

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
СССР**

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

**СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

ВЫПУСК 152

**(Гидротехнические сооружения
на гидромелиоративных системах и новая техника
в эксплуатации оросительных систем)**

Ташкент—1977

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР

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

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 152

(Гидротехнические сооружения
на гидромелиоративных системах и новая техника
в эксплуатации оросительных систем)

Ташкент—1977

В сборнике даются рекомендации к проектированию и возведению перепадов-быстроотоков и вододелителей на мелкозернистых песках с высоким уровнем стояния грунтовых вод; приводятся расчеты пионерных прокопов при спрямлении излучин в условиях р. Амударьи, объемов Банкета для перекрытия песчаного русла; говорится о возможности употребления смешанной воды — минерализованной и из водохранилища; управления каскадом дождевальных струй. Приводится интегрированная модель АСУ водным хозяйством бассейна р.Сырдарьи.

Рассматриваются шарнирное сопряжение элементов гибких армированных покрытий оросительных каналов и получение фильтрующего пенопласта для ирригации.

Материалы сборника могут быть использованы работниками научно-исследовательских и проектных институтов, а также в практике гидромелиоративного строительства.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Кадилов А.А. (отв.ред.САННИИРИ), Аманов Х.А. (зам.ред.ТуркменНИИГим), Валентини Г.Г., Дерлятка Т.И., Жулаев А.Ж. (зам.ред. КазНИИВХ), Кеберле С.И., Лактаев Н.Т., Мухамедов А.М., Мухтаров М.П., Пулатов У.Ю., Пулатов А.Г., Старковский А.С., Усманов А.У., Якубов Х.И. (зам.ред.).



С.И. КЕБЕРЛЕ

канд. техн. наук, зав. лаб. эксплуатации
водохранилищ

С.М. ГОРЮНОВ

канд. техн. наук, ст. научный сотрудник
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ВОЗВЕДЕНИЮ
ПЕРЕПАДОВ-БЫСТРОТОКОВ И ВОДОДЕЛИТЕЛЕЙ НА
МЕЛИОЗЕРНИСТЫХ ПЕСКАХ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ
ГРУНТОВЫХ ВОД

Печальные случаи возведения гидротехнических сооружений на слабосвязных фильтрационно неустойчивых грунтах с высоким уровнем грунтовых вод возбуждают необходимость повторного напоминания о некоторых рекомендациях по их фильтрационному расчету и возведению.

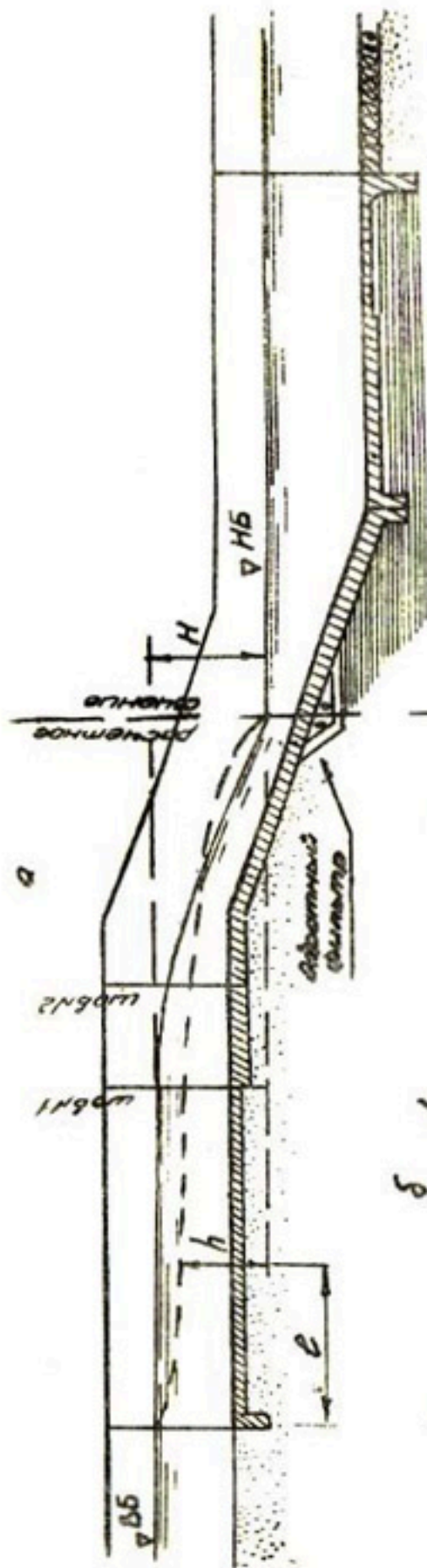
Прежде всего это относится к транзитным перепадам, быстротокам, вододелителям и другим сооружениям на ирригационной сети с $Q_{\max} > 10 \text{ м}^3/\text{сут}$ и $H = 3-10 \text{ м}$, расположенных на проницаемых основаниях, сложенных из барханного песка или супеси пластичностью ниже 2%, которые, по опытным данным САНИИРИ, выдерживают градиент до 0,1.

С целью повышения устойчивости сооружений рекомендуем проектировать и возводить их с соблюдением следующих условий:

1. Расчет на фильтрацию сооружений должен быть выполнен прежде всего с учетом пространственности протекания фильтрационного потока и местных условий.

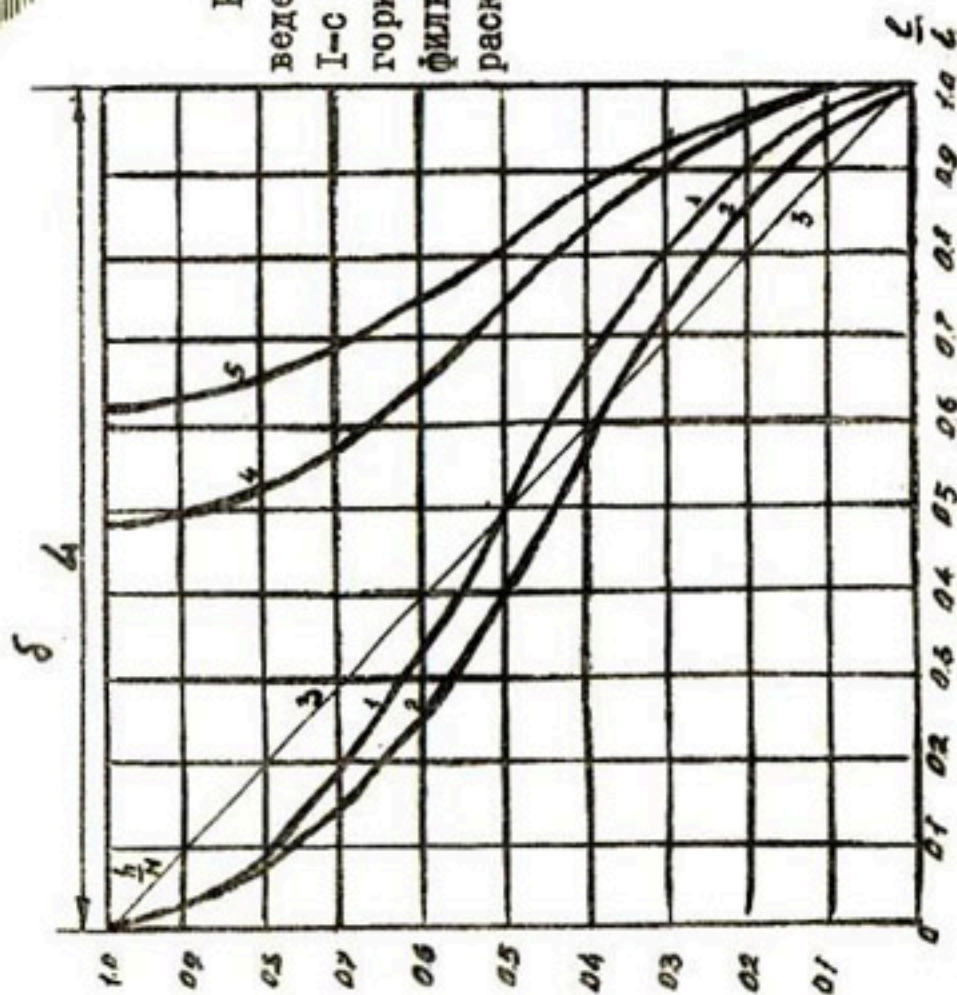
В САНИИРИ были проведены фильтрационные расчеты для одного перепада-быстротока (рис. 1, а) при различных расчетных случаях, зависимости которых представлены на рис. 1, б. Расчетные градиенты напора выходного фильтрационного потока в дренаж, соответственно, для каждого из случаев (рисунок) составляют: 1-0,54; 2-0,41; 3-0,13; 4-0,63; 5-0,74. Как видно, метод Бляя дает слишком заниженные результаты, и расчет его принимать нельзя.

Для определения прочности сооружения, устойчивости основания и проектирования фильтров дренажа необходимо ориентироваться на расчетную кривую депрессии, построенную с учетом про-



К расчету фильтрации в основании
перепадов-быстроходов.

Расчетная схема-а; расчетные зависимости при-
веденных напоров по приведенной длине $\frac{H}{\delta} = f\left(\frac{L}{\delta}\right) - \delta$; $\frac{H}{\delta}$
I-с учетом пространственности; 2- то же и бытового
горизонта; 3- по Бляу способом линейной контурной
фильтрации; 4- с учетом пространственности при
раскрытии шва № I; 5- то же при раскрытии шва № 2.



странственности по методу Н.А.Цветковой [1] с поправкой на растекание потока в плане по теоретическому расчету С.М.Горюнова [2];

2. В основании сооружения необходимо устраивать шпунт;

3. Предпочтение желательно отдавать коробчатой системе сооружения. При разрезной конструкции все швы между отдельными частями сооружения делаются водонепроницаемыми, гибкими, что достигается с помощью профильной трехкулачковой резины; стыки резины нужно вулканизировать переносным вулканизатором. Бетон понура должен быть плотного состава и очень хорошо проработан.

4. Не допускать укладку гравийной подготовки (втрамбованного гравия) под бетонные части сооружения;

5. Фильтр в вододелителе желательно устраивать за водобоем в траншее глубиной 80-100 см со съемной бетонной крышкой с отверстиями ($d = 3-5$ см). Состав песчаного фильтра подбирать лабораторным путем или для небольших сооружений — по расчету (А.Н.Патрышев и Г.Х.Праведный [3]) в виде многослойного песчаного фильтра или песчаной и гравийной смесей. Кроме того, в нижней части откосов слива (через 3-5 м) рекомендуется устраивать трубчатые фильтры $d = 150-250$ мм, $h = 60-100$ см с тем же фильтрующим составом;

6. Строительство сооружения — выемку котлована — вести с понижением грунтовых вод с помощью иглофильтров, не допуская остановки работы их насосов (чтобы не разуплотнить грунт основания).

Можно допустить водопонижение поверхностным водоотливом только при условии устройства водоотливных канав отдельно в верхнем и нижнем бьефах, вне зоны бетонных сооружений при обязательной непрерывности водоотлива;

7. Перед ручной зачисткой дна котлована — взять пробы грунта основания, определить их свойства и продолжить строительство после получения удовлетворительных результатов (одинаковый состав грунта и необходимая несущая способность — $\gamma \geq 1,5 \text{ т/м}^3$);

8. Не допускать укладку бетона на невыравненную поверхность основания;

9. Перед испытанием вододелителя следует смонтировать и

опробовать все затворы и устранить замеченные дефекты;

10. Перед испытанием сооружения проинвентаризовать высотные марки, установленные на бычках, стенках, дне рисбермы и попура;

11. Замочить сооружение под защитой перемычек в течение $t = \frac{Z}{K} + 2$ дней при полном наполнении, допуская подъем и снижение уровня воды, соответственно, не более, чем на 100 к 50 см в сутки и проинвентаризовать те же высотные марки. Здесь Z — длина подземного контура сооружения до фильтра, м;

K — коэффициент фильтрации, м/сут.

При равномерной осадке сооружения (на несколько сантиметров) можно производить испытание;

12. Вододелитель нужно испытывать при опущенных затворах и разобранной низовой перемычке, медленно наполняя канал (не более 100 см/сут) между верховой перемычкой и затворами, с подъемом уровня воды на высоту, равную сначала трем метрам. Этот горизонт выдерживается в течение времени, необходимого для прохода грунтового потока до фильтров (по расчетному коэффициенту фильтрации). Горизонт воды в пьезометрах, расположенных в низовой части отдельных бычков, постоянно проверяется. Превышение уровня над расчетным будет показывать повышенную проницаемость фильтрационного потока и, следовательно, надо будет медленно, с допустимой скоростью, снизить уровень воды перед затворами до нуля (соответственно поднимая затвор) и принять меры к устранению повышенной проницаемости фильтрационного потока.

При нормальном уровне воды в пьезометрах аналогичным образом поднимают воду на очередные три метра.

Л и т е р а т у р а

1. Цветкова Н.А. Технические указания для фильтрационного расчета сооружений на оросительной сети (проект). "Вопросы гидротехники", вып. II, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
2. Горюнов С.М., Галайкевич С.В. Влияние бытового горизонта грунтовых вод на безнапорный

режим потока в зоне сопрягаемых сооружений. Труды САНИИРИ, вып. II7, Ташкент, 1968.

3. И н с т р у к ц и я по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений, ВСН-02-65, ГИКЭиЭ СССР, изд-во "Энергия", М.-Л., 1965.

Х.А. ИРМУХАМЕТОВ

канд. техн. наук

Г.И. ЧЕРНИКОВА

мл. научный сотрудник

(САНИИРИ им. В.Д. Лурина)

РАСЧЕТ ПИОНЕРНЫХ ПРОКОПОВ ПРИ СПРЯМЛЕНИИ ИЗЛУЧИИ В УСЛОВИЯХ р. АМУДАРЬИ

Одним из основных способов борьбы с дейгишем в среднем и нижнем течении Амударьи является регулирование жидкого стока путем спрямления излучий. Этот способ имеет преимущество перед другими в наиболее опасных ситуациях, когда все другие методы не могут дать быстрый эффект.

За период с 1962 по 1976 год на Амударье построено около 20 спрямлений. Наряду с успешно осуществленными имеются случаи, когда спрямляющий прокол не развился.

Теоретические исследования отвода русла и опыт осуществления спрямлений [2, 4] позволяют сформулировать основные требования, которым должно удовлетворять русло пионерного прокола спрямления.

1. Равенство удельной энергии в сечении на подходном участке реки и на входе в прокол

$$H_0 + \frac{V_p^2}{2g} = h_{сп} + \frac{V_{сп}^2}{2g} \quad (1)$$

Пенебрегая разностью $\frac{V_p^2}{2g} - \frac{V_{сп}^2}{2g}$ и потерями энергии между этими двумя сечениями, получаем $H_p \approx h_{сп}$.

2. Равенство транспортирующей способности потока в реке и проколе

$$\rho_p = \rho_{сп}, \quad (2)$$

Здесь $\rho = (\rho_{b3\%} + \rho_{90\%})$ - общая мутность русловых фракций наносов.

Согласно /5/ выражение для глубины потока можно записать

$$H = A^{0,5} \left(\frac{H}{B} \right)^{0,5} \left(\frac{\sqrt{u}}{g_i} \right)^{0,25} Q^{0,375},$$

где A - коэффициент, который в зависимости от режима потока (размыв, заиление, состояние динамического равновесия) в условиях Амударьи может принимать значение $A = 0,5 \div 1,5$;

$\frac{B}{H}$ - параметр формы русла; i - уклон;

$\frac{u}{g_i}$ - гидравлическая крупность русловых фракций наносов;

Q - расход.

Существующие формулы для мутности русловых фракций наносов /1/ выражают связь мутности со скоростью, глубиной и гидравлической крупностью. На рис. I приведен график зависимости между безразмерными комплексами, содержащими эти параметры

$$\left(\frac{u}{g_i} \right)^3 \sim K \frac{h g_i}{u^2} \rho, \quad (3)$$

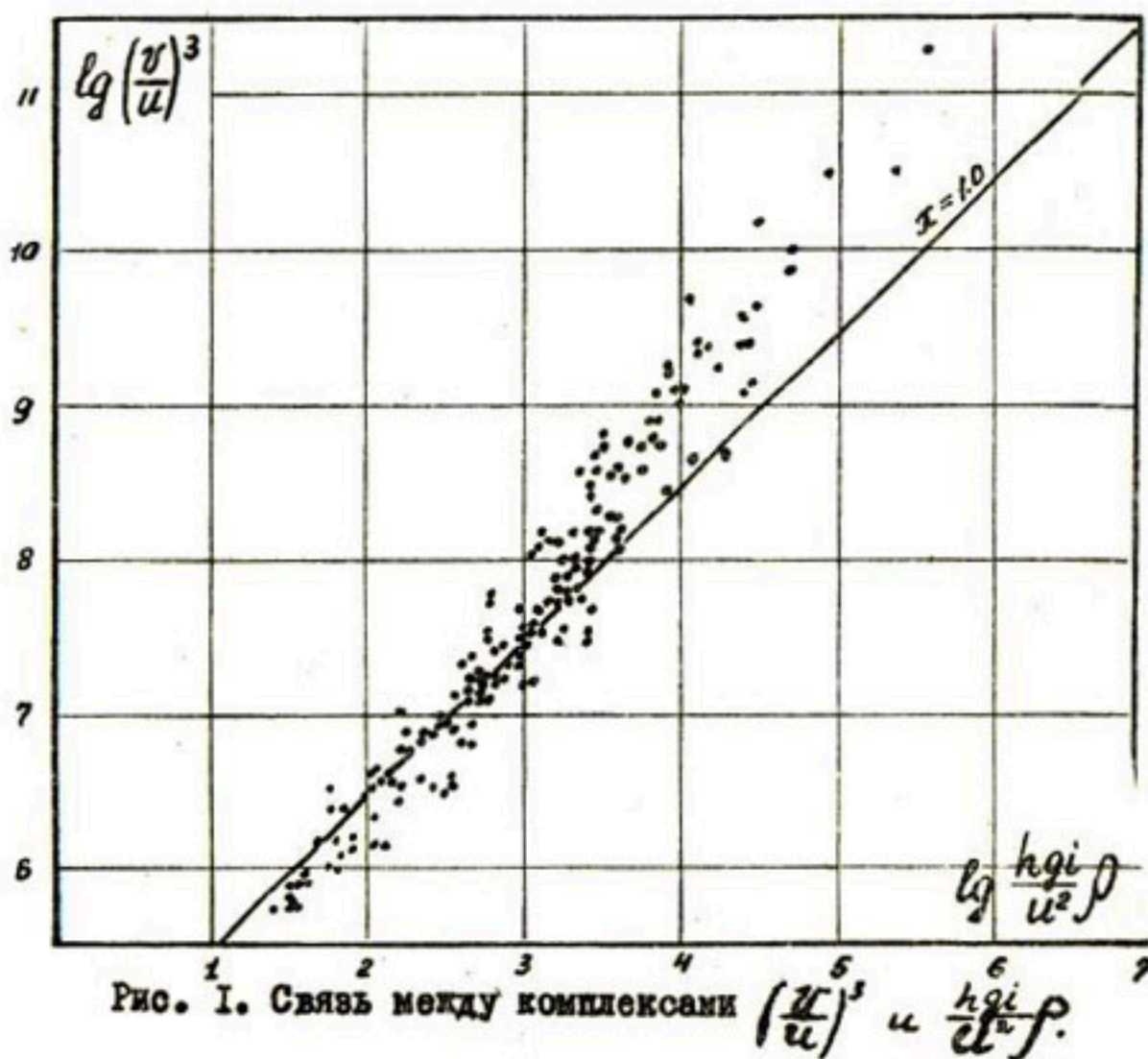


Рис. I. Связь между комплексами $\left(\frac{u}{g_i} \right)^3$ и $\frac{h g_i}{u^2} \rho$.

ρ — принята безразмерной величиной.

При построении графика использованы данные натурных наблюдений на Амударье в районе Кызылак (1965–1969 гг.) и Тяньмун (1964–1965 гг.). Используя полученное соотношение /5/ между безразмерными комплексами $\frac{\omega(g_i)^2}{u^4} = A \left[\frac{Q(g_i)^2}{u^5} \right]^{0,75}$, для каждого замера мутности взвешенных наносов было вычислено значение коэффициента A , с помощью которого более дифференцированно определено приближенное значение общей мутности русловых наносов:

$$\text{для размывающего режима} - \rho = \frac{\rho_{зв}}{A}, \quad (4)$$

$$\text{для заиляющего} - \rho = \rho_{зв} \cdot A. \quad (5)$$

Общая мутность, определенная по зависимостям (4) и (5), дает удовлетворительные результаты лишь в пределах небольших расходов твердого и жидкого стока. Точки, обозначающие большие расходы, указывают на отклонения, возникающие за счет того, что значительное количество транспортируемых наносов в придонной области не учитывается (рис. 1).

Отсюда следует, что

$$\rho = 10^{-4,5} \frac{F_z}{J} \cdot \frac{v}{u}.$$

Заменяя безразмерные комплексы в (3) соответствующими значениями в функции $\left[\frac{Q(g_i)^2}{u^5}, \frac{H}{B}, A \right]$ согласно /5/, получаем:

$$\rho = 10^{-4,5} \frac{1}{A^{3,5}} \left(\frac{B}{H} \right)^{0,5} \left[\frac{Q(g_i)^2}{u^5} \right]^{0,375}.$$

На графике этой зависимости (рис. 2) точки разделяются по значению коэффициента режима потока A вдоль линий с показателем степени $\chi = 0,375$. Видно, что различные по величине потоки могут иметь одинаковую транспортирующую способность. Значение коэффициента режима потока A уменьшается соответственно уменьшению значения $\left[\left(\frac{B}{H} \right)^{1/3} \frac{Q(g_i)^2}{u^5} \right]$.

Задача расчета состоит в определении расхода и ширины пионерного прокопа спрямления при заданном его уклоне и при условии $H_p = h_{спр.}$, $\rho_p = \rho_{спр.}$

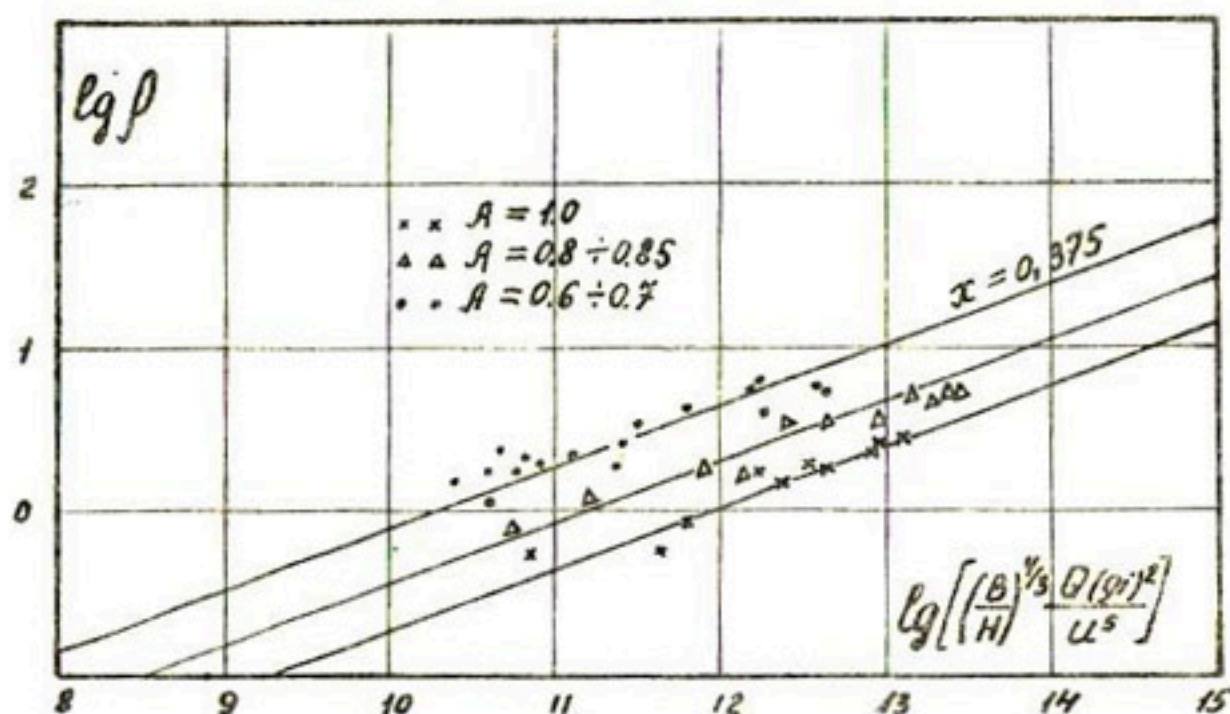


Рис. 2. Связь мутности русловых наносов с безразмерным комплексом $\left[\left(\frac{B}{H} \right)^{1/3} \frac{Q(g_i)^2}{U^5} \right]$

Решая систему уравнений

$$A_p^{0.5} \left(\frac{H}{B} \right)_p^{0.5} \left(\frac{V\bar{u}}{g_i} \right)_p^{0.25} Q_p^{0.375} = A_{спр}^{0.5} \left(\frac{H}{B} \right)_{спр}^{0.5} \left(\frac{V\bar{u}}{g_i} \right)_{спр}^{0.25} Q_{спр}^{0.375}$$

$$\frac{1}{A_p^{1.5}} \left(\frac{B}{H} \right)_p^{0.5} \left[\frac{Q(g_i)^2}{U^5} \right]_p^{0.375} = \frac{1}{A_{спр}^{1.5}} \left(\frac{B}{H} \right)_{спр}^{0.5} \left[\frac{Q(g_i)^2}{U^5} \right]_{спр}^{0.375}$$

относительно $Q_{спр}$ и $B_{спр}$ при условии $U_p = U_{спр}$, получаем

$$Q_{спр} = Q_p \left(\frac{A_{спр}}{A_p} \right)^4 \left(\frac{g_p}{g_{спр}} \right)^{2/3},$$

$$B_{спр} = B_p \frac{A_{спр}}{A_p} \left(\frac{g_p}{g_{спр}} \right)^{0.5} \left(\frac{Q_{спр}}{Q_p} \right)^{0.75}.$$

Границы изменения A_p оказываются сравнительно широкими — 0,5 ÷ 1,5. При открытии пионерного прокола спрямления на подъеме паводка значение A_p рекомендуется принимать 0,7 ÷ 0,8. Значение $A_{спр}$ согласно графику (рис. 2) всегда меньше A_p . По данным натурных исследований, на спрямлениях в усло-

виях Амударьи /5/, для первоначального прокопа рекомендуется принимать $A_{\text{спр}} = 0,63 \div 0,64$. По мере разработки спрямления $A_{\text{спр}}$ увеличивается, приближаясь к значению A_p . Значение B_p определяется по плановым материалам в районе спрямления излучины.

Другие гидравлические элементы прокопа, полученные из условия $\rho_p = \rho_{\text{спр}}$, определяются по следующим зависимостям:

$$V_{\text{спр}} = V_p \sqrt[3]{\frac{J_{\text{спр}}}{J_p}},$$

$$q_{\text{спр}} = q_p \sqrt[3]{\frac{J_{\text{спр}}}{J_p}}.$$

По данным И.Ф.Карасева /3/, относительное увеличение скорости в руслорегулировочных прорезях должно быть не более $\Delta_v = 1,05 \div 1,1$. Этого достаточно, чтобы наносы, поступающие из реки, транспортировались в прорези без осаждения. Для Амударьи, имеющей небольшой коэффициент извилистости, эта величина находится в тех же пределах.

Сопоставление расчетных значений расхода и гидравлических элементов с фактическими на примере спрямления в районе канала Тамсека приведено в таблице.

Удовлетворительная сходимость результатов расчета с данными натурными наблюдений позволяет рекомендовать полученные зависимости к практическому использованию.

Необходимо отметить, что при этом спрямлении излучины на входе и в прокопе постоянно проводились дноуглубительные работы, что не могло не влиять на его пропускную способность.

В ы в о д ы

I. Расчетные зависимости для определения ширины и расхода пикетного прокопа получены на основе применения уравнения энергии и из условия равенства транспортирующей способности в реке и в прокопе. Очевидно, что полученные зависимости дают значения Q, B, V, q , свойственные бытовому руслу Амударьи.

Таблица

Сопоставление фактических и расчетных значений расхода и гидравлических элементов
спрямления в районе канала Ташсака, 1970 г.

Гидравлический элемент	Прорезь (до слияния с протокой Пахтаарна)						Подходной участок					
	I	II	III	IV	У	УI	I	II	III	IV	У	УI
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	200	350	350	540	850	700	565	1230	1750	2100	2840	1890
$B, \text{ м}$	107	154	184	248	316	317	340	750	1060	1200	1050	995
$H, \text{ м}$	1,58	1,7	2,03	1,73	1,9	2,0	1,6	1,6	1,86	2,2	2,0	1,9
$v, \text{ м/с}$	1,27	1,35	1,0	1,32	1,55	1,13	1,12	1,07	1,03	1,26	1,45	1,3
$g, \%$	0,21	0,22	0,29	0,36	0,20	0,37	0,16	0,12	0,17	0,18	0,20	0,22
A	0,63	0,66	0,69	0,70	0,70	0,88	0,77	0,86	0,96	0,84	0,93	1,06

12

$$h_{\text{ср}} = H_p$$

$$Q_{\text{ср}}$$

$$B_{\text{ср}}$$

$$v_{\text{ср}}$$

$$1,9$$

$$630$$

$$358$$

$$1,03$$

$$2,2$$

$$630$$

$$176$$

$$1,39$$

$$1,86$$

$$330$$

$$175$$

$$1,08$$

$$1,6$$

$$290$$

$$165$$

$$1,32$$

$$1,6$$

$$220$$

$$101$$

$$1,24$$

$$2,0$$

$$910$$

$$324$$

$$1,31$$

2. В условиях Амударьи в пионерном прокопе достаточно увеличить скорости в $1,05-1,1$ раза по сравнению с рекой, чтобы по нему транспортировались без осаждения все наносы, поступающие из реки.

3. Размещать голову отвода необходимо в месте сосредоточенного протекания потока, что обеспечит больший процент забора воды в спрямление и меньшую ширину пионерного прокопа.

4. Достоверность гидравлического расчета спрямления зависит от точности определения или прогноза расхода и гидравлических элементов на подходе к участку реки.

5. На Амударье спрямление излучины в целях борьбы с деградацией является эффективным, но временным мероприятием, так как через 5-6 лет после пуска русло спрямления приобретает все признаки блуждающей реки.

Л и т е р а т у р а

1. А б а л ь я н ц С.Х. Движение взвесей в открытых потоках. Труды САННИРИ, вып. 96, Ташкент, 1958.
2. И б а д -Заде Ю.А. Гидравлика спрямления излучин рек. Изд. Азербайджанской Академии сельхознаук, Баку, 1961.
3. К а р а с е в И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л., Гидрометеоиздат, 1975.
4. М у х а м е д о в А.М., У р к и н б а е в Р. Результаты исследований по спрямлению излучин в условиях р. Амударьи. Сб. докладов Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам, Ташкент, 1974.
5. Ч е р н и к о в а Г.И. К вопросу о морфометрических закономерностях Амударьи. Сборник научных трудов, вып. 146, ч. I, САННИРИ, Ташкент, 1975.

М.Р. КАРАПЕТЯН
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

РАСЧЕТ ОБЪЕМА БАНКЕТА ДЛЯ ПЕРЕКРЫТИЯ ПЕСЧАНОГО РУСЛА

Существующие зависимости для определения объема материала, необходимого при устройстве banquetов /1, 2, 3/, рекомендованы для перекрытия неразмываемых русел рек.

При перекрытии размываемых русел рек материалом невеликой крупности, так называемым banquetом компактного профиля, объем материала по сравнению с объемом, необходимым для перекрытия неразмываемых русел, увеличивается на величину призмы размыва.

Перекрытие реки осуществляется двумя этапами:

1) стеснение русла до расчетной ширины прорана, которая принимается в соответствии с ТУиН [4];

2) перекрытие самого прорана. Как правило, на первом этапе русловые деформации опережают темпы производства работ [5]. При этих условиях в русле установится глубина потока H_H , определяемая по формуле [6],

$$H_H = 0,165 \frac{I}{K\sqrt[3]{d}} \left(\frac{q_s}{\delta} \right)^{0,89} \quad (1)$$

В расчетах перекрытия рек расход в реке принимается постоянным, т.е. в формуле (1) $q_s = \text{const}$, переменными являются δ — степень стеснения русла, равная отношению ширины прорана b к ширине реки B , а также глубина H_H , величина которой изменяется в зависимости от δ , т.е. $H_H = f\left(\frac{b}{B}\right)$. Таким образом, уравнение (1) представляет собой не что иное, как уравнение линии размыва в створе стеснения. Следует отметить, что рассматривается только створ прорана и глубина H_H считается постоянной по всей ширине banquetа (по течению).

Приняв $H_H = y$, а ширину прорана b , изменяющуюся от $b = B$ (начало стеснения) до $b \rightarrow 0$ (смыкание banquetов друг с другом при симметричном стеснении или смыкание banquetа с противоположным берегом реки при несимметричном стеснении), вы-

разив черех x , получим из (I) уравнение линии размыва

$$y = 0,165 \frac{I}{k \sqrt[3]{d}} \left(\frac{q_s B}{x} \right)^{0,89}, \quad (2)$$

где k — коэффициент размывающей способности стесненного потока /7/;

d — средний диаметр песка, слагающего русло.

Имея уравнение линии размыва, можно определить площадь, заключенную между верхом банкета и линией размыва:

$$S = \int_b^B 0,165 \frac{I}{k \sqrt[3]{d}} \left(\frac{q_s B}{x} \right)^{0,89} dx. \quad (3)$$

После интегрирования (3) получим

$$S = 0,75 \frac{Q^{0,89}}{k \sqrt[3]{d}} (B^{0,11} - b^{0,11}), \text{ м}^2 \quad (4)$$

Для определения объема материала разделим банкет на ряд призм (рисунок): основную — объемом W_I ; боковую — W_{II} и торцовую — W_{III} .

$$W = W_I + W_{II} + W_{III} + W_{IV},$$

где W_{IV} — объем, учитывающий превышение отметки гребня банкета над уровнем воды в проране.

Объем призмы W_I при известной ширине банкета по верху $\bar{B}$, принимаемой из условия производства работ, определится следующим образом:

$$W_I = S \bar{B} = 0,75 \frac{\bar{B} Q^{0,89}}{k \sqrt[3]{d}} (B^{0,11} - b^{0,11}), \text{ м}^3 \quad (5)$$

Это объем без учета боковых и торцовой призм.

При отсыпке грунта в воду последний ложится под углом естественного откоса, котангенс угла которого равен m . Определим объем, идущий на образование этих призм.

Из рисунка видно, что каждая боковая призма W_{II} состоит из:

I) прямоугольной призмы с площадью основания $(mh_s \times \frac{1}{2} h_s)$ (h_s — глубина воды в бытовом русле) и высотой $\frac{B-b}{2}$, объем которой равен:

$$W_{\text{кр.п}} = \frac{mh_s^2 (B - \epsilon)}{4} ; \text{ м}^3 \quad (6)$$

2) криволинейной пирамиды, объем которой с учетом уравнения (2) равен:

$$W_{\text{кр.п}} = 0,75 \frac{1}{K\sqrt[3]{d}} Q^{0,89} (B^{0,11} - \epsilon^{0,11}) mh_s + \frac{m(H_n - h_s)(B - \epsilon)}{4} . \quad (7)$$

Объем обеих боковых призм W_{II} (рисунок) после суммирования (6) и (7) будет равен:

$$W_{\text{II}} = 2 \left[0,75 \frac{Q^{0,89}}{K\sqrt[3]{d}} (B^{0,11} - \epsilon^{0,11}) mh_s + \frac{m(H_n - h_s)(B - \epsilon)}{4} + \frac{mh_s^2 (B - \epsilon)}{4} \right], \text{ м}^3. \quad (8)$$

Объем торцевой призмы W_{III} представляет собой сумму двух пирамид с высотой H_n и треугольной призмы (рисунок), т.е.

$$W_{\text{III}} = \frac{m^2 H_n^2}{6} (2 H_n + 3 \bar{B}), \text{ м}^3. \quad (9)$$

Объем, учитывающий превышение отметки гребня банкета над уровнем воды в проране, составит:

$$W_{\text{IV}} = \frac{\Delta h (B - \epsilon) \bar{B}}{2}, \text{ м}^3. \quad (10)$$

Просуммировав объемы (5), (8), (9), (10) и выполнив некоторые преобразования, найдем полный объем материала, необходимый для устройства банкета при симметричном стеснении русла до ширины прорана, равной расчетной ширине δ (на каждый банкет):

$$W = 0,75 \frac{Q^{0,89}}{K\sqrt[3]{d}} (B^{0,11} - \epsilon^{0,11}) (\bar{B} + 2mh_s) + \frac{m}{2} (B - \epsilon) [(H_n - h_s)^2 + h_s^2] + \frac{m^2 H_n^2}{6} (2 H_n + 3 \bar{B}) + \frac{\Delta h}{2} \bar{B} (B - \epsilon), \text{ при } 0 < \epsilon \leq B. \quad (11)$$

При одностороннем стеснении объем (11) удваивается.

В расчетах на стадии проектного задания последними двумя слагаемыми можно пренебречь, введя дополнительный коэффициент 1,2. Тогда уравнение (11) примет вид

$$W = 0,9 \frac{Q^{0,89}}{K\sqrt[3]{d}} (B^{0,11} - \epsilon^{0,11}) (\bar{B} + 2mh_s) + 0,6 m (B - \epsilon) \times [(H_n - h_s)^2 + h_s^2], \text{ м}^3. \quad (12)$$

После предварительного стеснения русла раскрывают перемычки, ограждающие котлован сооружений, часть расхода воды при этом из реки идет в отводящее русло через готовое сооружение. Расход, проходящий через проран, падает. Кроме того, интенсивность работ по перекрытию прорана увеличивается, поэтому можно предположить, что дальнейшего размыва русла в створе прорана не будет и глубину в проране можно принять равной глубине, определяемой по формуле (I) при степени стеснения, соответствующей расчетной ширине прорана. Тогда объем материала для перекрытия самого прорана банкетом компактного профиля с учетом, что в сечении имеем трапецию с верхним основанием B и нижним $(B + 2m H_n)$ будет равен:

$$W_{np} = H_n l (\bar{B} + 2m H_n). \quad (13)$$

При перекрытии прорана практически всегда наблюдается вынос материала из створа прорана и образование шлейфа. Зависимость (13) это не учитывает. Объем материала, идущий на образование шлейфа, можно определить по зависимостям, изложенным в /8/.

Л и т е р а т у р а

1. В о й н о в и ч А.П. К вопросу о методике расчета перекрытия рек пионерным способом. Сб. докладов по гидротехнике, вып. 2, Госэнергоиздат, М.-Л., 1961.
2. И з б а ш С.В., Х а л д р е Х.Ю. Гидравлика перекрытия русл рек. Госэнергоиздат. М.-Л., 1959.
3. П а е в с к и й А.С. Новый метод расчета каменных банкетов для перекрытия русл рек. Труды ин-та "Оргэнергострой" № 2, Куйбышев, 1959.
4. Т е х н и ч е с к и е условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений, ТУ-25-52. Перемычки сооружений. Госэнергоиздат, М., 1972.
5. К а р а п е т я н М.Р. Опыт перекрытия легкоразмываемых русл рек. Сб. научных трудов САННИРИ, вып. 137, Ташкент, 1973.

6. К а р а п е т я н М.Р. Гидравлические элементы стесненного размываемого русла. Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 147, Ташкент, 1975.
7. К а р а п е т я н М.Р. Коэффициент размывающей способности стесненного потока. Сборник научных трудов САНИИРИ, вып. 147, Ташкент, 1975.
8. Ч е к у н а е в И.М. О перекрытии русла отсыпкой камня пионерным способом. Бюллетень научно-технической информации Гидропроекта № 7, М., 1959.

С.А. ПЕЧАТКИН
рук. группы
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Для обеспечения запланированного производства дополнительной сельскохозяйственной продукции в ближайшие 10-15 лет, по данным ММВХ УзССР, в Узбекистане необходимо осуществить переустройство 1,6-1,7 млн.га орошаемых земель, т.е. более чем на 60% площади современного прошения.

Практика выполненных в 8-й и 9-й пятилетках мелиоративных работ показала, что наивысший народнохозяйственный эффект достигается при проведении комплексных мелиоративных мероприятий, в том числе и переустройства, в результате которых одновременно совершенствуется магистральная (государственная) и внутрихозяйственная (колхозная и совхозная) ирригационные сети /1/.

Однако осуществление комплексного переустройства сопряжено со значительными организационными и финансовыми трудностями. Государственная часть систем переустраивается за счет средств бюджета, а внутрихозяйственная сеть должна была бы реконструироваться или силами самих хозяйств-водо-

пользователей, или специализированными строительными организациями за счет средств хозяйств. Но колхозы и совхозы, в чьем ведении находится внутрихозяйственная часть гидромелиоративных систем и орошаемые земли, не всегда в состоянии выделить средства, необходимые для переустройства всей сети и всех земель, во-первых, из-за ограниченности собственных средств, во-вторых, из-за недостаточного их стимулирования.

Практически единственным средством стимулирования хозяйств в настоящее время является предоставление им долгосрочных кредитов. Но опыт 9-й пятилетки показал, что из 219,6 млн.руб. долгосрочного кредитования колхозов за период 1971-1975 гг. только 10,8 млн.руб. или 3,6% было затрачено на водохозяйственное строительство, а большая часть кредитов была израсходована на строительство тех объектов и приобретение тех средств производства, которые не оплачиваются средствами из бюджета.

Очевидно, настало время провести ряд организационно-технических мероприятий для усовершенствования системы планирования и финансирования работ по переустройству, а также разработать методику экономических расчетов специально для обоснования комплексного переустройства, так как объемы работ и, соответственно, затраты резко увеличиваются.

При планировании и проектировании работ по переустройству гидромелиоративных систем и орошаемых земель следует придерживаться следующих принципов.

1. Для получения максимального народнохозяйственного эффекта при планировании работ в целом по комплексу переустройства или при проектировании отдельных водохозяйственных объектов из этого комплекса необходимые экономические расчеты производить с учетом осуществления полного объема мелиоративных работ;

2. Для обеспечения осуществления комплексности работ по переустройству практиковать совмещенную систему финансирования за счет бюджетных и хозяйственных средств;

3. С целью большего привлечения хозяйственных средств на финансирование комплексного переустройства разработать и внедрить систему экономически обоснованных методов сти-

мулирования хозяйств-водопользователей.

Ниже приводится рекомендуемая нами методика определения долевого участия хозяйств в финансировании работ по комплексному переустройству и некоторые методы их экономического стимулирования.

Хозяйства, как предприятия хозрасчетные, могут быть экономически не заинтересованы в финансировании за свой счет всего комплекса мероприятий по переустройству, если эффект от них не обеспечивает им достаточный уровень рентабельности. Следовательно, во-первых, величина хозяйственных затрат должна быть таковой, чтобы внутрихозяйственный эффект от переустройства мог обеспечить хозяйствам этот уровень рентабельности.

Во-вторых, та часть хозяйственных затрат, которая ведет к снижению рентабельности, достигнутой хозяйствами на момент осуществления переустройства, должна компенсироваться за счет бюджетных средств. При этом величину хозяйственных средств следует определять не по административной или хозяйственной принадлежности переустраиваемых объектов, а по величине внутрихозяйственного эффекта, ожидаемого от комплексного переустройства.

В-третьих, при отсутствии у хозяйств-водопотребителей достаточных средств им представляются целевые долгосрочные кредиты.

В-четвертых, из комплекса работ по переустройству в первую очередь необходимо осуществлять те, которые дают наибольший эффект в виде дополнительного чистого дохода хозяйств-водопотребителей.

При этом должна быть усовершенствована методика экономических расчетов, так как в процессе их необходимо не только определить хозяйственную и народнохозяйственную эффективность комплексного переустройства или отдельных элементов комплекса, но и обосновать величину хозяйственных и бюджетных затрат, определить средства и методы стимулирования хозяйств, выявить экономически целесообразную очередность осуществления работ и их взаимосвязь по объемам, срокам начала и завершения и т.д. Методика таких расчетов нами

разработана и показана на примере экономического обоснования наиболее распространенного комплекса работ по переустройству массива орошаемых земель на территории нескольких колхозов.

Комплекс состоит из работ по реконструкции магистральной и внутрихозяйственной оросительной и коллекторно-дренажной сетей, планировке и укрупнению поливных участков, орошению и сельскохозяйственному освоению внутрихозяйственных залежей и перелогов в условиях общей ограниченности водных ресурсов. После переустройства ожидается снижение оросительных норм брутто и общего водопотребления, увеличение площади и улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель, повышение КИВ и водообеспеченности гидромелиоративной системы. Экономически это выразится в увеличении объемов производства и снижении себестоимости сельскохозяйственной продукции, увеличении чистого дохода хозяйств-водопользователей и народнохозяйственного дохода.

Численные значения показателей, характеризующие продуктивность орошаемых земель, оросительные нормы, рентабельность и фондонасыщенность, взяты усредненные по колхозам Бухарской области УзССР за 1973–1975 гг., как наиболее типичные для современного уровня развития сельскохозяйственного производства хлопководческого направления в зоне регулярного орошения Средней Азии. Удельные капиталовложения на переустройство и освоение приняты по разработкам САНИИРИ и Средазгипроводхлопка /2/.

Система технико-экономических показателей, используемых при расчете, представлена в таблице.

МЕТОДИКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Эффективность смешанных капиталовложений, планируемых на переустройство, согласно отраслевой инструкции /3/ определяется выражением

$$\varepsilon_{\text{кпчд}} = \frac{\Delta \bar{\text{ЧД}}}{K_c} \quad (1)$$

Таблица

Технико-экономические показатели обоснования эффективности комплексного переустройства орошаемых земель

Наименование показателей	Обозначение	Един. изм.	Показатель
Технические показатели			
Площадь земель в границах хозяйств (брутто)	$F_{бр.}$	тыс.га	15,0
Площадь орошаемых земель (нетто)	F	"	10,0
Площадь земель, намечаемых к освоению	ΔF	"	4,7
Оросительная норма до переустройства	$Q'_{бр.}$	тыс.м ³ /га	14,0
Тоже, после переустройства	$Q'_{бр.}$	"	8,5
Водозабор на орошение до переустройства	W'	или м ³ /год	140,0
Тоже, после переустройства	W''	"	125,0
Экономические показатели			
Капиталовложения на реконструкцию внутрихозяйственной сети и планировку земель старого орошения	$K_{в.х.}$	руб/га	2500
Капиталовложения на реконструкцию междолевой сети	$K_{м.х.}$	"	1000
Капиталовложения на хозяйственное освоение новых земель (без жилищного и культурно-бытового строительства)	$K_{осв.}$	"	2000
Капиталовложения на строительство междолевой сети на новых землях	$K_{м.х.}$	"	1000
Капиталовложения на строительство внутрихозяйственной сети на новых землях	$K_{в.х.}$	"	1500
Удельный чистый доход хлопкового комплекса до переустройства	$\overline{ЧД}'$	руб/га	530
Тоже, после переустройства	$\overline{ЧД}''$	"	780
Прирост чистого дохода после переустройства	$\Delta \overline{ЧД}$	"	250
Прирост валового продукта (хлопка-сырца)	$\Delta Y_{хл.}$	тыс.т	2,44
Рентабельность использования основных фондов	$\Phi_{ф.}$	руб/руб	0,24
Размер налога с оборота, относимого к эффекту производства хлопчатника	H_0	руб/т	410

Для нашего случая выражение (I) можно представить в развернутом виде:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{кпчд}} &= \frac{\Delta \bar{C}D \cdot F + \bar{C}D'' \cdot \Delta F + H_0 \cdot \Delta Y_{\text{хл}}}{\Gamma(\bar{K}_{\text{в.х.}} + K_{\text{м.х.}}) + \Delta F(K_{\text{осв}} + K_{\text{м.х.}} + K_{\text{в.х.}})} = \\ &= \frac{7,166 \text{ млн. руб.}}{56,15 \text{ млн. руб.}} = 0,13. \end{aligned} \quad (2)$$

Полученный коэффициент абсолютной эффективности $\mathcal{E}_{\text{кпчд}} = 0,13$ превышает нормативный ($\mathcal{E}_n = 0,12$) для хозяйств хлопковой специализации и, следовательно, комплекс может быть рекомендован к осуществлению. При существующем положении работы по реконструкции и строительству магистральной сети (1000 руб/га x 10000 га + 1000 руб/га x 4700 га = 14,7 млн/руб) производятся за счет бюджета, а остальные – за счет средств хозяйств. Эффективность хозяйственных затрат определяется как

$$\mathcal{E}_{\text{в/х}} = \frac{\Delta \bar{C}D \cdot F + \bar{C}D'' \cdot \Delta F}{K_{\text{в.х.}} \cdot F + \Delta F(K_{\text{осв}} + K_{\text{в.х.}})} = \frac{6,166}{41,450} = 0,15. \quad (3)$$

Если принять достигнутую хозяйствами рентабельность по фондам $\mathcal{E}_f = 0,24$, а фондообразующий коэффициент $K_f = 1$, то становится очевидным, что вкладывая свои средства в таком объеме, хозяйства заведомо должны пойти на снижение эффективности использования фондов, так как $\mathcal{E}_f > \mathcal{E}_{\text{в/х}}$, т.е. в результате интенсификации производства снизятся фондоотдача и рентабельность в хозяйствах.

Предотвратить это можно двумя путями:

- обеспечить за счет некапиталоемких, сопутствующих переустройству мероприятий прирост чистого дохода не 6,166 млн.руб. в год, а не менее 9,95 млн.руб. Тогда рентабельность и показатели использования фондов останутся на прежнем уровне. В этом случае величина дополнительного чистого дохода должна быть увеличена более чем на 60%, что практически невозможно в условиях Бухарской области;

- часть хозяйственных затрат компенсировать средствами бюджета, планируемых на водохозяйственное строительство по линии МСХ УзССР и ММивХ УзССР.

Второе решение наиболее приемлемо. Величина компенсирующих средств определится из выражения

$$К.б.к. = K_{в/х} \frac{ЧД}{ЭФ} = 41,450 \text{ млн.руб.} - \frac{6,166 \text{ млн.руб.}}{0,24} = 15,76 \text{ млн.руб.} (4)$$

Следовательно, сумма бюджетных ассигнований на переустройство должна составлять 30,46 млн.руб., а не 14,7 млн.руб., как это было определено ранее.

Так как работы по переустройству могут длиться несколько лет, то необходимо также обосновать наиболее эффективный для хозяйств порядок осуществлений мероприятий и, соответственно, соотношение затрат. В данном случае можно выделить две группы (комплекса) мелиоративных работ:

- первый комплекс работ сокращает оросительную норму брутто на части переустраиваемой территории, при этом за счет сэкономленной воды осваиваются новые земли;

- второй комплекс работ сокращает оросительную норму брутто с остальных земель и в результате за счет сокращения общего водопотребления повышается водообеспеченность.

Хозяйственная эффективность мероприятий первого комплекса определяется как

$$Э'_{в/х} = \frac{\Delta \bar{ЧД} \cdot F'_{пер} + \bar{ЧД}'' \cdot \Delta F}{F'_{пер} (K_{в.х.} + K_{м.с.}) + \Delta F (K_{осв.} + K'_{м.х.} + K'_{в.х.})} \quad (5)$$

где $Э'_{в/х}$ - хозяйственная эффективность комплекса мероприятий, направленных на переустройство и освоение новых земель;

$F'_{пер.}$ - площадь староорошаемых земель, переустройство которых обеспечивает орошение новых земель за счет высвобождения водных ресурсов.

В свою очередь, $F'_{пер}$ определяется как

$$F'_{пер.} = \frac{Q''_{др.} \cdot \Delta F}{Q'_{др.} - Q''_{др.}} = \frac{8,5 \text{ т.м}^3/\text{га} \cdot 4700 \text{ га}}{14,0 \text{ т.м}^3/\text{га} - 8,5 \text{ т.м}^3/\text{га}} = 7,3 \text{ тыс.га.} \quad (6)$$

Подставляя в выражение (5) фактические значения, получим:

$$Э'_{в/х} = \frac{5,491 \text{ млн.руб.}}{46,70 \text{ млн.руб.}} = 0,12.$$

Хозяйственная эффективность затрат на мероприятия второго комплекса определится как

$$\mathcal{E}''_{\text{в/х}} = \frac{\Delta \bar{ЧД} \cdot F''_{\text{пер}}}{F''_{\text{пер}} (\bar{K}_{\text{в.х.}} + \bar{K}_{\text{м.с.}})} = \frac{0,675 \text{ млн. руб.}}{9,45 \text{ млн. руб.}} = 0,07, (7)$$

где $F''_{\text{пер}} = F - F'_{\text{пер}}$ — площадь переустраиваемых земель во втором комплексе мероприятий.

Из величины показателей $\mathcal{E}'_{\text{в/х}} = 0,12$ и $\mathcal{E}''_{\text{в/х}} = 0,07$ видно, что в первую очередь для хозяйств экономически целесообразно сосредоточить внимание на комплексном переустройстве 7,2 тыс.га земель и освоении 4,7 тыс.га новых земель с выполнением соотношения, полученного из выражения (6), т.е. полное переустройство 1,3 га староорошаемых земель должно сопровождаться одновременным освоением одного гектара новых земель.

Можно также определить и долевое участие хозяйств в затратах на осуществление первого и второго комплексов. Если на весь первый комплекс затрачивается 46,7 млн.руб., то за счет хозяйств выполняются работы на сумму 22,83 млн.руб. ($5,491 : 0,24 = 22,88$), а за счет бюджета — на сумму 23,82 млн.руб., т.е. 49,0% затрат должны оплачивать хозяйства, а 51,0% составят бюджетные ассигнования.

Соответственно, мероприятия второго комплекса финансируются в размере 2,81 млн.руб. или 29,7% за счет хозяйств и 6,64 млн.руб. или 70,3% — за счет бюджета.

Если хозяйства не смогут оплатить всю сумму отнесенных на них затрат (25,69 млн.руб.), например, из-за ограниченности собственных средств в период осуществления этих мероприятий, то недостающая часть средств может быть предоставлена им в виде долгосрочных целевых кредитов с последующим погашением их из дополнительного чистого дохода. Но в этом случае при определении хозяйственного эффекта из величины дополнительного чистого дохода должна вычитаться величина платы за кредит.

В результате смешанного финансирования обеспечивается возможность осуществления комплексного переустройства на всей орошаемой площади с учетом последних достижений науки и техники, а предлагаемое соотношение работ и затрат позволит получить скорейшую и максимальную отдачу. Затраты хозяйств окупятся за 4 года, а народное хозяйство будет ежегодно дополнительно получать 2,44 тыс. т хлопко-сырца. Кроме того, появляется возможность использования в дальнейшем высвободившихся 15 млн. м³ воды, за счет которых при многолетнем регулировании можно будет оросить 1,8–2,0 тыс. га земель и, следовательно, народнохозяйственная эффективность переустройства еще более увеличится.

Л и т е р а т у р а

1. Р а ч и н с к и й А.А. Проблемы сегодняшнего дня: реконструкция внутрихозяйственных гидромелиоративных систем. Журн. "Хлопководство" № 9, Ташкент, 1975.
2. С а н и и р и, Средазгипроводхлопок. Доклад "О современном состоянии и мерах по более рациональному использованию водных ресурсов для орошения в бассейне Аральского моря", Ташкент, 1974.
3. И н с т р у к ц и я (методика) по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ. ММВХ СССР, ВНИИГМ, М., 1972.

Х.А. ИРМУХАМЕДОВ
канд.техн. наук
А.Р. ХАЛИКОВ
аспирант
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

СХЕМА ЗАКРЕПЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ РЕКИ АМУДАРЬИ ГЛУХИМИ ШПОРАМИ

Существующие методы расчета по проектированию руслорегулировочных сооружений сводятся к определению радиуса кривизны выправительной трассы, расстояния между шпорами, расположения их, размеров сооружений и др. /1/. Так как эти зависимости выведены для условий горных и предгорных рек с более устойчивым руслом, то использовать их в полной мере для условий р. Амударьи с неустойчивым руслом без дополнительных уточнений нельзя.

До настоящего времени нет обоснованной русловыправительной трассы и схемы расстановки сооружений для условий р. Амударьи, в связи с чем нами предпринята попытка на основании натурных исследований и анализа материалов аэро съемки участков реки установить конкретные размеры русла.

На участке интенсивного блуждания (от канала Ташсака до канала Турангасака, общей длиной 60 км и шириной поймы в среднем 2,5 км) отмечены ковшеобразные размывы берега русла реки, которые располагаются в основном в шахматном порядке (рисунок). Протяженность отдельных ковшей находится в пределах $\ell = 1,9-5,2$ км, радиус достигает $R_k = 0,3-1,65$ км. В среднем радиус кривизны ковша 1,0 км, длина 3,2 км, соотношение их $\Pi = \frac{R_k}{\ell} = 0,3$.

На участке берега, подверженном активному воздействию потока при его свале, протяженность отдельных размывов составляет 0,80-1,4 км. По данным С.Т.Алтунина, средняя протяженность активных размывов берега равна 1,0 км /2/. В большинстве случаев размыв перемещается сверху вниз, образуя ковшеобразную излучину, и продолжается до тех пор, пока берег

реки не приобретает криволинейную форму с определенным радиусом кривизны, зависящим от угла атаки потока. По достижении характерной формы размыва берега наступает временное равновесие и размыв прекращается (рисунок, точка К).

Каждый выступ, направленный против течения, способствует завлечению наносов в ковш. При направлении выступа по течению он является уже струенаправляющим, при этом перед выступом поток ведет себя так же, как на обычном повороте русла, а за выступом на некотором расстоянии происходит заиление берега. Следует отметить, что в естественных условиях у выступов не образуются мощные водовороты, тогда как у ковшеобразных берегозащитных сооружений они наблюдаются (например, у дамбы № 16 в районе Чарджоу ось водоворота достигала 150 м, глубина потока ≈ 27 м).

В ковше происходит взаимодействие потока с основным течением реки. Поверхностные струи отклоняются от берега и тем самым удерживают от размыва выступы ковша, а донные струи вовлекаются в ковш и увлекают большое количество донных наносов, уменьшая тем самым глубину размыва. Такое явление характерно для случая неразмываемого выступа, наподобие мыса Кипчак (таблица).

Обычно у выступов ковшеобразных размывов наблюдается минимальная ширина русла: в пределах 0,6–1,1 км. Например, в паводок 1971 г. у мыса Кипчак ширина русла составляла 770 м, что в 1,5 раза меньше радиуса кривизны ковша, и в 5 раз меньше расстояния между соседними характерными ковшеобразными размывами берегов.

Если русло реки узкое и сложено малоразмываемыми грунтами, то в таких местах ковшеобразных размывов берега не наблюдается, так как не происходит боковых свалов потока, а имеется незначительный продольный размыв берега, параллельный текущему потоку. Например, в Чалышском сужении на протяжении 7,0 км ширина русла находится в пределах 0,8–1,1 км, и берега размываются в продольном направлении.

На основании изложенного выше установлено:

Т а б л и ц а

№ п/п	Место расположения ковша	Длина ковша (l), м	Радиус кривиз- ны ков- ша (R_k), м	Отношение радиуса ковша к длине
1	В районе каналов Ташсака-Пахтаарна, правый берег	3000	900	0,30
2	Канал Пахтаарна, левый берег	3700	1000	0,27
3	Местность Старый Котлован, правый берег	3800	800	0,21
4	Местность Шурахан-Тугай, правый берег	4900	1650	0,34
5	Местность Шурахан-Тугай, к-з им. Дмитрова, правый берег	2000	350	0,18
6	К-з им. Дмитрова, правый берег	2200	550	0,25
7	Пристань Турткуль, правый берег	3700	1650	0,45 ^{х)}
8	К-з им. Ильича Турткульского р-на, правый берег	3600	750	0,21
9	К-з "Москва" Турткульского р-на, правый берег	3100	740	0,24
10	К-з им. Ахунбабаева Турткульского района, правый берег	5200	1600	0,31
11	К-з им. Орджоникидзе Бирунийского р-на, левый берег	3800	700	0,19
12	К-з "Правда" Бирунийского р-на, правый берег	3200	500	0,16
13	Хорезмский промводозабор, левый берег	2500	300	0,12
14	В районе канала Турангасака, правый берег	1900	400	0,21
Размеры ковша у естественных выступов				
15	Теснина Тьямун	2000	840	0,42
		2520	760	0,30
16	Мыс Кипчак	4100	1400	0,34
17	Мыс Тахиаташ	2200	680	0,31

х) Здесь наблюдался резкий поворот реки во время заторных явлений, 1969 г.

1. Характерные ковшеобразные размывы берегов развиваются в сторону берега и в основном равны ширине реки, замеренной у выступа, и как исключение могут достигать полуторной ее величины.

2. Выступы располагаются в точках перехода потока из одной кривой (вогнутой) трассы русла в другую (выпуклую) в шахматном порядке на расстоянии, равном пятикратной устойчивой ширине русла.

3. Ширина русла в ковше по длине реки переменная: в пределах 0,6–1,1 км.

На основе полученных данных предлагается типовая схема закрепления криволинейных участков р. Амударьи (см. рис). Здесь приводятся необходимые размеры для получения участка русла, указаны места размещения глухих шпор в плане и расстояния между ними. При этом длина участка регулирования $L = 10 B_y$ располагается в пределах одной меандры, т.е. около 8–10 км /3/.

В пределах намеченной трассы русло создается путем последовательного возведения русловыправительных сооружений в виде глухих шпор. Тела шпор отсыпаются из местных материалов с откосами $m > 2$, оголовки и напорный откос закрепляются.

При устройстве русла по типовой схеме достигается следующее:

1. Шпоры размещаются в шахматном порядке против течения, удерживая блуждающий поток по линии оголовков, тем самым исключается размыв с общим понижением дна.

2. Каждая шпора находится в равноценных условиях, за исключением первых двух, создающих необходимую направленность потока.

3. Междушпорное пространство и сам ковш периодически будут заноситься донными и взвешенными наносами, тогда как в центральной части русла при прохождении паводка динамическая ось потока стремится выправиться, что усиливает транспортировку наносов. Благодаря этому на осевой линии зарегулированной трассы образуется активное русло, по которому воз-

можно судоходство.

4. Продольные берегозащитные дамбы обвалования, расположенные вдоль берегов, не подвергаются прямому воздействию потока, что повышает надежность их работы.

Разработанная схема регулирования речного русла, основанная на создании последовательно расположенных местных искусственных выступов с устройством глухих шпор, обеспечивает устойчивое протекание потока без подмыва и разрушения берегов.

Для уточнения предложенной типовой схемы по регулированию русла в Отделе русл САНИИРИ были проведены модельные исследования, подтвердившие правильность принятых предположений.

При регулировании русла по предлагаемому методу создается нормально меандрирующее устойчивое русло.

Л и т е р а т у р а

1. А л т у н и н С.Т. Регулирование русл. М., Сельхозиздат, 1962.
2. А л т у н и н С.Т. Руслвые процессы, защита берегов от размыва, борьба с наводнениями и наносами. Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. II, Изд-во АН УзССР, Ташкент, 1960.
3. М у х а м е д о в А.М. Некоторые особенности реки Амударьи и причины размыва берегов (явление дейгиша), Труды САНИИРИ, вып. 120, Ташкент, 1970.

М.П. МУХТАРОВ
канд.техн. наук
В.В. ГЛАДКОВ
рук. группы
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ВОДОПОДАЧИ В САМОТЕЧНОМ КАНАЛЕ

Одна из важных задач, которую в период вегетации приходится решать специалистам организаций, эксплуатирующих оросительные системы, — оптимальное распределение ограниченных водных ресурсов (запас в водохранилище плюс сток реки) между потребителями. Решения о распределении водных ресурсов принимаются по мере развития сельскохозяйственных культур в зависимости от гидрометеорологических условий в рассматриваемом речном бассейне /1/.

В маловодный год указанную задачу приходится решать особенно часто, так как в этом случае, в связи с необходимостью жесткой экономии оросительной воды, учитываются возникающие в процессе эксплуатации оросительной системы различные случайные факторы: временный отказ одного из потребителей в связи с возникновением аварийной ситуации и необходимостью, после ликвидации аварии, срочной подачи этому потребителю форсированного расхода; нарушение плановой водоподачи отдельными потребителями и т.д.

После принятия решения об оптимальном, на предстоящий промежуток времени, распределении ресурсов возникает следующая задача, подать приращение расхода потребителям так, чтобы разность между планируемой водоподачей и фактической была бы минимальной. При этом необходимо иметь в виду, что переходные процессы, возникающие в канале в связи с изменением расходов в бьефах, протекают на протяжении конечного промежутка времени.

Указанная задача успешно решается, если каналы оросительной системы способны в своих бьефах содержать резервные объемы воды. В этом случае, потребители как бы непосредственно сближаются с источником орошения и могут в любой момент переключиться на другой расход. В свою очередь, автоматика, которой оборудуются такие каналы, обеспечивает необходимое пополнение резерва в бьефах, не нарушая при этом режима подачи расхода потребителям.

В настоящее время значительных успехов достигли научно-исследовательские и проектные разработки, направленные на усовершенствование методов расчета и конструкций каналов, способных в своих бьефах содержать резервные объемы воды /2,3,4/.

Между тем бьефы действующих каналов в бассейнах рек Зарафшан, Сох, Карадарья, Чирчик в УзССР и каналов ТаджССР в большинстве случаев не приспособлены для накопления и хранения резервных объемов воды. В работах, касающихся вопросов автоматизации оросительных систем /5/, такие каналы относят к категории приспособленных под так называемые "регулирование по верхнему бьефу"; причем отмечаются отрицательные эксплуатационные характеристики таких каналов.

Отрицательные эксплуатационные характеристики каналов, бьефы которых не приспособлены для хранения резервных объемов воды, до некоторой степени можно компенсировать рациональным диспетчерским управлением на основе решения, для каждого случая изменения расходов в бьефах канала, задачи оптимизации процесса водоподачи.

Рассмотрим процесс водоподачи в канале, имеющем M бьефов, разделенных N -перегораживающими сооружениями ($N = M + 1$); причем, для простоты будем полагать, что головы отводов от канала, питающие потребителей, составляют с перегораживающими сооружениями единые "узлы сооружений".

Заметим, что изменение расходов в бьефах канала могут быть следствием положительного приращения их одному или одновременно нескольким потребителям; отри-

цательного приращения их одному или нескольким потребителям и, одновременно, отрицательного приращения одним потребителям и положительного — другим.

Пусть принято решение: начиная с момента T_0 осуществить положительное приращение расходов отводам-потребителям при всех N —перегораживающих сооружениях.

Указанные приращения — $q_1, q_2, q_3, \dots, q_i, \dots, q_n$ — составляют тот дополнительный расход ΔQ_i , который в момент T_0 необходимо подать в i -й бьеф через головное сооружение:

$$\Delta Q_i = \sum_{i=1}^N q_i.$$

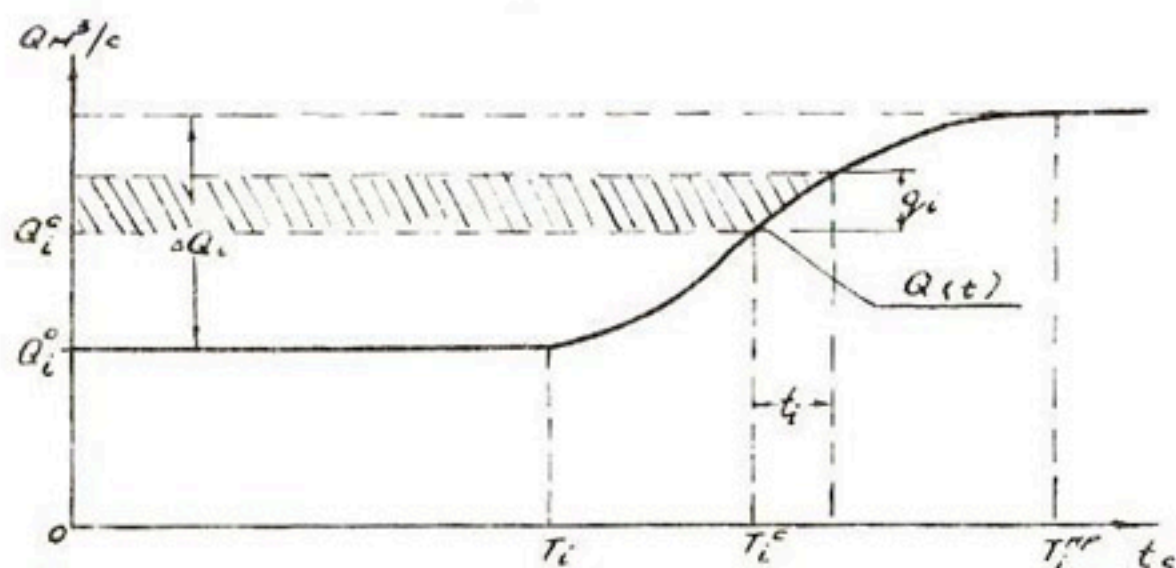


График формирования приращения расхода в створе перед i -ым сооружением.

Приращение расходов прибывает к i -ому потребителю за время $T_i - T_0$, после чего, изменяясь по закону $Q_i(t)$ достигает за время $(T_i^{np} - T_i)$ своего предельного значения (рисунок). Поэтому между планируемой и фактической водоподачами i -ому потребителю всегда существует разность:

$$J_i = q_i(T_i^c - T_0) + q_i t_i - \int_{T_0}^{T_i^c + t_i} Q_i(t) dt + Q_i^c t_i - q_i(T_N - T_0),$$

где T_N - момент времени, T_i^c соответствующий завершению водоподачи потребителям всего канала.

После того, как ΔQ_i прибывает к i -ому сооружению, регулировщик ^{x)} последнего может выполнять операции по забору приращения q_i и пропуску в последующий бьеф $\Delta Q_i - q_i$, используя различные варианты:

1. Фиксируя момент заметного изменения расхода непосредственно перед i -ым сооружением, он сразу же осуществляет операции по забору q_i в отвод, причем, в зависимости от опыта, он будет стараться поддерживать в течение времени t_i , в створе перед сооружением условие баланса расходов, при котором

$$f = \int_{T_0}^{T_i^c + t_i} Q_i(t) dt - \int_{T_0}^{T_i^c + t_i} q_i(t) dt = \min.$$

Закончив отбор q_i , регулировщик перейдет к операциям по пропуску $\Delta Q_i - q_i$, так же соблюдая упомянутое выше условие;

2. Сначала он пропускает в последующий бьеф расход $\Delta Q_i - q_i$, и лишь после этого приступает к забору q_i .

3. Осуществляет операции по пропуску $\Delta Q_i - q_i$ и забору q_i , выбирая для последнего момент времени, когда в створе перед сооружением расход достигнет величины Q_i^c . Назовем Q_i^c стартовым расходом.

^{x)} Под термином "регулировщик" мы будем подразумевать не только должностное лицо, но и, в случае технического усовершенствования канала, комплекс автоматических и электромеханических устройств, выполняющих функции должностного лица по командам управления из диспетчерского пункта.

Понятно, что $(Q_i^o + \Delta) \leq Q_i^c \leq (\Delta Q_i - q_i)$,

где

Q_i^o — расход в створе перед i -ым сооружением при $t < T_i$;

Δ — малая величина, свидетельствующая о заметном изменении расхода в связи с приходом ΔQ_i к i -ому сооружению.

Действия регулировщиков 2-го сооружения, а также всех остальных, кроме последнего, могут быть такими же, как и i -го.

Из изложенного выше понятно, что регулировщики сооружений, действуя по первому варианту, т.е. принимая

$$Q_i^c = Q_i^o + \Delta,$$

будут несколько задерживать во времени поступление $\Delta Q_i - q_i$ в последующий бьеф. С другой стороны, прибегая ко второму варианту, регулировщики будут задерживать во времени приращения расходов в свои отводы.

Отсюда возникает задача — определить значения

$$Q_1^c, Q_2^c, Q_3^c, \dots, Q_i^c, \dots, Q_{N-1}^c,$$

которые при условии

$$(Q_i^o + \Delta) \leq Q_i^c \leq (\Delta Q_i - q_i),$$

обеспечат минимум разности между планируемой и фактической водоподачами потребителям канала.

В указанном смысле управление процессом водоподачи, очевидно, будет основываться на вычислении J , где

$$J = \min_{(Q_i^o + \Delta) \leq Q_i^c \leq (\Delta Q_i - q_i)} \left\{ \sum_{i=1}^N (T_i - T_0) q_i - q_i t_i - \int_{T_i^c}^{T_i^o + t_i} Q_i(t) dt + Q_i^c t_i \right\} - \sum_{i=1}^N q_i (T_N - T_0). \quad (I)$$

Для вычисления J необходимо располагать всеми гидравлическими и русловыми характеристиками канала и сооружений: уклонами, коэффициентами шероховатости, поперечниками, отметками уровней воды, которые поддерживаются перед каждым сооружением, размерами отверстий сооружений и т.д. Необходимо также располагать алгоритмом численного решения

уравнения установившегося режима потока -

$$\frac{dh}{ds} + \frac{1}{g} v \frac{dv}{ds} + \frac{dh_f}{ds} - i_{gn} = 0, \quad (2)$$

для формирования начального условия при численном решении уравнений неустановившегося движения воды:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial s} \right) + \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{\partial h_f}{\partial s} - i_{gn} &= 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial \omega}{\partial t} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где h - глубина потока; h_f - потери по длине; v - скорость; i_{gn} - уклон; s - расстояние; ω - площадь живого сечения потока; t - время; g - ускорение силы тяжести.

В качестве примера, иллюстрирующего изложенные выше соображения, приведем результаты расчета процесса водоподачи в Митанский канал (Самаркандская область УзССР).

Русло канала земляное, с резко выраженной непризматичностью; уклоны в пределах бьефов от $-0,001$ до $+0,003$. Канал разделен перегораживающими сооружениями на 4 бьефа длиной 2,3; 4,2; 7,9; 19,5 км. Второй, третий и четвертый бьефы разделены, в свою очередь, на "микробьефы" транзитными перепадами. Все отводы-потребители составляют с перегораживающими сооружениями единые "узлы сооружений". Канал способен принять форсированный расход $40 \text{ м}^3/\text{с}$.

Все необходимые для расчетов данные были получены в результате полевых изысканий. Уравнение (2) решалось методом Эйлера, а для решения (3) использовалась явная четырехточечная схема; причем, для обеспечения устойчивого решения размеры сетки составили 100 м и 6 с. Расчеты производились на ЭВМ БЭСМ-4М.

Условия решаемой задачи приведены в нижеследующей таблице.

Запуск $\Delta Q_1 = 5,53 \text{ м}^3/\text{с}$ с учетом скорости движения затворов головного сооружения производился за 118 с.

Бьефы	Условия до водоподдачи		Водоподдача
	Расходы в бьефах (Q_i^0), м ³ /с	Забор в отводы (q_i^0), м ³ /с	
1	18,02	2,02	1,53
2	16,0	2,0	2,0
3	14,0	1,5	2,0

Поиск минимума (I) производился на основе перебора 4-х вариантов значений стартовых расходов:

Варианты	1-е сооружение, м ³ /с	2-е сооружение, м ³ /с
$Q_i^c = Q_i + \Delta$	18,04	16,02
$Q_i^c = \Delta Q_i - q_i$	22,02	18,0

Результаты вычислений представлены в нижеследующей таблице:

Варианты	1		2	
	$Q_1^c = 18,04$ м ³ /с	$Q_1^c = 22,02$ м ³ /с	$Q_2^c = 16,02$ м ³ /с	$Q_2^c = 18,0$ м ³ /с
J (м ³)	17200		17800	
Варианты	3		4	
	$Q_1^c = 18,04$ м ³ /с	$Q_1^c = 22,02$ м ³ /с	$Q_2^c = 18,0$ м ³ /с	$Q_2^c = 16,02$ м ³ /с
J (м ³)	16300		18500	

Из таблицы следует, что минимум (I) достигается при третьем варианте. Команды управления, полученные для этого варианта: регулировщик 1-го сооружения должен начать операции по забору приращения в свои отводы через 4,8 мин после начала запуска ΔQ_1 ; через 10 мин после этого начать пропуск $\Delta Q_1 - q_1$ во второй бьеф и осуществлять последнее до 47-ой минуты; регулировщик 2-го сооружения должен начать пропуск $\Delta Q_1 - q_1 - q_2$ на 24-ой минуте, после чего на 51-ой минуте начать операции по забору q_2 , который продолжается до 69 минуты; регулировщик третьего сооружения

должен начать операции по забору q_3 на 54 минуте и окончить эту операцию на 99 минуте.

Результаты расчетов показали, что длительность процесса водоподачи ($T_n - T_0$) различна: в первом варианте продолжается 122 мин, во втором — 94 мин, в третьем — 99 мин и четвертом — 115 мин.

Из изложенного выше понятно, что для реализации рассматриваемого способа управления процессом водоподачи, диспетчер должен располагать вычислительной машиной, обладающей соответствующими техническими возможностями.

Опыт наших исследований показал, что на вычислительный процесс при минимизации J затрачивается много времени, главным образом, в связи с необходимостью многократного обращения к блоку численного решения уравнения (3). Поэтому нам представляется более рациональным следующий вариант: для данного канала, заранее, обработкой результатов численных экспериментов находятся эмпирические зависимости, описывающие неустановившееся движение воды в каждом бьефе в достаточно широком диапазоне значений параметров, характеризующих начальные и граничные условия.

При наличии указанных зависимостей, составляющих по существу динамическую модель канала, процедура минимизации J может выполняться значительно быстрее, причем требования к возможностям вычислительной машины могут быть снижены.

Л и т е р а т у р а

1. Г о р ш е н и н а Н.Л. К вопросу повышения эффективности использования водных ресурсов при эксплуатации ирригационных водохранилищ. Сб. "Вопросы проектирования и эффективности работы мелиоративных систем Средней Азии" вып. 6, Ташкент, 1975.
2. М а к о в с к и й Э.Э. Автоматическое регулирование расходов воды в каналах оросительных систем, Фрунзе, 1972.
3. Б о л ь ш а к о в В.А., К л е щ е в н и к о в а Т.П. Численные расчеты регулирования расходов и уровней воды в оросительных каналах. Сб. "Гидравлика и гидротехника", вып. 18, Киев, "Техника", 1974.

4. К о в а л е н к о П.И., И л ь и н а Л.М. Схема автоматического регулирования с перетекающими объемами. Сб. "Гидротехника и гидравлика", вып. 18, Киев, "Техника", 1974.
5. Х а м а д о в И.Б., О м Л.А. Принципиальная схема и режимы работы каналов с системами регулирования по верхнему бьефу. Труды САНИИРИ, вып. 115, Ташкент, 1967.

Ю.Г. ИВАНЕНКО

канд.техн.наук

Р.Р. АБДУРАУПОВ

канд.техн.наук

Н.Г. ИВАНЕНКО

мл.научный сотрудник

М.Г. ХОРСТ

инженер

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ ЗАДАЧ ГИДРАВЛИКИ ОТКРЫТЫХ РУСЛ

Одномерные гладкие течения воды в открытых непрямоугольных неразрываемых руслах выражаются системой квазилинейных дифференциальных уравнений гиперболического типа:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q}{\partial x} + (c^2 - v^2) B \frac{\partial z}{\partial x} = \left[\frac{\partial y}{\partial x} B + \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_n \right] v^2 - \frac{g \omega Q |Q|}{K^2}; \quad (1)$$

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x, t). \quad (2)$$

Здесь $c = \pm \sqrt{\frac{g \omega}{B}}$ — скорость возмущения;

$\omega(x, z)$ — площадь поперечного сечения потока;

$H = z(x, t) - y(x)$ — глубина воды;

$B(x, H)$ — ширина поперечного сечения потока;

$i(x) = - \frac{\partial y(x)}{\partial x}$ — уклон дна;

$K(x, H)$ — модуль расхода;

$q(x, t)$ — путевой приток, приходящийся на единицу длины русла;

$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_h$ — локальная производная, характеризующая изменение площади лишь из-за непрямоугольности русла.

Форма записи системы (1), (2), предложенная О.Ф.Васильевым [1, 2], представляется очень удобной при расчете параметров неустановившегося течения воды в непрямоугольных руслах неправильной формы. Уравнения (1), (2) при заданных краевых условиях в общем случае аналитическими методами не решаются. Большинство предлагаемых конечно-разностных схем позволяет с той или иной степенью точности решать не сами квазилинейные уравнения (1), (2), а их линейризованные представления.

В настоящей работе мы также следовали этому классическому направлению, используя схему линейризации, соответствующую начальному возмущению неравномерного режима течения воды в русле. Частные решения линейризованной системы группировались в виде неоднородных полиномов N -го порядка. В результате исследований построена рациональная конечно-разностная схема.

Линейризуем (1), (2), раскладывая параметры неустановившегося течения воды при малых возмущениях на составляющие в виде

$$H = H_0 + \Delta H; \quad Q = Q_0 + \Delta Q \quad (3)$$

и отбрасывая высшие степени и произведения возмущений и их производных. Возмущения других параметров нестационарного течения — следствие сформулированных принципов линейризации.

Таким образом, в частности, можно определить

$$(C^2 - v^2) B \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} \approx (C_0^2 - v_0^2) B_0 \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} + (C_0^2 - v_0^2) B_0 \frac{\partial \Delta \bar{z}}{\partial x} + [(C_0^2 - v_0^2) \frac{\partial B_0}{\partial \bar{z}} + 2B_0 (C_0 \frac{\partial C_0}{\partial \bar{z}} + \frac{Q_0^2 B_0}{\omega_0^3})] \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} \Delta \bar{z} - 2 \frac{Q_0 B_0}{\omega_0^2} \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} \Delta Q; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} [iB + (\frac{\partial F}{\partial x})_h] v^2 - \frac{g\omega Q |Q|}{K^2} \approx [iB_0 + (\frac{\partial F_0}{\partial x})_h] v_0^2 - g\omega_0 \frac{Q_0^2}{K_0^2} + [i v_0^2 \frac{\partial B_0}{\partial \bar{z}} - 2i \frac{B_0^2 Q_0^2}{\omega_0^3} - \\ - 2 v_0^2 (\frac{\partial F_0}{\partial x})_h \frac{B_0}{\omega_0} + v_0^2 (\frac{\partial B_0}{\partial x})_h - g \frac{Q_0^2}{K_0^2} B_0 - 2g \frac{\omega_0 Q_0^2}{K_0^2} + 2 \frac{Q_0^2}{\omega_0^2} (\frac{\partial F_0}{\partial x})_h] \Delta Q. \end{aligned} \quad (5)$$

Следствием (1), (2) является система уравнений стационарного невозмущенного течения воды в открытых руслах:

$$2v_0 \frac{dv_0}{dx} + (c_0^2 - v_0^2) B_0 \frac{dz_0}{dx} = \left[-\frac{dy_0}{dx} + \left(\frac{\partial F_0}{\partial x} \right)_h \right] v_0^2 - \frac{g \omega_0 Q_0^2}{K_0^2}, \quad (6)$$

$$\frac{dQ_0}{dx} = q_0(x) \quad (7)$$

Получим следующую систему линейных уравнений для возмущенного течения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta Q}{\partial t} + 2v_0 \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} + (c_0^2 - v_0^2) B_0 \frac{\partial \Delta z}{\partial x} = & 2 \left(v_0 \frac{dQ_0}{dx} + c_0^2 B_0 \frac{dz_0}{dx} \right) \frac{\Delta Q}{Q_0} - \left[2 \left(v_0 \frac{dQ_0}{dx} + c_0^2 B_0 \frac{dz_0}{dx} \right) + \right. \\ & + 3g \frac{\omega_0 Q_0^2}{K_0^2} \left. \right] \frac{B_0}{\omega_0} \Delta z - \left[(c_0^2 - v_0^2) \frac{\partial B_0}{\partial z_0} + 2B_0 c_0 \frac{\partial c_0}{\partial t_0} \right] \frac{dz_0}{dx} \Delta z + \left[i v_0^2 \frac{\partial B_0}{\partial z_0} + v_0^2 \left(\frac{\partial B_0}{\partial x} \right)_h + \right. \\ & \left. + 2g \omega_0 \frac{Q_0^2}{K_0^2} \frac{\partial K_0}{\partial z_0} \right] \Delta z. \end{aligned} \quad (8)$$

$$B_0 \frac{\partial \Delta z}{\partial t} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} = q(x, t) - q_0(x) \quad (9)$$

с начальными условиями (6), (7).

Приведем систему (8), (9) к виду

$$\frac{\partial \Delta Q}{\partial t} + K_1(x) \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} + K_2(x) \frac{\partial \Delta z}{\partial x} = K_3(x) \Delta Q + K_4(x) \Delta z; \quad (10)$$

$$K_5(x) \frac{\partial \Delta z}{\partial t} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} = K_6(x, t). \quad (11)$$

Здесь коэффициенты K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 — функции независимой переменной x ; K_6 — функция переменных x и t :

$$\begin{aligned} K_1(x) = 2v_0; \quad K_2(x) = c_0^2 - v_0^2; \quad K_3(x) = 2 \left(v_0 \frac{dQ_0}{dx} + c_0^2 B_0 \frac{dz_0}{dx} \right) \frac{1}{Q_0}; \\ K_4(x) = \left[i v_0^2 \frac{\partial B_0}{\partial z_0} + v_0^2 \left(\frac{\partial B_0}{\partial x} \right)_h + 2g \omega_0 \frac{Q_0^2}{K_0^2} \frac{\partial K_0}{\partial z_0} - (c_0^2 - v_0^2) \frac{\partial B_0}{\partial z_0} \frac{dz_0}{dx} - \right. \\ \left. - 2B_0 c_0 \frac{\partial c_0}{\partial z_0} \frac{dz_0}{dx} - 2 \left(v_0 \frac{dQ_0}{dx} + c_0^2 B_0 \frac{dz_0}{dx} \right) \frac{B_0}{\omega_0} - 3g B_0 \frac{Q_0^2}{K_0^2} \right]; \\ K_5(x) = B_0; \quad K_6(x, t) = q(x, t) - q_0(x). \end{aligned}$$

Так как структура коэффициентов в общем случае достаточно сложна, вместо (10), (11) рассмотрим систему уравнений вида

$$\frac{\partial \Delta Q}{\partial t} + \bar{K}_1 \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} + \bar{K}_2 \frac{\partial \Delta Z}{\partial x} = \bar{K}_3 \Delta Q + \bar{K}_4 \Delta Z ; \quad (I2)$$

$$\bar{K}_5 \frac{\partial \Delta Z}{\partial t} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} = \bar{K}_6 \quad (I3)$$

с замороженными коэффициентами на расчетном участке /3/.

Введем новые функции:

$$\eta = \Delta Q - \bar{K}_6 x, \quad (I4)$$

$$\theta = \Delta Z + \frac{\bar{K}_6 \cdot \bar{K}_3}{\bar{K}_4} x + \frac{\bar{K}_6}{\bar{K}_4} \left(\frac{\bar{K}_3 \cdot \bar{K}_2}{\bar{K}_4} - \bar{K}_1 \right); \quad (I5)$$

тогда система уравнений (I2), (I3) преобразуется и примет вид

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \bar{K}_1 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \bar{K}_2 \frac{\partial \theta}{\partial x} = \bar{K}_3 \eta + \bar{K}_4 \theta, \quad (I6)$$

$$\bar{K}_5 \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (I7)$$

Приведем (I6), (I7) к двум линейным дифференциальным уравнениям второго порядка относительно функций η и θ

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + \bar{K}_1 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial t} - \frac{\bar{K}_2}{\bar{K}_5} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - \bar{K}_3 \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0, \quad (I8)$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \bar{K}_1 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x \partial t} - \frac{\bar{K}_2}{\bar{K}_5} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \bar{K}_3 \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0. \quad (I9)$$

Структура соотношений (I8), (I9) совпадает, поэтому достаточно исследовать одно из них, например (I8).

Введем новые функции:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \eta_1; \quad \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\bar{K}_5 \theta_1. \quad (20)$$

Тогда (I8) преобразуется в систему двух уравнений первого порядка:

$$\frac{\partial \eta_1}{\partial t} + \bar{K}_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} + \bar{K}_2 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} - \bar{K}_3 \eta_1 - \bar{K}_4 \theta_1 = 0, \quad (21)$$

$$\bar{K}_5 \frac{\partial \theta_1}{\partial t} + \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = 0 \quad (22)$$

Приведем (21), (22) к линейному дифференциальному уравнению второго порядка относительно функции η_1 :

$$\frac{\partial^2 \eta_1}{\partial t^2} + \bar{K}_1 \frac{\partial^2 \eta_1}{\partial x \partial t} - \frac{\bar{K}_2}{\bar{K}_5} \frac{\partial^2 \eta_1}{\partial x^2} - \bar{K}_3 \frac{\partial \eta_1}{\partial t} + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = 0. \quad (23)$$

Определив новые функции -

$$\frac{\partial \eta_1}{\partial t} = \eta_2; \quad \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = -\bar{K}_5 \theta_2, \quad (24)$$

приведем (23) к системе

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \bar{K}_1 \frac{\partial \eta_2}{\partial x} + \bar{K}_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial x} - \bar{K}_3 \eta_2 - \bar{K}_4 \theta_2 = 0, \quad (25)$$

$$\bar{K}_5 \frac{\partial \theta_2}{\partial t} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} = 0. \quad (26)$$

Продолжая этот процесс, можно придти к следующей последовательности соотношений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \eta_{n-k}}{\partial t^2} + \bar{K}_1 \frac{\partial^2 \eta_{n-k}}{\partial x \partial t} - \frac{\bar{K}_2}{\bar{K}_5} \frac{\partial^2 \eta_{n-k}}{\partial x^2} - \bar{K}_3 \frac{\partial \eta_{n-k}}{\partial t} + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \frac{\partial \eta_{n-k}}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial^2 \eta_{n-1}}{\partial t^2} + \bar{K}_1 \frac{\partial^2 \eta_{n-1}}{\partial x \partial t} - \frac{\bar{K}_2}{\bar{K}_5} \frac{\partial^2 \eta_{n-1}}{\partial x^2} - \bar{K}_3 \frac{\partial \eta_{n-1}}{\partial t} + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \frac{\partial \eta_{n-1}}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \quad (27)$$

Отметив последнее выражение (27) индексом $(n-1)$, приведем его к системе двух уравнений первого порядка:

$$\frac{\partial \eta_n}{\partial t} + \bar{K}_1 \frac{\partial \eta_n}{\partial x} + \bar{K}_2 \frac{\partial \theta_n}{\partial x} - \bar{K}_3 \eta_n - \bar{K}_4 \theta_n = 0, \quad (28)$$

$$\bar{K}_5 \frac{\partial \theta_n}{\partial t} + \frac{\partial \eta_n}{\partial x} = 0. \quad (29)$$

Здесь введены новые функции -

$$\frac{\partial \eta_{n-1}}{\partial t} = \eta_n; \quad \frac{\partial \eta_{n-1}}{\partial x} = -\bar{K}_5 \theta_n. \quad (30)$$

Для системы (28), (29) определим частные решения /4/:

$$\begin{aligned} \eta_n = \frac{A_1}{\bar{K}_3} \left(1 - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \Pi_2\right) e^{-\Pi_3 \left[(-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2 + t\right]} - \frac{A_2}{\bar{K}_3} \left[a + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \left(-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t\right) + \right. \\ \left. + A_3 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5 \bar{K}_3} \right] \end{aligned} \quad (31)$$

$$\theta_n = -\frac{A_1}{\bar{K}_5} \Pi_2 e^{-\Pi_3 [(-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2 + t]} + \frac{A_2}{\bar{K}_5} (-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) - \frac{A_3}{\bar{K}_5}, \quad (32)$$

$$\text{Здесь } \alpha = \frac{\bar{K}_2 \cdot \bar{K}_3}{\bar{K}_5} - \bar{K}_1 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} - \frac{\bar{K}_4^2}{\bar{K}_5^2 \bar{K}_3}, \quad (33)$$

$$\Pi_1 = \frac{\bar{K}_1 t' - 2}{\bar{K}_1 - 2 \frac{\bar{K}_2}{\bar{K}_5}}, \quad (34)$$

$$\Pi_2 = \frac{1}{\frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} - \frac{\bar{K}_3}{\Pi_1}}, \quad (35)$$

$$\Pi_3 = \frac{(\frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} - \frac{\bar{K}_3}{\Pi_1})^2}{\bar{K}_3 [(\frac{1}{\Pi_1^2} + \frac{\bar{K}_1}{\Pi_1} - \frac{\bar{K}_3}{\bar{K}_5})]}, \quad (36)$$

A_1, A_2, A_3 - постоянные параметры.

