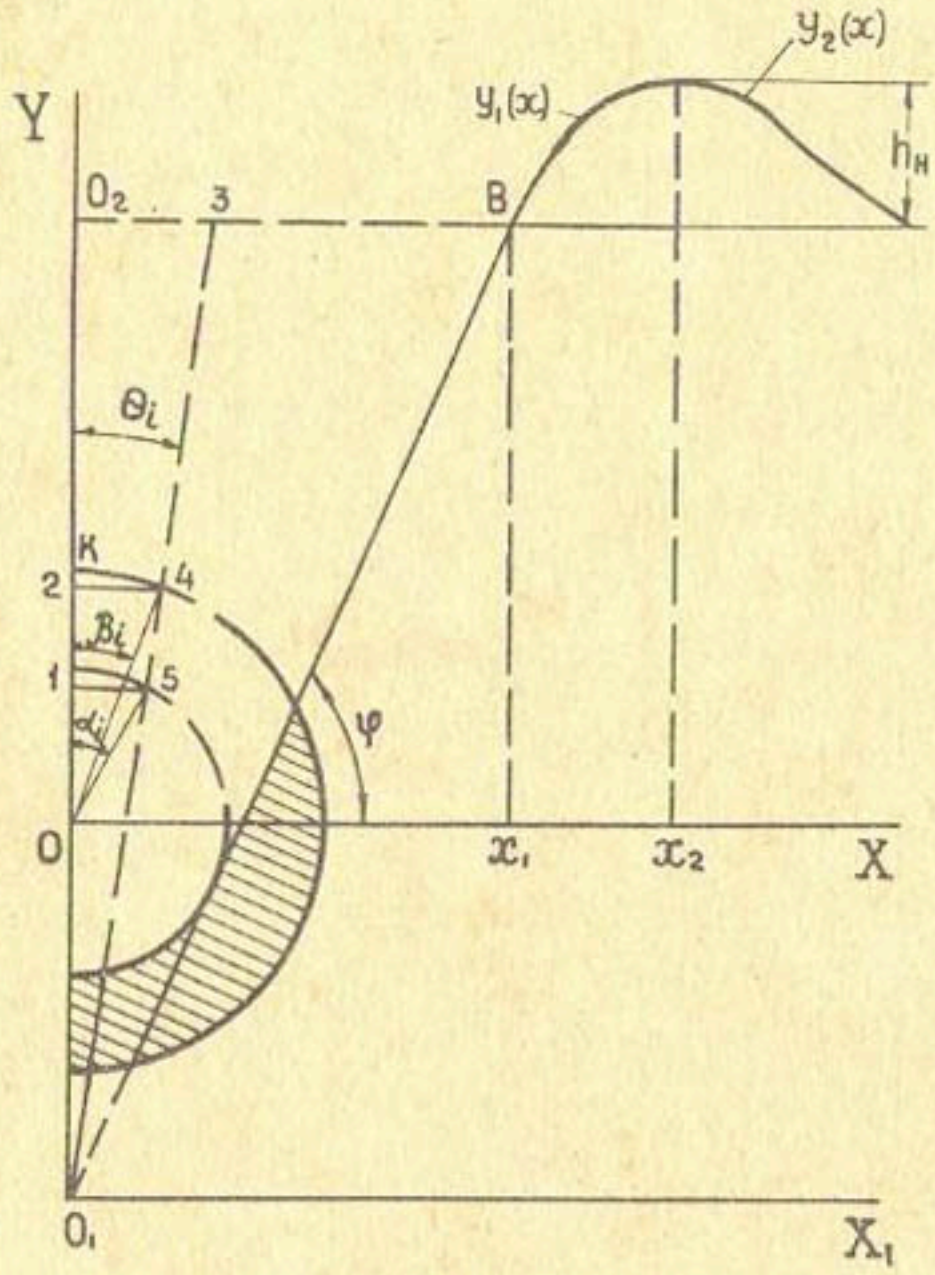


Рис.2. Схема определения зоны уплотнения

в пределах некоторого угла θ_i , вычисляется по формуле

$$M_i = \rho_i V_i , \qquad (5)$$

где ρ_i и V_i - плотность и объем грунта соответствующего участка выброса.

Согласно схеме, приведенной на рис. 2, M_i может быть представлена в виде суммы двух масс:

$$M_i = M_1 + M_2 , \qquad (6)$$

где M_1 - масса грунта на участке выброса в зоне уплотнения;
M_2 - то же, вне зоны уплотнения.