Для восстановления из соотношений (31), (32) функции η_{n-1} воспользуемся выражением для полного дифференциала в виде

$$d\eta_{n-1} = \frac{\partial \eta_{n-1}}{\partial x} dx + \frac{\partial \eta_{n-1}}{\partial t} dt = -\bar{K}_5 \theta_n dx + \eta_n dt. \quad (37)$$

Подставляя в (37) соотношения (31), (32) и интегрируя, найдем:

$$\begin{aligned} \eta_{n-1} = & \int \left[A_1 \Pi_2 e^{-\Pi_3 [(-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2 + t]} - A_2 (-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) + A_3 \right] dx + \\ & + \int \left[-\frac{A_1}{\bar{K}_3} \left(1 - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \Pi_2 \right) e^{-\Pi_3 [(-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2 + t]} - \frac{A_2}{\bar{K}_3} \left[\alpha + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} (-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \right] + \right. \\ & \left. + A_3 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5 \bar{K}_3} \right] dt + A_4 = \frac{A_1}{\Pi_3 \bar{K}_3} e^{-\Pi_3 [(-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2 + t]} + \frac{A_2}{\bar{K}_3} \frac{(\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t)^2}{2} - \\ & - \frac{A_2}{\bar{K}_3} \alpha t + \frac{A_3}{\bar{K}_3} (\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) + A_4. \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \text{Очевидно } \theta_{n-1} = & \frac{A'_1}{\Pi_3 \bar{K}_3} e^{-\Pi_3 [(-\bar{K}_3 x - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2 + t]} + \frac{A'_2}{\bar{K}_3} \frac{(\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t)^2}{2} - \\ & - \frac{A'_2}{\bar{K}_3} \alpha t + \frac{A'_3}{\bar{K}_3} (\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) + A'_4, \end{aligned} \quad (39)$$

где

A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 - постоянные параметры.

Связь между постоянными параметрами в соотношениях (38), (39) устанавливается в виде

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{\bar{K}_5 (1 - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \Pi_2)}{\bar{K}_3 \Pi_2} A'_1; \quad A_2 = -\frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} A'_2; \quad A_3 = \frac{\bar{K}_5}{\bar{K}_3} a A'_2 - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3} A'_3 \\ A_4 &= -\frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3} A'_4 + \frac{\bar{K}_5}{\bar{K}_3} a A'_3 + \left(2 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3^2} + \frac{\bar{K}_1 \bar{K}_5}{\bar{K}_3^2} \right) a A'_2 \end{aligned} \right\}. \quad (40)$$

Таким образом, функцию (38) можно записать так:

$$\begin{aligned} \eta_{n-1} &= A'_1 \frac{\bar{K}_5 (1 - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \Pi_2)}{\bar{K}_3^2 \Pi_2 \Pi_3} e^{-\Pi_3 [t - (\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2]} - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3^2} A'_2 \frac{(\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t)^2}{2} + \\ &+ \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3^2} A'_3 (\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3} A'_4 + \frac{\bar{K}_5}{\bar{K}_3^2} a A'_3 + \left(2 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3^2} + \frac{\bar{K}_1 \bar{K}_5}{\bar{K}_3^2} \right) a A'_2. \end{aligned} \quad (41)$$

Процесс восстановления функций θ_{n-2} и η_{n-2} и т.д. можно продолжить.^{х)} Мы однако ограничим этот процесс полиномиальными решениями второго порядка (39), (41). Нетрудно убедиться, что эти функции, записанные для переменных η и θ , удовлетворяют исходной системе уравнений (16), (17).

Подставляя (39), (41) в соотношения (14), (15), получим полиномиальные решения второго порядка, точно удовлетворяющие системе уравнений (12), (13) и, следовательно, аппроксимирующие решения системы (10), (11):

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \bar{K}_6 x + \frac{(1 - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} \Pi_2) \bar{K}_5}{\bar{K}_3 \Pi_2} A'_1 e^{-\Pi_3 [t - (\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2]} - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3} \frac{(\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t)^2}{2} + \\ &+ 2 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3} a t + \bar{K}_5 a x + \left(2 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3^2} + \frac{\bar{K}_1 \bar{K}_5}{\bar{K}_3^2} \right) a \left\{ \frac{A'_2}{\bar{K}_3} + \left[\frac{\bar{K}_5}{\bar{K}_3} a - \right. \right. \end{aligned} \quad (42)$$

$$\left. - \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3} (\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \right] \frac{A'_3}{\bar{K}_3} - A'_4 \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_3};$$

$$\Delta Z = -\frac{\bar{K}_6 \bar{K}_3}{\bar{K}_4} x - \frac{\bar{K}_6}{\bar{K}_4} \left(\frac{\bar{K}_3 \bar{K}_2}{\bar{K}_4} - \bar{K}_1 \right) + A'_1 e^{-\Pi_3 [t - (\bar{K}_3 x + \bar{K} x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) \Pi_2]} + \quad (43)$$

$$+ \frac{A'_2}{\bar{K}_3} \left[\frac{(\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t)^2}{2} - a t \right] + \frac{A'_3}{\bar{K}_3} (\bar{K}_3 x + \frac{\bar{K}_4}{\bar{K}_5} t) + A'_4.$$

х) Используя разработанную Ю.Г.Иваненко методику конструирования полиномиальных решений, можно повысить порядок их точности.

Полученными полиномиальными решениями аппроксимируются заданные граничные и начальные условия с определением неизвестных параметров $A'_1; A'_2; A'_3; A'_4$ по схеме коллокации.

Общая формулировка алгоритма, разработанного для решения рассматриваемой начальной линейной краевой задачи (задачи Коши) методом аппроксимирующих функций, точно удовлетворяющих дифференциальным уравнениям, состоит в следующем:

1. Задается область решения задачи, ограниченная краевыми и начальными условиями;
2. По предложенной методике конструируются полиномиальные решения P -го порядка, удовлетворяющие исходной системе линейных дифференциальных уравнений и зависящие от m параметров A'_i ($i = 1, 2, \dots, m$);
3. Полученными полиномиальными решениями аппроксимируются заданные граничные и начальные условия с определением неизвестных параметров θ'_i по схеме коллокации;
4. В схеме коллокации выбор параметров θ'_i осуществляется так, чтобы в m фиксированных точках коллокации полиномиальные решения точно удовлетворяли краевым условиям.

Полученные полиномиальные решения (42), (43) второго порядка зависят от четырех постоянных параметров. Таким образом, при заданных краевых условиях для определения этих параметров следует выбрать четыре точки коллокации.

Постановка краевых условий для сформулированной задачи не представляет трудностей. Этот вопрос подробно освещен в работе Н.А.Картвелишвили /5/.

Пример расчета. Установить график колебания уровня воды в конце призматического канала трапецеидального сечения при изменении расхода воды в течение суток в этом створе по закону, представленному в табличной форме.

Отметка уровня воды в начале канала постоянна. При расходе воды $Q = 300 \text{ м}^3/\text{с}$ в канале устанавливается равномерный режим течения с гидравлическими элементами:

$$i = 1,37 \times 10^{-5}; H_0 = 8,98 \text{ м}; \omega_0 = 542 \text{ м}^2; B_0 = 81,2 \text{ м}; \\ m = 2,3; b_0 = 39,8 \text{ м}; y = \frac{1}{6}; \text{длина канала } L = 13760 \text{ м}$$

Т а б л и ц а

Показа- тель	Изменение расхода в створе возмущения											
$t, \text{ч}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	285	195	140	110	100	100	120	190	300	390	380	315

$t, \text{ч}$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	250	245	315	350	350	380	450	510	495	450	425	365

Для случая призматического русла без учета боковой приточности система уравнений (8), (9) может быть приведена к виду:

$$\frac{\partial \Delta Q}{\partial t} + 2v_0 \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} - (v_0^2 - c_0^2) B_0 \frac{\partial \Delta H}{\partial x} + \beta \Delta Q - \gamma B_0 \Delta H = 0, \quad (44)$$

$$B_0 \frac{\partial \Delta H}{\partial t} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial x} = 0. \quad (45)$$

Для этой системы полиномиальные решения второго порядка могут быть получены в виде

$$\Delta H = -A'_1 e^{-\pi_3 [(\beta x - \gamma t)\pi_2 + t]} + A'_2 (\beta x - \gamma t) + A'_3 \left[\frac{(\beta x - \gamma t)^2}{2} - \alpha t \right] + A'_4; \quad (46)$$

$$\Delta Q = \frac{B_0}{\beta} \frac{(1 - \gamma \pi_2)}{\pi_2} A'_1 e^{-\pi_3 [(\beta x - \gamma t)\pi_2 + t]} + \frac{B_0}{\beta} A'_2 [\gamma (\beta x - \gamma t) + \alpha] + \frac{B_0}{\beta} A'_3 \left\{ \gamma \left[\frac{(\beta x - \gamma t)^2}{2} - \alpha t \right] + \alpha (\beta x - \gamma t) + 2 \left(\frac{\gamma}{\beta} - v_0 \right) \alpha \right\} + \frac{B_0}{\beta} \gamma A'_4, \quad (47)$$

где

$$C_0^2 = g \frac{\omega_0}{B_0}; \quad \beta = \frac{2gi}{v_0}; \quad \gamma = (2gi - i c_0^2 \varphi). \quad (48)$$

Параметр φ для русла с трапецидальной формой поперечного сечения /4/ определяется в виде

$$\varphi = (1 + 2\eta) \left[\frac{2\sqrt{1+m^2}}{B_0 + 2\sqrt{1+m^2} H_0} - \frac{B_0 + 2m H_0}{(B_0 + m H_0) H_0} \right]. \quad (49)$$

— Значения соответствующих параметров в формулах (46), (47)

$$a = [(v_0^2 - c_0^2)\beta - \gamma l]; \quad b = 2v_0 - \frac{\gamma}{\beta}; \quad (50)$$

$$P_1 = \frac{v_0 \varepsilon - 1}{v_0 - (v_0^2 - c_0^2)\varepsilon}; \quad P_2 = \frac{1}{\gamma + \frac{\beta}{n_1}}; \quad P_3 = \frac{(\gamma + \frac{\beta}{n_1})^2}{\beta [(\frac{1}{n_1} + v_0)^2 - c_0^2]}; \quad (51)$$

$$\varepsilon = \frac{t_i - t_j}{x_i - x_j} = \frac{\tau}{l} \quad (52)$$

(l и τ - минимальное расстояние и интервал между точками коллокации на плоскости с абсциссой x и ординатой t).

В принятой схеме коллокации зафиксированы координаты четырех коллокационных точек:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_1(x, t) &= \alpha_1(0, T); \quad \mathcal{L}_2(x, t) = \alpha_2(l, 0); \\ \mathcal{L}_3(x, t) &= \alpha_3(\mathcal{L}, \tau); \quad \mathcal{L}_4(x, t) = \alpha_4(\mathcal{L}, T). \end{aligned} \quad (53)$$

где $\mathcal{L} = 13760$, $T = 3600$ с, $l = \frac{\mathcal{L}}{2} = 6880$ м, $\tau = \frac{T}{2} = 1800$ с.

В уравнениях (46), (47) постоянные параметры A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 определены из краевых условий по схеме коллокации.

Составлена программа ^{х)} на языке АЛГОЛ-60 для ЭВМ Минск-32 и выполнен контрольный расчет для условий сформулированной задачи. По данным расчета построен график колебания уровня воды в течение суток в конечном створе канала (рисунок). На том же графике показана кривая, построенная при решении этой же задачи методом Фурье, реализованным Г.Г.Мещенко. Сравнение полученных результатов показывает их хорошее совпадение.

^{х)} В составлении программы принимал участие А.А.Аскаров.



График колебаний уровня воды в конечном створе канала в течение суток.

В ы в о д ы

1. Предлагаемый метод аппроксимирующих функций целесообразно применять для решения линейных нестационарных одномерных задач гидравлики открытых русл, характеризующихся достаточно медленным изменением расхода воды в створе возмущения;

2. Метод обладает значительной простотой; состав алгоритмов несложен по структуре, позволяет достаточно просто вводить граничные условия.

Л и т е р а т у р а

1. Васильев О.Ф., Темноева Т.А., Шугрин С.М. Численный метод расчета неустановившихся течений в открытых руслах. Известия АН СССР, Механика, № 2, 1965.
2. Алаалыкин Г.Б., Годунов С.К. и др. Решение одномерных задач газовой динамики в подвижных сетках, М., "Наука", 1970.

3. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы, М., "Наука", 1973.
4. Иваненко Ю.Г., Хорст М.Г. Линеаризация уравнений одномерного неустановившегося течения воды в открытых руслах и численный способ их решения. "Гидротехника и мелиорация в условиях Узбекистана", Сб. научных трудов ТИИИСХ, вып.65, Ташкент, 1974.
5. Картелишвили Н.А. Потоки в недеформируемых руслах, Л., Гидрометеиздат, 1973.
6. Чертоусов М.Д. Гидравлика. М.-Л., "Госэнергоиздат", 1962.

Н.И. ЗУДИНА

канд.техн.наук

Х. НАСРИДДИНОВ

мл.научный сотрудник

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ЕСТЕСТВЕННАЯ ОТМОСТКА РУСЛ ГОРНО-ПРЕДГОРНЫХ РЕК

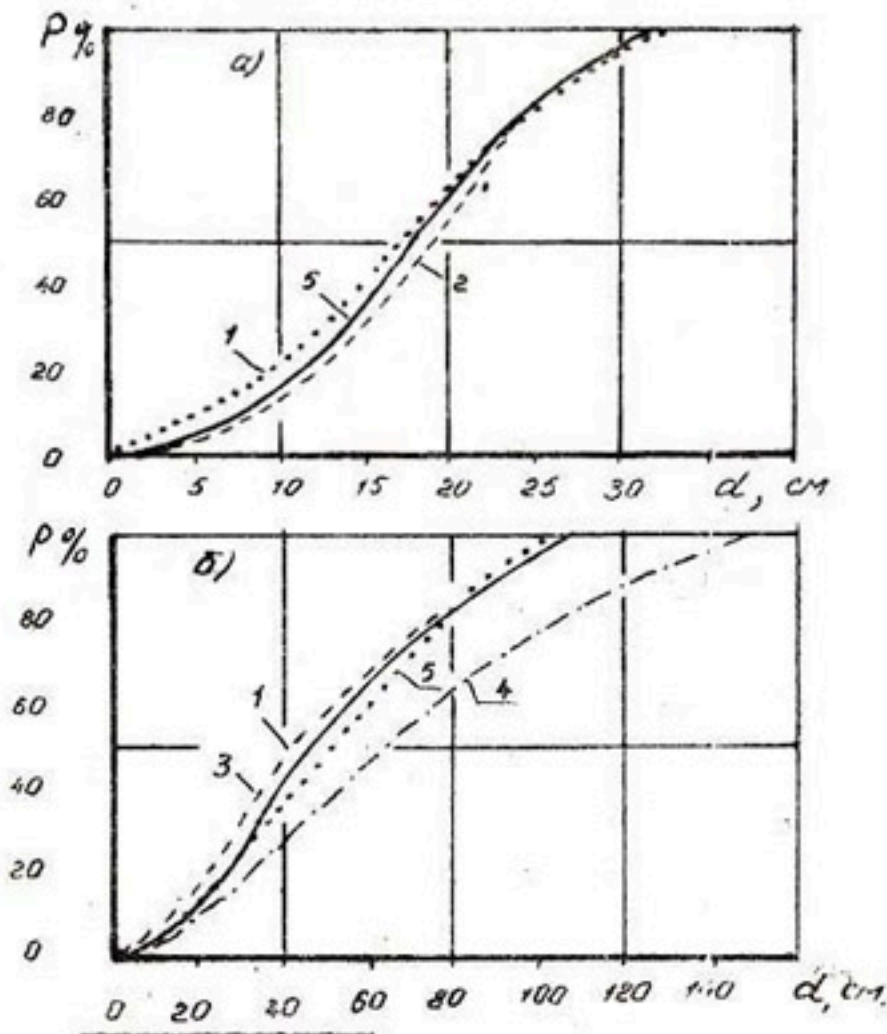
На горно-предгорных участках рек, вследствие вымывания мелких фракций, происходит естественная самоотмостка ложа русл валунами и галькой повышенной крупности по сравнению с фракционным составом наносов, транспортируемых потоком. В различных рекомендациях по определению диаметра отмостки русла ($d_{отм}$) нет единообразия.

Многие исследователи [1-4] за $d_{отм}$ горно-предгорных русл рек рекомендуют принимать диаметры, соответствующие 5-30%-ной обеспеченности по интегральной кривой гранулометрического состава.

Для уточнения расчетной обеспеченности размера частиц, составляющих естественную отмостку ложа русл, в период паводка и межени 1976 г. проведены измерения гранулометри-

ческого состава донных отложений на участках створов горно-предгорных рек. Интегральные кривые гранулометрического состава сопоставлены с ранее полученными [5/ 1).

Методика обмера донных отложений заключалась в обмере руслового галечника на опытных площадках, разбиваемых на урезе воды, и по возможности, через всю ширину реки на участках гидрометрических створов. Обмер производился по трем измерениям (a – длина; b – ширина; c – высота) на глубину залегания наибольшего валуна с определением среднего диаметра гальки, как $\frac{a+b+c}{3}$. При обмере в 1967 г. (на р. Чадак – устье р. Джулайсай) валуны, составляющие естественную отмостку русла, были маркированы, что позволило проследить за их подвижкой в паводки 1968, 1969, 1976 гг. (рисунок).



Совмещенные кривые
фракционного состава
русловых отложений
наносов:

- a – р. Угам, с. Ходжикент;
- b – р. Чадак, устье Джулайсай;
- 1 – по измерениям О.Б. Щегловой и А.А. Чирковой, 1959;
- 2 – по измерениям 1967 г.;
- 3 – 1968 г.;
- 4 – 1969 г.;
- 5 – 1976 г.

1) В 1976 г. проведены измерения на участках створов 5 рек, в 1967–1969 гг. – 54 рек, в 1959 г. – 10 рек.

Повторные замеры руслового галечника и совмещение гранулометрических кривых показали, что при прохождении расходов воды, меньших руслоформирующих (обеспеченностью $P > 15\%$), на реках любой устойчивости наблюдается незначительное переформирование русловых отложений наносов в диапазоне мелких и частично средних фракций, менее $d_{отм.}$.

Прохождение руслоформирующих расходов (обеспеченностью $5\% < P < 15\%$) вызывает существенное переформирование русловых отложений (вымывание мелких и средних фракций) также при устойчивости русловой отмостки.

По нашим наблюдениям, при прохождении расходов воды обеспеченностью $P > 5\%$ на горно-предгорных реках размер крупных фракций, начиная с $d_{18-22\%}$ -ной обеспеченности, т.е. d_{78-82} по интегральным кривым гранулометрического состава, остается практически неизменным. Следовательно для участков створов горно-предгорных рек d_{80} по кривым гранулометрического состава русловых отложений наносов можно принять за средний диаметр отмостки русла ($d_{отм.} = d_{80}$).

Прохождение же руслоформирующих (руслоразрушающих) расходов обеспеченностью $P < 5\%$ вызывает срыв отмостки русла, что приводит к значительному переформированию как русловых форм, так и отложенных наносов. Особенно значительное переформирование донных отложений наблюдается на неустойчивых участках рек. Отмечено, что на малых горных реках и селевых саях (р. Чадак, Паркентсай, Алтнйбелсай) увеличение среднего диаметра отложений наносов составило 53%, а среднего диаметра отмостки — 62%. На участках горно-предгорных рек с относительно устойчивыми руслами (реки Ойганин-устье, Пскем-устье и др.), где транспортировка наносов во время прохождения паводков осуществляется за счет их транзита из расположенных выше зон, изменение русловых форм и гранулометрического состава донных отложений менее существенно.

Важнейшей характеристикой отмостки русла является, как известно, абсолютная высота выступа залуна (Δ). При обмере руслового галечника, кроме измерений абсолютной высо-

ты, определялся истинный размер валунов посредством освобождения их от чехла мелкозема. Как показали полевые измерения, среднее занесение крупной фракции, составляющей отмытку русла, равно, примерно, 30% от размера среднего диаметра камня отмытки, что подтверждает справедливость принятого соотношения между диаметром отмытки русла и абсолютной высотой валунов /I, 4/.

$$\Delta \approx 0,7 \cdot d_{\text{отм}} \quad (I)$$

При полевом обмере русловых отложений взброд под водой, когда вследствие погребения крупной части фракции, практически невозможно измерить истинные размеры валунов, их можно рассчитать по зависимости, вытекающей из уравнения (I).

Л и т е р а т у р а

1. Г о н ч а р о в В.Н. Основы динамики русловых потоков. М.-Л., Гидрометеиздат, 1954.
2. Л е в и И.И. Моделирование гидравлических явлений. М.-Л., Госэнергоиздат, 1960.
3. К н о р о з В.С. Естественная отмытка русл, образованных материалами неоднородной крупности. Изв. ВНИИГ, т. 70, 1962.
4. Т а л м а з а В.Ф., К р о ш н и н А.Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек. Изд-во "Кыргызстан", Фрунзе, 1968.
5. Щ е г л о в а О.П., Ч и р к о в а А.А. Шероховатость речных русел бассейна Чирчика. Научные труды ТашГУ, вып. 237, 1964.

З.Н. НУРИТДИНОВ
рук. группы
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЮ ПРИ НАЛИЧИИ И ИСЧЕЗНОВЕНИИ ДОННЫХ ГРЯД

При возведении водозаборных сооружений приходится предусматривать ряд специальных мероприятий, позволяющих производить необходимое регулирование речного потока для надлежащего забора воды в оросительные системы, а также уменьшения количества вовлекаемых наносов. Это требует всестороннего и более глубокого изучения закономерностей движения песчаных наносов рек и создания для них рациональных методов расчета коэффициентов шероховатости и сопротивления движению.

В большинстве случаев в равнинной части рек, сложенных песчаными наносами, наблюдается грядовая форма движения наносов. Как видно из экспериментальных данных, а также наблюдений на реках и каналах, развитие песчаных гряд связано с изменением гидравлических элементов потока. Размеры гряд при этом изменяются в зависимости от крупности и удельного веса частиц, а также от скорости потока и расхода наносов.

Как известно, все формы движения наносов определяются скоростью потока. Разумеется, есть такая начальная скорость потока, при которой полностью отсутствует любая форма движения наносов. При условии, что отношение средней скорости потока к неразмывающей меньше или равно единице ($\frac{u}{u_0} \leq 1$), гряды на дне потока отсутствуют и в это время расход наносов равен нулю. А при скоростях течения, незначительно превышающих ее неразмывающую величину, можно установить, что наносы движутся отдельными зернами скачкообразно, не группируясь в массы и не изменяя поверхности дна, т.е. наносное дно потока сохраняет свою плоскую форму.

Дальнейшее возрастание средних скоростей потока приводит к резким изменениям в характере движения наносов. Движение наносов начинает испытывать влияние некоторого координирующего фактора — вихря. Под его действием наносы собираются в группы, и образуются грядки высотой в несколько диаметров частиц [1,2].

При дальнейшем возрастании средних скоростей потока размеры грядки растут и высота гряды начинает влиять на кинематическую структуру потока. Вследствие этого за грядами образуется водоворотная зона, что приводит к сильному изменению гидродинамических условий потока.

Водоворотная зона за гребнем гряды как бы отжимает транзитную часть потока, образуя местное сопротивление движению над гребнем гряды. Наличие гряд на дне потока и вихревых областей в подвалье способствует увеличению шероховатости дна и росту значений сопротивлений движению потока. Как показали данные опытов [3], при увеличении средней скорости потока (т.е. это происходит при возрастании расхода наносов) высота гряд растет, и при насыщении потока относительным количеством наносов, равным $0,5 \div 0,7$ г/л, гряды на дне потоков имеют свои максимальные размеры; в это время образованное ими сопротивление движению потока также бывает максимальным.

Дальнейшее увеличение средней скорости или расхода наносов приводит к медленному уменьшению высоты гряд; это, в свою очередь, приводит к медленному уменьшению коэффициента сопротивления. При дальнейшем увеличении средней скорости потока интенсивность срабатывания размеров гряд возрастает, и при некоторой средней скорости ($F_r \gg 1$) гряды на дне потоков полностью смываются и возникает сплошное влечение наносов. В это время происходит интенсивное взвешивание наносов, и часть их транспортируется по дну — донные наносы. Создается впечатление, что наносы перемещаются слоем за счет постоянного смыва гребней гряд; в это время коэффициент сопротивления движению уже можно считать постоянным, имеющим свои минимальные значения, что часто наблюдается в натуральных условиях (р.Амударья)..

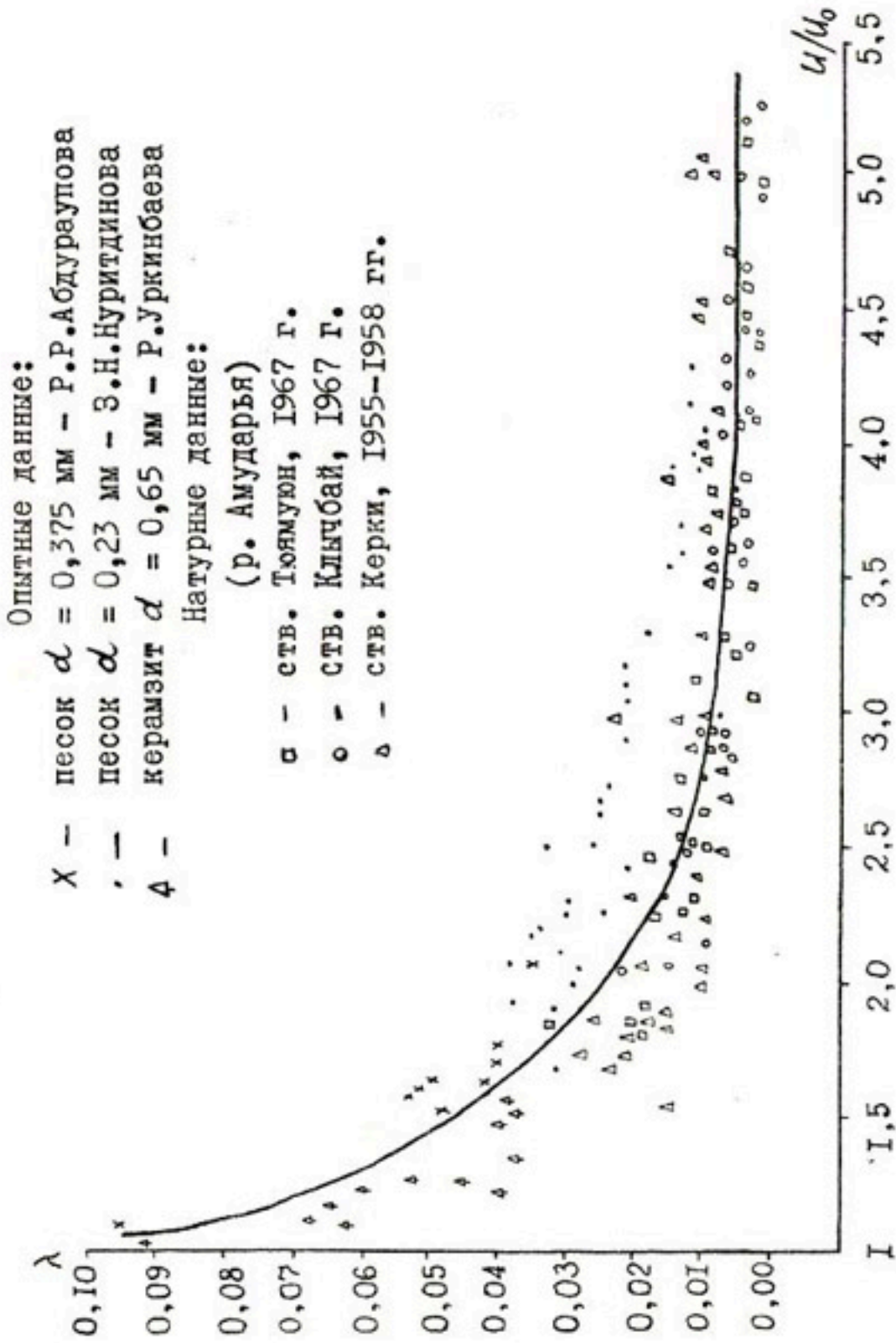
Из изложенного выше следует, что наличие гряд на дне потока и вихревых областей в подвалъе гряд способствует увеличению шероховатости дна и росту сопротивления движению потока. Изменение значения коэффициента сопротивления движению тесно связано с изменением средней скорости потока или отношением средней скорости к неразмывающей, т.е. при $\frac{u}{u_0} = 1,2$ высота гряд, а также значение коэффициента сопротивления имеют свои максимальные значения; а при $\frac{u}{u_0} > 1,2$ высота гряд и значения коэффициента сопротивления уменьшаются и при исчезновении гряд стремятся к постоянному значению [2].

Таким образом, любая форма движения песчаных наносов зависит от величины относительной скорости потока, определяемой соотношением $\frac{u}{u_0}$. С увеличением избыточной скорости крутизна гряд уменьшается и, как следствие, уменьшится и коэффициент сопротивления движению. Учитывая такой характер изменения размеров гряд, можно написать уравнение коэффициента сопротивления в зависимости от избыточной скорости потока в следующем виде:

$$\lambda = f\left(\frac{u}{u_0}\right). \quad (1)$$

При использовании данных опытов САНИИРИ с песком и керамзитом, а также данных природы (р.Амударья) был построен график изменения коэффициента сопротивления движению, зависящий от изменения относительной скорости (рисунок). Из-за более высоких значений на модели относительных шероховатостей русл (т.е. отношения высоты гряд к средней глубине потока), чем в природе в руслах с мелкопесчаным дном, данные опытов на графике расположились несколько выше, чем натурные. Из рисунка видно, что коэффициент сопротивления движению и относительная скорость связаны между собой экспоненциальной зависимостью, имеющей вид

$$\lambda = \lambda_0 + d e^{-a\left(\frac{u}{u_0} - 1,2\right)}. \quad (2)$$



Зависимость коэффициента сопротивления от изменения относительной скорости потока.

Из зависимости (2) видно, что коэффициент сопротивления движению уменьшается от некоторого максимального значения и стремится к некоторой постоянной величине λ .

При учетывании характера распределения опытных и натурных данных значений коэффициента сопротивления и относительной скорости получим следующее уравнение:

$$\lambda = \lambda_0 + 0.09e^{-1.6\left(\frac{u}{u_0} - 1.2\right)}, \quad (3)$$

где λ_0 — коэффициент сопротивления движению при исчезновении гряд, определяемый зернистой шероховатостью дна, равный $\lambda_0 = 0,005$.

Из полученной зависимости (3) видно, что наличие гряд на дне потока увеличивает коэффициент сопротивления движению, а разрушение их приводит к получению постоянного коэффициента сопротивления, что часто наблюдается на реках с мелкопесчаным дном.

Полученную зависимость можно рекомендовать для практических расчетов по определению значений коэффициента сопротивления движению в руслах с мелкопесчаным дном при изменении диаметра частиц наносов $d_{cp} = 0,1-0,6$ мм.

Л и т е р а т у р а

1. Мухамедов А.М., Абдураупов Р.Р., Нуритдинов З.Н. Некоторые вопросы кинематической структуры турбулентного потока. Доклады ВАСХНИЛ, вып.8, 1974.
2. Абдураупов Р.Р., Нуритдинов З.Н. Причины возникновения гряд и их гидравлические элементы, Труды САННИРИ, вып.147, 1975.
3. Абдураупов Р.Р., Нуритдинов З.Н. Образование и разрушение гряд при насыщении потока мелкопесчаными наносами. Доклады ВАСХНИЛ, вып. 2, 1975.

Р.Г. ВАФИН
инженер
(Узгипроводхоз)

ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СЕЛЕВЫХ ПАВОДКОВ

В настоящее время сток почти всех более или менее крупных рек зарегулирован, и на повестку дня теперь ставится вопрос о регулировании стока также и малых водотоков. Регулирование стока малых водотоков имеет ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать.

Во-первых, резкая концентрация стока в весенний период: соотношение весеннего стока к годовому может составлять 80-90%, а в отдельных случаях и 100%.

Во-вторых, малые водотоки в основном формируются за счет весенних ливней и таяния низкогорных снегов, что обуславливает интенсивные эрозионные процессы и большое насыщение потока наносами. Максимум насыщения наносами в этих водотоках отмечается в период прохождения селевых паводков.

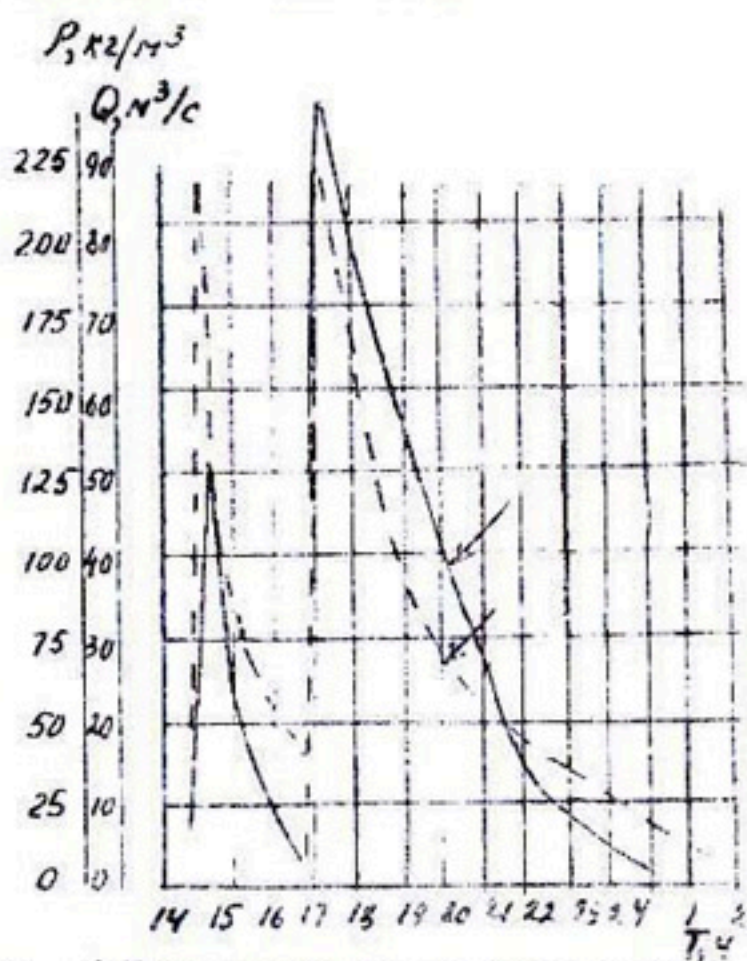
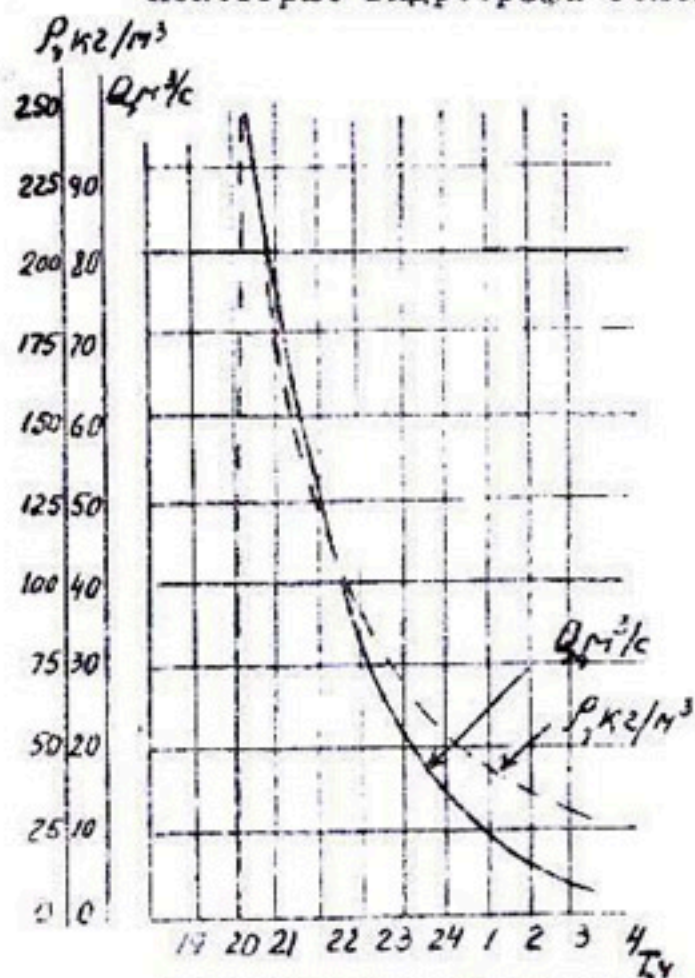
Резкая концентрация стока и большая насыщенность его наносами создает ряд определенных затруднений при проектировании и эксплуатации селеводохранилищ и каналов.

Автором статьи на основе полевых исследований, проведенных в северо-восточных районах Ферганской долины в 1963-1972 гг., предлагается методика расчета твердой составляющей селевых потоков на малых водотоках.

Формирование твердого стока селей происходит в результате сложного взаимодействия климатических факторов с факторами подстилающей поверхности. Климатические факторы в предгорных и горных районах зависят от высоты местности, а для факторов подстилающей поверхности эта связь не характерна.

Величина твердого стока в различных бассейнах неодинакова, зависит от тех или иных факторов подстилающей поверхности, поэтому в разных бассейнах она различна.

Совсем недавно величина твердой фазы определялась в зависимости от одного или двух определяющих факторов /1/. Теперь, когда стало возможным выполнять наиболее сложные расчеты на ЭВМ, этот вопрос может быть решен достаточно строго и объективно методом множественной корреляции. Этот метод позволяет исследовать зависимость твердого стока от большого числа определяющих его физико-географических и климатических факторов с учетом их взаимосвязи. Исходными материалами явились фактические данные полевых исследований за 10-летний период /2/. За это время было зафиксировано прохождение 10 селей и обследовано около 100 водотоков после прохождения селевых паводков. В период прохождения селей фиксировались гидрографы жидкой и твердой фаз, брались пробы на мутность и механический анализ, определялись скорости течения, расходы, уклоны потока и т.д. /3/. Некоторые гидрографы селей приводятся на рис. а-г.



а) Чартаксай, 24 июня 1964 г. б) Чартаксай, 16-17 июля 1964 г.

Натурные гидрографы селевых потоков.

Для расчета стока взвешенных наносов за период прохождения селя необходимо знать среднюю за паводок мутность ($\rho_{\text{ср}}$). Нами на основании собственных исследований и исследований других авторов получена зависимость средней мутности от максимальной:

$$\rho_{\text{ср}} = 0,27 \rho_{\text{макс}}^{1,15},$$

Сток взвешенных наносов за селевой паводок определяется по объему или по среднему расходу и продолжительности паводка.

Методика определения стока донных наносов. Селевые потоки исследуемого района характеризуются значительным содержанием влекомых наносов. По нашим наблюдениям, сток влекомых наносов в отдельных случаях достигал 35% от стока взвешенных наносов.

В процессе исследований установлено, что донные наносы формируются как за счет скатывания камней со склонов (в верхней части водотока с крутыми склонами), так и за счет русловых переформирований в транзитной части потока.

Влекомые наносы, формирующиеся в верховьях саев, названы нами склоновыми выносами. В качестве определяющих факторов склонового выноса приняты максимальный расход паводка, средний уклон склона или русла, а также средний диаметр отложений. Между этими факторами установлена достаточно тесная взаимосвязь, которая выражается зависимостью

$$W = 5370 \frac{Q_{\text{макс}}^{1,4} \cdot J^{1,46}}{d_{\text{ср}}^{0,56}}, \text{ м}^3,$$

где W — объем склонового выноса, м^3 ;

$d_{\text{ср}}$ — средний диаметр отложений, мм.

Полный коэффициент множественной корреляции переменных равен 0,90.

На формирование стока влекомых наносов на участках транзитного переноса и отложений большое влияние оказывают гидравлические характеристики потока и морфометрические характеристики русла.

Расчетная зависимость расхода влекомых наносов устанавливалась по соотношению:

$$q_{\tau} = f(q_n, i_p, d_{\text{ср}}, \gamma_c),$$

- где q_T -- погонный расход влекомых наносов, кг/с на пог.м.;
 i_p -- уклон водной поверхности на расчетном участке;
 d_{cp} -- средний диаметр донных наносов;
 γ_c -- объемный вес селя, т/м³;
 q_n -- погонный расход воды, м³/с на пог.м.

Ввиду достаточной однотипности фракционного состава исследуемых водотоков установить зависимость количества влекомых наносов от их среднего диаметра не удалось. Но между остальными переменными эта связь была выявлена. Полный коэффициент множественной корреляции равен $R = 0,76$.

Зависимость стока влекомых наносов от определяющих факторов выражается уравнением

$$q_T = 69 q_n^{0,43} \cdot i_p^{0,34} \cdot \gamma_c^{3,9}, \text{ кг/с.}$$

Сток влекомых наносов рассчитывается по среднему расходу воды за паводок или по гидрографу паводка.

Сопоставление фактических значений твердого стока со значениями, вычисленными по предложенным зависимостям, показывает достаточное сходство и, следовательно, подтверждает надежность расчета.

Предложенные зависимости рекомендуются для расчета твердой фазы селевых потоков, формирующихся в низкотерных, предгорных и адирных районах.

Л и т е р а т у р а

1. М а л ь ц е в А.Е. Экспериментальные исследования и расчет материала, поступающего из саев, при прогнозах заносимости водохранилищ на горных реках. Изв. АН УзССР № 6, серия техн. наук, Ташкент, 1967.
2. В а ф и н Р.Г. Исследование селевых выносов Ферганской долины. Труды САННИРИ, вып. 134, Ташкент, 1971.
3. К у д р я ш о в А.Ф. Опыт применения объемного метода учета наносов. В кн. "Материалы Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними", Баку, 1962.

4. В а ф и н Р.Г. Донные наносы селевых потоков. Труды САНИИРИ, вып. 124, Ташкент, 1970.
5. В а ф и н Р.Г. Мутность селевых потоков. Труды САНИИРИ, вып. 124, Ташкент, 1970.

В.А. СКРЫЛЬНИКОВ

канд.техн.наук, ст.научн.сотр.

(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ЗАИЛЕНИЯ ВЕРХНИХ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛОВ

В работах /1,2/ по натурным и лабораторным данным установлено, что процесс заиления в зависимости от отношения $\frac{W_p}{W_n}$ (W_p - объем устойчивого русла, транспортирующего все фракции взвешенных наносов; W_n - начальный объем бьефа) состоит из одной или двух стадий. В бьефах, имеющих в начальный момент эксплуатации отношение $\frac{W_p}{W_n} < 0,12$, процесс заиления совершается в две стадии: первая - полное отложение "твердого" стока; вторая - объем отложений выражается уменьшающейся долей "твердого" стока. В бьефах, имеющих значение $\frac{W_p}{W_n} \geq 0,12$, процесс заиления будет состоять из второй стадии.

Следовательно, показателем перехода от первой стадии ко второй является отношение $\frac{W_p}{W_n} = 0,12$, (1)

где W_n^1 - объем бьефа в начале второй стадии; определяется приближенной зависимостью

$$W_n^1 = \frac{1}{3} \omega_n L. \quad (2)$$

Здесь ω_n - площадь поперечного сечения бьефа на приплотинном участке.

Объем устойчивого русла W_p , по которому транспортируются все фракции взвешенных наносов, $W_p = \omega_p \cdot L$, тогда отношение $\frac{W_p}{W_n}$ можно представить в виде

$$\frac{W_p}{W_n} = \frac{3 \omega_p}{\omega_n} = \frac{3 V_n}{V_p}, \quad (3)$$

где V_n – средняя скорость потока на приплотинном участке;
 V_p – скорость потока в устойчивом русле.

Наименьшая (критическая) скорость потока, при которой частицы данной крупности транспортируются потоком, можно определить по формуле В.С.Кнороза [2].

$$U_{кр} = \frac{0,28 U_0 \sqrt[4]{\rho'}}{\sqrt{d_{кр}}} \sqrt{H} = k \cdot \sqrt{H}, \quad (4)$$

где U_0 – средняя гидравлическая крупность, см/с;

$d_{кр}$ – средний диаметр частиц, соответствующий U_0 , см;

ρ' – содержание взвеси частиц с $d > d_{кр}$, кг/см³.

Фракционный состав взвешенных наносов рек Теджен и Амударьи за паводковый период характеризуется среднемноголетними данными, приведенными в табл. I.