Выразим зависимость (6) через соответствующие объемы:

$$M_i = \rho V_1 + \rho_0 V_2 ,$$

где $V_1 = V_{0,1 3 0_2} - V_{0,1 2 4} - V_{2 к 4} ,$

$V_2 = V_{0,1 2 4} + V_{2 к 4} - V_{1 м 5} - V_{0,1 5 1} .$

Значения объемов определяются с помощью простых геометрических соотношений. В качестве примера найдем объем тела вращения $V_{O_1 3 O_2}$, которое представляет собой конус с вершиной в точке O_1 и радиусом основания $O_2 3$:

$$V_{O_1 3 O_2} = \frac{\pi}{3}(O_2 3)^2 O_2 O_1, \quad O_2 O_1 = h_0 + OO_1, \quad O_2 3 = (h_0 + OO_1) tg\theta_i,$$

$$V_{O_1 3 O_2} = \frac{\pi}{3} tg^2\theta_i (h_0 + OO_1)^3 = \frac{\pi}{3} tg^2\theta_i \left[h_0 \left(1 + \frac{OO_1}{h_0}\right)\right]^3 =$$

$$\frac{\pi}{3} h_0^3 tg^2\theta_i \left(1 + \frac{OO_1}{h_0}\right)^3,$$

$$V_{O_1 3 O_2} = \frac{\pi}{3} h_0^3 tg^2\theta_i (1 + a_1)^3, \qquad a_1 = \frac{\omega_1}{\cos\varphi}.$$

Аналогично определяются и другие объемы. После ряда простых алгебраических преобразований с использованием соотношений (I) и (3) выражение (5) примет вид

$$M_i = \frac{\pi}{3} h_0^3 \rho_0 \left[A_1 - A_2 + A_3 tg^2\theta_i - A_4(2\cos\beta_i + m\cos^2\beta_i) + A_5(2\cos\alpha_i + \ell\cos^2\alpha_i)\right]. \quad (7)$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$A_0 = \frac{\omega_2^3 - \omega_0^3}{\omega_2^3 - \omega_1^3}, \qquad A_1 = A_4(m+2),$$

$$A_4 = (A_0 - 1)\omega_2^3, \qquad A_2 = A_5(\ell + 2),$$

$$A_5 = A_0 \omega_1^3, \qquad A_3 = (a_1 + 1)^3.$$

Зависимость (7) позволяет вычислить массу грунта ΔM, выбрасываемого внутри произвольного угла $\theta_{i+1} - \theta_i$. Полагая $\theta_{i+1} = \theta_0$ и $\theta_i = 0$, получим

$$M_0 = \frac{\pi}{3} h_0^3 \rho_0 \left[A_1 - A_2 + A_3 tg^2\theta_0 - A_4(2\cos\beta_0 + m\cos^2\beta_0) + A_5(2\cos\alpha_0 + \ell\cos^2\alpha_0)\right], \quad (8)$$

$$V_0 = \frac{\pi}{3} h_0^3 \left[(1 + \omega_1\cos\varphi)(m^2 + m\omega_1\sin\varphi + \omega_1^2\sin^2\varphi + \omega_1^3(1 - \cos\varphi)^2(2 + \cos\varphi)\right]. \quad (9)$$

Зависимости (8) и (9) дают возможность вычислить массу выбрасываемого грунта и объем образующейся (истинной) воронки.

Теперь найдем массу грунта в зоне уплотнения (заштрихованная область на рис. 2) по формуле

$$M_{зу} = \rho V_{зу}. \quad (10)$$

В соответствии с рис. 2 объем зоны уплотнения (ЗУ) равен

$$V_{зу} = V - (V_1' + V_2'). \qquad (11)$$

Подставив формулу (11) в зависимость (10), получим

$$M_{зу} = \rho [V - (V_1' + V_2')]. \qquad (12)$$

Значения объемов, приведенных в выражении (12), равны соответственно

$$V = \frac{\pi}{3} h_0^3 \omega_1^3 (1 + \cos\beta_0)^2 (2 - \cos\beta_0),$$

$$V_1' = \frac{\pi}{3} h_0^3 (\omega_2 \cos\beta_0 + \omega_1 \cos\varphi)(\omega_2^2 \sin^2\beta_0 + \omega_1 \omega_2 \sin\varphi \sin\beta_0 + \omega_1^2 \sin^2\varphi),$$

$$V_2' = \frac{\pi}{3} h_0^3 \omega_1^3 (1 - \cos\varphi)^2 (2 + \cos\varphi).$$

Определение объема и формы навала грунта на дневной поверхности

Несмотря на большой опыт применения взрывов на выброс, теоретических работ, посвященных исследованию распределения выброшенного грунта на дневной поверхности, крайне мало [6] и [7]. Очевидно, что для точного решения этой задачи необходимо решать соответствующие уравнения внешней баллистики, так как все движение грунта происходит в атмосфере. Однако использование известных методов внешней баллистики применительно к выбросу грунта существенно осложняется из-за дробления его при взрыве на части различного размера - от мельчайших пылинок до крупных кусков. В этом случае учет сопротивления воздуха представляет весьма нелегкую задачу, так как тормозящая сила его зависит от размеров и формы летящего куска грунта. Кроме того, начальная скорость движения частиц не может быть определена достаточно точно. Имеющиеся в настоящее время формулы для ее расчета характеризуют движение элементарных конусов, на которые условно разделяется грунт и вершины которых сходятся в центре заряда (радиальная модель). Учитывая, что радиальность движения грунта от центра заряда на стадии газового ускорения нарушается, в пределах этих конусов скорости отдельных частиц могут колебаться в достаточно широком диапазоне.