Т а б л и ц а I

р. Теджен						
Номер фракции	I	II	III	IV	V	VI
U , мм	0,5-0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	0,001
ρ , %	0,26	5,8	18,53	43,27	26,5	5,64

р. Амударья								
Номер фракции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
U , мм	1,05	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001
ρ , %	0,3	2,5	15	13,2	47	10	8	4

Среднепаводковый расход воды р.Теджен $Q = 135 \text{ м}^3/\text{с}$, а мутность потока $\rho = 12,9 \text{ кг/м}^3$.

Среднепаводковый расход воды р.Амударьи, по данным наблюдений многих лет, составляет $3880 \text{ м}^3/\text{с}$, а мутность потока – $4,4 \text{ кг/м}^3$.

Результаты вычислений критической скорости при различном сочетании фракций заданного состава наносов для условий рек Теджен и Амударьи приводятся в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Река	Сочета ние фрак- ций	u_0 , см/с	d_{cp} , см	% фрак- ций, мут- ность, $d > d_{cp}$, кг/м ³	ρ , кг/м ³	$\sqrt{d_{cp}}$	$\sqrt[3]{\rho}$	ℓ	H	$\sqrt{H}$	$u_{кр}$, м/с
Теджен	I-UI	0,193	0,006	18	12,9	2,32	1,24	0,0775	0,862	1,74	1,15
	У-UI	0,006	0,0007	60	4,14	2,48	1,255	0,0264	0,08	2,59	0,129
	UI	0,0014	0,00016	100	0,728	0,728	0,925	0,0127	0,0285	2,70	0,047
Амударья	I-УШ	0,374	0,008	19	4,4	0,835	0,957	0,09	1,1	2,4	1,70
	UI-УШ	0,0032	0,00065	60	0,97	0,58	0,875	0,0254	0,0304	7,3	0,082
	УП-УШ	0,001	0,0001	100	0,528	0,528	0,86	0,01	0,024	8,0	0,068
	УШ	0,0001	0,0001	100	0,176	0,176	0,65	0,01	0,0018	14,0	0,0067

Примечание:

$$\ell = \frac{0,28 u_0 \sqrt[3]{\rho}}{\sqrt{d_{cp}}}$$

Глубина действующего русла вычислялась по формуле С.Т.Алтунина /4/:

$$H = \left(\frac{\rho_{\text{и}}}{\Gamma} \right)^2 \frac{1}{J^3}, \quad (5)$$

где Γ – параметр А.Н.Гостунского, равный 3300;
 J – уклон водной поверхности.

Как видно из табл. 2, для условий р.Теджен при скорости потока несколько менее 0,047 м/с начнется вынашивание УІ фракции; при 0,047 м/с и несколько более – вынос из верхнего бьефа УІ и частично У фракций. Следовательно, для условий р.Теджен скорость потока в действующем русле на приплотинном участке, равная 0,047 м/с с небольшим завышением, является предельной; скорость в русле $V_p = 1,15$ м/с. Отношение

$$\frac{W_p}{W_n} = \frac{3 V_n}{V_p} = \frac{3 \times 0,047}{1,15} = 0,123.$$

Для условий р. Амударьи (см.табл. 2) фракции $d < 0,001$ мм в состоянии транспортироваться при очень малых скоростях (0,0067 м/с). Практически УШ фракция может выноситься в нижний бьеф в начальный момент эксплуатации, но это не означает, что в последующий период заиливания начнется возрастающий вынос взвешенных наносов. Дело в том, что при некотором увеличении скорости – более 0,0067 м/с – вынос УП фракции не наблюдается, так как разница в скорости транспортирования УШ и УП фракций значительна.

При скорости потока несколько менее 0,068 м/с УП фракция может выноситься из бьефа лишь частично, в то время как УШ фракция полностью поступает в нижний бьеф. При увеличении скорости от 0,068 м/с и более начнется возрастающий вынос взвешенных наносов, так как для транспортирования УІ–УШ фракций необходима скорость потока, равная 0,082 м/с, которая близка к скорости 0,068 м/с. Поэтому для условий р.Амударьи скорость потока 0,068 м/с можно считать предельной. Скорость потока, при которой транспортируются все фракции взвешенных наносов, составляет 1,7 м/с (табл. 2). Отношение

$$\frac{W_p}{W_n} = \frac{3 V_n}{V_p} = \frac{3 \cdot 0,068}{1,7} = 0,12.$$

Таким образом, произведенные вычисления подтверждают установленную на основе анализа натурных и лабораторных данных

заилнения предельную величину отношения $\frac{W_p}{W_n} = 0,12$, определяющую переход от первой стадии заилнения ко второй. Из выражения (I) можно записать:

$$V_{ср} v = 0,12 V_p, \quad (6)$$

где $V_{ср} v$ — средневзвешенная по объему скорость бьефа.

При значениях $V_p = 1,0 \div 1,7$ м/с: $V_{ср} v = 0,12 \div 0,2$ м/с.

А.Н.Гостунский при средних скоростях $V_{ср} = 0,15 \div 0,2$ м/с рекомендует считать режим потока квазиламинарным.

Таким образом, отношение $\frac{W_p}{W_n}$ — весьма важный показатель режима движения потока в верхнем бьефе. При $\frac{W_p}{W_n} \geq 0,12$ по всему бьефу отмечается режим потока с развитой турбулентностью. В бьефах же, имеющих значение отношения $\frac{W_p}{W_n} < 0,12$, на верховом участке, сопрягающемся с бытовым руслом, наблюдается турбулентный режим, а на нижележащем — квазиламинарный. Так как участок с квазиламинарным режимом занимает значительно большую долю бьефа, режим в нем можно рассматривать в целом как квазиламинарный.

Численные значения отношения $\frac{W_p}{W_n}$ для существующих верхних бьефов гидроузлов приведены в табл. 3., из которой видно, что лишь в двух бьефах (Бозсуйский, Учкурганский), у которых отношение $\frac{W_p}{W_n} \geq 0,12$, отмечается режим протекания потока с развитой турбулентностью, и заилнение происходит по закономерностям второй стадии.

Для остальных бьефов $\frac{W_p}{W_n} < 0,12$, и заилнение здесь будет происходить в две стадии. Причем, чем меньше это отношение по сравнению с предельным, тем более продолжительной будет первая стадия заилнения (период полного отложения наносов).

Для бьефов же Элефант Бют, Савио, Ла-Пара величина отношения $\frac{W_p}{W_n}$ очень мала. Это указывает на то, что свободный объем бьефа во второй стадии, определяемый по выражению $W'_n = \frac{W_p}{0,12}$, начиная с которого следует ожидать выноса наносов в нижний бьеф, будет очень мал по сравнению с начальным объемом. Поэтому второй стадией заилнения для условий этих бьефов можно пренебречь и пользоваться простой известной зависимостью $T = \frac{W_n}{\epsilon_0}$ (здесь W_n — начальный объем бьефа; ϵ_0 — среднегодовой сток наносов).

Т а б л и ц а 3

Наименование бьефа (водохранилища)	Начальный объем W_n , 10^6 м^3	Объем устойчи- вого русла W_p , 10^6 м^3	Отношение W_p / W_n
Фархадский	265	20	0,076
Тедженский	148	2,82	0,019
Ташкепринский	166	2,73	0,016
Султанбекский	73,5	2,73	0,037
Гергебильский	11,5	0,2	0,017
Бозсуйский	1,66	0,2	0,12
Учкурганский	31,6	6,0	0,189
Заалах (Бавария)	3,5	0,174	0,05
Бойсен (США)	19,8	1,23	0,062
Генсли (США)	89	5,35	0,06
Остин старое (США)	60,8	3,62	0,059
Остин новое --	39,5	2,01	0,051
Элефант-Бют (США)	3250	6,76	0,0021
Кварто (Италия) р.Савио	2,25	0,018	0,008
р. Ла-Пара	2,25	0,011	0,005

Л и т е р а т у р а

1. С к р ы л ь н и к о в В.А. Расчет продолжительности заиления подпертых бьефов и водохранилищ. Изв.АН УзССР, серия техн.наук, № 3, 1966.
2. Л е в и И.И. Динамика русловых потоков. М., Госэнергоиздат, 1957.
3. А л т у н и н С.Т. В сб. "Русловые процессы", М., АН СССР, 1958.
4. С к р ы л ь н и к о в В.А. Труды САНИИРИ, вып. 120, Ташкент, 1970.
5. С к р ы л ь н и к о в В.А. Вопросы гидротехники, вып. 13, Ташкент, 1963.

А.Р. ХАЛИКОВ
аспирант
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ОТВОДА ТРАССЫ СПРЯМЛЯЮЩЕЙ ПРОРЕЗИ

Одним из средств временной защиты берега, подверженного дейгишу, является русловыправительная прорезь. Прорезь, работая как боковой отвод, должна обеспечить изменения направления потока и способствовать уменьшению расхода в излучине. При этом водный поток, насыщенный наносами, должен быть направлен в излучину, а относительно чистая вода — в прорезь.

Указанные требования соблюдаются при правильном назначении угла и места расположения отвода потока на неустойчивом вогнутом участке реки.

Для предотвращения образования отмели в входной части отвода и недопущения планового смещения его необходимо в каждом случае устанавливать с оптимальным углом отвода. Оптимальным углом отвода следует считать такой угол сопряжения фарватера реки и прорези, который создает условия, недопускающие образование отмели, сужающей вход в спрямляющую прорезь, и тем самым сокращающей отвод воды.

В качестве примера неудачного назначения угла отвода приведем данные по прорези в районе головы канала Ташсакка /I/.

Прорезь в этом районе выполнялась в 1961–1962 гг. с углом отвода в пределах $55-65^\circ$. Открытие прорези на саморазрыв произвели 19 апреля 1962 г. Саморазрыва прорези не произошло, так как вход в прорезь стал интенсивно блокироваться отмелями, что вызвало быстрое и полное заиливание всего сечения прорези в объеме 800 тыс. м^3 .

Попытки поддержать прорезь в рабочем состоянии с помощью дополнительных мер (взрывные работы, рыхление отмели

в русле колесами судов и очистные работы землесосами) никакого эффекта не дали. Причиной этого явления, по-видимому, является недостаточный учет формы русла (угол и место отвода прорези) и неправильный выбор времени открытия прорези.

Ясно представляя ответственность правильного назначения угла отвода и поддержание его с помощью струенаправляющих дамб, было решено определить его в натурных условиях по материалам аэрофотосъемки, произведенной при прохождении расходов по реке от 600 до 1100 м³/с.

На основании анализа ежегодных двукратных аэрофотосъемок, производимых в течение 6 лет на участке нижнего течения р. Амударьи длиной более 300 км, отмечено, что углы отвода естественных протоков, углы отрыва струй от кромки выступов берегов и углы отклонения потока островами, лобовая часть которых представлена в виде неравнобоких клиньев, направленных остриями навстречу течению, имеют некоторое сходство при обтекании потоком.

Например, если угол отвода естественного протока больше 23°, то в голове протока образуются отмель и отложение наносов и, если выступ русловых образований или коренного берега отклоняет поток более указанного угла, то за кромкой выступа наблюдается также отложение наносов.

При набегании потока с высокими скоростями и повышенной мутностью на крупные клинообразные русловые образования, лобовая часть их размывается, а поток в силу неплавного обтекания преграды имеет точку срыва струи, за которой возникает застойная зона, аккумулирующая наносы и изменяющая условия взаимодействия русла и потока, вызывая перегруппировку гидравлической структуры потока.

Учитывая конфигурацию указанных выше русловых образований можно сделать вывод, что отклонения потока без образований отмелей происходят при угле отвода 20–23°. При больших отклонениях потока застойная зона резко возрастает, блокируя создающимися отмелями вход в рукав или протоку.

Анализ натурных материалов показывает, что отводы большинства прорезей, назначенных в пределах до 30°, работали благоприятно, что подтверждает созданный самим пото-

ком угол отвода протоки от основного русла, в которую впоследствии перемещается фарватер реки.

При проектировании спрямляющих прорезей в низовьях р.Амударьи оптимальный угол отвода рекомендуем назначать не более 23° .

Л и т е р а т у р а

1. М у х а м е д о в А.М., У р к и н б а е в Р.К. Результаты исследований по спрямлению излучин в условиях р.Амударьи. Сб.докладов Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам, Ташкент, 1974.

Э. ХУСАНХОДЖАЕВ

ст.научн. сотр.

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ МНОГООЧКОВЫХ ВОДОВЫПУСКОВ ВОДОДЕЛИТЕЛЕЙ

Вопросу пропускной способности сооружений уделялось большое внимание, но в основном все исследования сводились к изучению пропускной способности одноочковых трубчатых водовыпусков, при допущении, что пропускная способность многоочковых сооружений есть сумма расходов одноочковых, а коэффициент расхода для каждой трубы принимался неизменным.

В ряде работ при оценке пропускной способности двухочковых водовыпусков лишь отмечается увеличение коэффициента расхода, но без установления соответствующих формул расчета. Поэтому появилась необходимость в исследовании влияния числа труб (n), их диаметра, расстояния между трубами ($t_{ср}$), формы входного оголовка, угла водозабора ($\angle$) и величины открытия щита сбросного отверстия вододелителя на пропускную способность многоочкового трубчатого водовыпуска /1,2,3/.

Принятая нами схема исследования вызвана производственными условиями: наиболее часто встречающийся вид входного оголовка — ныряющие стенки, а также простота конструкции и изготовления заводским способом (рис. 1).

Очевидным является то, что при уменьшении сбросного расхода пропускная способность бокового отвода увеличивается за счет повышения напора перед трубой (H) и уменьшения чисел Фруда в магистральном канале, в створе водозабора.

Поэтому целесообразнее показать взаимосвязь между открытием шита на сбросе ($h_{ш}$), напором перед боковым отводом (H), подаваемым расходом в транзитный канал (ΣQ), забираемым расходом в боковой отвод ($Q_{з\alpha\delta}$), количеством входных отверстий и их диаметром.

Исследования проводились на модели, в лаборатории оросительной сети САНИИРИ, масштаба 1:10 натурной величины, при числе отверстий водовыпуска $n = 1, 2, 3$, диаметрах $d = 100; 120; 150$ мм и модельных расходах $Q_m = 0,0068 \div 0,041$ м³/с.

Значения коэффициента расхода бокового отвода подсчитывались по принятой ранее зависимости

$$\mu_i = \sqrt{\frac{B_{ср} \left[\frac{n^2}{2} B_{ср} - n \cdot c \frac{n n^2}{180} \cdot a_1 c \cos \left(1 - \frac{n}{K} \right) \right]}{\omega^2 (2\omega_1 - 2\omega_2 + n K r \cdot \omega_2)}}$$

Числа Фруда в канале перед боковым отводом колебались от 0,008 до 0,37 и определялись по формуле

$$Fr_0 = \frac{\alpha \sqrt{h_{ш}}}{q H} \quad (2)$$

В результате обработки экспериментальных данных построены графики зависимости $\frac{h_{ш}}{H} = f(Fr_0, \Sigma Q, Q_{з\alpha\delta}, n, d)$ (рис. 2, а, б, в). Общее уравнение, характеризующее их, имеет вид

$$\frac{h_{ш}}{H} = \theta - \psi \frac{Q_{з\alpha\delta}}{\Sigma Q} \quad (3)$$

$$\text{или} \quad Q_{з\alpha\delta} = \frac{\Sigma Q \left(\theta - \frac{h_{ш}}{H} \right)}{\psi}, \quad (4)$$

где $\theta = d (0,88 n^2 - 5,24 n + 12,76) - 0,38 n - 0,46, \quad (5)$

$$\psi = -114,4 d^2 + 28 d - 0,3. \quad (6)$$

В формулах (5) и (6) видна зависимость θ от n и d , ψ от d .

Продольный разрез по оси магистрального канала

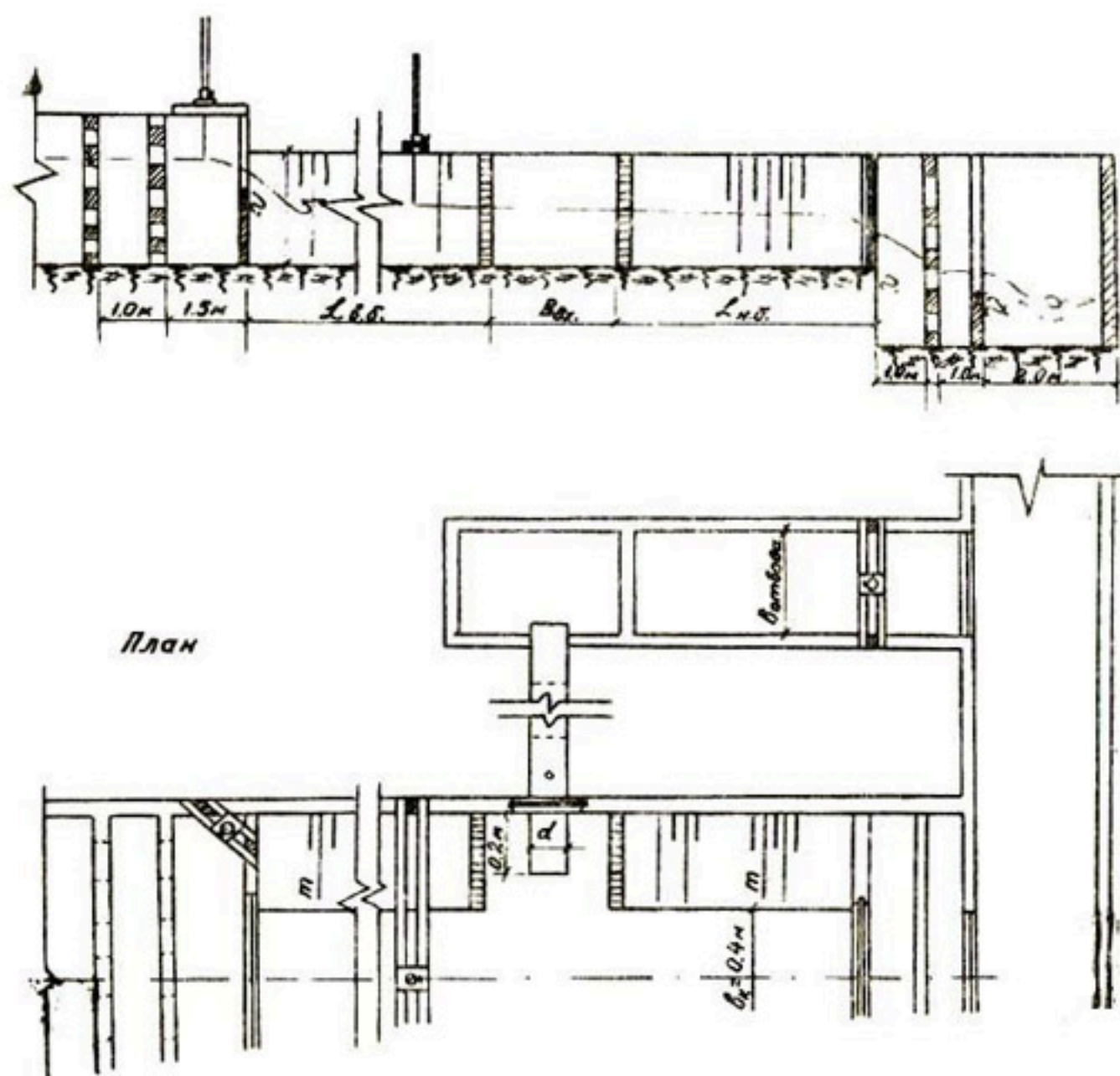


Рис. I. Схема модельной установки трубчатого водовыпуска при боковом водозаборе

В заключении отметим, что предлагаемая формула расчета (4) устраняет ряд недостатков существующего метода. Она была использована проектной группой Отдела Амударьи, в техническом проекте Кызылаякского гидроузла; при проектировании вариантов водозаборных сооружений Каракумского и Каршинского каналов, а также проектной группой Амударьинского управления оросительных систем на канале Кызкеткен.

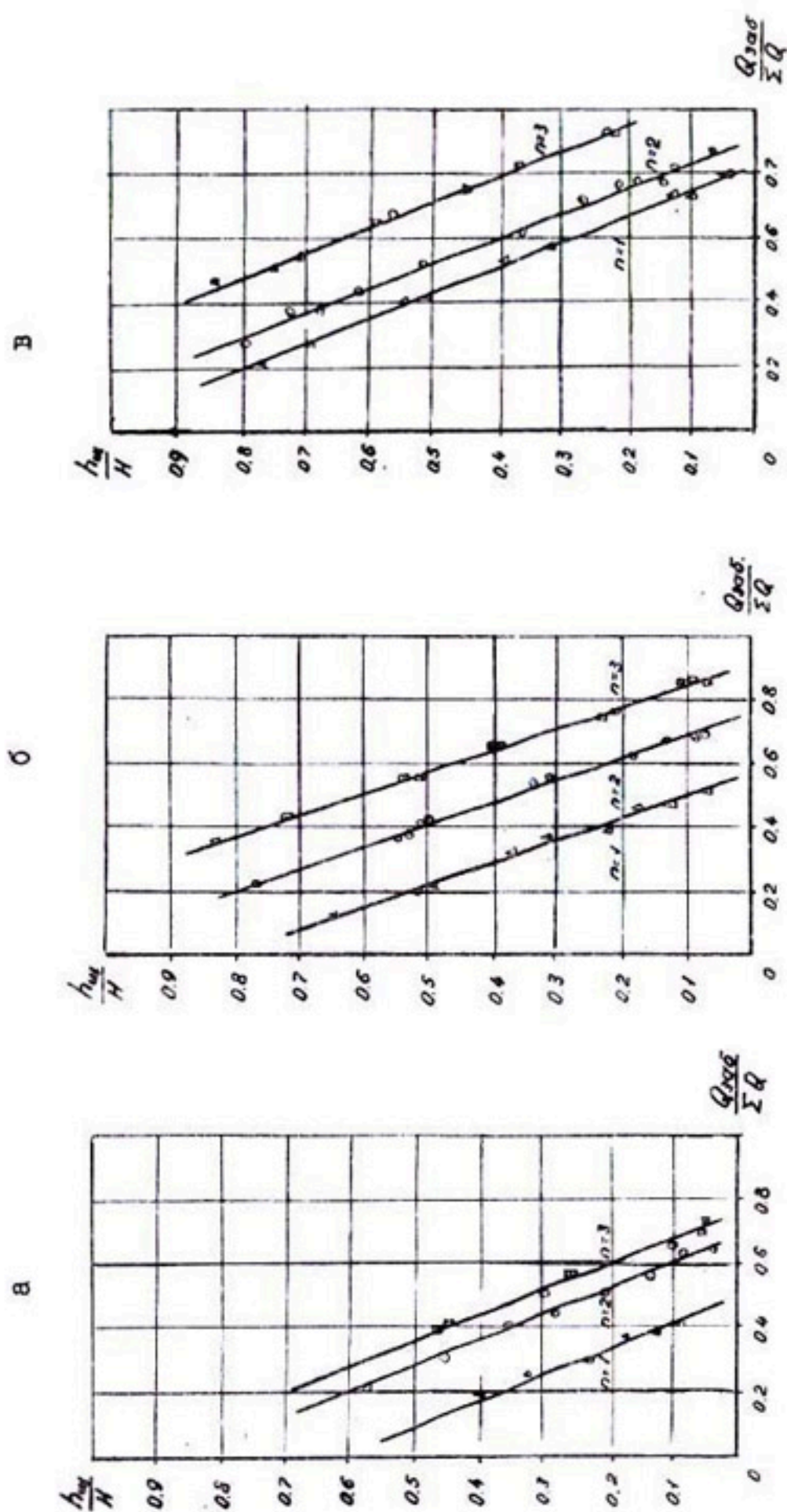


Рис. 2. Графики зависимости $\frac{h_{\max}}{H} = f\left[\frac{Q_{300}}{\Sigma Q}\right]$ при: а) $d = 100$ мм; б) $d = 120$ мм; в) $d = 150$ мм.

Л и т е р а т у р а

1. Х у с а н х о д ж а е в Э.З. К расчету пропускной способности многоочковых трубчатых водовыпусков. Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов водного хозяйства, Ташкент, 1973.
2. Х у с а н х о д ж а е в Э.З. Определение пропускной способности двухочкового трубчатого регулятора. Сб. научных трудов, вып. 140, САНИИРИ, Ташкент, 1974.
3. Х у с а н х о д ж а е в Э.З. О некоторых результатах расчета многоочковых трубчатых регуляторов перепадов. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых и специалистов водного хозяйства, посвященная XXV съезду КПСС, Ташкент, 1976.

Л.А. МАШКОВИЧ
канд.техн.наук, доцент
Б.Г. МАЛЛАЕВ
канд.техн. наук
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА ЗА ЩИТОВЫМ ОТВЕРСТИЕМ ПЕРЕД ПЕРЕПАДОМ

Применение в конструкции регулятора-перепада ромбовидного водоската, форма и размеры которого определяются соответственно условиям образования в трапециевидальном русле прямого гидравлического прыжка [1,2], является, по мнению авторов [3], рациональным лишь при наличии в сооружении специального устройства, обеспечивающего в случаях пропуска расходов воды из-под щита безотрывное растекание бурного потока на прямолинейно расширяющемся участке водоската.

Достаточно просто это требование удовлетворяется при устройстве во входной части регулятора-перепада, ниже места установки затвора, водобойного колодца, образованного водобойной стенкой, работающей подобно неподтопленному водосливу с широким порогом (рис.1).

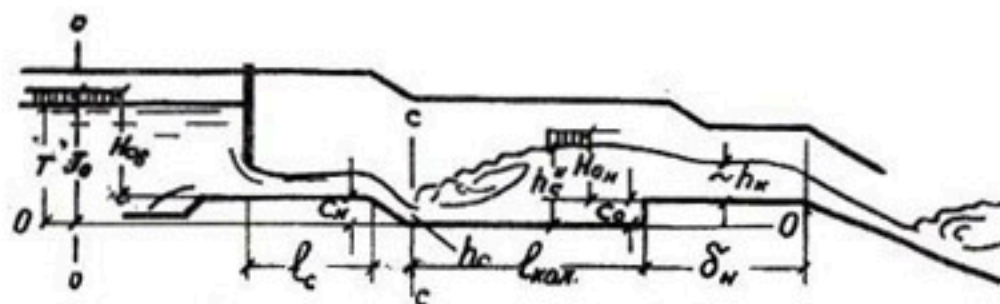


Рис. 1. Схема к расчету водобойного колодца.

При правильно назначенных вертикальных и продольных размерах такого колодца глубины потока на водобойной стенке (при всех пропускаемых из-под щита расходах) должны лишь немного отличаться от критических, а соответствующие им числа Фруда должны быть близкими к единице.

Известно, что при таких условиях угол расширения русла, в котором струи бурного потока еще не отрываются от боковых его стенок, оказывается наибольшим /4/. Поэтому при углах расширения ромбовидного водоската меньше предельного угла формы потока в нижнем бьефе регулятора-перепада при устройстве водобойного колодца перед водоскатом ничем не должны отличаться от наблюдаемых в транзитных перепадах-быстроходах, что подтверждается результатами лабораторных опытов, выполненных авторами.

Ниже излагается расчет размеров водобойного колодца за щитовым отверстием перед перепадом.

При некоторых расчетных значениях напора $H_{0\theta}$, удельного расхода q и глубины потока h_c в сжатом сечении (с-с), определяемой из уравнения

$$T_0 = h_c + \frac{q^2}{2g\varphi_c^2 h_c^3}, \quad (1)$$

где $T_0 = H_{0\theta} + C_n$ - удельная энергия потока в сечении 0-0, измеренная относительно уровня дна колодца (рис. I);

φ_c - коэффициент скорости, учитывающий потери напора на участке потока между сечениями 0-0 и с-с.

необходимая теоретическая высота C_0 водобойной стенки может быть вычислена по формуле

$$C_0 = h_c'' + \frac{h_k^3}{2h_c''^2} - \frac{h_k}{\sqrt[3]{2m_n^2}}, \quad (2)$$

которую представим в виде:

$$\frac{C_0}{T_0} = \frac{h_c''}{T_0} + \frac{h_k}{T_0} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{h_k}{h_c''} \right)^2 - \frac{1}{\sqrt[3]{2m_n^2}} \right], \quad (3)$$

где m_n - коэффициент расхода водобойной стенки;

h_k и h_c'' - критическая глубина и глубина, сопряженная со сжатой глубиной:

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}, \quad (4)$$

$$h_c'' = \frac{h_c}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8Fr_c}), \quad (5)$$

где $Fr_c = \frac{q^2}{g h_c^3} = \left(\frac{h_k}{h_c}\right)^3$ — число Фруда в сжатом сечении с-с.

Так как согласно уравнению (I)

$$\frac{h_c}{T_0} = \frac{2\varphi_c^2}{Fr_c + 2\varphi_c^2}, \quad (6)$$

то входящие в зависимость (3) относительные глубины можно определить из выражений:

$$\frac{h_c''}{T_0} = \frac{\varphi_c^2}{Fr_c + 2\varphi_c^2} (-1 + \sqrt{1 + 8Fr_c}); \quad (7)$$

$$\frac{h_k}{T_0} = \frac{2\varphi_c^2}{Fr_c + 2\varphi_c^2} \sqrt[3]{Fr_c}; \quad (8)$$

$$\frac{h_k}{h_c''} = \frac{2\sqrt[3]{Fr_c}}{-1 + \sqrt{1 + 8Fr_c}} \quad (9)$$

и, после подстановки этих выражений в (3), получить уравнение

$$\frac{C_0}{T_0} = \frac{\varphi_c^2}{Fr_c + 2\varphi_c^2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_c} + \frac{4Fr_c}{(-1 + \sqrt{1 + 8Fr_c})^2} - \frac{2\sqrt[3]{Fr_c}}{\sqrt[3]{2m_n^2}} \right) \quad (10)$$

Правая часть уравнения при определенных значениях коэффициентов φ_c и m_n является функцией только числа Фруда в сечении с-с. Обозначив эту функцию через $f(Fr_c)$, получим

$$\frac{C_0}{T_0} = f(Fr_c). \quad (11)$$

Приведенные на рис. 2 графики функции, вычисленные с помощью ЭВМ и построенные для трех различных сочетаний коэффициентов φ_c и m_n , свидетельствуют о том, что в каждом случае эта функция имеет максимум, значением которого и определяется искомая теоретическая высота водобойной стенки, т.е.

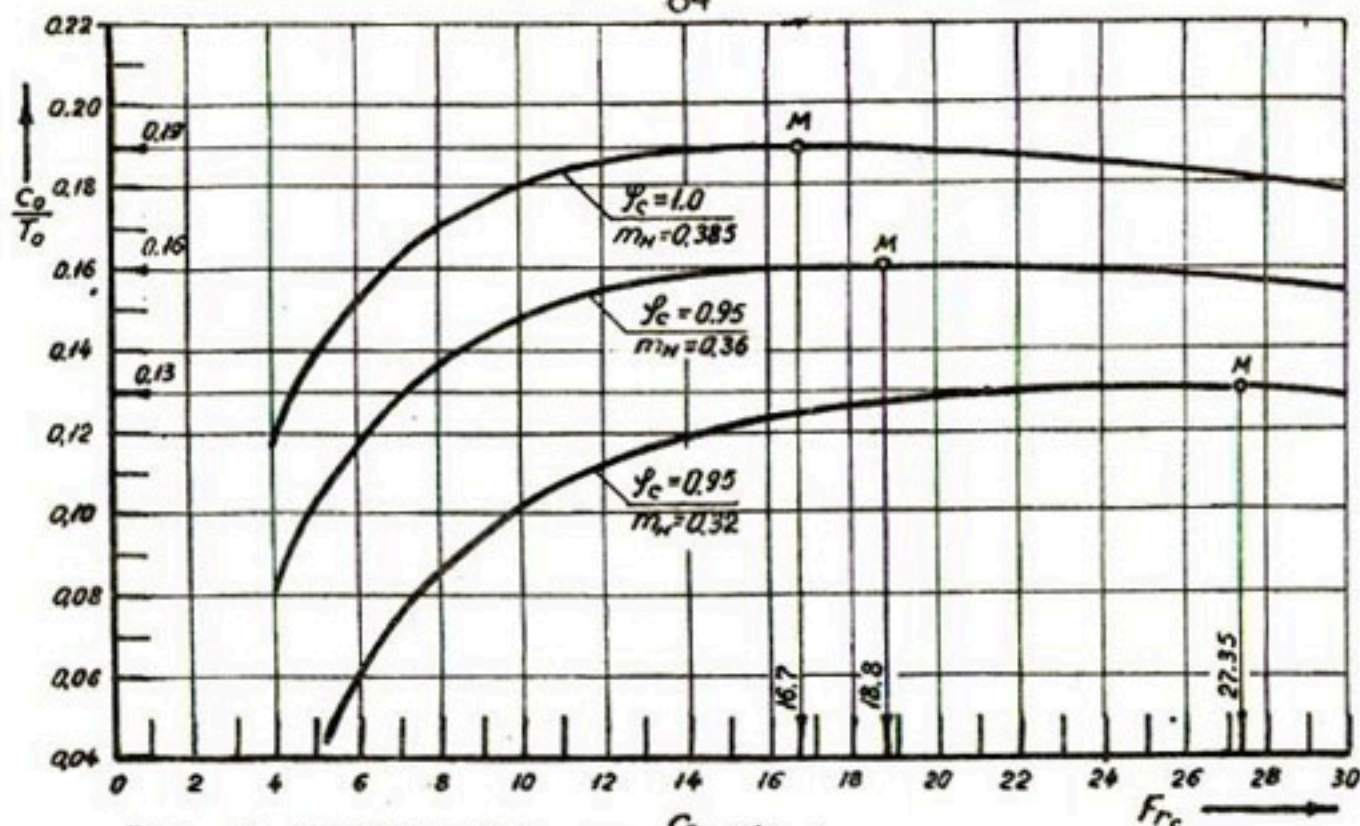


Рис. 2. Графики функции $\frac{C_0}{T_0} = f(Fr_c)$

$C_{0 \max} = 0,19 T_0$ при $\varphi_c = 1$ и $m_n = 0,385$;

$C_{0 \max} = 0,16 T_0$ при $\varphi_c = 0,95$ и $m_n = 0,36$

и $C_{0 \max} = 0,13 T_0$ при $\varphi_c = 0,95$ и $m_n = 0,32$.

Необходимо заметить, что при выводе уравнения (10) мы, используя формулу (5), предполагали, что в водобойном колодце при всех расходах будет наблюдаться совершенный гидравлический прыжок, который, как известно, получается только при

$$h_1 \leq 0,60 h_k \quad \text{или} \quad Fr_c \geq 4,6.$$

Эти условия могут быть достигнуты путем устройства уступа высотой C_n (рис. 1).

Для определения наименьшей высоты C_n используем зависимость (8), переписав ее в виде:

$$\frac{H_{0в} + C_n}{h_k} = \frac{Fr_c + 2\varphi_c^2}{2\varphi_c^2 \sqrt[3]{Fr_c}}. \quad (8 \text{ I})$$

Определив h_k , соответствующую максимальному расходу регулятора, по формуле

$$h_k = \sqrt[3]{2m_e^2 H_{0в}^3}, \quad (12)$$

получим

$$\frac{C_n}{H_0} = \sqrt[3]{2m_e^2} \left[\frac{Fr_c^{1/3}}{2\varphi_c^2} + \frac{1}{Fr_c^{1/3}} \right] - 1, \quad (13)$$

откуда следует, например, что при $F_{1c} = 5$, $\varphi_c = 0,95$ и $m_e = 0,32 \div 0,36$ наименьшая высота уступа должна быть равной

$$C_n = (0,3 \div 0,4) H_{0в}. \quad (14)$$

Однако следует иметь в виду, что при $F_{1c} = 5$ необходимая высота водобойной стенки должна быть меньше высоты, требуемой в случае критических значений F_{1c} , отвечающих максимуму функции $\frac{C_0}{F_{1c}} = f(F_{1c})$. Поэтому при пропуске максимального расхода прыжок в колодце будет затоплен, что может привести к подтоплению входного отверстия (водослива) регулятора, если окажется, что высота подтопления

$$h_n > 1,25 h_k. \quad (15)$$

Так как при высоте водобойной стенки C_0 ($\varphi_c = 0,95$ и $m_n = 0,36$)

$$C_0 = 0,16 (H_{0в} + C_n)$$

и высоте уступа

$$C_n = 0,4 H_{0в}$$

удельная энергия сечения в конце колодца при $H_{0г} = H_{0н}$ выражается формулой:

$$\mathcal{E}_2 = H_{0н} + C_0 = 1,224 H_{0в} = \frac{1,224 h_k}{\sqrt[3]{2 m_n^2}}, \quad (16)$$

то

$$\frac{\mathcal{E}_2}{h_k} = \frac{1,224}{\sqrt[3]{2 m_n^2}} = \frac{1,224}{0,638} = 1,92, \quad \frac{h_2}{h_k} = 1,75$$

$$\text{и } \frac{h_n}{h_k} = \frac{h_2}{h_k} - \frac{C_n}{h_k} = 1,75 - \frac{0,4}{0,638} = 1,12 < 1,25,$$

что свидетельствует о том, что устройство водобойного колодца при принятых вертикальных размерах не должно вызывать уменьшение пропускной способности регулятора.

Что касается длины $\ell_{кол}$ колодца, то она должна быть принята равной длине подпертого прыжка, образующегося в

колодце при пропуске максимального расхода. Используя известную зависимость

$$l_{п.пр} = 3 h_2, \quad (17)$$

имеем $\frac{l_{кол}}{h_k} = \frac{3h_2}{h_k} = 3 \cdot 1,75 = 5,25$

или $l_{кол} = 5,25 h_k = 5,25 \sqrt[3]{2 m_0^2} H_0 \text{ в.}$

откуда, например, при $m_0 = 0,36$ получаем:

$$l_{кол} = 3,35 H_0 \text{ в.}$$

Из изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. В рассматриваемом случае устройства водобойного колодца за щитовым отверстием регулятора-перепada с ромбовидным водоскатом высота водобойной стенки может быть (с учетом необходимости получения некоторого запаса) принята равной:

$$C_0 = 0,19 (H_0 \text{ в.} + C_n).$$

2. Высота C_n уступа, обеспечивающая образование в колодце совершенного гидравлического прыжка при всех пропускаемых регулятором расходах, должна приниматься:

$$C_n = 0,4 H_0 \text{ в.}$$

3. Длина колодца может быть принята равной:

$$l_{кол} = (3 \div 4) H_0 \text{ в.}$$

4. При значениях верхового напора $H_0 \text{ в.} = 2,0 \div 2,5$ м, размерах $l_c \approx 2/3 H_0 \text{ в.}$, $\delta_n \approx 2 H_0 \text{ в.}$ и длине колодца, определяемой по формуле (17), общая длина участка входной части за затвором не превышает ширины совмещаемых с сооружением переездов, что указывает на возможность устройства водобойного колодца как элемента конструкции входной части регуляторов-перепадов.

Л и т е р а т у р а

1. М а ш к о в и ч Л.А. Трапецеидальный перепад-быстроток с ромбовидным водоскатом. Журн. "Гидротехника и мелиорация" № 1, М., 1954.
2. С а р к и с о в Р.К. Надежные конструкции сопрягающих сооружений на оросительных каналах. Журн. "Гидротехника и мелиорация" № 4, М., 1968.
3. М а ш к о в и ч Л.А., М а л л а е в Б.Г. К вопросу о выборе конструкции входной части регуляторов-перепадов с ромбовидным водоскатом. Сб. научных трудов, вып. 151, Ташкент, САНИИРИ, 1976.
4. С у х о м е л Г.И. Угол расширения открытых русл при больших скоростях потока. Журн. "Гидротехническое строительство" № 8-9, М., 1944.

О.Я. ГЛОВАЦКИЙ

аспирант

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АВАНКАМЕРЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ "КАРШИ-1"

Современные конструкции аванкамер не обеспечивают благоприятных гидравлических условий для забора воды насосами. Протекание потока в аванкамере характеризуется наличием боковых водоворотов и глубинных воронок в приемных камерах. Существует мнение, что эти явления особенно интенсивно влияют на работу крайних насосов при расширяющейся аванкамере и сопряжении со зданием станции ныряющими стенками. Опыт эксплуатации уникального Каршинского каскада насосных станций с крупнейшими

в мире по производительности насосами ОПВ 10-260 ЭГ и ОПВ 11-260 ЭГ показал, что крайние насосы находятся в худших условиях и при сопряжении аванкамеры боковыми вертикальными стенками. В 1975-1976 гг. из десяти капитально ремонтировавшихся агрегатов на каскаде семь насосов были крайними.

Эксплуатация головной насосной станции каскада осложняется поступлением из р.Амударьи большого количества плавника и наносов. На решетках сороудерживающего сооружения (СУС) наблюдались перепады напора до 25-30 см. Откосы аванкамеры (особенно до СУС) занесены наносами. В крайних приемных камерах слой наносов при неработающих агрегатах достигал 2,3 м. Такой объем наносов забивает пороги затворов, препятствуя их маневрированию.

Под руководством С.И.Кеберле были проведены гидравлические исследования аванкамеры головной насосной станции "Карши-1" с целью оценки влияния конструкции аванкамеры на работу насосов и выработки рекомендаций по созданию оптимальных гидравлических условий подвода воды. Рекомендации должны были учитывать пять основных требований, предъявляемых к аванкамерам насосных станций:

1. Забор воды насосными агрегатами без периодического подсоса воздуха через воронки, вызывающего дискретный срыв вакуумных зон, резкое изменение давлений, вибрационные и кавитационные явления;

2. Равномерное и равноценное распределение потока между всеми работающими насосами;

3. Прямой ввод воды в камеру и всасывающую трубу насоса с минимальными сопротивлениями (для исключения косого подхода воды к крайним камерам);

4. Предотвращение заиливания аванкамеры и аварийных перепадов на решетках СУС;

5. Недопущение загрязнения направляющих и посадочных мест затворов или решеток.

Натурные исследования показали, что работа аванкамеры не удовлетворяет этим требованиям, и выявили следую-

щие ее недостатки:

а) наличие боковых водоворотов и вихревых зон, искажающих транзитный поток в плане. Водоворотные области увеличиваются около неработающих агрегатов (рис. 1);

б) образование у водоприемника станции подпора до 10 см за счет восстановления скорости, что обуславливает фронтальное движение потока и подход его к крайним агрегатам под углом, близким к 80° ;

в) резкая неравномерность скоростей после пролетов СУС на глубине до 0,9 Н от УВ (рис. 2), наблюдающаяся и у фронта водоприемника: у работающих агрегатов от 0,2 до 0,8 м/с, у неработающих – от 0,07 до 0,6 м/с;

г) поток, протекая вдоль фронта водозабора, при обтекании бычков образует водоворотные воронки, которые усиливаются нисходящими струями во всасывающие трубы. Воронка в камере крайнего шестого насоса интенсивнее, чем в других камерах и достигает в диаметре 75% ширины камеры;

д) вибрация, уровни звукового давления и звука у крайнего агрегата при одинаковых условиях работы значительно больше, чем у средних (таблица).

Лабораторные исследования, проведенные на модели аванкамеры насосной станции "Карши-1" (М 1:36 н.в.) подтвердили результаты натурных исследований:

а) растекание потока в условиях образования водоворотных зон происходит при любой комбинации работающих насосов и увеличивается при уменьшении числа работающих агрегатов;

б) вероятность образования и интенсивность водоворотных воронок возрастают у крайних приемных камер;

в) производительность крайних насосов уменьшается в среднем до 95% по отношению к средним насосам.

На модели исследованы методы стабилизации средних скоростей без их резкого уменьшения перед водоприемником.