В дополнение к этому на характер движения грунта существенное влияние оказывают прорывающиеся в атмосферу газы, в связи с чем возникает необходимость в решении задачи о поведении частиц грунта в турбулентном потоке взрывных газов.

Из изложенного следует, что процесс распределения грунта на местности носит характер ближе к вероятностному и для определения объема и формы навала грунта более разумно использовать статистические методы.

В настоящей работе рассматривается один из способов аппроксимации формы навала грунта. Для этой цели подбирается функция $y=f(x)$ таким образом, чтобы она достаточно удовлетворительно аппроксимировала форму навала и отвечала следующим требованиям:

I) ход кривой $y=f(x)$ должен качественно соответствовать маркшейдерской съемке навала;

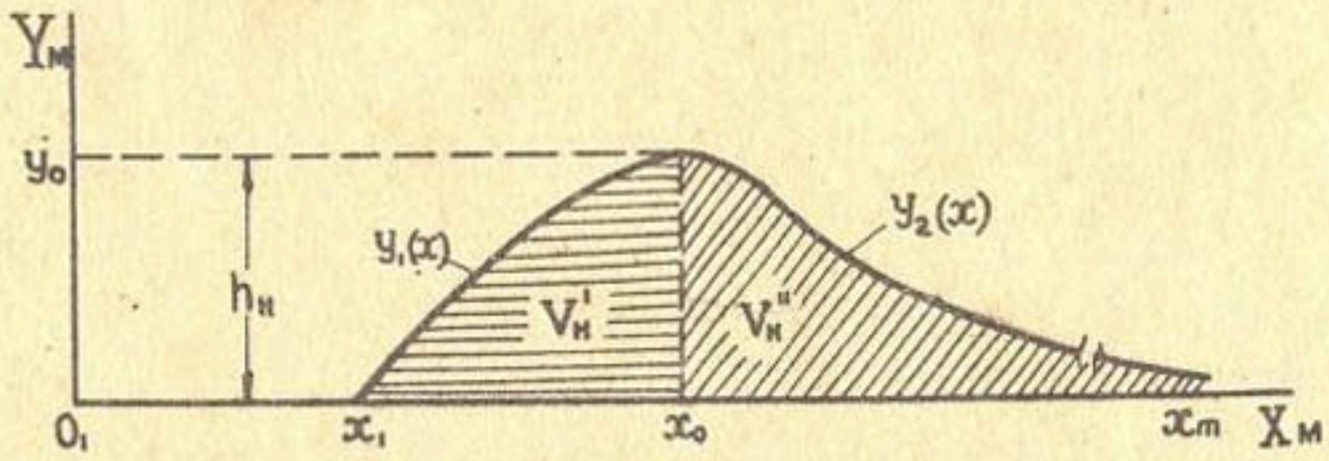


Рис.3. Схема расчета объема и формы навала грунта

2)при отсутствии стабилизации бортов взрывной воронки необходимо соблюдать условия (рис. 3):

а) $y_1(x_1)=0$,

б) $y_1(x_0)=y_2(x_0)=h_н$, ($h_н$ - высота навала),
$y_1'(x_0)=y_2'(x_0)=0$,
$y_2''(x_0)=y_2''(x_0)<0$,

в) $y_2''(x_m)\sim 0$ (x_m - координата зоны сплошного навала);

3) масса грунта в навале $M_н$ должна быть равной M_0 .

Первое и третье требования очевидны, второе необходимо для однозначного определения зависимости $y=f(x)$ по двум-трем точкам.

Исходя из этих требований, была проведена аппроксимация формы навала грунта тремя кривыми: видоизмененным потенциалом Морзе [8]; составной кривой "парабола-кривая Гаусса"; кривой с двумя произвольными параметрами.

Рассмотрим каждую в отдельности.

Функция "потенциал Морзе" имеет вид

$$y = h_н \left\{ 2\exp[-\gamma(x-x_0)] - \exp[-2\gamma(x-x_0)] \right\}. \qquad (13)$$

Из условия $\ll 2a \gg$ следует

$$\gamma = \frac{\ell n 2}{x_0 - x_1}, \qquad \exp[-\gamma(x_1 - x_0)] = 2 .$$

При $x = x_m$ $y(x_m) = h_m \sim 0$. Введем отношение $\frac{h_m}{h_н} = j$, которое означает, что при $x = x_m$ толщина навала грунта составляет j-ю долю от $h_н$. Затем определим координату зоны сплошного навала x_m , для чего преобразуем формулу (13), подставив в нее x_m :

$$\exp[-\gamma(x_m - x_0)] = 1 \pm \sqrt{1-j} .$$

Отсюда

$$x_m = x_0 - \frac{1}{\gamma} \ell n \left| 1 - \sqrt{1-j} \right| . \qquad (14)$$

Определим объем грунта в навале согласно рис.3:

$$V_н = V_н' + V_н'' ,$$

где $V_н' = \pi h_н x_0^2 - V_1$, $V_н'' = V_2 - \pi h_н x_0^2$.

Тогда

$$V_н = V_2 - V_1 . \qquad (15)$$

В выражении (15) V_1 - объем тела вращения $0_1 h_н y_1$, V_2 - объем тела вращения $x_0 y_2 x_m$.

После некоторых преобразований формулы для определения объема тела вращения получим выражение для вычисления объема грунта в навале:

$$V_н = \frac{2\pi h_н}{\gamma^2}(2\gamma x_0 + 3 - 2\ell n 2). \qquad (16)$$

Функция "парабола-кривая Гаусса" имеет вид

$$y \begin{cases} y_1 = bx - ax^2 - c , & при\ x_1 \leqslant x \leqslant x_0 \\ y_2 = h_н \exp[-\gamma(x-x_0)^2], & x \geqslant x_0 . \end{cases} \qquad (17)$$

Коэффициенты a , b , c находятся из условий << 2 >>

$$a = h_н/(x_0 - x_1)^2, \qquad b = 2h_н x_0/(x_0 - x_1)^2,$$
$$c = h_н x_1(2x_0 - x_1)/(x_0 - x_1)^2.$$

Значение γ определяется по строгому аналитическому "сшиванию" функций в точке $x = x_0$. В соответствии с условием << 2б >> имеем

$$\gamma = \frac{a}{h_н} = (x_0 - x_1)^2.$$

При $x_1 \leqslant x \leqslant x_0$ для части объема грунта в навале

$$V'_н = \pi\left[x_0^2 h_н - \int_0^{h_н} x^2 dy\right],$$
$$x^2 = x_0^2 + (x_0 - x_1)^2 - 2x_0\sqrt{(x_0 - x_1)^2 - \frac{y_1}{a}} - \frac{y_1}{a}.$$

Окончательное выражение для определения $V'_н$ имеет вид

$$V'_н = \frac{\pi}{6} h_н\left[8x_0^2 - 3(x_0 - x_1)^2 - 8x_0 x_1\right]. \qquad (18)$$

При $x \geqslant x_0$

$$V''_н = \pi\int_0^{h_н} (x - x_0)\, dy_2 = \pi h_н (x_0 - x_1)^2. \qquad (19)$$

Сумма выражений (18) и (19) дает объем грунта в навале:

$$V_н = \frac{\pi}{6} h_н\left[8x_0^2 + 3(x_0 - x_1)^2 - 8x_0 x_1\right]. \qquad (20)$$

Функция с двумя произвольными параметрами имеет вид

$$y = a(x - x_1)^{\delta} \exp\left[-\gamma(x - x_1)^{\mu}\right]. \qquad (21)$$

В этой функции три параметра (γ , δ и μ), два из них (δ и μ) независимые.

На основании требований << 2 >>

$$y'(x_0) = 0, \quad \delta - \gamma\mu(x_0 - x_1)^{\mu} = 0, \quad x_0 = x_1 + \left(\frac{\delta}{\gamma\mu}\right)^{\frac{1}{\mu}}$$
$$y(x_0) = h_н, \quad a = h_н(x_0 - x_1)^{-\delta} \exp\left[\gamma(x_0 - x_1)^{\mu}\right].$$

Координата сплошного развала грунта определяется из условия

$$y''(x_m - x_1) = 0.$$

и имеет вид

$$x_m = x_1 + \left[\frac{2\delta + \mu - 1 + \sqrt{(\mu - 1)^2 + 4\delta\mu}}{2\gamma\mu}\right]^{\frac{1}{\mu}}. \qquad (22)$$

Объем грунта в навале равен

$$V_н = \frac{2\pi a}{\mu}\gamma^{-\zeta}\Gamma(\zeta), \qquad \zeta = \frac{\delta + 2}{\mu}. \qquad (23)$$

Ниже приведены результаты расчетов по изложенной схеме в сравнении с экспериментальными данными.

Некоторые результаты расчетов

Исходными данными для расчетов служили следующие параметры: масса заряда ВВ (Q) и плотность $(\rho_б)$, глубина заложения (h_0), удельный расход ВВ, показатель действия взрыва (n), высота навала $(h_н)$, начальная плотность (ρ_0) и показатель простреливаемости грунта $(K_п)$.