Теоретически было найдено решение в виде плавного расширяющегося навстречу потоку прямоугольного входа

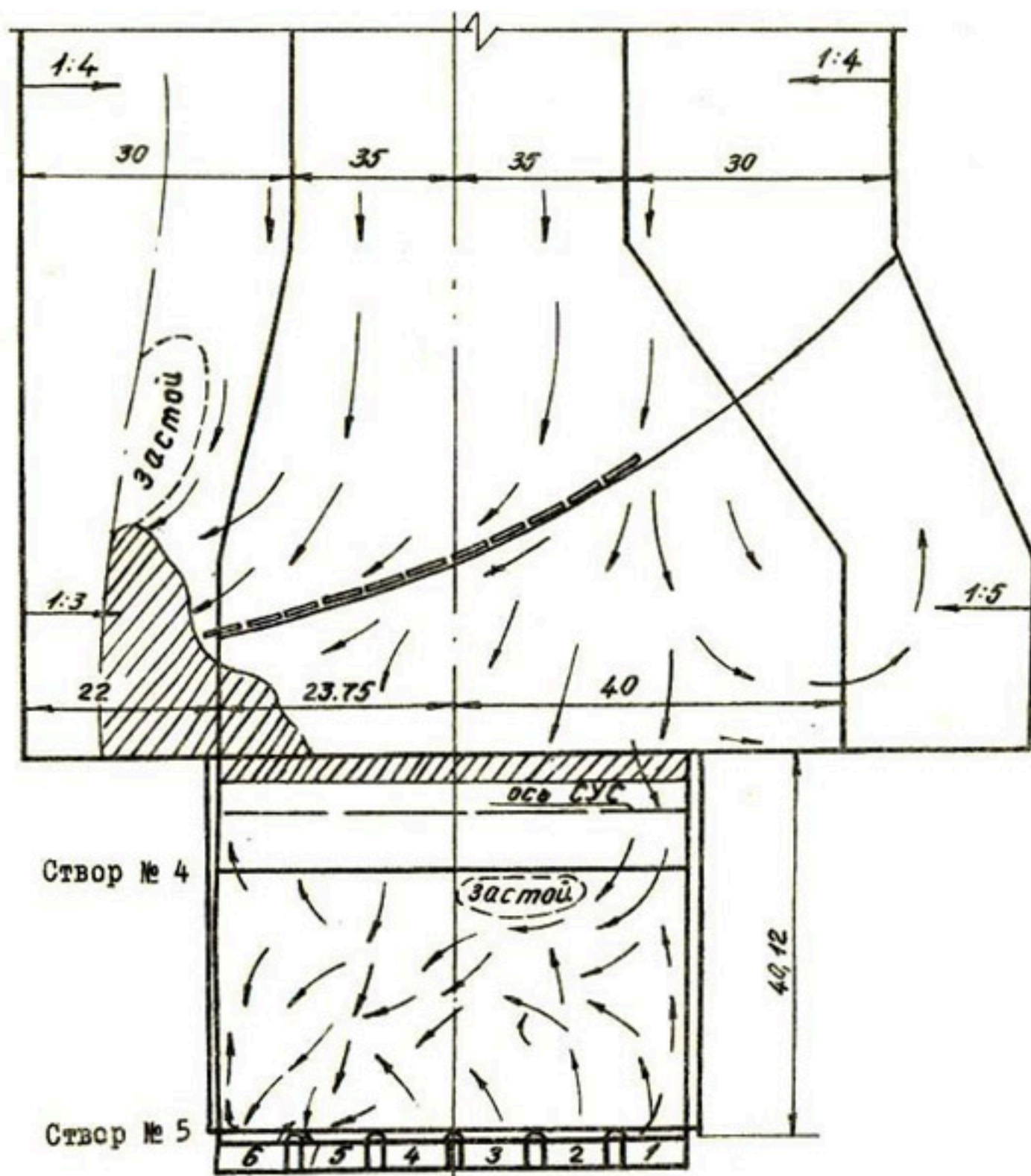
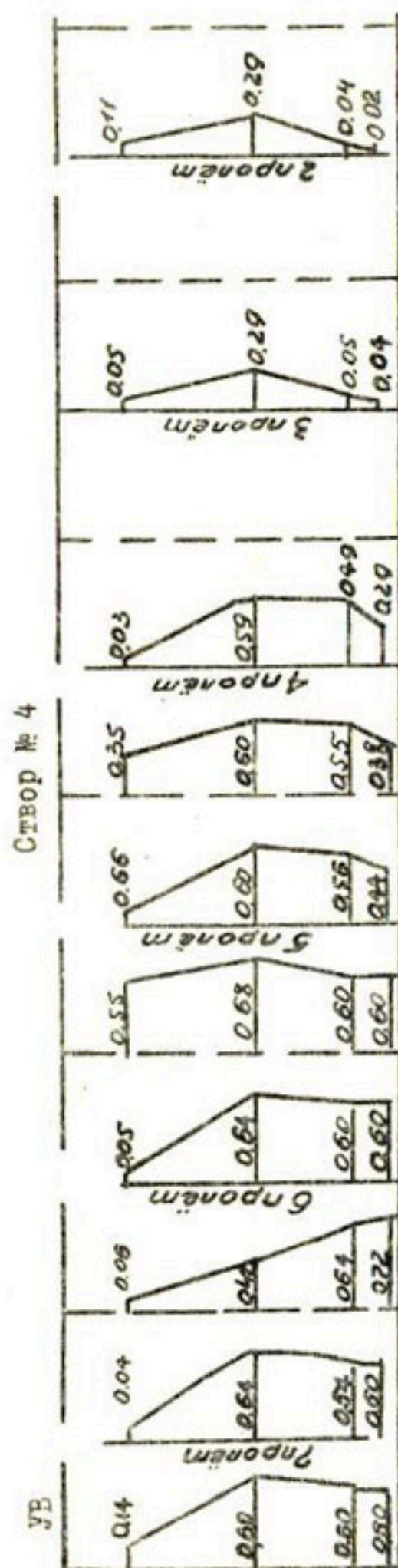


Рис. 1. Направления скоростей потока в аванкамере насосной станции "Карши-1" на глубине 1 м от УВ. Работают пятый и шестой агрегаты (заштриховано место скопления плавника).



Створ № 5

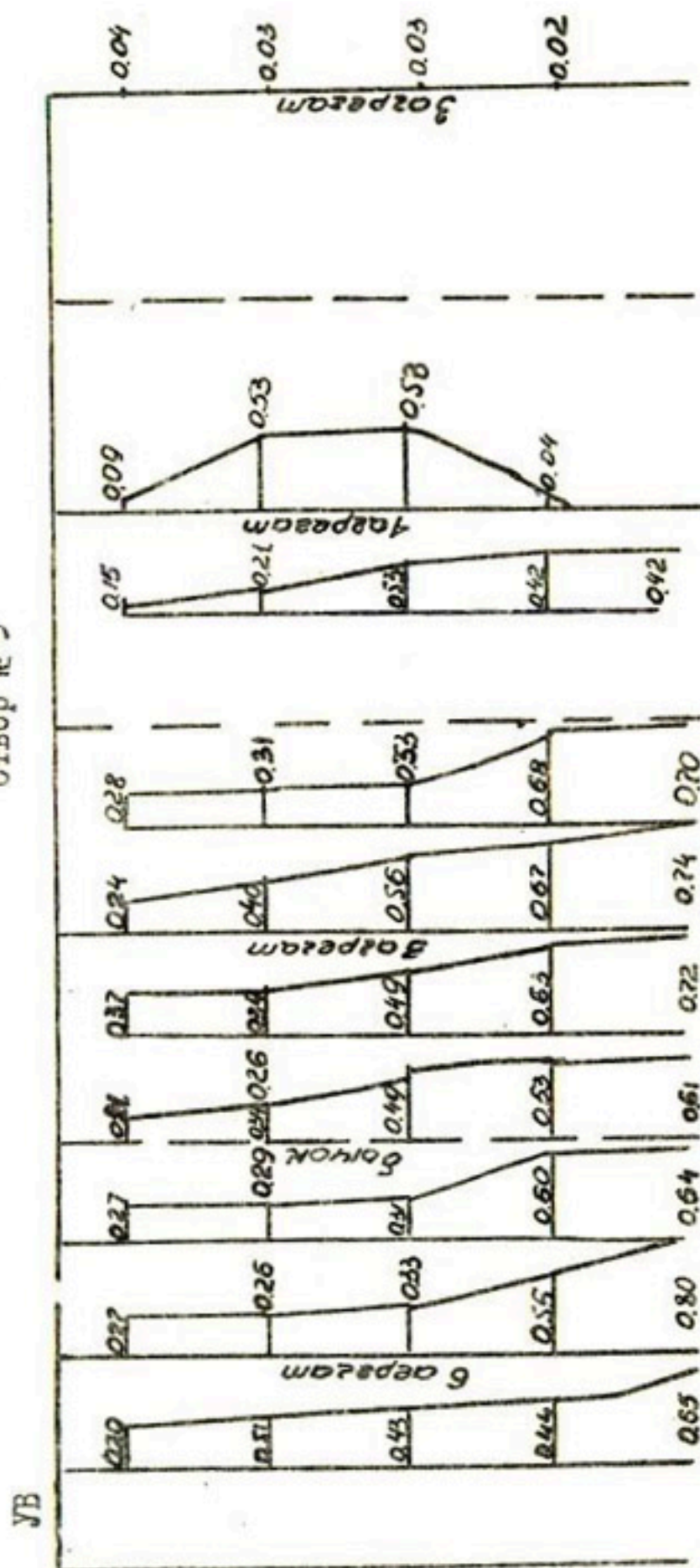


Рис. 2. Эпюры скоростей в аванкамере насосной станции "Карши-1".

Т а б л и ц а

Сравнение диагностирующих параметров агрегатов

Номер агрегатов	Вибрация, Мк			Звуковое давление,				Уровень звука, дБА
	без филь- тров	на об- ротной частоте	на полюс- ной час- tote	частоты 31	октавных 63	полос 4000	полос 8000	

I. Камера рабочего колеса

Вертикальная

6	35-40	25-35	8	90	104	85	76	105
4	17-20	13-20	4	84	102	81	71	103

Горизонтальная

6	60-70	26-35	24					
4	62-68	17-24	21					

2. Двигатель (на крестовине)

Вертикальная

6	26-35	15	3	82	88	61	58	84,5
4	10-13	2-3	1	81	86	60	56	84

Горизонтальная

6	76-83	67-71	3-4					
4	22	17	3					

длиной 4,5 м, высотой 10 м /1/. Для уменьшения объема водоворотов и направления потока перпендикулярно водоприемнику дополнительно рекомендовано устройство поперечной стенки, расширяющей поток в плане за счет сжатия его по глубине (рис. 3).

Для предотвращения заноса посадочных мест затворов и решеток автором предложена конструкция затвора с плавающим порогом /2/, обеспечивающая герметичность уплотнений даже при наличии твердых предметов и мусора на пороге, а также плавное сопряжение, благодаря чему исключаются дополнительные потери напора и турбулентные завихрения при входе во всасывающую трубу, и обладающая подъемной выталкивающей силой, что уменьшает усилие, необходимое для подъема затвора.

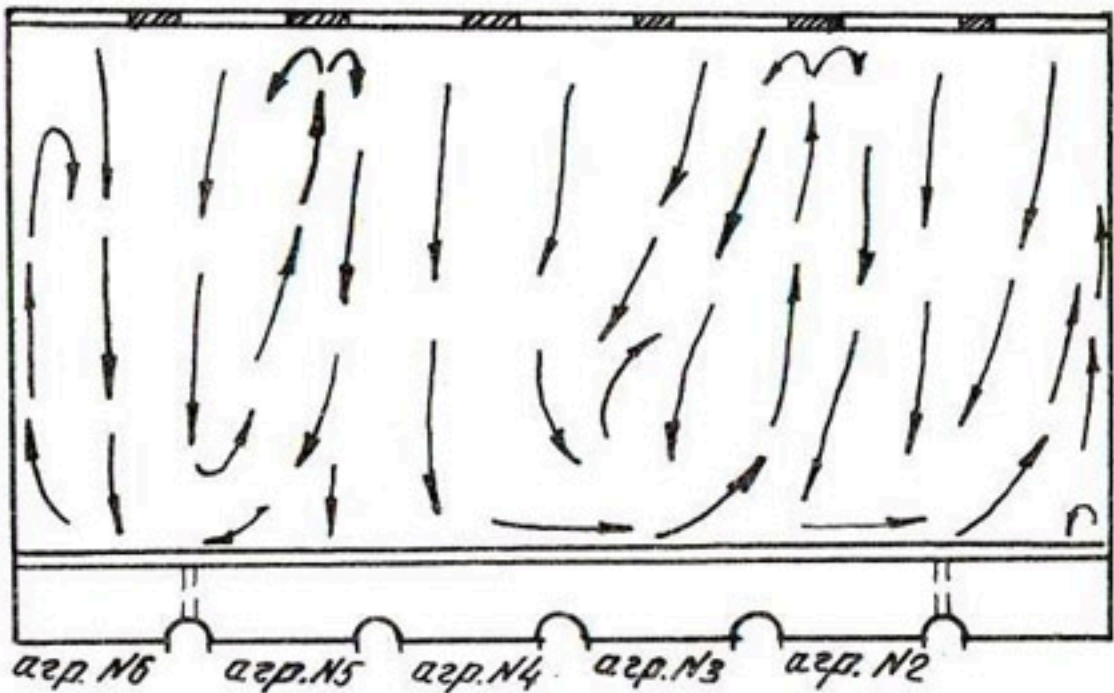
Установлен развитый вход

$УВ=244,0$

$Q=200 \text{ м}^3/\text{с}$

Работают 5 насосов

СУС



Установлены развитый вход и донная стенка $=2 \text{ м}$ на расстоянии 14 м от водоприемника

$УВ=244,0$

$Q = 200 \text{ м}^3/\text{с}$

Работают 5 насосов

СУС

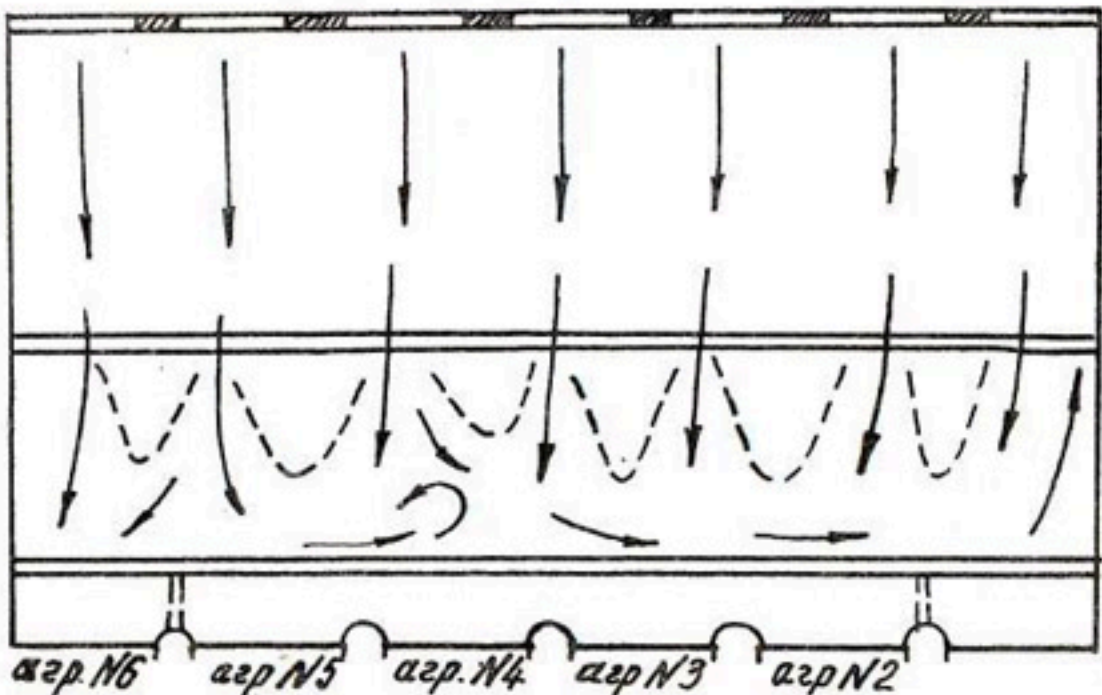


Рис. 3. Эпюры поверхностных скоростей потока в рекомендуемых вариантах аванкамеры насосной станции "Карши-1".

Для выравнивания скоростной эпюры потока перед СУС и повышения эффективности очистки от мусора автором предложена и успешно эксплуатируется в аванкамере плавучая запань. Конструкция запани позволяет производить автоматическую очистку от мусора /3/.

Внедрение только части предложенных рекомендаций в аванкамере насосной станции "Карши-1" позволило получить в 1976 г. экономический эффект в размере 143,2 тыс.руб. При реконструкции аванкамер насосных станций ожидаемый экономический эффект по каскаду составит 925,8 тыс.руб.

Л и т е р а т у р а

1. Г л о в а ц к и й О.Я. Улучшение гидравлики потока при входе во всасывающие трубы насосов. Сборник научных трудов САНИИРИ, вып. 151, Ташкент, 1976.
2. Г л о в а ц к и й О.Я. и др. Устройство для перекрытий отверстий гидросооружений. Ав.св. № 329278. Бюллетень изобретений № 7, 1972.
3. Г л о в а ц к и й О.Я. Запань. Ав.св. № 487979. Бюллетень изобретений № 18, 1975.

Я.С. МУХАМЕДОВ

канд.техн.наук, ст.научн.сотрудник

Д.А. МУХАМЕДОВ

мл.научный сотрудник

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

К ВОПРОСУ О СМЕШЕНИИ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ С ВОДОЙ ВОДОХРАНИЛИЩА

Чардаринское водохранилище объемом 5,7 млрд.м³ (включая мертвый объем 1 млрд.м³), расположенное в среднем течении р.Сырдарьи, служит для регулирования стока реки в целях орошения. Исключительная маловодность бассейна

р. Сырдарьи в 1974 г. привела к необходимости исчерпать для полива сельскохозяйственных культур практически весь запас зарегулированного стока, включая мертвые объемы всех водохранилищ в бассейне реки, в том числе Чардаринского, где мертвый объем был сработан до 200 млн.м³.

В то же время рядом с Чардаринским водохранилищем – в Арнасайской впадине – к концу 1974 г. имелось около 14 млрд.м³ минерализованной воды, образованной за счет коллекторно-дренажных и паводковых сбросных вод из Чардаринского водохранилища в прошлые многоводные годы на р. Сырдарье. В связи с этим было решено использовать часть объема арнасайской воды путем закачивания ее в чашу Чардаринского водохранилища в течение 3÷5 месяцев расходом в 100÷200 м³/с. Поступление такого объема минерализованной воды в чашу водохранилища обусловило появление в ней плотностного течения химической стратификации.

В русловой лаборатории САНИИРИ была построена пространственная модель, на которой изучено явление смешения минерализованной воды Арнасай с водой водохранилища. На модели в качестве воды Арнасай использован водный раствор хлористого натрия, возможность применения которого установлена путем сопоставления плотностей и вязкостей обоих растворов при соответствующих концентрациях.

Было установлено, что минерализованная вода, поступавшая из дозатора конструкции Е.И. Дубинчика, с концентрацией $M_a = 3\div 8$ г/л, опускается в придонные слои и в дальнейшем продвигается по дну водохранилища в виде донного плотностного течения /1/. Концентрация донного течения по пути его продвижения от створа Арнасайского сооружения до выхода в нижний бьеф существенно не меняется ($M_a = const$). Смешение минерализованной воды Арнасай и воды чаши водохранилища происходит во время прохождения через сбросные отверстия за счет наличия там больших скоростей.

В начале опыта, в зависимости от расхода р. Сырдарьи, полоса воды Арнакая в чаше водохранилища, движущаяся в виде донного плотностного течения, меняла свою величину. По истечении некоторого времени она стабилизировалась, после чего проводился отбор проб на концентрацию. Последняя определялась при помощи реохордного моста Р-38 с приставкой Х-38.

На основе опытных данных, полученных при постоянной отметке уровня воды водохранилища (при объеме $1,9 \text{ млрд. м}^3$ $\nabla_{УВ} = 45,4 \text{ м} = \text{const}$), концентрации в чаше и р.Сырдарье, равной $M_o = M_e = 0,12 \text{ г/л}$ (использовалась чистая водопроводная вода), концентрации арнакайской воды $M_a = 3 \div 8 \text{ г/л}$, расходах из Арнакая $Q_a = 200 \text{ м}^3/\text{с}$ и р. Сырдарьи $Q_e = 100 \div 500 \text{ м}^3/\text{с}$ в безразмерных координатах построен график зависимости $\frac{M_n}{M_a} = f\left(\frac{Q_e}{Q_a}\right)$ (рисунок). Под значением M_n представлена концентрация воды в нижнем бьефе водохранилища, полученная в ходе опытов.

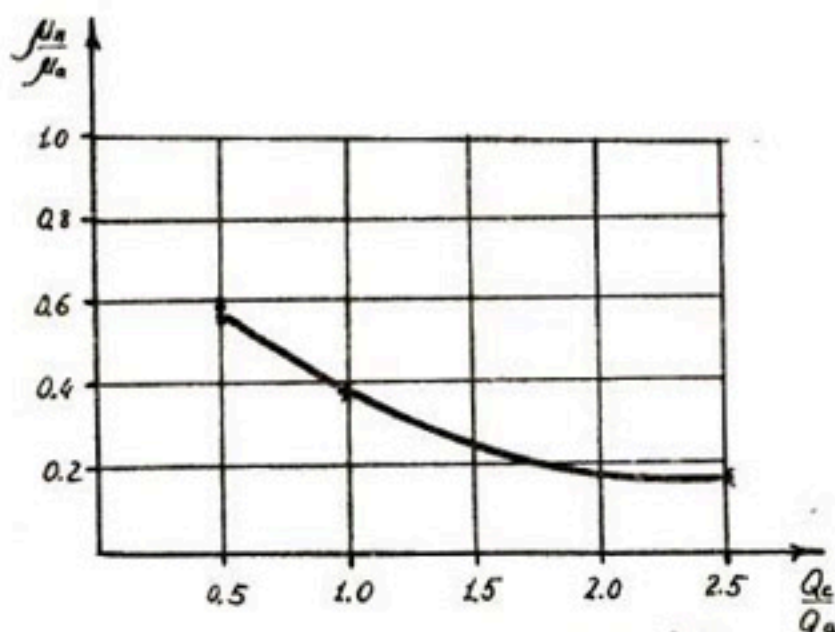


График зависимости $\frac{M_n}{M_a} = f\left(\frac{Q_e}{Q_a}\right)$.

Как видно из графика, при постоянном уровне воды в водохранилище увеличение $\frac{Q_e}{Q_a}$ приводит к уменьшению $\frac{M_n}{M_a}$, т.е. увеличение расхода р.Сырдарьи при неизменном расходе из Арнакая или же уменьшение расхода из Арнакая при неизменном расходе р.Сырдарьи приводит к уменьшению

Т а б л и ц а

Результаты опытов на пространственной модели Чардаринского водохранилища (варианты режима работы Чардаринского водохранилища в вегетационный период 1975 г.)

Но ме ся ра цы		Расход, м ³ /с	Концентрация, г/л									
		р.Сыр- дарьи	из Арна- сая	через Чардар- ин.ТЭС	через ККР(х)	р.Сыр- дарьи	доохрани- Арна- сая	Чардар- ин.ТЭС	из вход в н/б Чар-у	вход	из ККР	в ККР
Вариант 1												
1	У I	412	125	578	97	1,45	1,45	4,35	4,25	2,15	1,95	1,75
2	У II	206	125	413	97	1,45	1,45	4,75	4,7	2,45	1,75	1,5
3	У III	122	100	273	72	1,45	1,45	3,75	3,65	2,55	1,7	1,5
Вариант 2												
4	У I	367	200	578	97	1,4	1,4	5,35	5,3	2,35	1,75	1,55
5	У II	176	200	413	97	1,4	1,4	5,6	5,5	2,6	2,35	1,85
6	У III	78	200	273	72	1,85	1,6	5,65	5,6	4,25	2,55	2,15
Вариант 3												
7	У I	470	100	578	97	1,1	1,1	4,2	4,1	1,95	1,85	1,75
8	У II	250	90	413	97	1,3	1,2	5,1	4,9	2,3	1,6	1,5

х) ККР -- Кызылкумский регулятор

концентрации воды в нижнем бьефе водохранилища.

На модели были воспроизведены также варианты режима работы Чардаринского водохранилища на вегетационный период 1975 г. (по данным Главводресурсов). Результаты отдельных опытов этой серии представлены в таблице.

Проведенные эксперименты позволили выявить некоторые варианты режима работы водохранилища, при которых концентрация воды в нижнем бьефе не превышает допустимой величины для полива сельскохозяйственных культур.

Л и т е р а т у р а

И. М у х а м е д о в Я.С., М у х а м е д о в Д.А.

Предварительные результаты модельных исследований смешения вод Чардаринского водохранилища и минерализованных вод Арнася, Сборник научных трудов, вып. 147, Ташкент, САНИИРИ, 1975.

Н.Я. ХАЛИТОВ
инженер
(ВНИИ ВОДГЕО)

ВЛИЯНИЕ ГЛИНИСТОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ
СВОЙСТВА СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ С КРУПНОЗЕРНИСТЫМИ
ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Прочностные свойства связных грунтов с крупнозернистыми включениями зависят от процентного содержания скелетного материала, свойств глинистой составляющей и включений.

Цель настоящих исследований — изучение прочностных характеристик связных грунтов с крупнозернистыми включениями в зависимости от числа пластичности мелкозема ($d < 1,0$ мм). Характеристики мелкозернистых составляющих исследуемых смесей приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Но- мер п/п	Граница теку- чести, (W_T) , %	Граница рас- катывания (W_p) , %	Число пла- стичности (W_n) , %	Максимальная моле- кулярная влагоем- кость (W_m) , %
1	19,1	15,8	3,3	10
2	24,0	17,0	7,0	13
3	22,0	12,7	9,3	9,3
4	32,7	22,7	10,0	15,4
5	40,8	26,2	14,6	17,8
6	46,0	26,0	20,0	18,3
7	51,8	27,8	24,0	20,5

Исследуемый диапазон грунтов с пластичностью мелкозема от 3,3 до 24% обычно исчерпывает область применения подобных материалов при строительстве плотин.

В качестве крупнозернистых включений диаметром 5–10 мм использовалась одна из фракций грунта, предназначенного для укладки в ядро Рогунской плотины.

Исследуемые смеси составлялись путем прибавления к мелкозему соответствующего количества скелетного материала.

Испытывались двухмодальные смеси, довольно часто встречающиеся в природе. Такие грунты, наряду с мелкозернистыми фракциями, в определенном количестве содержат крупнозернистые, в которых промежуточные фракции диаметром 0,5–5,0 мм /1/ практически отсутствуют.

Исследовались два типа смесей с содержанием включений 70 и 50%. При меньшем содержании мелкозема свойства смесей в большей мере зависят от свойств крупнозернистого материала.

Опыты проводились в стабилometре, запроектированном по схеме Медкова. Размеры исследованного образца: диаметр 80 мм и высота 160 мм. Образец грунта помещался в пластичную резиновую оболочку толщиной 1,0 мм. Передача вертикальной нагрузки проводилась на свободную поверхность образца через штамп с помощью 5-тонного пресса. Вертикальная деформация замерялась по мессуре, закрепленной на колонке пресса, с точностью до 0,01 мм.

Боковое давление в рабочей камере создавалось жидкостью (водой) при помощи баллона с азотом и рессивера. Объемную деформацию замеряли по показаниям волюмометра. Радиальные деформации определялись в среднем по высоте образца сечения при помощи специальной системы.

Для этой цели в корпусе прибора смонтированы три металлических щупа, перемещение которых в радиальном направлении осуществляется при помощи червячной передачи. В момент касания щупом пояса с набором металлических пластин, расположенного на внешней стороне оболочки, загорается электрическая лампочка, сигнализирующая о том, что цепь замкнута. Положение щупов при замыкании цепи фиксировалось при помощи индикаторов часового типа, жестко закрепленных на корпусе прибора.

Результаты опытов представлены в эффективных напряжениях, для определения которых замерялось поровое давление с помощью прибора Ничипоровича-Мигина /2/.

Образец разрушался при постоянном наименьшем главном напряжении σ_3 , путем увеличения степенями наибольшего

главного напряжения σ_1 . Время выдержки на каждой ступени 5 мин (за этот период практически достигается стабилизация статических деформаций). На каждой фиксированной ступени вертикального давления замерялись объемные, осевые, радиальные деформации и поровое давление.

Критерием разрушения служат величина коэффициента Пуассона $\mu = 0,5$ [3], а также деформации течения, протекающие без увеличения вертикального давления. Испытываемый грунт укладывался с относительной плотностью, равной 0,95, и оптимальной влажностью мелкозернистой составляющей на 2-3% меньшей, чем влажность на границе раскатывания. Результаты экспериментов представлены в табл. 2 и на рисунке.

С увеличением числа пластичности наблюдается уменьшение угла внутреннего трения и возрастание сцепления.

Более интенсивно эти изменения происходят в смесях с 70%-ным содержанием мелкозема, так как с увеличением процентного содержания влияние его на свойства смеси усиливается. С ростом числа пластичности от 3,3 до 24,0 угол внутреннего трения понижился для смесей с 50%-ным содержанием мелкозема на $3-5^\circ$, а с 70%-ным — на $7-8^\circ$; сцепление возросло, соответственно, на $0,10-0,20 \text{ кг/см}^2$ и на $0,20-0,30 \text{ кг/см}^2$.

При исследовании влияния глинистого заполнителя на прочностные характеристики щебенисто-глинистых грунтов [4] также сделан вывод о понижении угла внутреннего трения и увеличении сцепления при увеличении числа пластичности мелкозема. Однако диапазон изменения чисел пластичности был небольшим: $W_p = 15 \div 21$.

Кавья [5] обобщил (рис. 1, а) результаты экспериментов целого ряда исследователей, занимавшихся изучением связи между углом внутреннего трения и числом пластичности для глинистых грунтов.

Если к этому прибавить последние данные, полученные Хемфрисом [6] на основании исследований грунтов для плотины Кинджи в Нигерии, то получится довольно полная картина изменения φ от W_p .

Т а б л и ц а 2

Число пла- сти- чно- сти	Наимень- шее глав- ное нап- ряжение	Угол внутреннего трения φ^0 и сцепление c при содержании мелкозема $d < 1,0$ мм					
		70 %			50%		
		$\sigma_{3,2}$ кг/см ²	$tg \varphi$	φ^0	c кг/см ²	$tg \varphi$	φ^0
3,3	1	0,63	32	0,40	0,95	43	0,30
	2	0,57	29	0,60	0,82	39	0,50
	4	0,52	27	0,80	0,76	37	0,80
7	1	0,57	29	0,50	0,87	41	0,40
	2	0,51	27	0,70	0,80	38	0,60
	4	0,48	25	0,85	0,75	36	0,80
9,3	1	0,56	28	0,55			
	2	0,51	27	0,70			
	4	0,47	25	0,85			
10	1	0,55	28	0,60			
	2	0,51	27	0,70			
	4	0,46	24	0,90			
14,6	1	0,53	27	0,60	0,85	40	0,40
	2	0,50	26	0,70	0,76	37	0,60
	4	0,45	24	0,90	0,68	34	0,85
20	1	0,50	26	0,70			
	2	0,46	24	0,80			
	4	0,40	21	1,00			
24	1	0,46	24	0,70	0,82	39	0,50
	2	0,39	21	0,80	0,72	35	0,70
	4	0,33	18	1,00	0,64	32	0,90

Анализ целого ряда зависимостей показывает, что при увеличении числа пластичности с 3,3 до 20% наблюдается падение угла внутреннего трения на 9-13°. С увеличением процентного содержания в связном грунте скелетного материала характер кривой $\varphi^0 = f(w_n)$ меняется: она становится

более пологой. Более глубокое сравнение полученных в данной работе результатов с данными исследований глинистых грунтов без включений затруднительно ввиду отсутствия данных о методиках проведения экспериментов и обработки результатов.

На прочностные свойства связных грунтов с крупнозернистыми включениями большое влияние оказывает напряженное состояние. При увеличении наименьшего главного напряжения σ_3 от 1 до 4 кг/см² угол внутреннего трения уменьшается, а сцепление " c " возрастает. Для смесей с содержанием мелкозема 70% с изменением наименьшего главного напряжения σ_3 от 1 до 4 кг/см² угол внутреннего трения падает на 4-5°, а сцепление возрастает от 0,3 до 0,4 кг/см². Для смесей с содержанием мелкозема 50% при изменении напряжений в том же диапазоне " φ° " падает на 5-7°, а " c " возрастает на 0,4-0,5 кг/см². Угол сдвига исследуемых грунтов с увеличением числа пластичности уменьшается.

Л и т е р а т у р а

1. К о г а н Я.Л. Деформативные и прочностные свойства двухмодальных крупнообломочных грунтов. Тезисы докладов координационного совещания по вопросам научных исследований, проектирования и строительства плотин из местных материалов, Л., 1967.
2. Н и ч и п о р о в и ч А.А., М и г и н С.И. Прибор для измерения давления воды в порах грунта. Научные сообщения института ВОДГЕО, "Гидротехника", М., 1961.
3. Т е й т е л ь б а у м А.И. Определение характеристик грунтов при расчете напряженно-деформированного состояния каменно-земляной плотины. Труды ин-та ВОДГЕО, вып. 30, М., 1971.
4. Ф е д о р о в В.И., С е р г е в и н а В.В. Влияние глинистого заполнителя на прочностные характеристики щебенисто-глинистых грунтов. Основания, фундаменты и механика грунтов, № 6, 1973.

5. Hanji M.A. The relationship between drained friction angles and Atterberg limits of natural soils.
Geotechnique, 24, No 4, 1974.
6. Humphreys J.D. Some empirical relationships between drained friction angles, mechanical analyses and Atterberg limits of natural soils at Hanji Dam, Nigeria. Geotechnique, 25, No 3, 1975.

Г.А. БЕЗБОРДОВ
ст.научн.сотр.
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Технико-экономический расчет сложной разветвленной сети гидравлического комплекса "насосная станция — закрытая сеть" базируется на методе предельных расходов. Сущность его заключается в замене фактического расхода линии сети, назначенного по результатам водохозяйственного расчета, приведенным, который должен иметь такое значение, чтобы для действительного расхода линии при заданных параметрах β и δ получился тот же диаметр, что и для приведенного расхода при табличных значениях β_1 и δ_1 . Значение приведенного расхода определяется по зависимости Л.Ф.Мошнина:

$$q_0 = \left(\frac{\beta}{\beta_1} \right)^{\frac{1}{n+1}} q \left(\frac{\delta}{\delta_1} \right)^{\frac{1}{n+1}}, \quad (1)$$

где β и β_1 — экономический фактор, соответственно, рассчитываемый и табличный;

δ — ситуационный фактор (поправочный коэффициент, характеризующий роль данной линии в работе всей сети);

q — прикидочный расход линии.

Имея значения q_0 , по таблицам "предельных" расходов можно выбрать оптимальный стандартный диаметр всех линий сети.

Для нахождения значений δ производится распределение фиктивного расхода, равного единице, по направлению движения воды от начала сети (насосная станция) до конечных точек схода. Первоначальное распределение фиктивных расходов по линиям сети осуществляется в соответствии с первым законом Кирхгофа. Полученное при этом количество линейных уравнений еще недостаточно для нахождения всех значений δ . Недостающее количество составляется на основе второго закона Кирхгофа — баланса фиктивных потерь напора. Таким образом, для нахождения значений δ составляется система уравнений — линейных и нелинейных. Решение этой системы выполнялось

обычно методом подбора, что для больших задач вызывает серьезные затруднения. Поэтому нами предложено решать такую систему уравнений на ЭВМ с использованием известного в вычислительной математике метода градиента.

После решения системы уравнений для каждой линии сети определяется приведенный расход и по таблице предельных расходов подбирается оптимальный диаметр. Затем, если сеть закольцована, производится поверочный гидравлический расчет, в результате которого устанавливаются действительное распределение расходов воды по системе и фактические потери напора. После проведения внешней увязки определяется напор насосной станции.

Такие расчеты выполняются для сети тупиковой и закольцованной по разным схемам. Сравнение этих схем по приведенным затратам позволит получить наиболее эффективную.

Для установления оптимальной схемы сети была выбрана закрытая оросительная система Тюрякурганской насосной станции II подъема (рис. 1, б [1]). Предварительный анализ системы показал эффективность зонирования. Были рассмотрены два варианта зонирования: последовательное и параллельное.

Для нахождения оптимальной высоты качания в обоих расчетных вариантах задавалась определенная высота для ступеней каждой из двух зон. После построения графика трансфигурального рельефа определяли расчетный расход для каждой ступени, длину напорного трубопровода и из таблицы предельных расходов — диаметр труб.

По полученному диаметру труб напорного водовода и таблицам Ф.А.Шевелева находили потери напора, а затем (с учетом свободного напора 3 м) и напор насосной станции. По найденным таким образом расходу и напору, пользуясь графиком зависимости стоимости и издержек по насосной станции от произведения $Q \times H$, можно определить затраты по насосным станциям, а затем и по всей системе. Критерием сравнения вариантов служит приведенная стоимость системы, состоящая из затрат по устройству напорного водовода и насосной станции.

Расчетами установлено, что параллельное зонирование (с высотой зон 45 и 55 м) дает больший экономический эффект, чем последовательное. По сравнению с незонированной системой эко-

номия в приведенных затратах составляет 11,2%. Кроме того, эффективность зонирования заключается также в значительном снижении напора в разводящей сети, что влечет за собой уменьшение ее стоимости.

Для дальнейшего рассмотрения примем сеть в привязке к первой зоне. На рис. I, а представлена схема тупиковой сети с протяженностью линий, предварительным распределением расходов по сети и пьезометрическими отметками в точках схода.

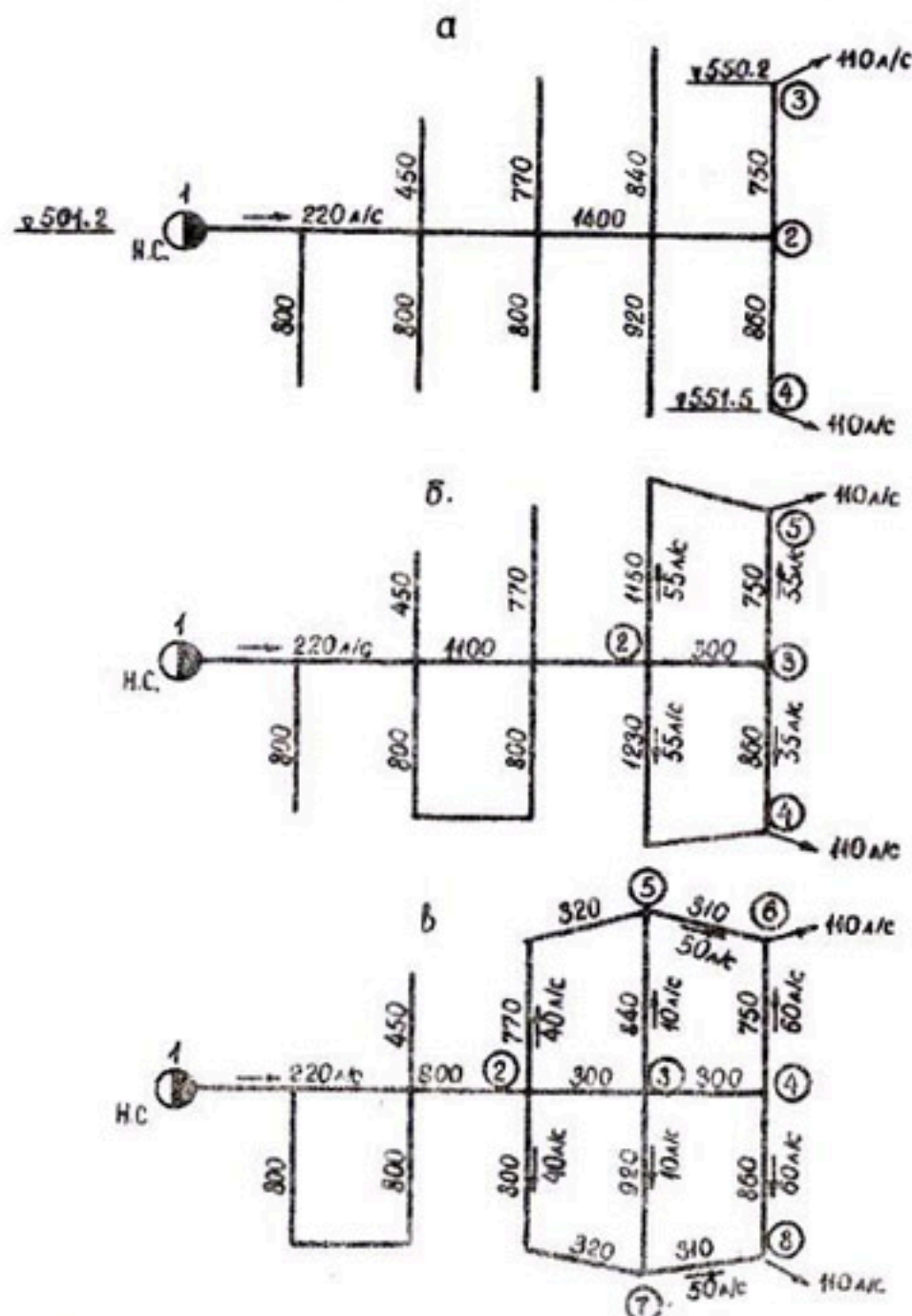


Рис. I. Расчетные схемы сети трубопроводов:
а - тупиковая; б - закольцованная по два; в - закольцованная по три.

В соответствии с методикой расчета для определения значений X составляются следующие уравнения:

$$X_{2-3} + X_{2-4} = 1;$$

$$l_{2-3} q_{2-3}^{0,453} X_{2-3}^{-0,748} + \Pi_3 = l_{2-4} q_{2-4}^{0,453} X_{2-4}^{-0,748} + \Pi_4, \quad (2)$$

где l — длина линии, км;

q — расход, л/с;

Π — пьезометрическая отметка в точке схода.

Подставив в них числовые значения и заменив X_{2-3} на X_1 и X_{2-4} на X_2 , получим:

$$X_1 + X_2 = 1;$$

$$0,75 \cdot 110^{0,453} X_1^{-0,748} - 0,86 \cdot 110^{0,453} X_2^{-0,748} - 7,5 = 0 \quad (3)$$

После упрощения система (3) примет вид:

$$X_1 + X_2 - 1 = 0;$$

$$X_1^{-0,748} - 1,15 X_2^{-0,748} - 1,2 = 0. \quad (4)$$

Решение системы дает следующие значения корней: $X_1 = 0,27$, $X_2 = 0,73$. Подставив эти значения в формулу (I), находим приведенные расходы линий: 2-3 — 150 л/с, 2-4 — 212 л/с и 1-2 — 372 л/с. По этим значениям расходов (имея в виду, что тупиковые отводы работают поочередно и общее время работы их в течение вегетационного периода принято равным 30 суткам), пользуясь таблицей, предельных расходов [1], выбираем оптимальные диаметры труб. Для линии 1-2 стальные трубы должны иметь диаметр 406 мм, для линий 2-3 и 2-4 диаметр асбоцементных труб, соответственно, равен 235 и 279 мм.

В данной схеме диктующей является точка 4 с пьезометрической отметкой 551,5. Прибавив к этой отметке потери напора по линиям 2-4 (7,7 м), 1-2 (15 м) и всасывающей (0,5) и отняв отметку точки I (отметка оси насосных агрегатов), получим напор насосной станции — 73 м (0,73 МПа). По произведению $Q \times H$ и пользуясь графиком, приведенным на рис. 2, находим стоимость насосной станции — 31,5 тыс.руб. и ежегодные издержки — 9,8 тыс.руб.

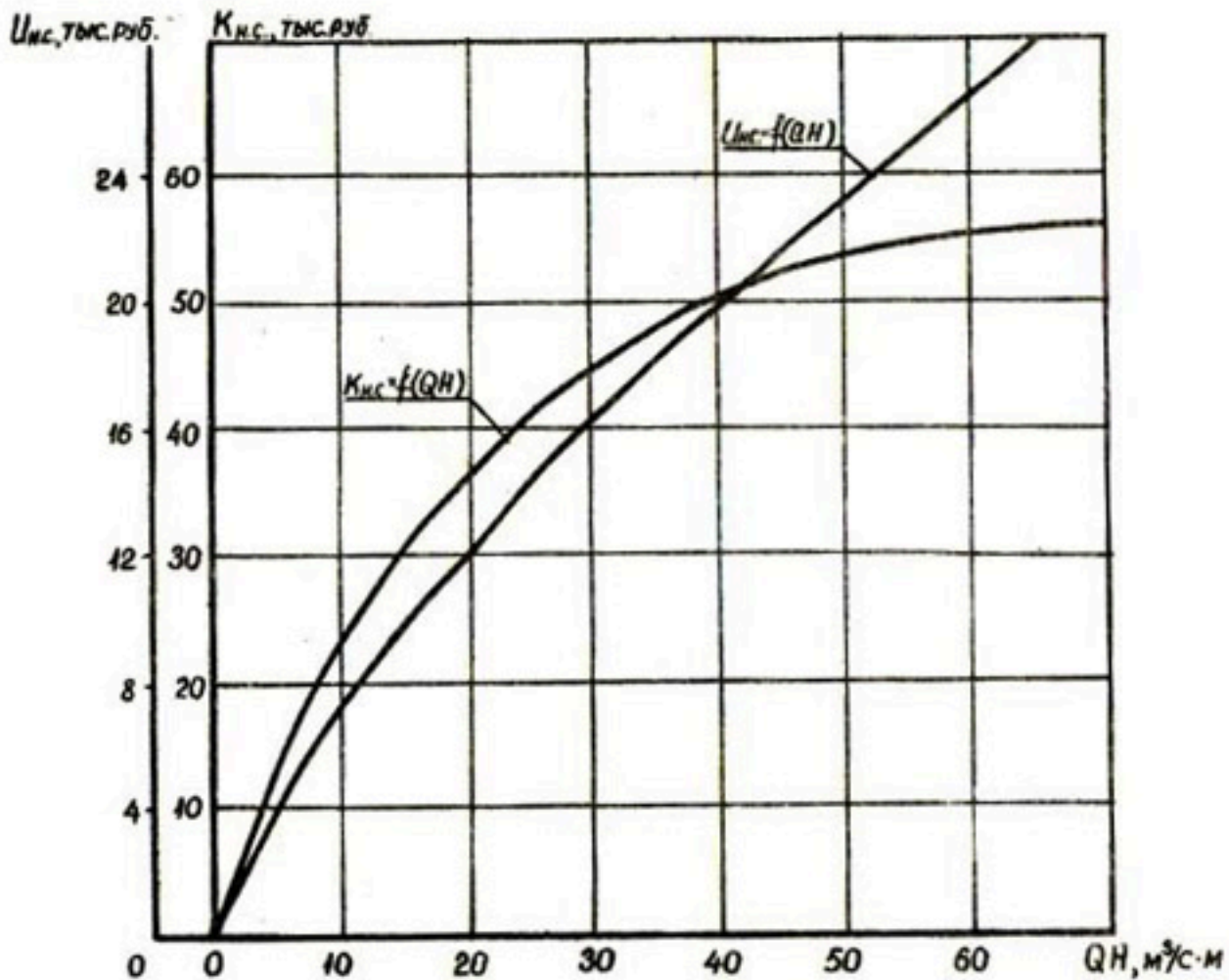


Рис. 2. Зависимость стоимости и издержек по насосной станции от величины QH .

Теперь рассмотрим сеть, в которой отводы магистрального трубопровода закольцованы по два (рис. I, б). Для определения неизвестных коэффициентов X осуществляется предварительное распределение расходов по линиям в соответствии с первым законом Кирхгофа и составляется следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} X_{2-4} + X_{2-3} + X_{2-5} &= 1 ; \\ X_{2-3} &= X_{3-4} + X_{3-5} ; \end{aligned} \quad (5)$$

$$l_{2-4} q_{2-4}^{0,453} X_{2-4}^{-0,748} + \Pi_4 = l_{2-5} q_{2-5}^{0,453} X_{2-5}^{-0,748} + \Pi_5 ;$$

$$l_{2-4} q_{2-4}^{0,453} X_{2-4}^{-0,748} = l_{2-3} q_{2-3}^{0,4} X_{2-3}^{-0,775} + l_{3-4} q_{3-4}^{0,453} X_{3-4}^{-0,748} ;$$

$$l_{2-5} q_{2-5}^{0,453} X_{2-5}^{-0,748} = l_{2-3} q_{2-3}^{0,4} X_{2-3}^{-0,775} + l_{3-5} q_{3-5}^{0,453} X_{3-5}^{-0,748} .$$

Введя следующие обозначения $X_{2-4} = X_1$, $X_{2-3} = X_2$, $X_{2-5} = X_3$, $X_{3-4} = X_4$, $X_{3-5} = X_5$ и подставив в систему (5) числовые значения (см. рис. I, б), получим:

$$\begin{aligned} X_1 + X_2 + X_3 &= 1; \\ X_2 &= X_4 + X_5; \\ 115 \cdot 55^{0,453} X_1^{-0,748} + 544 &= 1,23 \cdot 55^{0,453} X_3^{-0,748} + 551,5 \\ 115 \cdot 55^{0,453} X_1^{-0,748} &= 0,3 \cdot 110^{0,4} X_2^{0,775} + 0,75 \cdot 55^{0,453} X_4^{-0,748}; \\ 1,23 \cdot 55^{0,453} X_3^{-0,748} &= 0,3 \cdot 110^{0,4} X_2^{0,775} + 0,86 \cdot 55^{0,453} X_5^{-0,748}. \end{aligned} \quad (6)$$

После упрощения система (6) принимает вид

$$\begin{aligned} X_1 + X_2 + X_3 - 1 &= 0; \\ X_2 - X_4 - X_5 &= 0; \\ X_1^{-0,748} - 1,072 X_3^{-0,748} - 1,063 &= 0; \\ X_1^{-0,748} - 0,278 X_2^{0,775} - 0,653 X_4^{-0,748} &= 0; \\ X_3^{-0,748} - 0,26 X_2^{0,775} - 0,7 X_5^{-0,748} &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Полученная система уравнений решалась методом градиента на ЦВМ "Минск-22" по имеющейся программе /2/. Для подготовки задачи к решению на ЭВМ необходимо: 1) задать приближенные значения неизвестных; 2) составить программу вычисления каждого уравнения системы (7); 3) найти частные производные функций (уравнений); 4) составить программу расчета частных производных.

В результате решения задачи на ЭВМ получены следующие значения неизвестных: $X_1 = 0,174$, $X_2 = 0,501$, $X_3 = 0,325$, $X_4 = 0,20$, $X_5 = 0,301$. Подставив их в формулу (I), найдем приведенные расходы, а по ним, пользуясь таблицами предельных расходов — диаметры труб. Так как продолжительность работы закольцованных отводов в течение вегетации в два раза больше тупиковых, то выбор диаметров труб для них осуществляется по графе таблицы /I/, где указано время работы-60 суток.

Приведенные расходы и диаметры труб по линиям сети приводятся в табл. I.

Т а б л и ц а I

Подбор диаметров линий закольцованной сети

Наименование линий	Прикидочный расход, л/с	χ	Приведенный расход, л/с	Диаметр, мм
2-4	55	0,174	82	189
2-5	55	0,325	102	235
3-4	55	0,20	86,5	235
3-5	55	0,301	100	235
2-3	110	0,501	186	331 х)
1-2	220	1	372	406 х)

х) Трубы стальные.

После определения диаметров линий необходимо с целью уточнения расчетных расходов и установления потерь напора произвести поверочный гидравлический расчет.

Гидравлический расчет сложной закольцованной сети целесообразно выполнять с помощью ЭВМ. Нами в 1968 г. разработана программа такого расчета применительно к ЦВМ БЭСМ-3М /3/. В основу алгоритма расчета положен известный метод Лобачева-Кросса.

В результате расчета получено следующее распределение расходов воды и потерь напора по линиям сети при выбранных стандартных диаметрах (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Результаты поверочного гидравлического расчета

Наименование линий	Прикидочный расход, л/с	Фактический расход, л/с	Потери напора, м
2-4	55	36,2	6,9
2-5	55	54,5	7,3
3-4	55	73,8	5,5
3-5	55	55,5	6,1
2-3	110	110	1,5

На следующем этапе расчета по найденным фактическим расходам составлялась система уравнений типа (4) и определялись коэффициенты χ , соответствующие фактическому распределению

потоков воды. Затем вычислялись приведенные расходы и по ним подбирались диаметры линий. Сопоставление полученных диаметров с найденными на предыдущем этапе расчета (табл. I) показало полное совпадение их значений.

Это дало возможность в дальнейших исследованиях отказаться от вторичного решения системы уравнений типа (4). Но при этом пришлось на первом этапе расчета так распределить коэффициенты χ , чтобы по линиям с большей протяженностью и пропускной способностью были направлены и большие значения χ .

По полученным в результате гидравлического расчета потерям напора определен напор насосной станции величиной 70,7 м (0,71 МПа).

Аналогичные расчеты проведены и для схемы с тремя закольцованными отводами (рис. I, в). Для этого потребовалось решить систему из 10 уравнений. В результате внешней увязки сети напор насосной станции определился в размере 65,5 м (0,655 МПа).

Во всех схемах сети диаметры отводов, работающих во вторую очередь, принимались равными диаметрам, рассчитанным на наиболее неблагоприятный случай.

Полученные параметры гидравлического комплекса (диаметры труб и напор насосной станции) следует проанализировать с целью выбора оптимальной схемы водораспределительной сети. Для этого необходимо по каждому типу сети вычислить приведенные затраты ($K + \Sigma T$). Расчет приведенных затрат приводится в табл. 3. Минимальное значение их, как это видно из табл. 3, соответствует третьей схеме сети, которую и следует считать оптимальной.

Таким образом, в закрытых оросительных сетях с механической подачей воды кольцевание отводов обеспечивает не только повышенную надежность сети, но и экономическую эффективность. Априорно можно предположить, что кольцевание, включая в работу большое число отводов и уменьшая скорости потока в трубах, способствует существенному, по сравнению с тупиковой сетью, снижению гидравлических ударов, создаваемых при работе водоразборной арматуры.

Т а б л и ц а 3

Расчет приведенных затрат комплекса с различным
начертанием сети в плане (тыс.руб)

Тип сети	Насосная станция			Закрытая сеть			Приведен- ные зат- раты ком- плекса
	$Q \times H$, м ³ /с.м	строит. стои- мость	издер- жки	приве- денн. затра- ты	стои- мость	издер- жки	
Тупиковая	16	31,5	10,2	113,1	55,2	3,52	196,5
Попарно- закольцо- ванная	15,5	30,5	9,9	109,8	51,9	3,3	188,1
Закольцо- ванная по три	14,4	29,5	9,3	103,9	51,7	3,3	182,0

Л и т е р а т у р а

1. Б е з б о р о д о в Г.А. Технико-экономический расчет водораспределительной системы с поверхностным поливом. Труды САНИИРИ, вып. 149, Ташкент, 1976.
2. Ч е р н ы ш е в а М.Н., П и с а р е н к о А.Ф. Решение системы нелинейных уравнений, вып. IY-38, Гипротис, М., 1967.
3. Б е з б о р о д о в Г.А. Гидравлический расчет закрытых оросительных систем с применением ЭВМ. Труды САНИИРИ, вып. 117, Ташкент, 1968.

В.К. СЕВРЮГИН
ст. научн. сотр.
(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

О СРЕДСТВАХ УПРАВЛЕНИЯ РАСПАДОМ ДОЖДЕВАЛЬ- НЫХ СТРУЙ

При поливе способом дождевания мелиоративное состояние почв в значительной степени определяется качеством дождя, которое характеризуют равномерность полива, средняя интенсивность и крупность капель.

Согласно принятому мнению, качество дождя тем лучше, чем равномернее распределение его по орошаемой площади, чем меньше диаметр капель и чем меньше приращение слоя дождя в единицу времени. Оптимальным считается дождь, интенсивность которого соответствует скорости впитывания его почвой, а средний диаметр дождевых капель не превышает 1,5 мм.

Так как скорость впитывания зависит от водно-физических свойств почвы, степени ее обработки, уклона местности и других, менее значимых факторов, то естественно, границы применения искусственного оптимального дождя расширяются. Однако, существующие типы дождевальных аппаратов и машин, как правило, не позволяют регулировать характеристики дождя и, поэтому, использование их ограничивается узкими почвенно-мелиоративными зонами.

В САНИИРИ в течение ряда лет исследуются способы, позволяющие управлять распадом дождевальных струй и изменять характеристики дождя /1/. Одним из таких способов является гидроимпульсный. Этот способ впервые был разработан А.П.Исаевым и под его руководством исследован нами в дальнеструйной дождевальной машине фронтального действия ДДФ-100 /2/.

Вариант машины с гидроимпульсаторами проходил производственное испытание в совхозе Пахтаарал летом 1973 г. и получил высокую оценку.

Гидроимпульсатор представляет собой цилиндр, соединенный со струеформирующим стволом, поршень которого приводится в движение гидравлическим механизмом возвратно-поступательного действия.

Как показали стробоскопические наблюдения и фотографии, во время работы гидропульсатора в струеформирующих стволах фронтального дождевателя (рис. 1) создаются импульсы повышенного и пониженного давления, в результате которых дождевальная струя возмущается, и на поверхности струи формируются гребни и впадины (волны возмущения).

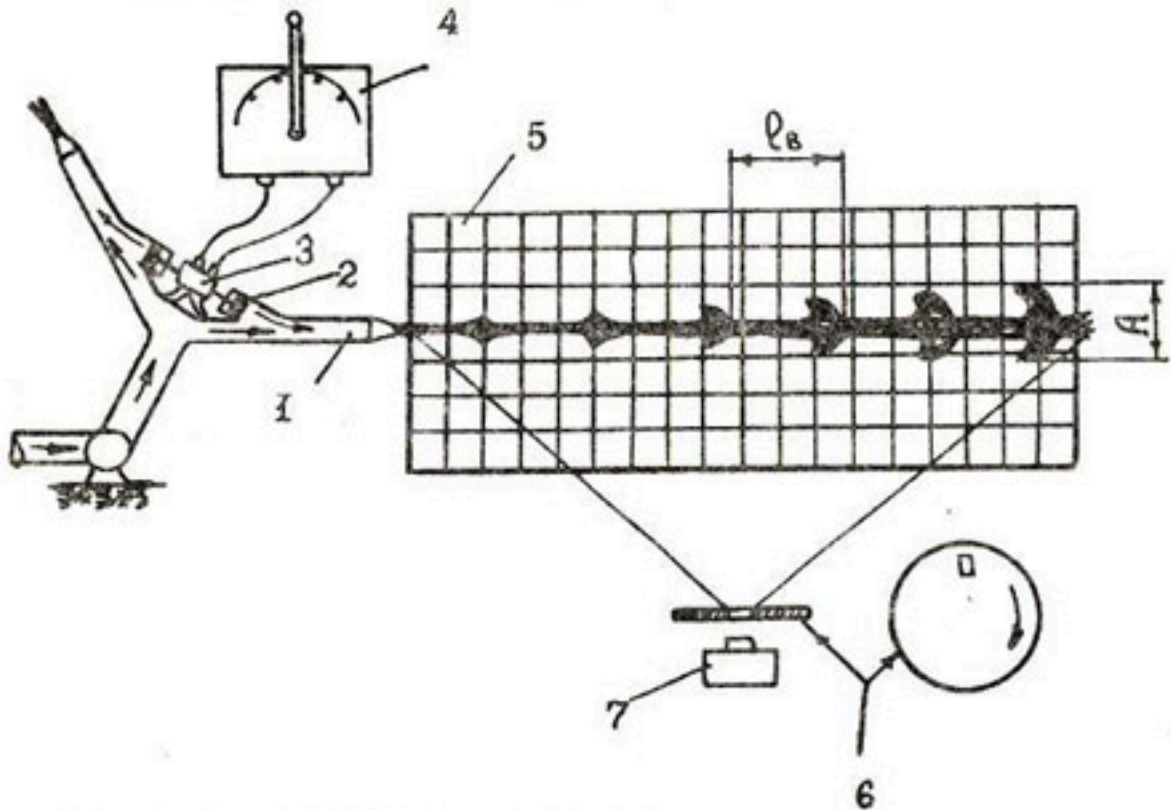


Рис. 1 Схема стенда при исследовании дождевателя с гидропульсатором:

1 - стволы фронтального дождевателя; 2 - гидропульсатор;
3 - привод гидропульсатора; 4 - гидросистема трактора;
5 - экран; 6 - стробоскоп; 7 - фотокамера.

Расстояние " ℓ_s " между гребнями волн возмущений зависит от напора перед насадкой " H_0 " и от частоты возмущения струи " f " (рис. 2), а амплитуда волн возмущения " A " увеличивается по мере удаления от насадки и также зависит от напора " H_0 " (рис. 3).

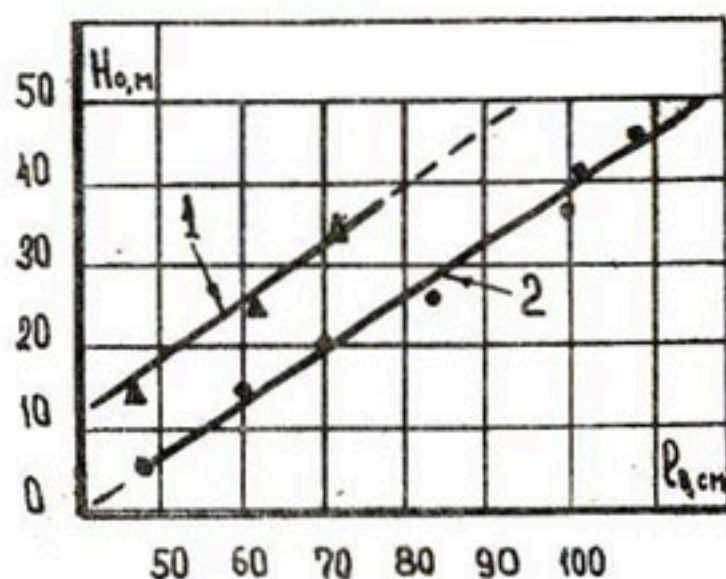


Рис. 2. Влияние частоты гидропульсатора на расстояние между гребнями волн возмущений: 1 - $f = 35$ гц; 2 - $f = 26$ гц.

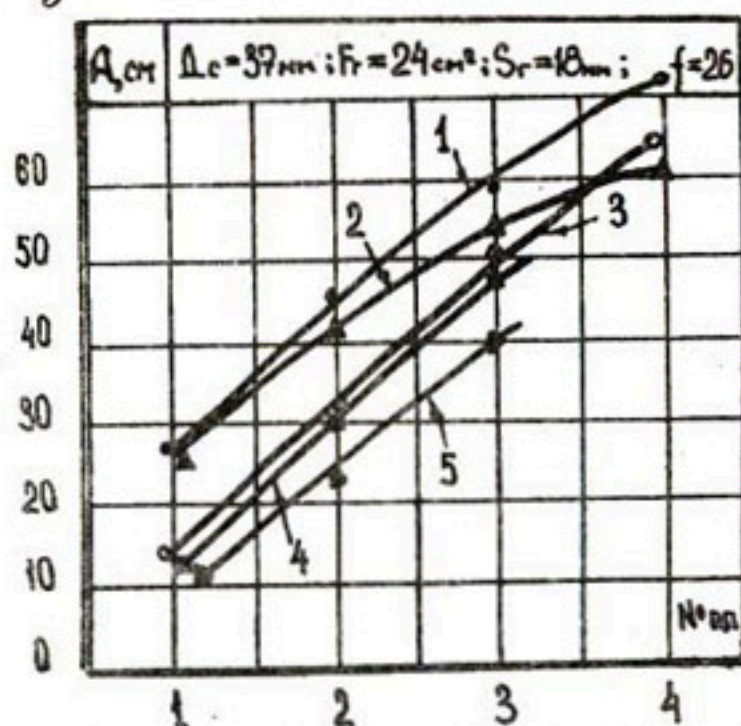


Рис. 3. Изменение амплитуды волн возмущения по мере удаления от насадки: 1 - $H_0 = 5$ м; 2 - $H_0 = 15$ м; 3 - $H_0 = 25$ м; 4 - $H_0 = 35$ м; 5 - $H_0 = 40$ м.

Стробоскопические наблюдения за струями, возмущенными гидроимпульсным способом, показали, что распад их существенно отличается от распада обычных дождевых струй. При возмущении струи наблюдается активный снос капель дождя с греб-

ней возмущенных участков. Чем больше амплитуда начального гребня волны и чем чаще возмущается струя, тем активнее ее распад. Вследствие повышенных импульсов давлений, относительный напор (H_0/D_c) истечения струи в период импульса увеличивается, а следовательно, уменьшается диаметр капель, образующихся при распаде возмущенного участка. Изменяя величину и частоту возмущающей силы, можно управлять распадом струи и регулировать характеристики дождя, что благоприятно сказывается на мелиоративном состоянии почв.

Как показали исследования, энергию возмущающего струю импульса можно определить из уравнения

$$W_r = \frac{\gamma Q_r V_r^2}{g}, \quad (1)$$

где

Q_r - секундный расход гидропульсатора;

V_r - скорость волны возмущения;

γ - удельный вес воды;

g - ускорение свободного падения.

Однако энергия возмущающей силы не может служить характеристикой возмущения струи, поскольку последняя будет зависеть также от энергии самой дождевальной струи:

$$W_e = \frac{\gamma Q_e V_e^2}{g}. \quad (2)$$

Здесь

Q_e - секундный расход через насадку;

V_e - скорость струи.

В качестве "показателя возмущения" была принята безразмерная величина отношения энергии возмущающего импульса к энергии струи:

$$B_v = \frac{W_r}{W_e}. \quad (3)$$

После замены значений -

$$Q_r = F_r \cdot S_r \cdot f, \quad (4)$$

$$Q_e = F_e \cdot V_e, \quad (5)$$

$$V_r = S_r \cdot f_r, \quad (6)$$

$$F_r = \frac{\pi D_r^2}{4}; \quad F_c = \frac{\pi D_c^2}{4}; \quad (7)$$

$$V_c = f \sqrt{2gH_0}, \quad (8)$$

$$K_c = f^3 \sqrt{(2g)^3}, \quad (9)$$

где

F_r - площадь поршня гидропульсатора;

f - частота гидропульсатора;

F_c - площадь струи в сжатом сечении;

V_c - скорость струи;

f - коэффициент скорости;

H_0 - напор перед насадкой;

g - ускорение свободного падения;

K_c - постоянная величина, зависящая от формы насадки,

получим:

$$B_v = \frac{D_r^2 \cdot F_r^3 \cdot f^3}{K_c \cdot D_c^2 \cdot H_0^{3/2}}. \quad (10)$$

Из уравнения (10) следует, что показатель возмущения в значительной степени зависит от размеров гидропульсатора, частоты колебаний, а также от напора струи и коэффициента скорости " f ". Задавшись показателем возмущения " B_v ", можно определить основные параметры гидропульсатора, необходимые для обеспечения требуемых характеристик дождя.

Разработанный нами регулятор интенсивности дождя к дождевалъному аппарату также обеспечивает управление распадом струи и дополнительно может быть использован в качестве регулятора расхода воды /3/.

Регулятор (рис.4) состоит из системы телескопических колец коническо-цилиндрической формы. Первое кольцо крепится на струеформирующем стволе, последнее соединено с приводом механизма возврата поступательного действия. Изменяя длину проточного канала регулятора, меняют угол средней конусности и в целом коэффициент расхода. В результате расход воды через регулятор увеличивается или уменьшается, что позволяет изменять интенсивность дождя. При работе регулятора в гидроимпульсном режиме показатель возмущения струи можно оп-

ределить из уравнения

$$\theta_B = \frac{(D_{з.ср.})^2 \cdot (\sum S_r)^3 f^3}{K_c \cdot D_c^2 \cdot H_0^{3/2}}, \quad (II)$$

где

$D_{з.ср.}$ - условный диаметр круга, площадь которого равна площади кольцевого пространства между внутренним диаметром первого подвижного звена и диаметром сопла регулятора:

$$D_{з.ср.} = \sqrt{D_{B'}^2 - D_H^2}, \quad (12)$$

где $D_{B'}$ - внутренний диаметр первого подвижного звена регулятора;

D_H - диаметр сопла регулятора;

$\sum S$ - суммарная величина хода всех подвижных звеньев регулятора.

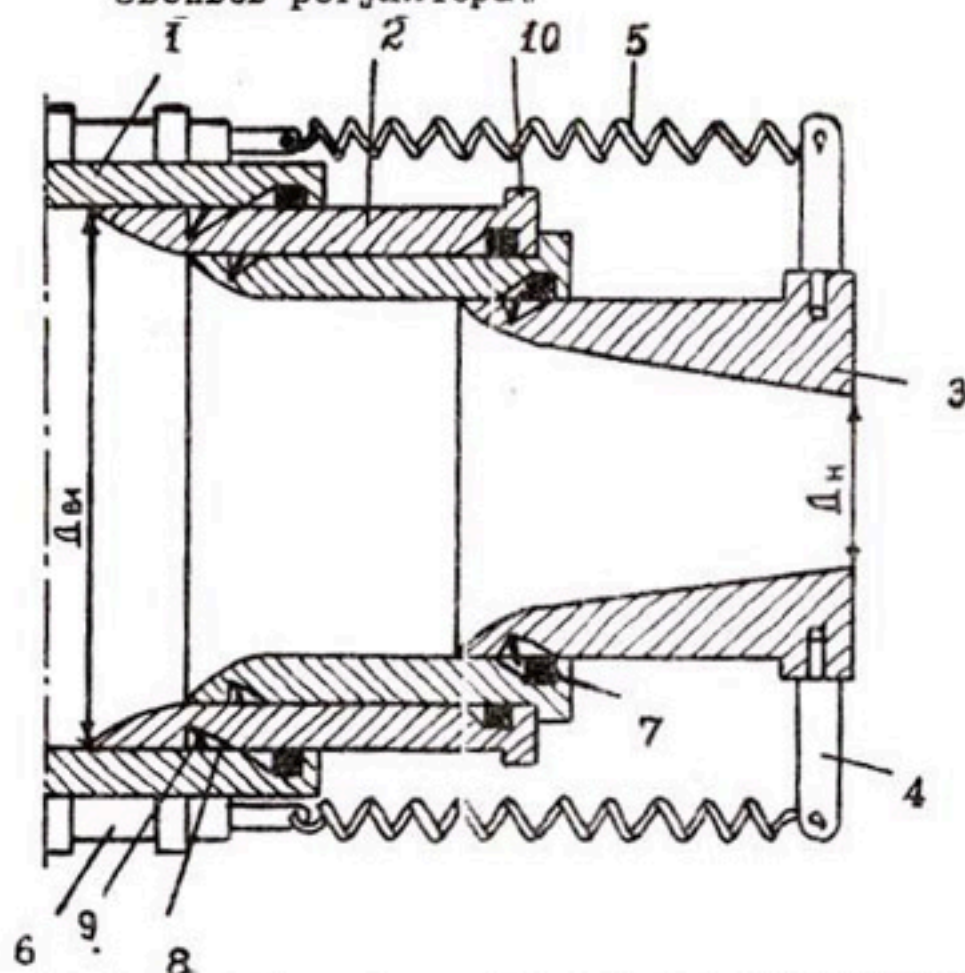


Рис. 4. Регулятор интенсивности дождя к дождевальному аппарату:

1 - корпус ствола; 2 - первое подвижное звено; 3 - крайнее подвижное звено; 4 - зацепы; 5 - пружина; 6 - гидропривод; 7 - кольцевые проточки; 8 - пазы; 9 - собачки; 10 - упоры.

Таким образом, для регулятора интенсивности дождя показатель возмущения струи не зависит от количества промежуточных звеньев и их хода, а определяется площадью кольцевого пространства между диаметром первого подвижного звена и диаметром сопла регулятора, а также ходом механизма возвратно-поступательного действия.

Исследования по определению коэффициента расхода показали, что увеличение угла конусности на 4,6 градуса способствовало снижению коэффициента расхода на 4%.

Описанный метод и разработанные средства управления распадом струй позволяют расширить диапазон использования конструкций дождевателей и дождевальных машин, а также улучшить их качественные характеристики дождя, что положительно скажется на сохранении благоприятного мелиоративного состояния почв.

Л и т е р а т у р а

1. А д ы л о в А.А., И с а е в А.П., С е в р ю г и н В.К.
Исследование дальнеструйной машины фронтального действия.
Сб.научных трудов, вып. 136; ч.1, Ташкент, САНИИРИ, 1973.
2. И с а е в А.П., Г а р е е в Г.А., Г о р л а н о в а Л.П.
Дождевальная машина фронтального действия. Автор.свид.
№ 404514, бюлл. "Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки" № 1974.
3. С е в р ю г и н В.К. Регулятор интенсивности дождя к дождевальному аппарату. Автор.свид. № 435000, бюлл. "Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", № 25, 1974.

А.С. ОСТРОВСКИЙ
канд.техн.наук (Минэнерго)
Ю.М. КУРАВЛЕВ
канд.техн.наук (УзНИИЭиА)
Е.Я. СОТНИК
инженер (САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИ- РОВАНИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

На насосных станциях (НС) Средней Азии для привода насосов используются крупные синхронные двигатели (СД) мощностью 1000–12500 кВт, питающиеся, как правило, от энергосистемы по длинным линиям электропередач. В большинстве случаев на машинных каналах работает в каскаде несколько НС. Так, на Каршинском магистральном канале (КМК) каскад состоит из 6 НС, на каждой из них установлено по 6 СД мощностью 12500 кВт, суммарная установленная мощность, подключенная к ЛЭП напряжением 220 кВ, составляет 450000 кВт.

При дефиците мощности в энергосистеме каскад отключается полностью или частично. В неблагоприятных случаях, когда питающая система работает в минимальном режиме, а каскад с номинальной подачей, угол δ между синхронной эдс двигателя и напряжением шин бесконечной мощности (ШБМ), по расчетам достигает 80–90°. В этих условиях обеспечение устойчивой работы СД насосных станций в рамках существующих систем возбуждения становится проблематичным. Кроме того, на большинстве НС вообще отсутствует регулирование возбуждения, что существенно усложняет режим работы как самих НС, так и питающей системы.

Одним из основных средств повышения устойчивости в нормальных и аварийных режимах является применение автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Эффективность применения АРВ можно показать на примере работы двигателей НС КМК.

С целью оценки эффективности применения АРВ и выбора систем возбуждения и законов АРВ исследования статической устойчивости проводились по методу Д-разбиений на ЭЦВМ БЭСМ-4М.

Группа двигателей НС эквивалентировалась одним СД, который через внешний реактанс подключался к ШВМ питающей сети. По расчету, в исходном режиме угол δ между эдс СД и напряжением ШВМ составлял $80-90^\circ$. Математическое моделирование переходных процессов в сложной энергосистеме осуществлялось без учета быстропереходных процессов в статорных цепях и линиях передач, нагрузки эквивалентировались комплексными шунтами постоянной проводимости, синхронные двигатели моделировались полными уравнениями Горева-Парка.

Применительно к пропорциональному регулированию при электромашинной системе возбуждения области устойчивости в различном исходном режиме в координатах отклонения напряжения (K_{ou}), эквивалентной постоянной времени возбудителя T_e и отклонения тока (K_{oi}) приведены на рис. 1 а, б.

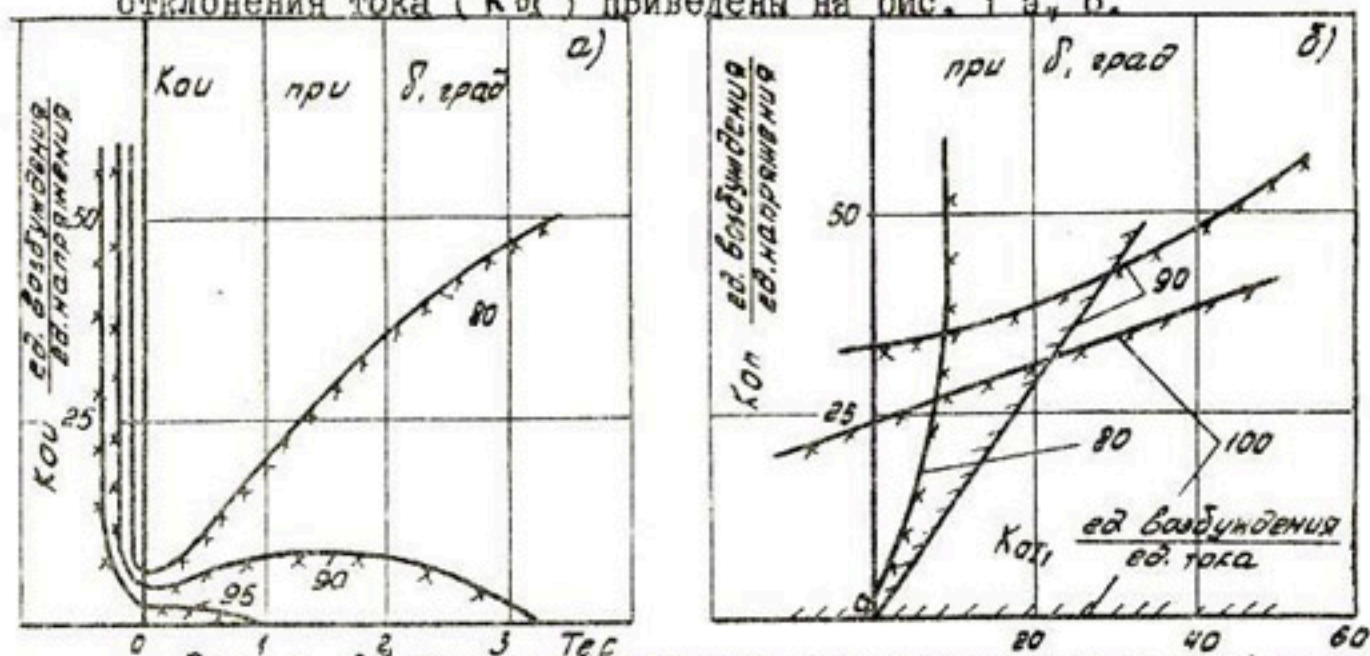


Рис. 1. Области устойчивости при регулировании возбуждения:

- а) по отклонению напряжения;
- б) по отклонению напряжения и тока.

Постоянная времени возбудителя равна 1,48 с, в расчетах же принималось $T_e = 0,4$ с. Устойчивая работа СД возможна при $\delta \leq 95^\circ$, однако коэффициенты K_{oi} при этом велики.

Очевидно, применение АРВ пропорционального действия не дает существенного выигрыша в смысле устойчивости, то есть необходимо усложнять систему с целью снижения инерционности и применения более сложных законов регулирования.

При коренной реконструкции более целесообразно применение современных быстродействующих систем возбуждения на базе тиристорных преобразователей с АРВ сильного действия. АРВ сильного действия несет более полную информацию о состоянии питающей сети и режиме работы СД и обеспечивает устойчивую работу двигателей в более тяжелых режимах. Области устойчивости существенно увеличиваются, что позволяет, не применяя каких-либо дополнительных мер, гарантировать безаварийную работу СД.

На рис. 2, а приведены области устойчивости в координатах отклонения и производной напряжения $K_{0\omega} - K_{1\omega}$ при отключенных каналах по частоте, а также области устойчивости в координатах отклонения и производной частоты $K_{0f} - K_{1f}$ при $K_{0\omega} = 15$, $K_{1\omega} = 5$ (рис. 2, б) в различных исходных режимах. Как видно, применение сильного регулирования позволяет обеспечить устойчивую работу СД при $\delta = 120^\circ$.

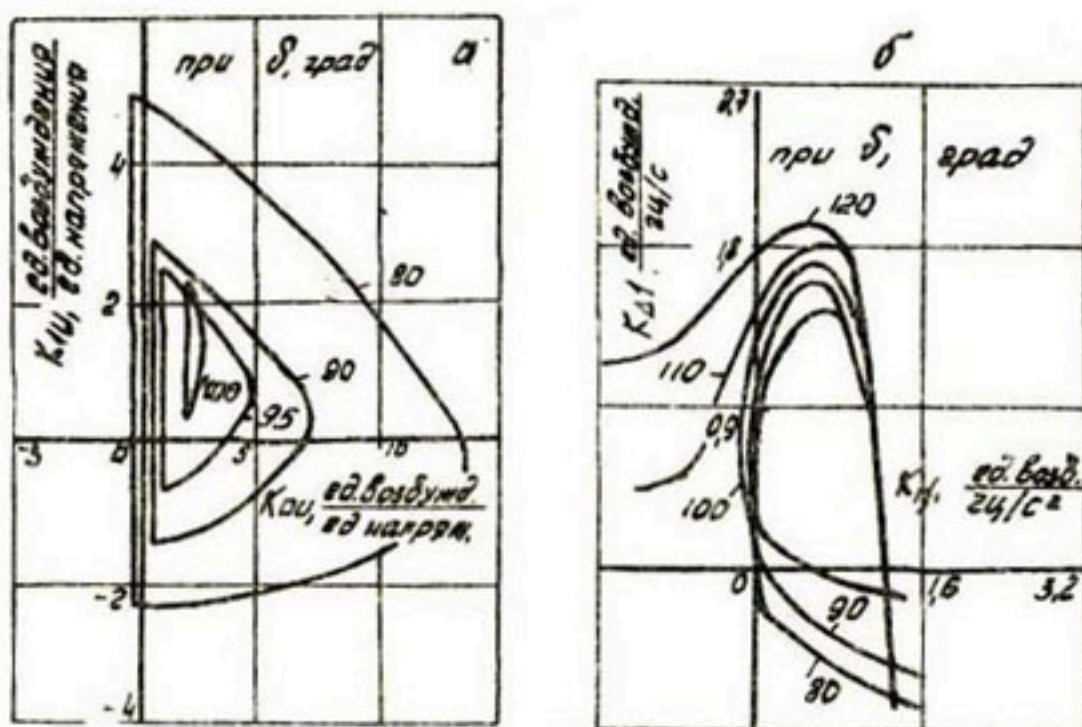


Рис. 2. Области устойчивости при регулировании возбуждения:

- а) по отклонению и производной напряжения;
б) по отклонению и производной частоты при

$$K_{0\omega} = 15 \frac{\text{ед. возбуждения}}{\text{ед. напряжения}}, \quad K_{1\omega} = 5 \frac{\text{ед. возбуждения}}{\text{ед. напряжения}}.$$

Поскольку утяжеление исходного режима, в основном, происходит из-за уровня напряжения питающей сети, то отсюда следует, что применение сильного регулирования позволит обеспечить

устойчивую работу НС при более низком уровне напряжения ШВМ по сравнению с пропорциональным регулированием.

Помимо определенного выигрыша в уровне статической устойчивости применение АРВ даст возможность обеспечить большие пределы по динамической устойчивости и более качественное протекание переходных процессов. Другой характерной положительной чертой применения сильного регулирования для СД НС является улучшение регулирующей способности НС по отношению к питающей сети, что существенно облегчает режим работы энергосистемы.

До последнего времени при расчетах устойчивости сложной энергосистемы нагрузки в узлах (в частности, НС с большим уровнем потребления мощности) эквивалентировались шунтами постоянной проводимости, что искажает результаты расчетов. Поэтому представляет интерес рассмотрение вопросов устойчивости при представлении НС реальными СД, описываемыми полными уравнениями Горева-Парка с учетом регулирования возбуждения с СД.

Динамическая устойчивость СД КМК исследовалась на ЦВМ БЭСМ-4М по комплексной программе устойчивости, разработанной ВНИИЭ, позволяющей представлять синхронные машины полными уравнениями Горева-Парка в сложной электрической схеме. Это позволило рассмотреть каскад НС КМК в электрической схеме, приближенной к реальной. В исходном режиме КМК был представлен шестью НС, на каждой из которых работало по 5 СД в номинальном режиме, каскад подключался двумя линиями напряжением 220 кВ к подстанции "Карши" с питанием ее от Навоийской и Сырдарьинской ГРЭС. При двухфазном коротком замыкании на шинах питающей подстанции с отключением и без отключения одной питающей линии динамическая устойчивость полной нагрузки каскада нарушалась при любых системах возбуждения (СВ) и законах АРВ двигателей.

С целью сохранения динамической устойчивости после отключения КЗ часть СД на насосных станциях автоматически отключалась. Эффективность применения АРВ и типа системы возбуждения оценивалась по достигнутому пределу динамической устойчивости и качеству переходного процесса (рис. 3).

вая 4', 4) повышает динамическую устойчивость на 5% по сравнению с вариантом отсутствия АРВ.

По результатам проведенных исследований можно сделать однозначный вывод о том, что для НС, исходный режим которых является опасным с точки зрения устойчивости, применение сильного регулирования является целесообразным.

Э.В. КЛИМОВ
старший научный сотрудник
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ОСНОВЫ НОРМАТИВНОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Функциональная структура — отправной пункт создания производственной организации и обеспечения ее жизнедеятельности. Как и всякое основание она должна быть максимально надежной. Надежность концептуального основания определяется его объективностью. Объективность функциональных структур производственных организаций основана на экспертных методах ("Дельфи", ранговой корреляции, СПУ, ПАТТЕРН, МОППСС и др. [1]) и на сегодня явно не удовлетворительна [2; 3].

Основы объективного метода построения функциональных структур производственных организаций, рассматриваемые в данной статье, являются результатом работ, проводимых САНИИРИ в рамках совершенствования, механизации и автоматизации системы управления служб эксплуатационной отрасли мелиорации и водного хозяйства. Разнохарактерность производства этих служб (собственно эксплуатационное производство — служба водопользования, — ремонтно-строительное производство — производство "механизации" и др.), их качественное различие по зонам наводили на мысль не о единственности функциональной структуры, а о их некотором множестве. При всей специфике каждой функциональной структуры основа их построения оказалась одной и той же. В результате получился материал, имеющий, по существу, межотраслевой характер.

Исследование предполагает обособление (выделение) объекта изучения. Концептуальное обособление есть, прежде всего, определение. Определим исходное понятие: производственная организация – это социальная группа, в которой существует функциональное разделение труда, направленное на достижение общей цели (целей), а цель продуцируется общественной потребностью^{x)}.

Это определение в совокупности с нумерацией понятий цели и задачи Акоффа и Эмери [4], с учетом известного замечания Маркса, что труд не только доставляет материал для потребления, но и сам является процессом потребления [5], позволило создать концептуальную конструкцию, которая по своему значению может быть отнесена к категории базисных.^{xx)}

Она состоит из пяти компонентов – базисных элементов: 1- потребность субъекта В, удовлетворение которой является целью субъекта А, внешняя по отношению к А, экзопотребность; 2- цель субъекта А для множества окружений выбора на интервале времени $t_1 - t_m$ – удовлетворение потребности субъекта В в момент времени t_n ($n > m$) При этом $t_1 - t_m$ есть время производства субъектом А множества действий с результатами $0_1, 0_2, \dots, 0_m$, упорядоченными по удельным ценностям так, что $V_1 < V_2 < \dots < V_m$ для А на интервале $t_1 - t_m$. Кроме того, существует результат 0_k ($1 < k < m$); при его достижении возрастает вероятность удовлетворения потребности субъекта В в момент t_n , т.е. 0_k является потенциальным продуцентом удовлетворения этой потребности (потребительной стоимостью

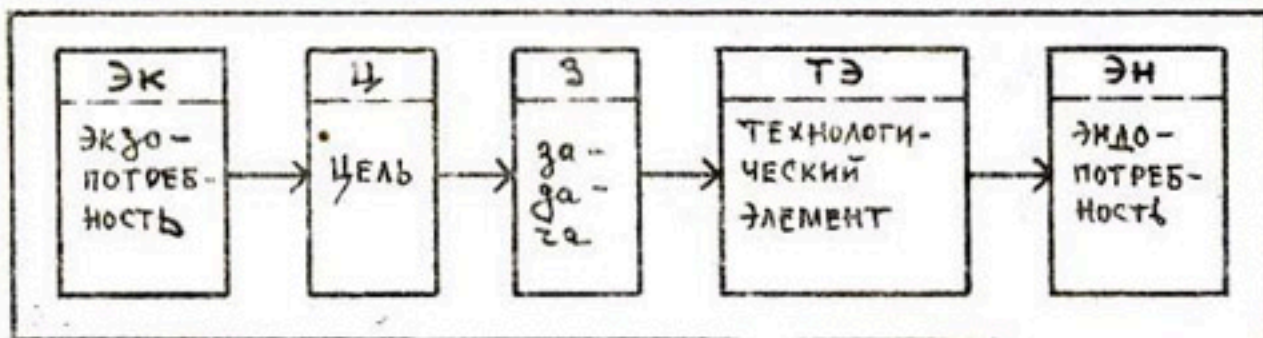
x) Определение дано на основе понятия организации Р.Акоффа и Ф.Эмери [4] (эта же работа содержит и определения всех входящих понятий). Оно не противоречит нашим представлениям об этом предмете (см., в частности, определение Б.Г. Юдина, помещенное в 18-м томе третьего издания "Большой Советской Энциклопедии", но является уже объектом измерения, а не просто представлением (образом).

xx) Определение "базисный" заимствовано у М.Тода и Э.Х.Шуфорда (мл.) [6] и используется в том же значении.

для В в момент t_n); 3 – задача субъекта А для некоторого множества окружений выбора и отрезка времени $t_1 - t_k$ – достижение результата 0_k из множества доступных результатов $(0_1, 0_2, \dots, 0_k)$, упорядоченных так, что $V_1 < V_2 < \dots < V_k$ для А за время $t_1 - t_k$, причем при достижении некоторого результата $0_j (j < k)$ из этого множества вероятность получения 0_{j+1} за $t_1 - t_k$ возрастает; 4 – технологический элемент субъекта А, реализующий то или иное множество способов действия $(C_1, C_2, \dots, C_k)$ [4]; 5 – потребности технологического элемента субъекта А, внутренние – эндопотребности.

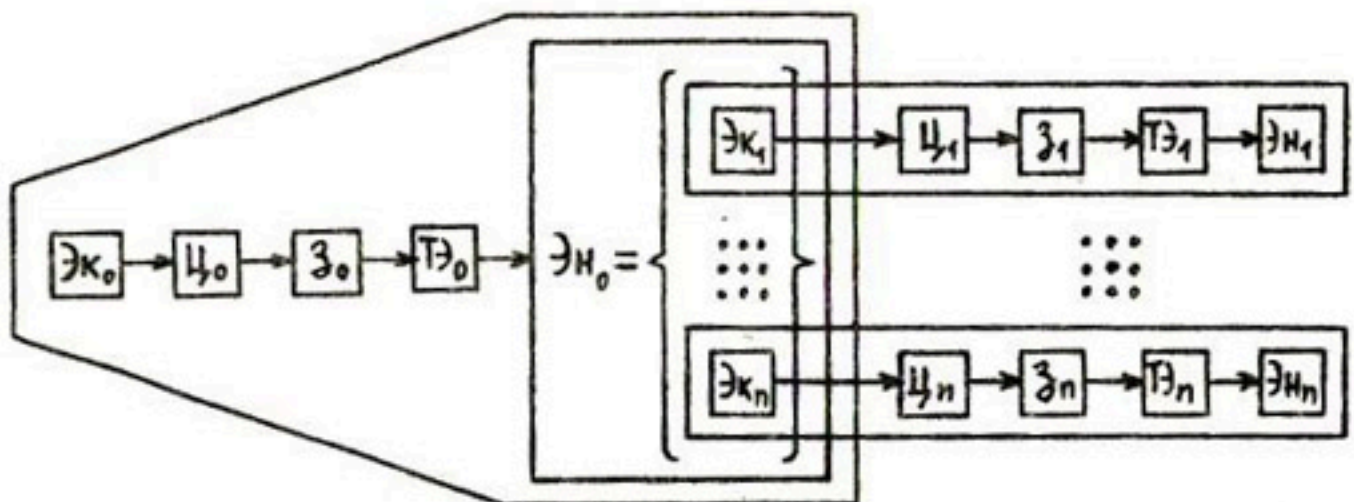
Эти компоненты располагаются в названной последовательности и попарно находятся в отношении "ближайший (непосредственный, прямой) продуцент – ближайший (непосредственный, прямой) продукт", что основано на отношении продуцент–продукт [4] и отличается от последнего своей нетранзитивностью (интранзитивностью). Оно может быть названо так: элементарное отношение или базисная связь.

Вся конструкция в целом – базисный блок. Изобразим его графически:

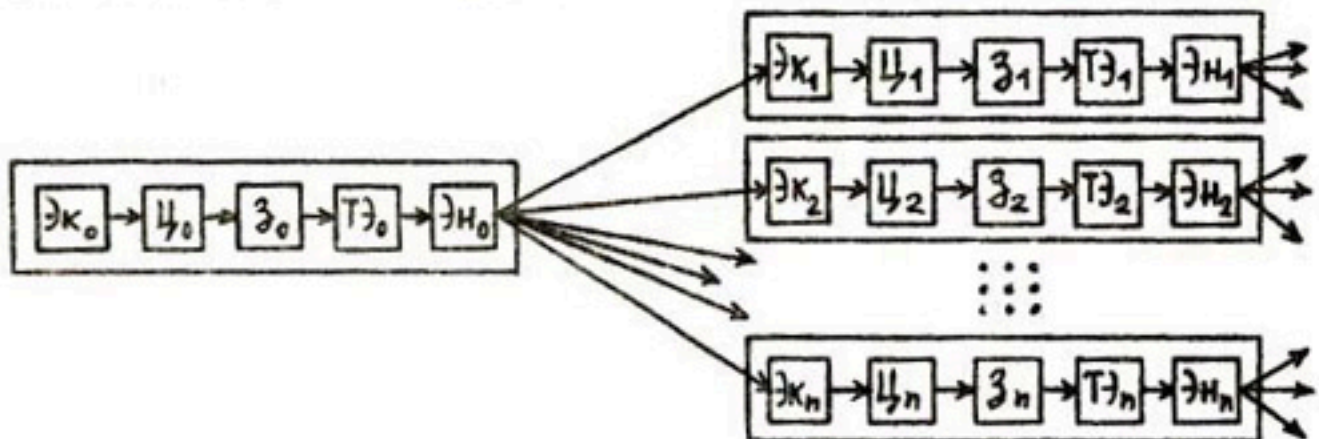


Здесь стрелки обозначают следующее: "является ближайшим продуктом".