Для определения массы грунта (M_0), выброшенного взрывом на дневную поверхность, необходимо знать ω_2. Отметим, что значение ω_2 зависит от принятой модели грунта [9]. В данной работе, учитывая приближенность методики расчета, ω_2 определялся как корень уравнения с погрешностью ε

$$M_0' - M_S(\omega_2) = 0,$$

где M_0' - масса грунта с плотностью ρ_0, заключенного в пределах контура воронки по данной модели, $M_S(\omega_2)$ - сумма всех составляющих масс грунта $M_S = M_0 + M_{зу} - M_к$, $M_к = \frac{4}{3}\pi\rho_0 R_0^3$.

После определения ω_2 и M_0 вычисляется объем грунта в навале $V_н$ по формуле

$$V_н = \frac{M_0}{\eta_1 \rho_0}, \qquad \eta_1 = 1{,}2 \div 2.$$

По значениям x_1 и $h_н$ находим x_0 как корень уравнения

$$V_н - V_н^i(x_0) = 0,$$

где i - номер аппроксимирующей кривой.

По значениям $x_1, x_0, h_н$ и выражениям (13), (17), (21) строится профиль грунта в навале.

Для проверки предлагаемого метода были проведены расчет с использованием исходных данных работы [10] и последующее сопоставление с фактическим результатом взрыва, приведенным в той же работе (см. таблицу).

Исходные данные				Результат взрыва				
Q, кг	h_0, м	ρ_0, кг/м³	$K_п$, м³/кг	V, м³	$h_н$, м	x_0, м	x_1, м	x_m, м
120	2	1600	0,02	26	1,6÷1,4	5,5÷5,8	3,6	10÷12

В результате расчета получены следующие значения: масса выбрасываемого грунта - 61 т, масса грунта в зоне уплотнения - 0,6 т, объем истинной воронки - 38,2 м^3. Расчетные профили навала представлены на рис. 4. Неучтенная масса грунта составила

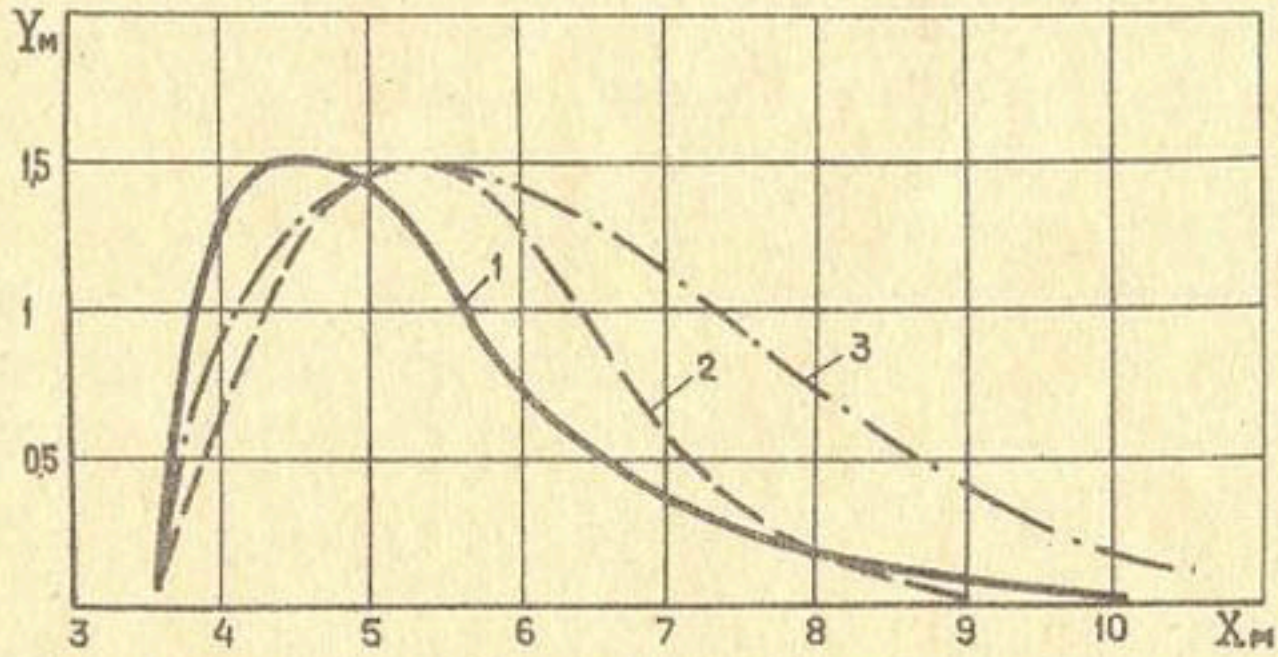


Рис.4. Расчетные профили навала: 1- по методу "потенциал Морзе"; 2- парабола - кривая Гаусса; 3- кривая с двумя произвольными параметрами

29%, что совпадает с выводами работы [4]. Таким образом, соответствие между фактическими и расчетными данными удовлетворительное, однако для окончательных выводов требуется проведение систематических исследований взрывов на выброс в разных грунтах.