Основное свойство базисного блока очевидно: эндопотребности предшествующего блока являются потенциальными продуцентами аналогичных блоков следующего уровня по схеме –



которую в равной мере можно воспроизвести в другой, более удобной, графической форме:



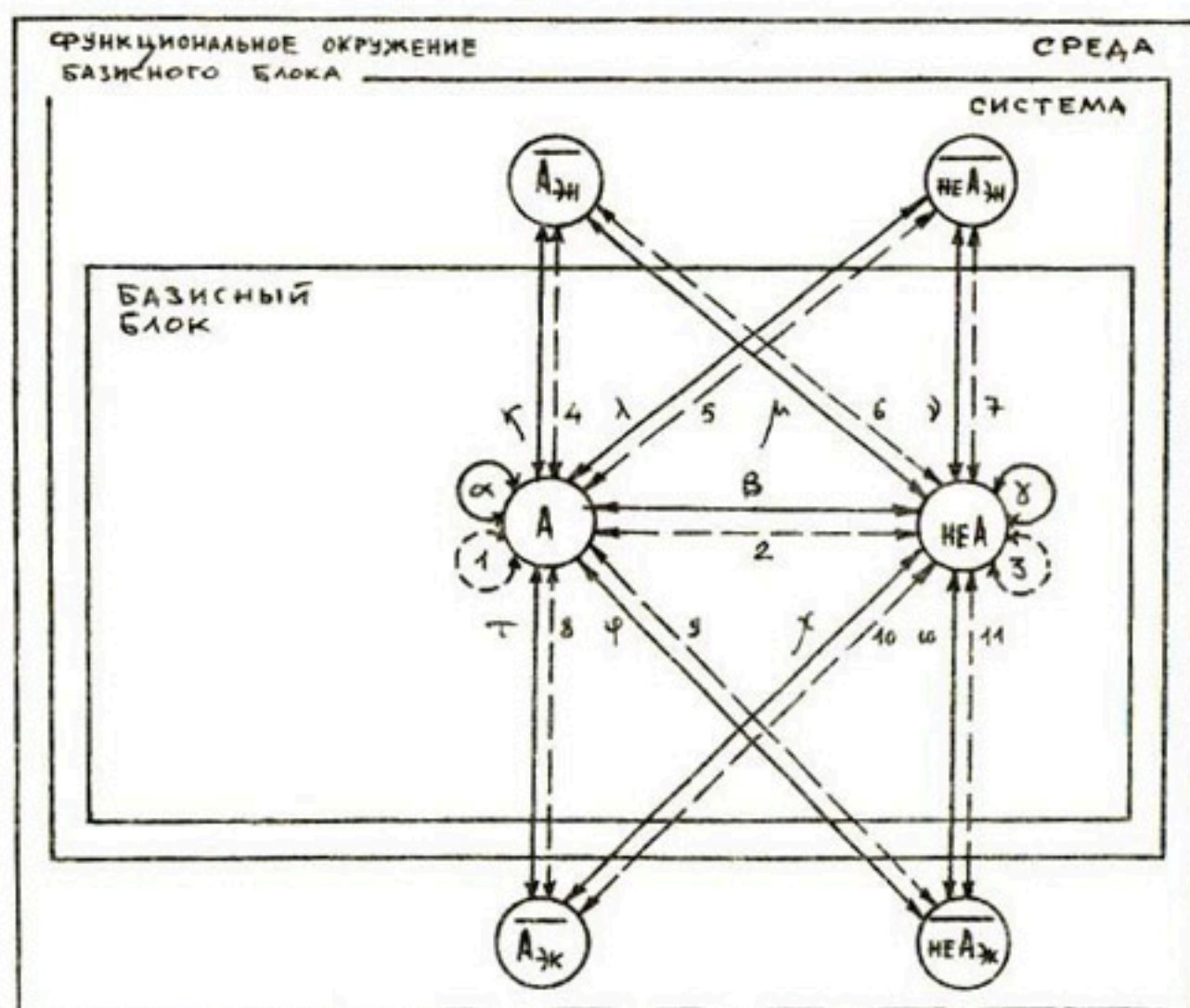
Это объективно приводит к структуре, имеющей вид дерева.

Конечное дерево, построенное на базисных блоках, со стрелками, повернутыми на 180° , является функциональной структурой производственной организации, а базисные блоки – функциональными элементами. Дуги, заходящие в ту или иную вершину функциональной структуры, в совокупности образуют ее "причину" [4], если эндопотребности образуют полное множество взаимоисключающих элементов. Последнее – необходимое условие построения функциональной структуры.

Эндопотребности базисного блока – это потребности его технологического элемента. Последние определяются "вещественными" компонентами, так как их-то он и "потребляет", "пожирает" [5]. Следовательно, чтобы определить множество эндопотребностей, необходимо выявить полное множество взаимоисключающих

компонентов технологического элемента.^{х)}

Множество компонентов технологического элемента состоит из вещных компонентов и всех видов их взаимодействий и отношений. Дихотомически есть два существенных вида вещных компонентов: A — активные многофункциональные и независимые от окружения целеустремленные (люди) [4] и ($\text{не } A$) все, что хотя и является вещным компонентом технологического элемента, но к A отнесено быть не может. Тогда исчерпывающее множество их взаимодействий и отношений определяется следующей схемой:



^{х)} "Полное множество взаимоисключающих элементов" употребляется нами только один раз; в дальнейшем, если не оговорено обратное, только предполагается, что рассматриваемое множество является полным, а его элементы — взаимоисключающими.

Здесь ($\longleftrightarrow$) - отношения, образующие множество $\{\alpha, \beta, \gamma, \chi, \lambda, \mu, \nu, \tau, \varphi, \psi, \omega\}$;

($\longleftrightarrow$) - взаимодействия, образующие множество $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\}$;

$\overline{A_{\lambda n}}$ и $\overline{\neg A_{\lambda n}}$ - соответствующие "абсолютные дополнения" к "универсуму" /7/: "система" - внутренние (эндо) дополнения;

$\overline{A_{\lambda k}}$ и $\overline{\neg A_{\lambda k}}$ - соответствующие абсолютные дополнения к универсуму: "среда" - внешние (экзо) абсолютные дополнения;

$(\overline{A_{\lambda n}}) \cup (\overline{A_{\lambda k}}) \cup (\overline{\neg A_{\lambda n}}) \cup (\overline{\neg A_{\lambda k}}) = \text{универсум: "функциональное окружение" /4/}.$

Таким образом, исчерпывающее множество компонентов технологического элемента состоит из двадцати четырех вещественных компонентов: двух вещных (А и не-А); одиннадцать их отношений и столько же взаимодействий.

Систематическое использование не только вещных элементов, но и элементов-отношений и элементов-взаимодействий позволяет говорить, буквально или фигурально, об их потреблении. Но ими эндопотребности не исчерпываются. Их совместное движение порождает потребности в деньгах, в научно-техническом прогрессе и в организации и управлении.

Таким образом, эндопотребности базисного блока на сегодня могут быть представлены в виде следующего множества - "средства декомпозиции" /6/: кадры, специфический инструмент, специфические материальные условия процесса труда, прочие материально-технические ресурсы (в том числе и предмет труда - "сырой материал" /5/, финансы, научно-технический прогресс, организация и управление.

Последние должны располагать средствами для получения информации о состоянии возможных декомпозиционных элементов на их основе, т.е. должны обеспечивать осмысленность декомпозиции /6/. Минимально допустимая характеристика состояния достигается, как известно, путем описания "некоторых специфических функций или характерных свойств, атрибутов". А атрибутами производственной организации являются цель, характер операций, предмет, средства и результат /5/ или, что то

же самое — цель, задача, предмет труда, продукт труда, инструмент, функции. Итак, необходимо показать возможность существования таких атрибутов у декомпозиционных элементов на основе названного средства декомпозиции.

Дадим необходимые определения. Предмет труда — основной (образующий "субстанцию продукта" /5/) — непосредственный сопродуцент существенного продукта труда (потребительной стоимости). ПРОДУКТ ТРУДА — материализованный результат процесса труда. ИНСТРУМЕНТ — основной непосредственный сопродуцент продукта труда, располагающийся между производящим (функциональным) субъектом и его предметом труда и служащий в качестве проводника воздействия этого субъекта на свой предмет, т.е. сопроизводство инструмента производится субъектом /5, 4, 8, 10/.

Определение понятия функции дадим с помощью своего рода рекурсии, для чего рассмотрим следующее исчерпывающее множество: СОЗДАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ (т.е. систематическое использование), СОДЕРЖАНИЕ (обеспечение сохранности количества и качества, когда изменения их не выходят за рамки "меры"), ПОДДЕРЖАНИЕ (обеспечение исключения потери количества и качества, изменения которых находятся на грани выхода за рамки "меры") и ПЕРЕУСТРОЙСТВО. Отнесенное к тому или иному компоненту технологического элемента базисного блока, оно образует ПОЛНОЕ МНОЖЕСТВО ВЗАИМОИСКЛЮЧАЮЩИХ ФУНКЦИЙ, возникающих в связи с этим компонентом.

Атрибуты элементов множества — средства декомпозиции — будем называть строго в порядке перечисления последних: кадры — 1, специфический инструмент — 2, специфические материальные условия процесса труда — 3, прочие материально-технические ресурсы — 4, финансы — 5, научно-технический прогресс — 6, организация и управление — 7.

ЦЕЛЬ. Удовлетворение потребности обслуживаемого элемента в: 1) кадрах, 2) специфическом инструменте, 3) специфических материальных условиях процесса труда, 4) прочих материально-технических ресурсах, 5) финансах, 6) научно-техническом прогрессе, 7) организации и управлении.

ЗАДАЧА. Определенные количественно, качественно и в пространстве в пределах заданного отрезка времени: 1) кадры; 2) специфический инструмент; 3) специфические материальные условия процесса труда; 4) прочие материально-технические ресурсы; 5) фонды денежных ресурсов; 6) сущности явлений, их конструктивное и технологическое воплощения, практические рекомендации; 7) результаты решения задач.

ПРЕДМЕТ ТРУДА: 1) рабочая сила (потенциальные кадры); 2) основной сопроизводитель специфического инструмента; 3) основные сопроизводители специфических материальных условий процесса труда; 4) элементы прочих материально-технических ресурсов, не отвечающие определенным требованиям количественно, во времени и в пространстве; 5) данные, подтверждающие факт реализации продукта труда; 6) (про) явления сущностей; 7) данные^{х)} необходимые для решения задач.

ПРОДУКТ ТРУДА. Определенные: 1) кадры, обладающие необходимыми качествами; 2) специфический инструмент; 3) элементы специфических материальных условий процесса труда; 4) элементы прочих материально-технических ресурсов, отвечающие требованиям обслуживаемого элемента количественно, качественно, во времени и в пространстве; 5) фонды денежных ресурсов и 6) целостная концепция по поводу сущности обслуживаемого элемента, ее технологическая и (или) конструкторская интерпретация, или (и) практические рекомендации; 7) решения задач.

ИНСТРУМЕНТ: 1) система, методы и средства подготовки кадров; 2) инструмент для производства определенного специфического инструмента; 3) инструменты для производства определенных элементов специфических материальных условий процесса труда; 4) устройства, исключающие потерю качества и служащие для накопления определенных элементов прочих материально-технических ресурсов и "перемещения" их во времени (например, склады); перемещения их в пространстве (транс-

^{х)} Например, ψ (т.е. множество V, Z, K, D, U, W) у Майминаса [9] и концептуальная система выбора Акоффа и Эмери [4].

портные средства); устройства для сопряжения первых двух видов устройств (например, погрузочно-разгрузочные механизмы); 5) тарифы, цены, расценки, методы и средства вычислительных работ; 6) методология научного познания от ее высшего уровня – философской методологии – до методики и техники конкретных исследований /10/; 7) нормативная модель /11/, средства и методы формирования решений.

ФУНКЦИИ: 1) набор рабочей силы, подготовка кадров, поддержание их профессионального уровня, их переподготовка; 2) создание, капитальный ремонт и реконструкция специфического инструмента; 3) создание, текущий ремонт, капитальный ремонт и реконструкция специфических материальных условий процесса труда; 4) размещение заказов на производство и поставку, перемещение в пространстве, во времени, накопление и реальное распределение прочих материально-технических ресурсов; 5) образование, содержание и реальное распределение денежных фондов; 6) концептуальное и реально-опытное "создание" сущности n -го порядка, концептуальное и реально-опытное "пересоздание" сущности n -го порядка, т.е. создание сущности $n+i$ -го порядка; 7) создание, систематическое использование, содержание, поддержание и переустройство обслуживаемого элемента как системы; создание, содержание, поддержание и пересоздание концептуального решения задачи.

Процесс расчленения локально заканчивается, как только исключается возможность обеспечения осмысленности дальнейшей декомпозиции.

Л и т е р а т у р а

1. А б д у л л а е в А.А. и др. Принципы построения автоматизированных систем управления промышленными предприятиями с непрерывным характером производства. М., "Энергия", 1975.
2. М а т е м а т и к а и к и б е р н е т и к а в э к о н о м и к е. Словарь-справочник. Изд. 2-е, М., "Экономика", 1975.
3. Л о п а т н и к о в Л.И. Популярный экономико-математический словарь. М., "Знание", 1973.

4. А к о ф ф Р., Э м е р и Ф. О целеустремленных системах. М., "Советское радио", 1974.
5. М а р к с К. Капитал, т. I. Государственное изд-во политической литературы, 1955.
6. И с с л е д о в а н и е по общей теории систем. М., "Прогресс", 1969.
7. Б е р з т и с с А.Т. Структуры данных, М., "Статистика", 1974.
8. Б о л ь ш а я С о в е т с к а я Э н ц и к л о п е - д и я . Изд. 3-е, М., "Советская Энциклопедия", т.т. I-22.
9. М а й м и н а с Е.З. Процессы планирования в экономике: информационный аспект. Изд. 2-е, М., "Экономика", 1971.
- Ю. Б л а у б е р г И.В., Ю д и н Э.Г. Становление и сущность системного подхода, М., "Наука", 1973.
- II. Я н г С. Системное управление организацией. М., "Советское радио", 1972.

А.Н. СПЕСИВЦЕВ

рук. группы

А.С. СТАРКОВСКИЙ

зав. сектором

Ю.И. БОГУСЛАВСКИЙ

рук. группы

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ АСУ ВОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ БАССЕЙНА р. СЫРДАРЬИ

Одной из проблем предпроектной проработки АСУ конкретным объектом является построение полной модели будущей системы, которая давала бы возможность определять границы и очередность исследований и проектирования, их место в общем объеме предстоящих работ и учитывать взаимные связи всех элементов системы на каждом этапе ее создания.

Нами сделана попытка построения такой модели на примере АСУ водным хозяйством бассейна р.Сырдарьи (АСУ ВХБ).

В настоящее время трудно представить в окончательном виде функциональные и пространственные границы АСУ ВХБ. Ясно, что процесс формирования системы должен пройти несколько временных этапов развития как в функциональном, так и в пространственном направлениях.

Для определения границ разработки и функционирования системы на каждом этапе представляется целесообразным рассмотреть главную задачу управления водным хозяйством бассейна в аспектах функций, времени и пространства, а затем уже задать граничными условиями по каждому из этих направлений для того или иного этапа.

Главная задача АСУ ВХБ в настоящее время представляется в следующем общем виде: оптимальное согласование в любые текущие промежутки времени динамики формирования и накопления дефицитных водных ресурсов, водораспределения и водоподдачи с режимами оптимального водопотребления и водопользования на местах в условиях большой территориальной рассредоточенности водопотребителей и водопользователей и переменности водных ресурсов во времени и в пространстве как в количественном, так и в качественном отношении. Недодача или подача излишней воды во времени, а также выделение воды неполноценного качества влекут за собой различного вида ущерба.

К решению главной задачи управления может привести выполнение определенных функций, полученных в результате ее функционального разложения (рис. I).



Рис. I. Функциональное разложение главной задачи управления.

В качестве примера назовем некоторые из них:

1. Обеспечение во времени и в пространстве запасов естественных водных ресурсов, соответствующих в динамике оптимальным потребителям народного хозяйства и коммунально-бытовым запросам населения в бассейне.

2. Водораспределение и подача воды водопотребителям и водопользователям к местам водозабора в оптимальном количестве и в нужное время.

3. Оптимальное согласование динамики накопления, распределения и подачи воды водопотребителям и пользователям во времени и в пространстве.

4. Обеспечение во времени и в пространстве соответствия качества воды установленным санитарно-гигиеническим нормам.

5. Управление кадрами.

6. Управление финансовой деятельностью.

7. Управление развитием системы и т.д.

Все выделяемые функции предполагают контроль, учет, анализ движения своих ресурсов и хода происходящих процессов, а также отчетность перед системой координации, т.е. каждая из функций в процессе реализации должна своевременно обеспечиваться соответствующей информацией, перерабатывать ее и выдавать новую информацию как в виде управляющих команд, так и в виде учетно-отчетных данных. Все функции равноправны между собой. Это позволяет создавать автоматизированную систему управления поэтапно, по отдельным выделяемым функциональным подсистемам, решая на каждом этапе взаимосвязанные задачи заметно меньшей сложности.

В частности, на первом этапе создания АСУ ВХБ р.Сырдарьи представляется целесообразным ограничиться разработкой и внедрением перечисленных выше функций в их динамическом взаимодействии со сложившимся управлением другими функциями.

Задачи управления в каждой из функциональных подсистем образуют определенную иерархическую структуру задач, решаемых для различных временных интервалов-периодов планирования и управления (рис. 2).

Выделяемые временные подсистемы планирования и управления строго иерархичны. Подсистема каждого уровня детализирует решения вышестоящей подсистемы, передавая ей в то же время

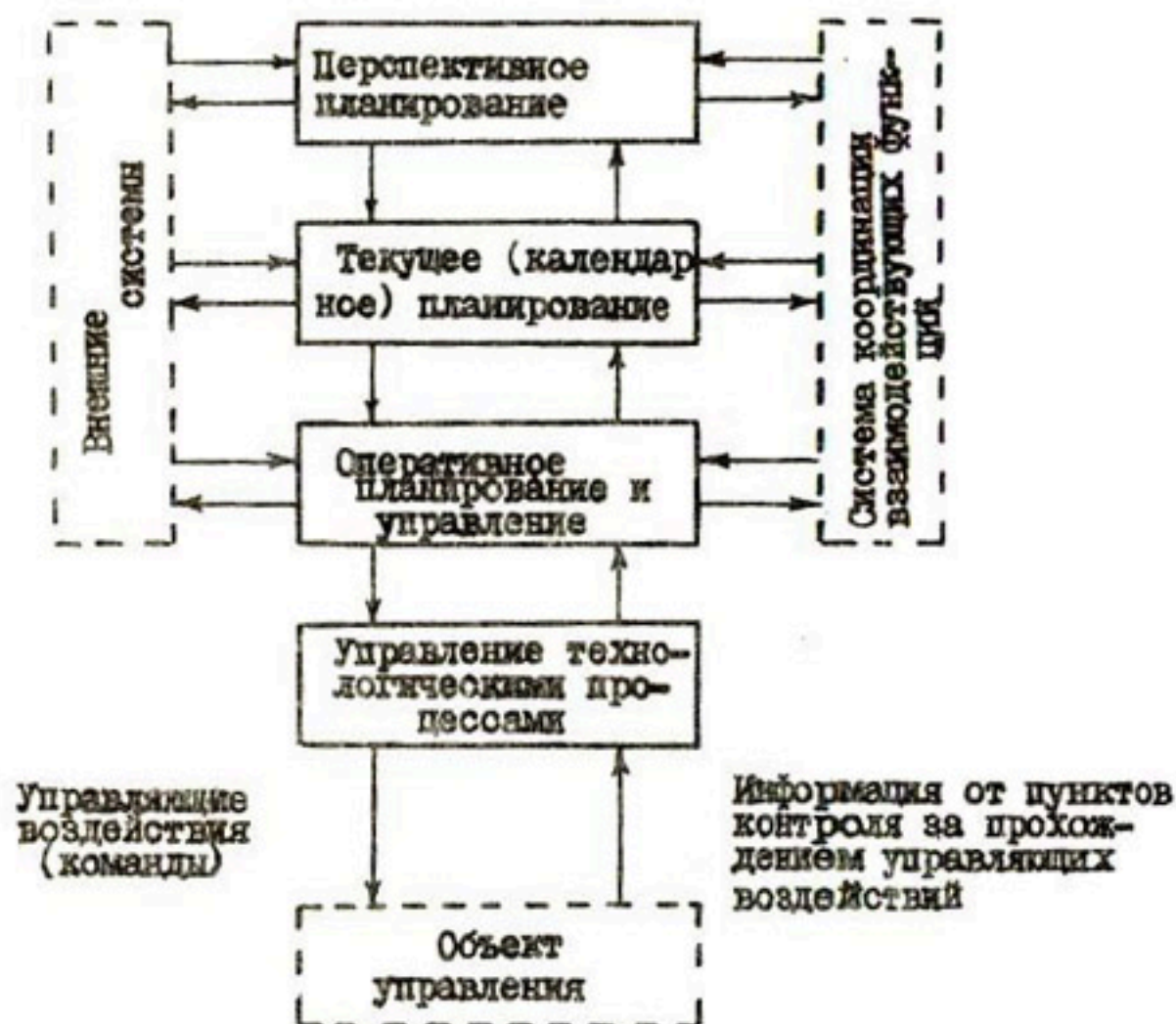


Рис. 2. Разложение функциональной задачи управления по временным интервалам.

обобщенную информацию о своем состоянии во времени и в пространстве. Определенный обмен информацией производится каждым уровнем с соответствующими временными подсистемами взаимодействующих функций и внешними системами.

В связи с тем, что время решения задач на уровнях перспективного и текущего планирования не является лимитирующим, представляется возможным на первом этапе разработки и функционирования АСУ ВХБ р.Сырдарьи оставить решение этих задач за республиканскими ММИВХ, предусмотрев за службами автоматизированного управления лишь их координацию.

Комплексное в масштабе системы оперативное управление реализацией первоочередных функций необходимо осуществить на базе скоординированных планов Минводхозов республик уже на первом этапе внедрения автоматизированной системы. Именно на этом уровне сказывается, в первую очередь, отсутствие коорди-

нации в сложившемся управлении, и кроме того, процедуры решения задач этого уровня ограничены рамками реального масштаба времени (в соответствии с протекающими процессами), чего нельзя достичь без автоматизации управления.

Пространственное разложение главной задачи АСУ ВХБ сводится к определению объекта управления для каждого этапа развития системы.

Не останавливаясь на организационной проблеме этого вопроса, можно предположить, что в перспективе автоматизированным управлением будет охвачено все водное хозяйство бассейна, включая конкретно каждого из водопотребителей и водопользователей на самом нижнем уровне иерархии водопользования.

На первом этапе создания и функционирования АСУ ВХБ задача в этом аспекте сводится к тому, чтобы под контролем автоматизированной системы оказалась подавляющая часть водных ресурсов. Основной составляющей водных ресурсов в бассейне является речной поверхностный сток. Исходя из этого, на первом этапе представляется целесообразным ограничить территорию объекта управления таким образом, чтобы системе были подконтрольны водные ресурсы поверхностного стока основных рек бассейна: Нарына, Карадарьи, Сырдарьи и Чирчика. С учетом задачи межреспубликанского водodelения границы такого объекта иллюстрируются (рис. 3).

Пространственное разложение главной задачи управления так же, как и ее декомпозиция по функциям и во времени, самым тесным образом связано с формированием организационной структуры управления. Так, для решения многомерной задачи управления большим объектом, можно объект расчленить на относительно обособленные технологические участки, решая для каждого из них задачи заметно меньшей сложности. В совокупности решение таких задач для каждого участка должно привести к решению главной задачи АСУ ВХБ. На рис. 3 иллюстрируется вариант расчленения объекта управления первой очереди АСУ ВХБ на относительно обособленные технологические участки (ТУ).

Каждый ТУ располагает хотя бы одним водохранилищем, с помощью которого осуществляется аккумуляция и регулирование

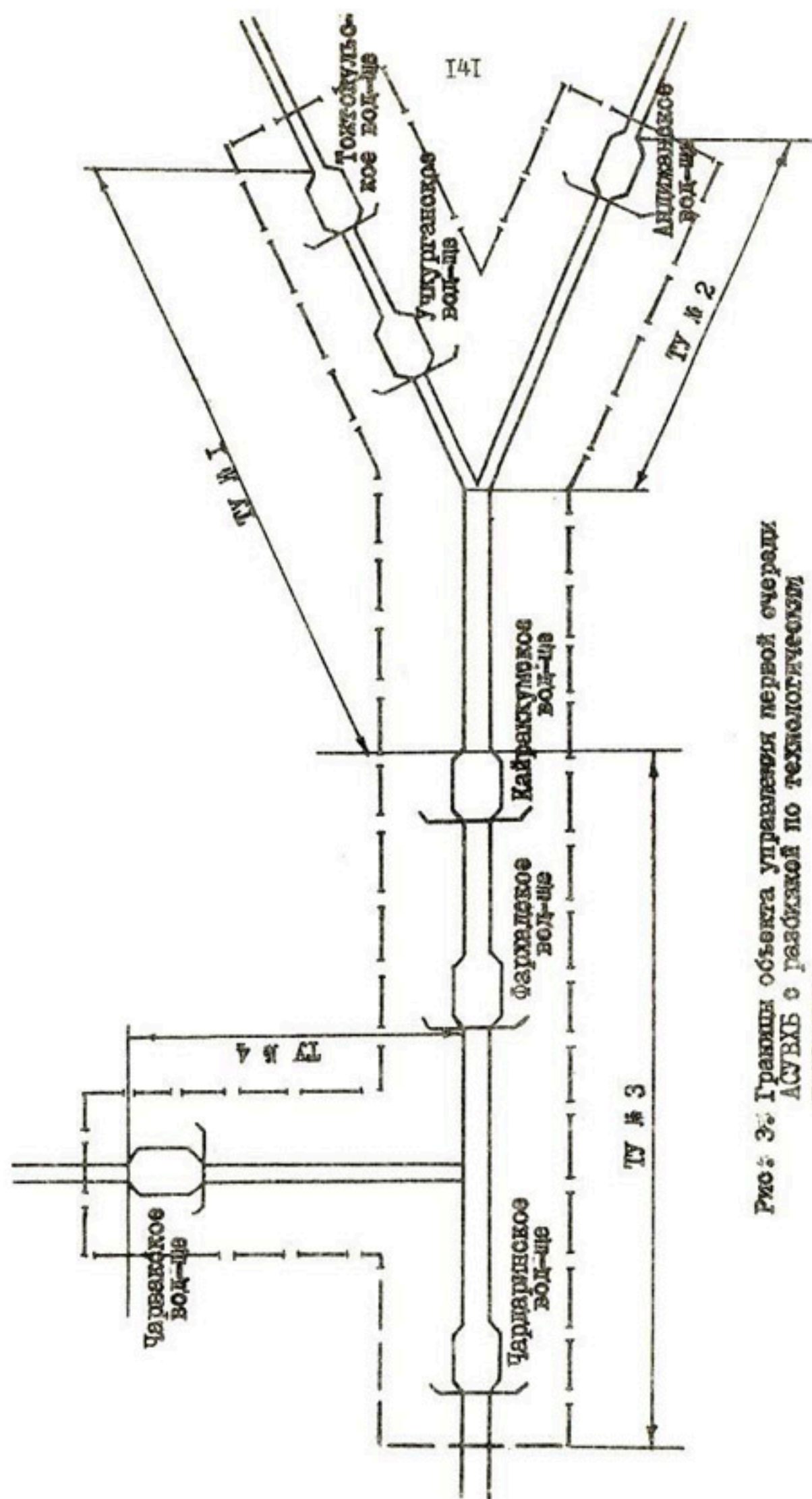


Рис. 3. Границы объекта управления первой очереди АСУВХБ с разбивкой по технологическим признакам.

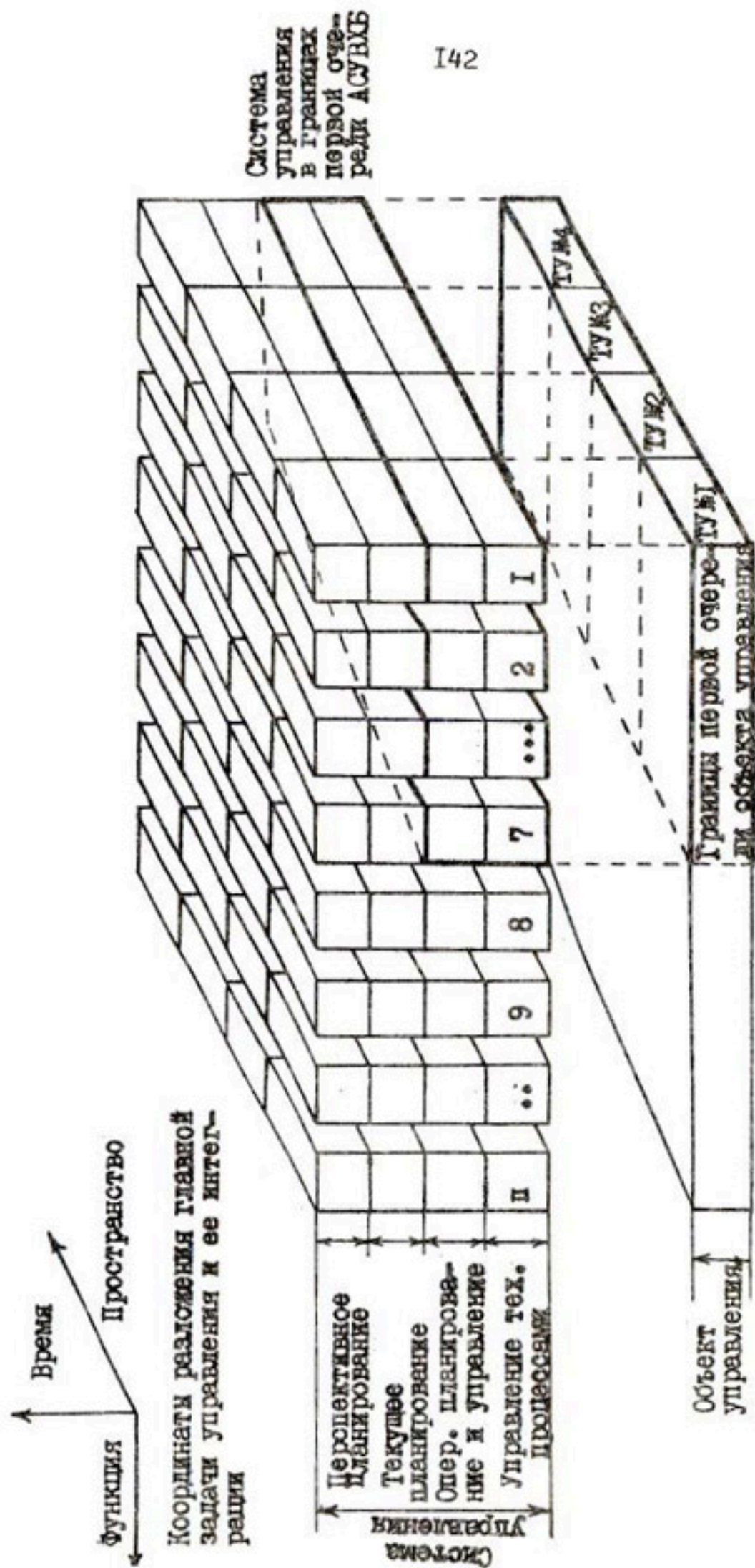


Рис. 4. Интегрированная модель АСУВХБ и объекта управления.

стока на территории участка во времени и в пространстве. В задачу каждого участка входит водораспределение и подача воды закрепленным за участком потребителям, учет возвратных, дренажных вод, водопотерь и т.д. и т.п. Нижележащий по течению воды ТУ по отношению к вышележащему является водопотребителем и комплексным заказчиком на воду. По отношению к АСУ ВХБ все участки равноправны. Взаимодействие между ними регулируется вышестоящей координирующей системой.

На базе трехмерной (по функциям, во времени и в пространстве) декомпозиции главной задачи управления можно построить интегрированную модель будущей системы (рис. 4).

Такая модель дает не только наглядное представление о месте первоочередных проработок в общем объеме предстоящих работ, но и позволяет наметить границы последующих этапов разработки и вести ее на каждом этапе с ориентацией на взаимные связи и взаимодействие всех функциональных элементов во времени и в пространстве.

Подобный подход к решению проблемы помог определить первоочередные границы проработки автоматизированной системы управления водохозяйственным комплексом в бассейне р.Сырдарьи и наметить этапы развития системы по всем направлениям.

У.Х. ХАТАМОВ

канд.техн.наук

(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПОИСКЕ ОПТИМАЛЬНЫХ НАСТРОЕК НА МОДЕЛИ САР

При автоматизации ирригационных систем с самотечными и машинными каналами в настоящее время широко применяются системы автоматического регулирования (САР) электрическими регуляторами, выбор настройки которых производится по методам теории автоматического регулирования. Однако, если варьируемые параметры на исследуемом объекте изменяются вручную, то наиболее удобным методом планирования эксперимента /1/ является поиск экстремума, позволяющий достигнуть результата при минимальном числе опытов.

Применение планируемого эксперимента может оказаться особенно эффективным в поиске оптимальных настроек при моделировании САР на АВМ, при этом наиболее целесообразно использовать метод структурного моделирования /2/. Модель САР реализуется посредством соединения моделей отдельных функциональных элементов – объекта регулирования, датчика, регулирующего прибора, исполнительного механизма, дополнительных связей, составленных на основе моделей типовых линейных и нелинейных звеньев. Можно также сочетать модель объекта с реальным регулирующим прибором и исполнительным механизмом.

В качестве варьируемых параметров, например для промышленных САР, могут быть выбраны зоны нечувствительности и возврата регулирующего прибора с релейным выходом, время хода исполнительного механизма, время издрорма, скорость связи и т.д.

За критерий оптимальности можно принять интегральный критерий качества переходного процесса в исследуемой САР /3/

$$I_0 = \int_0^{\infty} |\Delta y| dt, \quad (1)$$

где Δy – отклонение выходной величины модели от установившегося значения.

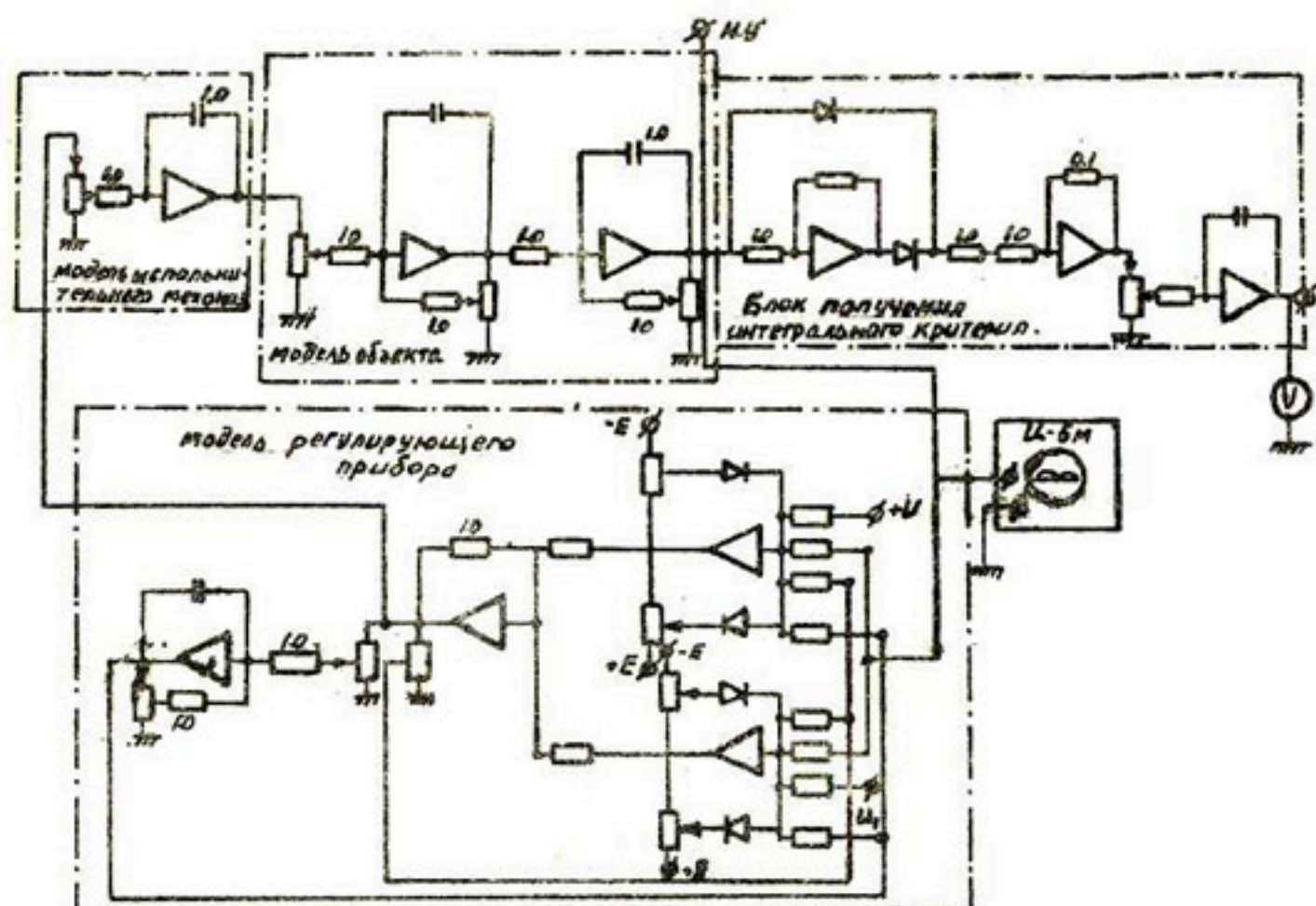
Интегральный критерий из-за трудности его вычисления не применялся в аналитических расчетах и в то же время он наиболее просто реализуется на операционных усилителях.

Для обеспечения конечного времени интегрирования в (1) принимается дополнительное условие, при котором

$$|\Delta y| \geq \Delta u, \quad (2)$$

Δu – некоторое напряжение, создающее зону нечувствительности на входе схемы вычисления интегрального критерия (1).

Схема получения критерия представлена на рисунке. На вход схемы подается выходное напряжение модели САР. Интегрирование начинается лишь при выполнении условия (2). Величина Δu может быть заранее задана для линейных САР как допустимое отклонение от установившегося значения, при котором переходный процесс



Принципиальная схема модели САР

считается законченным. Для нелинейной САР с зоной нечувствительности ΔU устанавливается равным этой зоне. Таким образом попадание выходной величины САР в зону нечувствительности без последующего выхода из этой зоны определяет окончание переходного процесса и времени интегрирования. На вольтметре, включенном на выходе интегратора, определяется относительная величина критерия в вольтах.

Для поиска минимума интегрального критерия в пространстве варьируемых параметров САР необходимо выполнять следующее:

- 1) выбрать начальные значения варьируемых параметров, называемых центром планирования, при этом данные значения должны обеспечивать выполнение условий устойчивости;
- 2) выбрать шаг измерения варьируемых параметров, называемый интервалом варьирования;
- 3) составить матрицу планирования при двух или трех варьируемых параметрах — для полного факторного эксперимента 2^2 или

2^3 при большем числе варьируемых параметров, для дробных реплик — от полного факторного эксперимента. Например, для полного факторного эксперимента 2^2 матрица планирования имеет вид:

Номер опыта	X_1	X_2	I_0
0	0	0	
1	+I	+I	
2	+I	-I	
3	-I	-I	
4	-I	+I	

В матрице начальные значения варьируемых параметров обозначены X_1 , X_2 и нулями, а измененные на интервал варьирования — $\pm I$.

Следует отметить, что планирование удобно проводить в пространстве машинных варьируемых параметров и пересчитывать на реальные параметры только оптимальные значения машинных варьируемых параметров;

4) провести опыты на модели в соответствии с матрицей планирования и зафиксировать для каждого значения интегральный критерий (I);

5) принять опыт с I_{min} за новый центр планирования и составить новую матрицу планирования, исключая уже проверенные комбинации варьируемых параметров. Процедура продолжается вплоть до отыскания $I_{min\ min}$, для которого и принимается оптимальной соответствующая комбинация варьируемых параметров. Следует отметить, что экстремум может и не существовать. В этом случае опыты следует прекратить при значительном снижении чувствительности критерия и изменении параметров.

Предложенная методика проверялась автором для поиска оптимальных настроек промышленных регуляторов (типа РПИБ, РП2) в системах авторегулирования тепловых объектов при детерминированных выходных воздействиях типа скачка. Ее применение целесообразно также при стохастических выходных воздействиях и при синтезе оптимальных управлений, подаваемых на САУ. В этом случае варьируемыми параметрами будут моменты изменения

управляющих воздействий, которые в качестве переходного процесса могут оцениваться по описанному выше интегральному критерию, либо непосредственно по быстродействию системы.

Л и т е р а т у р а

1. Н а л и м о в В.В., Ч е р н о в а Н.А. Статические методы планирования экстремальных экспериментов. М., "Наука", 1965.
2. А р х а н г е л ь с к и й Е.А. и др. Моделирование на аналоговых вычислительных машинах. Л., "Энергия", 1972.
3. Ф е л ь д б а у м А.А. Электрические системы автоматического регулирования, М., "Обorongиз", 1957.

В.Я. ДРЫГА

канд. техн. наук

Т. К. ГРИЦЕНКО

ст. научный сотрудник

Л.Н. ЩЕКOTOBA

ст. инженер

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ГИДРАТАЦИЯ ОСНОВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛОВ ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТА В ПРИСУТСТВИИ ДОБАВОК ОХШ И АП-ІІІЦ

Поверхностно-активные добавки вводятся в бетоны и растворы для уменьшения водопотребности и расхода вяжущих, а также для сохранения или повышения их пластичности и морозостойкости. С целью выявления влияния добавок ОХШ и АП-ІІІЦ на процессы гидролиза и гидратации цементов нами изучалось влияние добавок на гидратацию отдельных составляющих силикатных минералов портландцементного клинкера — C_3S и $\beta-C_2S$. Клинкерные минералы были синтезированы по общепринятой методике. Порошки минералов и цементов затворялись жидкими концентрациями добавок ОХШ и АП-ІІІЦ. Оптимальное содержание добавок по отношению к сухому веществу составляло для ОХШ — 0,16% и АП-ІІІЦ — 0,18%.

Для микроскопических исследований порошки минералов и цементов затворялись раствором с добавками в весовых соотношениях $T:A = 1:2$. Приготовленные суспензии помещались в герметически закрытое пространство между предметным и покровным стеклами.

Для термографических исследований затвердевшее цементное тесто с оптимальным количеством добавок высушивается и растирается до прохождения через сито 4900 $\frac{\text{отв}}{\text{см}^2}$ /1/. В первый момент после затворения под микроскопом отчетливо просматривались обломки кристаллов C_3S и $\beta-C_2S$ с обычными оптическими характеристиками /2/.

Гидратация C_3S в присутствии добавок несколько отличается от гидратации C_3S , затворенного водой. Гелеобразные гидросиликаты в суспензиях с добавками ОХШ и АП-ІІІ уже в первые сутки гидратации более плотные, чем в C_3S без добавок.

Гидроокись кальция в чистом C_3S кристаллизуется на 3-и сутки в форме кристаллов размером 40–60 мк. В суспензиях же с добавками ОХШ и АП-ІІІ она оптически фиксируется с семисуточного возраста. Вероятно, здесь $Ca(OH)_2$ находится в гелеобразном состоянии, а с течением времени выкристаллизовывается в тонкозернистую массу и частично в кристаллы размером 0,01–0,3 мм. Игольчатые гидросиликаты в количестве 15–20% с размером иголок 1–5 мк наблюдаются в 28-суточных и трехмесячных пробах с добавками /3/.

Наблюдая картину изменений, происходящих в $\beta-C_2S$ с добавками ОХШ и АП-ІІІ можно заметить, что в течение 7 суток гидратация зерен $\beta-C_2S$, затворенных водой, протекает незначительно, в то время как с добавками уже в I-е сутки гидратации вокруг большинства зерен появляются довольно плотные оболочки из гелеобразных гидросиликатов. С течением времени глубина гидратации все более и более увеличивается, гелеобразные массы сильно уплотняются (особенно для $\beta-C_2S$ с АП-ІІІ).

Гидроокись кальция, выделявшаяся в гидратирующихся системах, разнообразна по формам кристаллизации и различные срѣдки.

В суспензии, затворенной водой, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ наблюдается в виде очень редких единичных кристаллов размером до 1 мм. Гидроокись кальция в растворах с ОХШ и АП-ІІІ кристаллизуется из гелеобразной фазы в виде скрытокристаллической массы, из которой, частично, с увеличением срока гидратации вырастают кристаллы размером 0,03–0,07 мм.