Литература

1. *Knox I.B., Terhune R.W. Calculation of explosion-produced craters high explosive. — Journal of Geophysical Research. 1965, vol. 70, №10, p. 2777-2793.*

2. Коротков П.Ф., Гужов Н.А. Расчет взрыва на выброс в лучевом приближении. - ПМТФ, 1975, № 6, с.77-86.

3. Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Малков В.С. Расчет действия взрыва заряда на выброс в грунте. - "Изв. АН АрмССР. Механика", 1982, № 5, с.38-45.

4. Ромашов А.Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. М., "Недра", 1980.

5. Арутюнов О.А., Камалян Р.З. К расчету массы грунта, выбрасываемого при взрыве горизонтально удлиненного заряда. - Сб.науч. тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1981, с.135-141.

6. Черниговский А.А. Внешняя баллистика и дробление породы при взрыве на выброс и сброс. - В кн.: Взрывное дело, № 69/26. М., "Недра", 1970, с.66-78.

7. Черниговский А.А. О разлете грунта при взрыве на выброс. - "Горный журнал", 1975, № 4, с.42-48.

8. *Morse P.M. Phys. Rev. 1929, vol. 34, p.57.*

9. Кошелев Э.Л. О диссипации энергии при подземном взрыве. - ПМТФ, 1972, № 5, с.184-187.

10. Докучаев М.М., Родионов В.Н., Ромашов А.Н. Взрыв на выброс. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Р Е Ф Е Р А Т Ы

УДК 556.324+626.862:556.16

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ДРЕНАЖНЫХ УСТРОЙСТВ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ. Гольцов Ю.Я. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Предлагаемый метод позволяет получить на любой момент времени расчетного периода сведения о положении УГВ на орошаемом массиве, расходах дренажных устройств, а также прогнозировать объемы дренажного стока при данных интенсивности инфильтрационного питания и расположении дрен по профилю с учетом рельефа местности. Приведен пример расчета.

Таблиц 2, иллюстраций 2, библиографий 4.

УДК 556.324+626.862:556.16

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГРУНТОВЫХ ВОД И ДРЕНАЖНОГО СТОКА ПРИ ПРОМЫВНОМ РЕЖИМЕ ОРОШЕНИЯ. Гольцов Ю.Я. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр.ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Получено аналитическое решение установившейся фильтрации к горизонтальной дрене в однослойном однородном пласте. Построены ленты тока движения грунтовых вод. По осевым линиям лент тока рассматривается уравнение конвективной диффузии. Предложен метод количественной оценки динамики минерализации ГВ и дренажного стока. Приведен пример.

Иллюстраций 4, библиографий 6.

УДК 626.824(282.255.13)

ИРРИГАЦИОННЫЙ ВОЗВРАТНЫЙ СТОК, ЕГО КАЧЕСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В БАССЕЙНЕ АМУДАРЬИ. Трунова Т.А. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Освещен метод определения ирригационного возвратного стока и его качества.

Приводятся результаты расчета объемов формирующегося возвратного стока, прогноз его минерализации в бассейне Амударьи. Установлены наиболее общие закономерности изменения минерализации грунтовых вод во времени.

На базе расчета всех составляющих водохозяйственного баланса даны рекомендации по использованию возвратного стока с учетом природоохранных мероприятий.

Таблиц 7, библиографий 13.

УДК 556.164+556.535

О РЕЖИМЕ СТОКА И МИНЕРАЛИЗАЦИИ САЕВ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ТУРКЕСТАНСКОГО ХРЕБТА. Побережский Л.Н. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Приведены результаты натурных наблюдений за стоком и минерализацией весьми саев северного склона Туркестанского хребта. Установлены суммарные водные ресурсы саев (31,3 млн.$м^3$/год), а также факт сравнительно высокой внутригодовой зарегулированности стока. Отмечено высокое качество воды большинства саев. Это позволяет говорить о возможности подключения водных ресурсов саев к сельскохозяйственному производству.

Таблиц 4, иллюстраций 1.

УДК 631.61:631.445.5

О СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ОСВОЕНИИ И ОКУЛЬТУРИВАНИИ ПУСТЫННЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ. Решетов Г.Г. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

В статье излагаются результаты исследований по выявлению эффективных путей сельскохозяйственного использования новоосваиваемых песчаных почв. Предлагаемая система мероприятий позволяет рассчитывать на получение высоких урожаев основных и повторных сельскохозяйственных культур, а также обеспечивает надежную защиту почв от дефляции. В перспективе предусматривается превращение песчаных массивов в оазисы с плодороднейшими почвами, защищенными от дефляции полосами древесно-кустарниковых насаждений.

Таблиц 1, иллюстраций 2, библиографий 7.

УДК 631.61:631.445.5(575.18)

ОБ ОСВОЕНИИ ЗАСОЛЕННЫХ ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ ДЖИЗАКСКОЙ СТЕПИ. Сафонов В.Ф. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Работа посвящена изучению водно-солевого режима засоленных гипсоносных почв в начальный период их освоения. Наблюдения за солевым режимом во время промывки и водно-солевым при эксплуатации земель показали, что система освоения таких земель имеет свою специфику, в связи с чем предложена система первичного освоения засоленных гипсоносных почв.

Таблиц 2, иллюстраций 5, библиографий 5.

УДК 631.67:631.43

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ СЕРО-БУРО-СЕРОЗЕМНЫХ ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ. Бакиев А.К. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

В работе приводятся результаты исследований серо-буро-серозем ных гипсоносных почв, рассматривается изменение их свойств вследствие освоения и орошения. Показана мелиоративная и экономическая эффективность освоения серо-буро-сероземных почв.

Таблиц 2, иллюстраций 4, библиографий 3.

УДК 631.43(575.18)

УЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА И ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД ПРИ ОСВОЕНИИ П ОЧЕРЕДИ ДЖИЗАКСКОГО МАССИВА. Масленников В.В. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Показаны генетическое различие литолого-геоморфологических комплексов Джизакской степи и водно-физические свойства почв этих комплексов. Приводятся мелиоративная оценка земель и мероприятия по их улучшению в условиях ирригационного освоения.

Таблиц 2, иллюстраций I, библиографий 3.

УДК 626.8:556.3.001.362

ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИЗНАКОВ АНАЛОГИИ В МЕЛИОРАТИВНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ. Игнатиков Н.М. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, I984.

Мелиоративная гидрогеология рассматривается как комплексный элемент природно-техногенной системы. В общетеоретическом плане этот элемент, в свою очередь, содержит все признаки системы низшего порядка с более элементарными, но достаточно сложными связями. Принципы оптимизации признаков аналогии вытекают из закономерностей внутреннего развития этой системы, а закономерности выявляются в процессе естественно-исторического и экономического анализа, а также в результате специальных гидрогеологических и инженерно-геологических работ на опытных участках, водобалансовых станциях и объектах-аналогах.

Библиографий I9.

УДК 626.874:626.86

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ ПРОЦЕССОВ ИОННОГО ОБМЕНА В ПОЧВАХ ПРИ НЕПОЛНОМ НАСЫЩЕНИИ. Клыков В.Е., Шульгин Д.Ф. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, I984.

Рассматривается постановка задачи моделирования динамики ионообменной сорбции в пористых средах при неполном насыщении влагой порового пространства, характерном в условиях орошаемого земледелия. Задача позволяет найти поля концентраций при неполном насыщении с учетом взаимодействия почвенного раствора и ППК.

Задачи такого типа важны для прогнозирования водного режима, динамики ионов натрия и калия, образования вторичных солей в почве и осолонцевания земель при орошении минерализованными водами.

Иллюстраций 2, библиографий 7.

УДК 62I.39I:68I.322.0I

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ПО ЦЕПЯМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ. Беленький Н.М., Ким Д.В., Кривопишин В.А., Толстунов Ю.В. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, I984.

Рассматривается метод расчета рабочего затухания разветвленных грунтовых цепей телемеханики гидромелиоративных систем (ГМС), который учитывает явления многократных отражений, вызванных неоднородностью фидера. Рекомендуемая проектным организациям методика расчета качества передачи сигналов обеспечит экономичность и надежность сетей телемеханики ГМС.

Иллюстраций I.

УДК 626.824+626.83

ВОДОДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ КАНАЛОВ С НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ФАКТИЧЕСКУЮ ДИНАМИКУ ПОТОКА. Тюменев Р.М. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, I984.

Исследование работы существующих вододелителей на крупных каналах с насосными станциями позволило установить недостатки вододелительных сооружений и причины, вызывающие заиление, размыв и разрушение русла канала перед поворотом и за ним. Предложено новое решение вододелителя, конструкция которого основана на закономерностях фактической динамики водных потоков на поворотах русла, что существенно уменьшает вероятность заиления, размыва и разрушения каналов с насосными станциями.

Иллюстраций 6, библиографий 2.

УДК 626.823:93

ЗАЩИТА ОТ ЗАИЛЕНИЯ И РАЗМЫВА МНОГОПРОЛЕТНОГО ГИДРОСООРУЖЕНИЯ ИЗБИРАТЕЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЕГО ЗАТВОРАМИ. Тюменев Р.М., Рожнов В.А. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-тв "Средазгипроводхлопок", 1984.

Для управления затворами многопролетных гидросооружений предложено устройство, которое обеспечивает заданное соотношение величин водопропускных отверстий во всем диапазоне изменения эксплуатационных расходов при управлении от одного источника команд (авторегулятора, телеуправления или местного управления) и сохраняет это соотношение после выхода затворов из крайних положений. Применение рекомендуемого устройства позволяет создать равномерную эпюру скоростей потока у сооружения и тем самым исключить неравномерное отложение наносов или размыв в верхнем и нижнем бьефах сооружения. Это даст возможность улучшить эксплуатацию каналов, а также уменьшит затраты на их очистку и ремонт берегов.

Иллюстраций 2.

УДК 621.876:627.845

ПОЛЫЕ ВИНТЫ ПОДЪЕМНИКОВ ЗАТВОРОВ. Архангельский В.К., Попов В.С. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

На основании обширного теоретического и практического материала доказана необходимость и перспективность применения полых конструкций при изготовлении винтов подъемников плоских затворов гидротехнических сооружений.

Разработаны методика и порядок расчета полых стержней. Приведен пример расчета полого винта пятитонного подъемника с электроприводом типа 5ЭВ.

Иллюстраций 4, таблиц 3, библиографий 5.

УДК 621.646.2:626.824

ВЕНТИЛИ-ВОДОВЫПУСКИ ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ТРАНСПОРТИРУЮЩИЙ РУКАВ. Попов В.С., Архангельский В.К. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Приведены некоторые соображения по гашению избытка энергии потока в пределах гидранта за счет соударения струй и активного перемешивания потока. Изложены требования к назначению размеров и конструированию вентилей облегченного типа. Описана конструкция вентиля с коническим сопряжением и гасителем в виде однорядных и двурядных лопаток.

Иллюстраций 4, библиографий 2.

УДК 626.823.54:621.643

КОНСТРУКЦИИ ГИДРАНТОВ ВОДОВЫПУСКОВ ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ. Туманов А.А., Мирецкий С.Е. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

В статье приведены результаты испытаний серийного вентиля гидранта ВГ-71, на основании чего определена область его применения. Предлагается новая конструкция водовыпуска-гасителя избыточного напора, приводятся основные его параметры и данные испытаний экспериментального образца.

Иллюстраций 2.

УДК 622.235.5:626

СКВАЖИННЫЕ ЗАРЯДЫ ВЫБРОСА В ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ. Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Хамраев Н.Р. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

Приведены результаты взрывов на выброс скважинными зарядами диаметром 800 мм. Показана целесообразность использования СЗВ в гидромелиоративном строительстве.

Таблиц 2, иллюстраций 1, библиографий 5.

УДК 622.235.5

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПОДЗЕМНОГО ВЗРЫВА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. Дыскин В.Г., Камалян Р.З. - Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. "Тр. ин-та "Средазгипроводхлопок". Ташкент, 1984.

На основе современных представлений о механизме образования воронки выброса в мягких грунтах разработана инженерная схема расчета взрыва на выброс. Приведены результаты сравнения расчетов с экспериментальными данными. Соответствие удовлетворительное.

Иллюстраций 4, библиографий 10.

СОДЕРЖАНИЕ

Гольцов Ю.Я. Прогноз динамики работы дренажных устройств в период вегетации с учетом рельефа местности 3

Гольцов Ю.Я. Количественная оценка динамики минерализации грунтовых вод и дренажного стока при промывном режиме орошения 10

Трунова Т.А. Ирригационный возвратный сток, его качество и использование в бассейне Амударьи 17

Побережский Л.Н. О режиме стока и минерализации саев северного склона Туркестанского хребта 31

Решетов Г.Г. О сельскохозяйственном освоении и окультуривании пустынных песчаных почв 40

Сафонов В.Ф. Об освоении засоленных гипсоносных почв Джизакской степи 48

Бакиев А.К. Изменение свойств серо-буро-сероземных гипсоносных почв при орошении 62

Масленников В.В. Учет механического состава и водно-физических свойств почвообразующих пород при освоении II очереди Джизакского массива 69

Игнатиков Н.М. Принципы оптимизации признаков аналогии в мелиоративной гидрогеологии 79

Клыков В.Е., Шульгин Д.Ф. Моделирование на ЭВМ процессов ионного обмена в почвах при неполном насыщении 85

Беленький Н.М., Ким Д.В., Кривопишин В.А., Толстунов Ю.В. Метод оценки качества передачи сигналов по цепям телемеханики гидромелиоративных систем 90

Тюменев Р.М. Вододелитель для каналов с насосными станциями, учитывающий фактическую динамику потока 100

Тюменев Р.М., Рожнов В.А. Защита от заиления и размыва многопролетного гидросооружения избирательным управлением его затворами 114

Архангельский В.К., Попов В.С. Полые винты подъемников затворов 122

Попов В.С., Архангельский В.К. Вентили-водовыпуски из напорных трубопроводов в транспортирующий рукав 135

Туманов А.А., Мирецкий С.Е. Конструкции вентилей гидрантов водовыпусков из напорных трубопроводов 142

Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Хамраев Н.Р. Скважинные заряды выброса в гидромелиоративном строительстве 150

Дыскин В.Г., Камалян Р.З. Расчет механических эффектов подземного взрыва гидромелиоративного назначения 156

Рефераты 168