Гидратация двухкальцевого силиката, затворенного дистиллированной водой, протекает медленнее, чем в присутствии добавок. Если в первом случае количество прореагировавшего минерала к 28 суткам составляло 15–20%, а к 3-месячному сроку – 25%, то $\beta\text{-C}_2\text{S}$ с ОХШ к 28-суточному сроку прореагировал на 40%, к 3-месячному – на 45%.

Результаты гидратации $\beta\text{-C}_2\text{S}$ с АП-ІІІ аналогичны $\beta\text{-C}_2\text{S}$ с ОХШ. Визуальными подсчетами установлено, что $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в $\beta\text{-C}_2\text{S}$ с АП-ІІІ несколько меньше, чем в $\beta\text{-C}_2\text{S}$ с ОХШ.

В суспензиях $\beta\text{-C}_2\text{S}$ с названными выше добавками отмечено присутствие гидросиликатов игольчатой формы с размером отдельных кристаллов 1–5 мк.

Установлено, что под влиянием ОХШ и особенно АП-ІІІ кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ приобретают микрозернистую структуру. Гидросиликаты игольчатого габитуса образуют плотный, кристаллический сросток, при этом способность к гидратации у двухкальцевого силиката увеличивается.

Анализ твердения портландцементов Чимкентского завода М-500 и Бекабадского М-400 показал, что с введением добавок ОХШ и АП-ІІІ прочность затвердевших образцов повышается. Это объясняется некоторым изменением в микроструктуре цемента – более интенсивной кристаллизацией игольчатых гидросиликатов.

Под влиянием ОХШ и АП-ІІІ кристаллы гидратных новообразований растут специфически – происходит модифицирование форм и размеров новообразований /4/. Гидроокись кальция в цементе, затворенном водой, начинает кристаллизоваться раньше, чем в растворе с добавками. Предполагается, что добавки расширят область метастабильного состояния в растворе.

На кривых дифференциально-термического анализа образцов из Бекабадского цемента в области температур от 50 до 280°C наблюдается эндотермический эффект удаления воды из гидроси-

ликатов и воды, адсорбированной на их поверхности. Гидроокись кальция фиксируется по эндотермическому эффекту с максимумом при 500–520°C. Слабый эффект при 740–780°C связан с разложением карбоната кальция, частично образующегося в процессе подготовки проб к исследованиям.

Сравнение глубин данных эффектов показывает, что с вводом в цементы добавок количество связанной воды в отдаленные сроки твердения превосходит контрольные образцы, в то время, как процент выделившейся гидроокиси кальция в присутствии ОХШ остается на уровне с контрольными и снижается при вводе в цементы добавки АП–ІІІ.

При рассмотрении цементов с добавками ОХШ и АП–ІІІ можно отметить уплотнение структуры за счет уменьшения количества пор и повышение реакционной способности клинкерных минералов.

Содержание клинкерных минералов и количество
пор в цементах по срокам твердения

№ № ц/п	Наименование образцов	Количество непрореа- гировав. клинкерных минералов, %			Количество пор, %		
		3 дн.	28 дн.	90 дн.	3 дн.	28 дн.	90 дн.
1	Чимкентский порт- ландцемент М-500	28,0	23,5	20,0	3,5	2,3	2,3
	То же, с ОХШ	29,1	22,2	11,3	2,8	2,2	1,1
	То же, с АП–ІІІ	28,9	11,5	10,6	2,8	1,2	0,0
2	Бекабадский порт- ландцемент М-400	41,1	22,7	18,3	3,3	3,0	2,8
	То же, с ОХШ	42,0	20,2	10,0	2,7	2,4	2,3
	То же, с АП–ІІІ	38,0	18,8	10,0	2,5	2,1	2,0

В заключение следует отметить, что добавки оказывают большое влияние на малоактивные компоненты портландцементного клинкера – двухкальциевый силикат.

Более активное действие добавки ОХШ и АП–ІІІ оказывают на цементы низкой марочности, что связано с избирательной способностью действия данных добавок на отдельные клинкерные минералы.

В трехкальциевом силикате из гелеобразной фазы кристаллизуются гидросиликаты игольчатого габитуса, что способствует повышению прочности в затвердевшем цементном камне.

Л и т е р а т у р а

1. Г о р ш к о в В.С., Т и м а ш е в В.В. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. Изд-во "Высшая школа", М., 1963.
2. Л а р и о н о в а З.К. Исследование цементного камня и бетона. Стройиздат, М., 1972.
3. В и н ч е л л А.Н., В и н ч е л л Г. Оптические свойства искусственных минералов, Изд-во "Мир", М., 1967.
4. С ы ч е в М.М. Твердение вяжущих веществ. Стройиздат, Л., 1974.

М.П. САЛЬНИКОВ
канд.техн.наук
Е.В. КОНОВАЛОВ
инженер, рук. группы
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСХОДА ВОДЫ ГРАДУИРОВАННЫХ ШЛЮЗОВ-РЕГУЛЯТОРОВ

Расходы воды через шлюз-регулятор при свободном истечении из-под щита [1] определяются уравнением вида

$$Q = \mu_1 \cdot b \cdot a \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon a)}, \quad (1)$$

где

Q - расход воды;

μ_1 - коэффициент расхода;

b - ширина пролета;

a - высота поднятия щита;

g - ускорение свободного падения;

H_0 - напор над порогом сооружения с учетом скорости подхода;

$\varepsilon = 0,65$ - средний коэффициент вертикального сжатия.

Коэффициент расхода μ_1 определяется обычно опытным путем, так как зависит от многих факторов:

$$\mu_1 = f(\varphi; \frac{a}{H}; \frac{b}{B}). \quad (2)$$

Здесь

φ - коэффициент скорости;

$\frac{a}{H}$ - относительное открытие щита;

$\frac{b}{B}$ - относительная ширина русла.

При градуировке сооружения скорость подхода не учитывают, а уравнение расхода [2] записывают в виде

$$Q = \mu'_1 \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g(H - \frac{a}{2})}, \quad (3)$$

где

H - напор над порогом сооружения.

Сопоставляя (1) и (3), имеем:

$$\mu'_1 = \mu_1 \sqrt{\frac{H_0 - \varepsilon a}{H - \frac{a}{2}}}, \quad (4)$$

или
$$\mu_1' = f\left(\varphi; \frac{a}{H}; \frac{b}{B}; \frac{H_0 - \varepsilon a}{H - \frac{a}{2}}\right). \quad (5)$$

При затопленном истечении уравнение расхода [1] имеет вид

$$Q = \mu_2 \cdot a \cdot b \sqrt{2g (H_0 - h_z)} \quad (6)$$

(h_z - глубина на пороге сооружения непосредственно за щитом).

При градуировке сооружений измеряют не h_a , а бытовую глубину в канале h_b ; уравнение [2] при этом записывают в виде

$$Q = \mu_2'' \cdot a \cdot b \sqrt{2g z}, \quad (7)$$

где $z = H - h_b$.

Из равенств (6) и (7) имеем:

т.е.
$$\mu_2'' = \mu_2 \sqrt{\frac{H_0 - h_z}{z}} = \mu_2 \sqrt{\frac{H_0 - h_z}{H - h_b}}, \quad (8)$$

$$\mu_2'' = f\left(\varphi; \frac{a}{H}; \frac{b}{B}; \frac{H_0 - h_z}{H - h_b}\right). \quad (9)$$

Нами проведены исследования с целью выявления возможности определения коэффициентов μ_1' и μ_2'' с использованием таблиц расходов воды градуированных ГТС.

В качестве исходного материала использовались результаты обследования 10 градуированных однопролетных ГТС, имеющих свободное и затопленное истечения и не имеющих бокового сжатия потока. Максимальные расходы воды обследованных сооружений находились в пределах 1-20 м³/с; напоры 1-3 м. Коэффициенты расхода воды μ_1' и μ_2'' аппроксимировались различными выражениями.

Для свободного истечения коэффициент расхода μ_1' аппроксимировали зависимостями следующего вида:

$$1) \mu_1' = b_0 + b_1 \left(\frac{a}{H}\right) + b_2 \left(\frac{a}{H}\right)^2, \quad (10)$$

$$2) \mu'_1 = b_0 + b_1 \left(\frac{a}{H}\right) + b_2 \left(\frac{a}{H}\right)^2 + b_3 \left(\frac{a}{H}\right)^3, \quad (11)$$

$$3) \mu'_1 = A \left(\frac{a}{H}\right)^K, \quad (12)$$

$$4) \mu'_1 = \text{const} = 0,62, \quad (13)$$

где

$b_0, b_1; b_2; b_3$, а также A — коэффициенты;
 K — показатель степени.

При затопленном истечении коэффициент μ''_2 аппроксимировали зависимостями следующего вида:

$$1) \mu''_2 = b_0 + b_1 a + b_2 z + b_3 a^2 + b_4 a z + b_5 z^2, \quad (14)$$

$$2) \mu''_2 = b_0 + b_1 a + b_2 z + b_3 a^2 + b_4 a z + b_5 z^2 + b_6 \left(\frac{z}{a}\right) + b_7 \left(\frac{z}{a}\right)^2, \quad (15)$$

$$3) \mu''_2 = b_0 + b_1 a + b_2 z + b_3 z^2 + b_4 \left(\frac{a}{z}\right) + b_5 \left(\frac{a}{z}\right)^2, \quad (16)$$

$$4) \mu''_2 = b_0 + b_1 a + b_2 a^2 + b_3 \left(\frac{a^2}{z}\right) + b_4 \left(\frac{a}{z}\right) + b_5 \left(\frac{a}{z}\right)^2. \quad (17)$$

Коэффициенты уравнения полиномов вычислялись на ЭВМ способом наименьших квадратов с использованием стандартных программ [3].

Полученные результаты сопоставлялись с фактическими, значения которых вычислялись по зависимостям (3) и (7) (рис. 1, 2, 3).

Анализ вычислений показал, что при свободном истечении расходы воды, вычисленные с использованием коэффициентов аппроксимации выражений (10), (11), (12), дают хорошие результаты. Для практического пользования следует принимать зависимость вида (12).

Анализ результатов вычислений по зависимостям (14), (15), (16), (17) показал, что при затопленном истечении коэффициент расхода μ''_2 аппроксимировать, используя a и z градуировочных таблиц, невозможно.

Итак, аппроксимация коэффициента расхода, по данным градуировочных таблиц, может быть осуществлена только для свободного истечения с использованием степенной функции вида

$$\mu''_2 = A \left(\frac{a}{H}\right)^K.$$

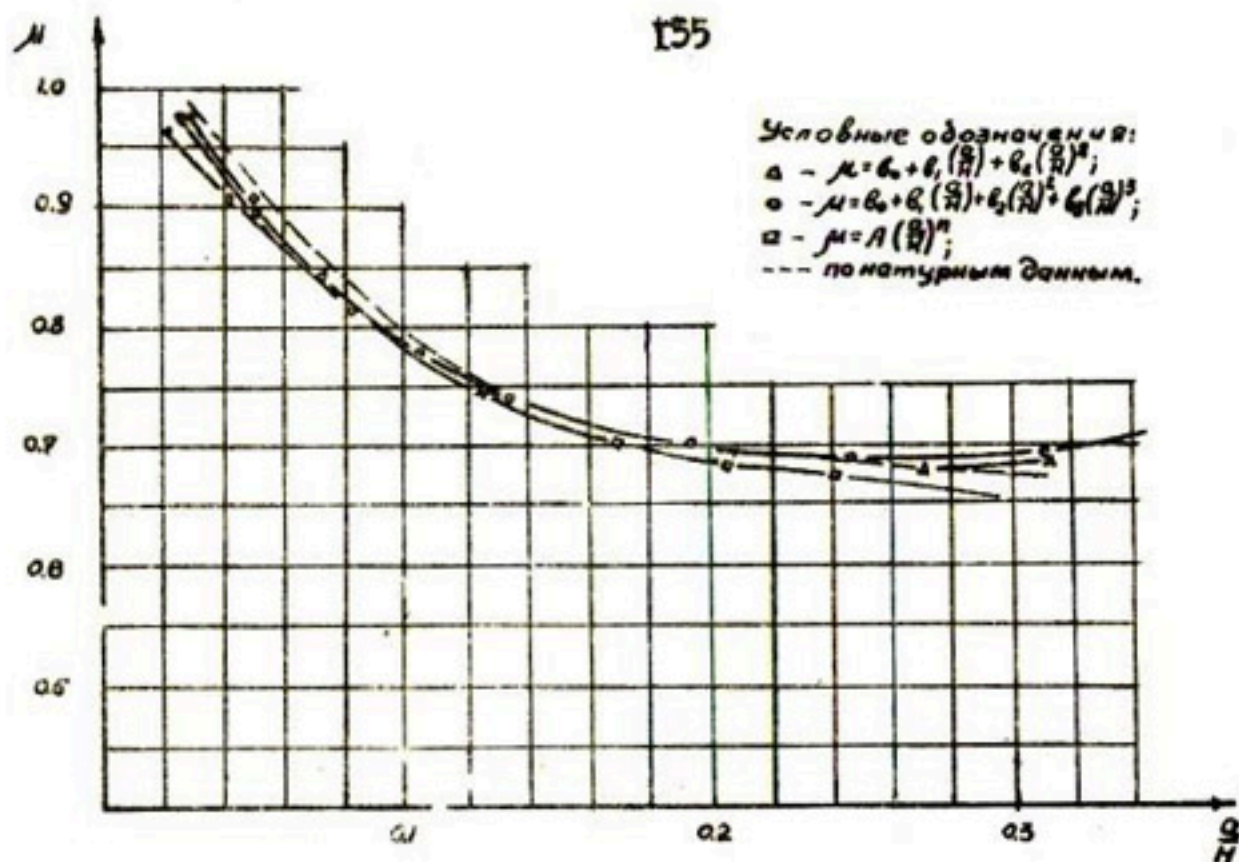


Рис. 1. Графическая зависимость $\mu = f\left(\frac{q}{H}\right)$ при свободном истечении для однопролетного ГТС.

Условные обозначения:

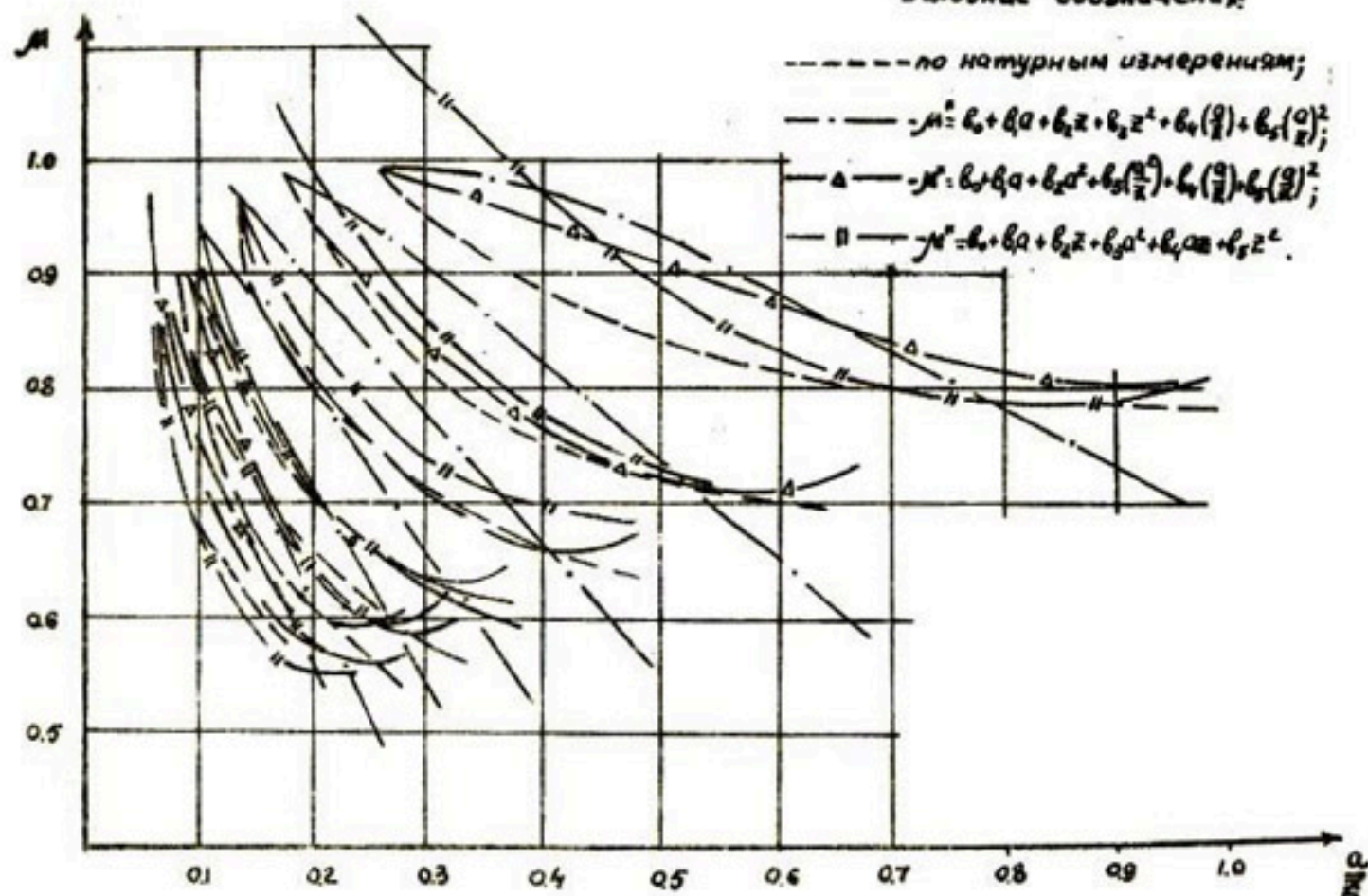


Рис. 2. Графические зависимости $\mu = f\left(\frac{q}{H}\right)$.

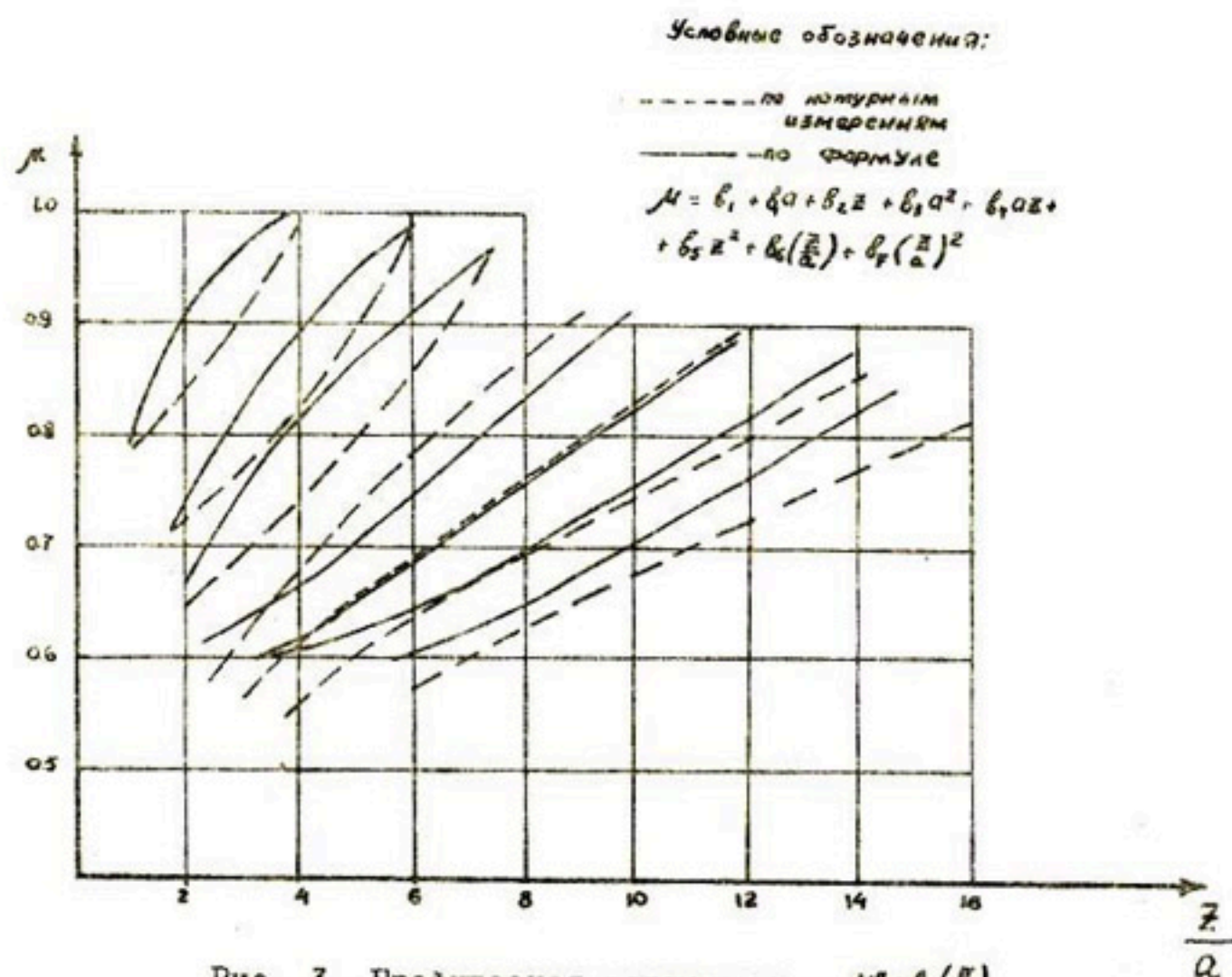


Рис. 3. Графическая зависимость $\mu = f\left(\frac{z}{a}\right)$.

Л и т е р а т у р а

1. А г р о с к и н И.И., Д м и т р и е в Г.Т., П и -
к а л о в Ф.И. Гидравлика, М., Госэнергоиздат,
1954.
2. Я р ц е в В.Н. Эксплуатационная гидрометрия, М.,
"Сельхозиздат", 1957.
3. Д у к а р с к и й О.М., З а к у р д а е в Л.Г.
Статистический анализ и разработка наблюдений на
ЭВМ "Минск-22", М., "Статистика", 1971.

А.А. АБДУЖАБАРОВ
канд.техн.наук
А.Ю.ТАШМУХАМЕДОВ
В.М. ШИПИЛОВ
инженеры
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ШАРНИРНОЕ СОПРЯЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБКИХ АРМОЦЕМЕНТ- НЫХ ПОКРЫТИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

В практике гидромелиоративного строительства основными видами противофильтрационных одежд оросительных каналов являются конструкции из монолитного и сборного бетона и железобетона. Однако конструкциям покрытий из сборных элементов присуще большое количество стыков, что весьма остро ставит проблему их герметичности.

Опыт натурных наблюдений показал, что в процессе эксплуатации оросительных каналов, вследствие различных причин, неизбежно возникают осадки оснований, причем, зачастую довольно значительные, способные нарушить герметичность швов, герметизированных лучшими современными мастиками-эластомерами на основе синтетических смол.

От герметиков, применяемых в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве, требуется сохранение пластичности или эластичности независимо от условий эксплуатации, обеспечение свободы деформаций элементов от температурных колебаний и осадки оснований, сохраняя при этом водонепроницаемость стыков. Кроме того, герметики должны быть не дефицитны и обладать удобоукладываемостью, позволяющей механизировать процесс производства.

Другим направлением в создании надежного и работоспособного шва между элементами сборных облицовок оросительных каналов является конструирование стыка, учитывающего как физико-механические свойства герметика, так и особенности работы конструкций на деформирующемся основании.

К таким видам облицовок с повышенной деформативной способностью и механической прочностью относятся конструкции

с шарнирно-сопрягаемыми деталями, где стабильность ширины шва и прочность сопряжения плит между собой обеспечивается не материалом уплотнения (герметиком), а элементом сопряжения в виде выпусков арматуры, стальных тросов и т.д.

Анализ рассмотренных конструкций шарнирного сопряжения деталей /2,3/ показал, что они малоприменимы для облицовок оросительных каналов из-за сложности в выполнении и дороговизны. В процессе исследований по конструкциям гибких тонкостенных армоцементных покрытий из сборных деталей мы пришли к схеме шарнирного сопряжения элементов, которая, на наш взгляд, достаточно проста и надежна. Такой метод сопряжения элементов приемлем для всех типов конструкций, выполняемых из сборных железобетонных деталей.

Конструкция шарнирного сопряжения, разработанная нами, включает в себя только два элемента – скобу и спираль (рисунок), которые обеспечивают высокую прочность и гибкость соединения деталей. Скобы представляют из себя П-образные выпуски арматуры на боковых поверхностях плит, количество которых при многорядной облицовке достигает до 8 штук на одну плиту. Величина выпуска скоб из бетона при диаметре арматуры 6–8 мм составляет 10–12 мм. Соединительный элемент изготавливается спиралеобразно из проволоки $\varnothing$ 4–5 мм. Диаметр спирали равен удвоенному диаметру скобы, количество витков может колебаться от 3 до 5.

При монтаже плиты укладываются таким образом, что закладные элементы – скобы, расположенные по периметру на торцевых поверхностях, совмещаются. При этом скобы являются и фиксаторами ширины шва. На скобы в полости шва вращательным движением вводится спираль с шагом витка, также равным удвоенному диаметру материала скобы. Для фиксации положения скоб и спирали, после окончания монтажа можно слегка изменить шаг витка спирали, что делает невозможным разъем деталей сопряжения в дальнейшем.

Благодаря такому шарнирному соединению плит, решается конструкция гибкого и прочного стыка, способного воспринимать значительные нагрузки, возникающие при деформациях, и передавать их с материала уплотнения шва на основные элементы конструкций облицовки плиты. После монтажа сопрягающих спиралей

полости шва заполняются обычным способом герметизирующими мастиками, к которым предъявляются пониженные требования.

В ы в о д

Шарнирное сопряжение плит облицовки с помощью проволочных спиралей и скоб, являющимися закладными деталями в плитах, обеспечивает прочность и гибкость стыка, не усложняя и не удорожая при этом строительства.

Л и т е р а т у р а

1. К р е п л е н и е откосов гидротехнических сооружений. Обзор изобретений. Ленинградское отделение "Энергия", 1968.
2. Н о в и к о в с к и й В.Э., Р а д ь к о А.Ф., Л у к и н - с к и й О.А. Способы герметизации швов лотков и облицовок каналов. "Гидротехника и мелиорация", № 12, 1968.
3. Д е м и д о в В.Н., К у з н е ц о в В.А., Х а с и н Б.Ф. Испытания герметиков в швах железобетонных облицовок оросительных каналов. "Гидротехника и мелиорация", № 12, 1968.

С.Н. ВИЛЬКОВА
Ш. МАХМУДОВ
кандидаты техн. наук
М.Х. ХОЛТАЕВА
аспирант
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ПОЛУЧЕНИЕ ФИЛЬТРУЮЩЕГО ПЕНОПЛАСТА ДЛЯ ИРРИГАЦИИ

За последнее время в ирригации все большее значение приобретают различные полимерные материалы, среди которых значительная роль отводится пенопластам.

Главное преимущество пенопластов при применении их в ирригации — их равномерная пористость, что дает возможность использования их в качестве фильтрующего элемента (при условии, что они будут относиться к категории открытопористых пенопластов). Это преимущество пенопластов становится особенно ценным, если из них будут изготавливаться трубы для устройства коллекторно-дренажных систем и систем подпочвенного орошения.

В настоящее время для указанных целей используются трубы с плотными стенками, требующие выполнения таких дополнительных мероприятий, как устройство фильтров, нарезка щелей и т.п. /1;2/.

Исследования, посвященные использованию пенопластов в мелиоративном строительстве, очень немногочисленны и, соответственно, мал ассортимент пенопластов, пригодных для мелиорации.

Нами проведены исследования по разработке технологии получения пенопласта, обладающего фильтрующими свойствами. Пенопласт, используемый в мелиорации, кроме фильтрующих свойств, должен обладать достаточной прочностью, стойкостью к агрессивным водам и бактериальному заращению.

После анализа свойств существующих отечественных полимерных материалов, нами для исследования была выбрана мочевиноформальдегидная смола УКС (унифицированная карбамидная смола, МРТУ 6-06, 1066-66).

Предпосылкой для выбора этой смолы служил тот факт, что мочевино-формальдегидная смола, будучи использована в качестве связующего для полимербетонов /3/, показала свою способность создавать водостойкие материалы. Эта смола дешевле других полимерных материалов, не токсична, в отвержденном состоянии не имеет запаха и в заполимеризованном состоянии нерастворима в воде. Для отверждения ее применяются отвердители кислого характера, такие, как солянокислый анилин или щавелевая кислота, способные при взаимодействии с карбонатными соединениями выделять углекислый газ - вспениватель большинства пенопластов.

Большое количество карбонатов содержат барханные пески, которые и выбраны нами в качестве карбонатсодержащих компонентов пенопластовой композиции для получения на ее основе пенопласта. Химический состав примененного нами Каршинского барханного песка приводится в табл. I.

Т а б л и ц а I

Химический состав каршинского барханного песка

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	TiO_2	Na_2O	K_2O	CO_2
73,83	6,76	1,62	6,72	1,5	-	0,25	1,35	1,81	4,66

Потери при прокаливании составили 6,36.

При разработке рецептуры композиции, для получения на ее основе фильтрующего пенопласта, было установлено, что образцы с большим содержанием песка имеют меньшую прочность, по сравнению с образцами с малым его содержанием. Последние содержат в себе непрореагировавшую смолу, которая в процессе эксплуатации вымывается, и образующиеся в результате этого вымывания пустоты служат источником дальнейшего разрушения. Поэтому содержание песка должно быть оптимальным.

В процессе работы нами было установлено, что оптимальное содержание песка находится в пределах 20-40 в.ч.

Были изготовлены три серии образцов по следующим рецептурам (табл. 2):

Рецептура пенопластов

Компоненты (в вес.ч.)	Номер рецептуры		
	1	2	3
УКС	100	100	100
Солянокислый анилин	4	4	4
Барханный песок	20	30	40

Порядок изготовления образцов был следующий. Смолу тщательно перемешивали с отвердителем в течение 30–40 с, затем смешивали с песком, после чего композицию снова перемешивали (30 с) и заливали в формы. Через 10–15 мин композиция в форме начинала вспениваться и увеличиваться в объеме; кратность вспенивания получалась в пределах 2,5–3. Через сутки образцы приобретали достаточную прочность, и их извлекали из формы. Объемный вес полученных образцов составлял 0,50–0,60 г/см³. Проведены испытания прочности их на сжатие, для чего изготавливались кубики размером 3х3х3 см.

При экспонировании образцов в суховоздушном состоянии было установлено, что прочность их возрастает в течение первых двух недель, затем она снижается (рис. 1). При хранении об-

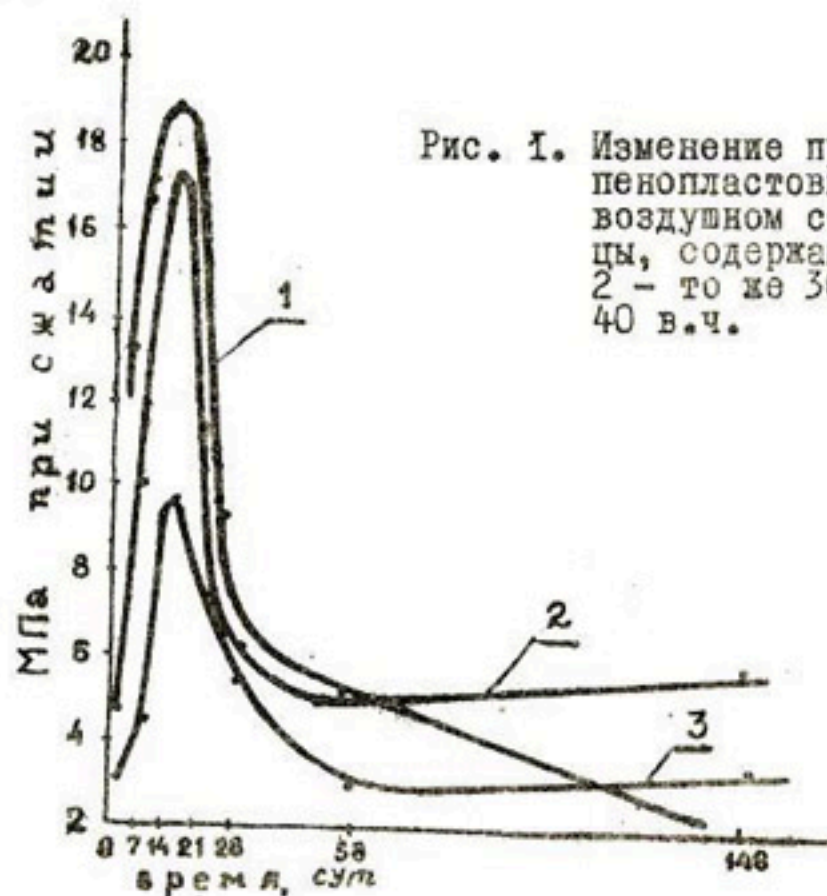


Рис. 1. Изменение прочности на сжатие пенопластовых образцов в суховоздушном состоянии: 1 — образцы, содержащие 20 в.ч. песка; 2 — то же 30 в.ч.; 3 — то же, 40 в.ч.

разцов во влажной среде такого резкого падения прочности не наблюдается.

Проводились испытания устойчивости образцов к действию водопроводной воды, насыщенного раствора $NaCl$ и агрессивной среды. Последняя представляет собой смесь пяти растворов солей: 20% $NaCl$; 20% Na_2SO_4 ; 15% $MgSO_4$; 10% $CaSO_4$; 5% $Ca(HCO_3)_2$.

Концентрации солевых растворов выбраны близкими к содержанию солей в наиболее засоленных грунтах на освоенных территориях Каршинской и Голодной степей. Установлено, что прочность образцов при экспонировании их в воде падает, в то время как солевые растворы действуют на пенопласт упрочняюще. Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 2.

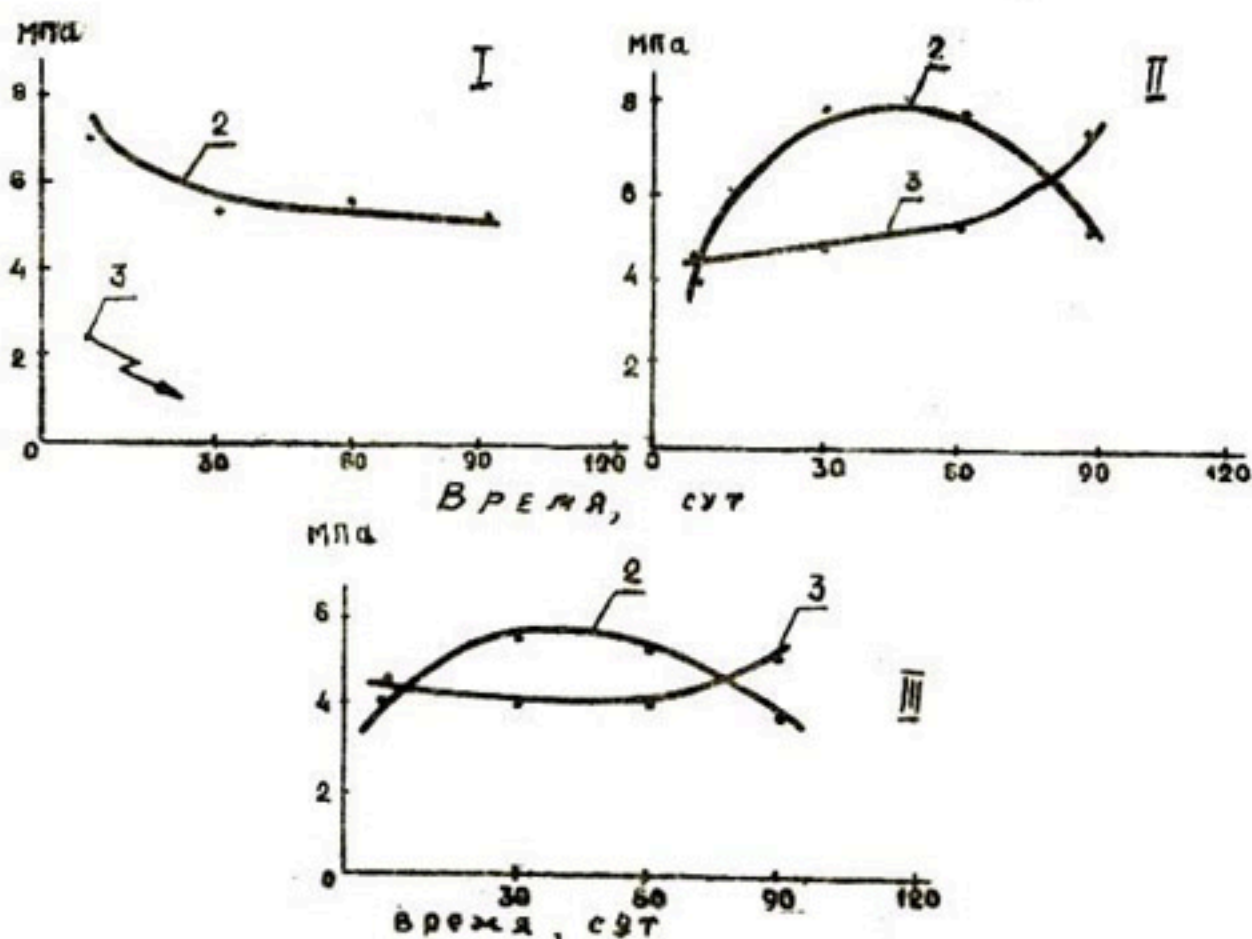


Рис. 2. Изменение прочности на сжатие пенопластовых образцов при хранении их в воде-I, насыщенном растворе $NaCl$ -II и в агрессивной среде-III: 2,3-номера составов.

Проведены исследования по определению коэффициента фильтрации образцов-дисков (диаметр 65 см, толщина 3 см), изготовленных по рецептурам, приведенным в табл. 2.

Получены следующие результаты:

K_{ϕ} (рец. № 2) = 3,46 см/сут;

K_{ϕ} (рец. № 3) = 1,38 м/сут.

Испытаниями по определению коэффициента фильтрации рецептуры № I установлено, что у этой рецептуры фильтрация была очень незначительна.

Из приведенных данных видно, что фильтрация полученных образцов находится в пределах, приемлемых для подпочвенного орошения, но неприемлемых для дренажа. Для увеличения фильтрующей способности образцов необходимо возрастание содержания в пенопластовой композиции отвердителя или песка. Увеличение содержания отвердителя приводит к интенсификации процесса газообразования и удорожанию пенопласта. Увеличение песка снижает прочность образцов. Поэтому при разработке рецептуры образцов с коэффициентом фильтрации, приемлемым для дренажа, все эти моменты будут учитываться.

Как видно из рис. I, длительное хранение образцов в суховоздушном состоянии, изготовленных на основе всех трех рецептур, нежелательно, так как по прошествии двух недель они начинают терять приобретенную ими прочность. Этого не наблюдается при длительном хранении тех же образцов в воде или в солевых растворах. Поэтому необходимым условием для успешной эксплуатации фильтров, изготовленных на основе предлагаемых нами рецептур, является погружение их в грунт по прошествии двух недель или изготовление фильтрующих элементов непосредственно в грунте, если влажность последнего не выше оптимальной.

Исследования проводились на мочевино-формальдегидной смоле УКС, имеющей большой срок хранения и, соответственно, большую вязкость — порядка 4 минут (по БЗ-4). Такая вязкость получается за счет дополнительной поликонденсации, самопроизвольно возникающей при складском хранении этой смолы, а также за счет частичного испарения воды, входящей в ее состав.

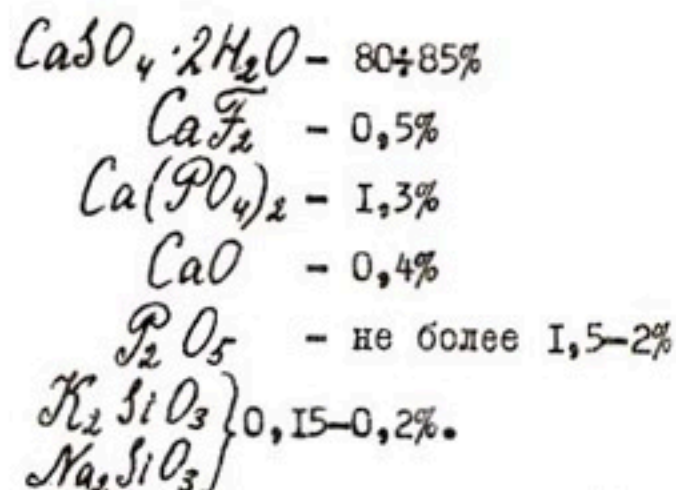
Способность к самопроизвольной полимеризации (или поликонденсации) в разной степени присуща многим полимерным смолам. Мочевино-формальдегидные смолы имеют склонность к быстрому загустеванию, что в ряде случаев является нежелательным. На-

пример, если свежеполученная смола с месячным сроком изготовления ее на заводе имела вязкость равную I мин.42 с (по ВЗ-4), то после годовичного хранения ее в складских условиях она приобрела вязкость, равную 27 мин (по ВЗ-4).

Работа с маловязкой смолой затрудняется тем, что при перемешивании пенопластовой композиции песок оседает вниз, вследствие чего природные карбонатные соединения, входящие в его состав, не успевают вступить во взаимодействие с солянокислым анилином, приводящим к образованию и выделению CO_2 . Вследствие этого вместо равномернопористого пенопласта получается двухслойный конгломерат, верхний слой которого состоит из смолы, а нижний — из песка. с незначительным проникновением компонентов верхнего слоя в нижний и обратно, отмечающимся на границе раздела.

Для случая, когда работа будет проводиться со свежизготовленной смолой УКС, имеющей в своем составе много воды и обладающей, соответственно, малой вязкостью, нами разработана специальная рецептура фильтрующего пенопласта.

Установлено, что разбавление водой мочевино-формальдегидной смолы приводит к снижению ее физико-механических показателей /4/. В качестве поглощающего воду компонента в состав рецептуры был введен фосфогипс, являющийся отходом Алма-лыкского химзавода и имеющий следующий ориентировочный состав в пересчете на сухой остаток:



Фосфогипс — комплексный минерализатор, применяемый при обжиге портландцементного клинкера и используемый в качестве

добавки к портландцементу для регулирования сроков схватывания, получения штукатурного гипса, ангидритового цемента, а также гипсовых вяжущих повышенной прочности /5/, кроме того, для изготовления рабочих форм /6/, и т.д. Использование его в качестве добавки к фильтрующему пенопласту представляет практический интерес, так как количество этого отхода весьма значительно, а стоимость его определяется лишь стоимостью перевозки. Содержание общей влаги в фосфогипсе доходит до 45%, поэтому перед употреблением его высушивают и измельчают.

Проведена серия опытов, в которых при постоянном соотношении основных компонентов (УКС-30 в.ч.; песок -40 в.ч., солянокислый анилин - 4 в.ч.) менялось содержание фосфогипса. Образцы, изготовленные по таким рецептурам, исследовались на прочность (сжатие) и на фильтрующую способность (коэффициент фильтрации).

Рецептуры разработанных пенопластов приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Зависимость прочности и фильтрующей способности пенопластов от содержания фосфогипса

Содержание фосфогипса (в.ч.)	Прочность на сжатие, (МПа)	Коэффициент фильтрации (м/сут)
10	2,50	25,56
15	3,90	11,4
17	4,20	9,93
20	5,78	3,03
34	10,8	0,46

Построены графики зависимости коэффициента фильтрации полученных образцов (рис. 3) и прочности при сжатии (рис. 4) от содержания в них фосфогипса. Пользуясь графиками, представленными на рис. 3, можно определить величину коэффициента фильтрации образцов в зависимости от содержания в них фосфогипса.

Из сопоставления графиков, представленных на рис. 3 и 4 видно, что введение в композицию фосфогипса в количестве более 20 в.ч. нежелательно, так как хотя это и увеличивает прочность образцов, но и значительно снижает их коэффициент

фильтрации. Из графика (рис. 3) видно, что наиболее приемлемый коэффициент фильтрации соответствует содержанию фосфогипса в рецептуре в пределах 10–15 в.ч.

Нами изготовлены четыре серии образцов, содержащих 10, 12 и 15 в.ч. фосфогипса при постоянной рецептуре (смола УКС – 30 в.ч.; барханный песок – 40 в.ч.; солянокислый анилин – 4 в.ч.). Первая серия образцов хранилась в воздушном состоянии, образцы трех остальных серий были погружены в водопроводную воду, 20%-ный раствор *NaCl* и в агрессивную среду. Через определенные промежутки времени образцы извлекались и исследовались.

Результаты исследований проведенных испытаний представлены на рис. 5. На этом рисунке кривые, обозначенные цифрами 1, 2 и 3, соответствуют составам рецептур, содержащим 10, 12 и 15 в.ч. фосфогипса, соответственно.

На графиках I, II, III и IV представлено изменение прочности при сжатии через определенные промежутки времени образцов, выдерживаемых в суховоздушном состоянии, в водопроводной воде, в 20%-ном растворе *NaCl* и в агрессивной среде, соответственно. Как видно из рис. 5 (графики II, III, IV), пребывание образцов как в воде, так и в агрессивных растворах снижает их прочность, причем вода ведет себя в этом отношении более активно.

При определении коэффициента водостойкости пенопластовых образцов было установлено, что рецептура с содержанием 10 в.ч. фосфогипса имеет к.в. = 0,64; с 12 в.ч. фосфогипса к.в. = 0,44 и с содержанием 15 в.ч. фосфогипса к.в. = 0,42. Следовательно, введение в рецептуру фосфогипса в количестве большем оптимального нежелательно, так как приводит к снижению водостойкости образцов. Оптимальным содержанием фосфогипса в данной рецептуре следует считать 10 в.ч.

Дальнейшая работа будет проводиться в направлении повышения водостойкости фильтрующих пенопластов, путем введения гидрофобизирующих добавок

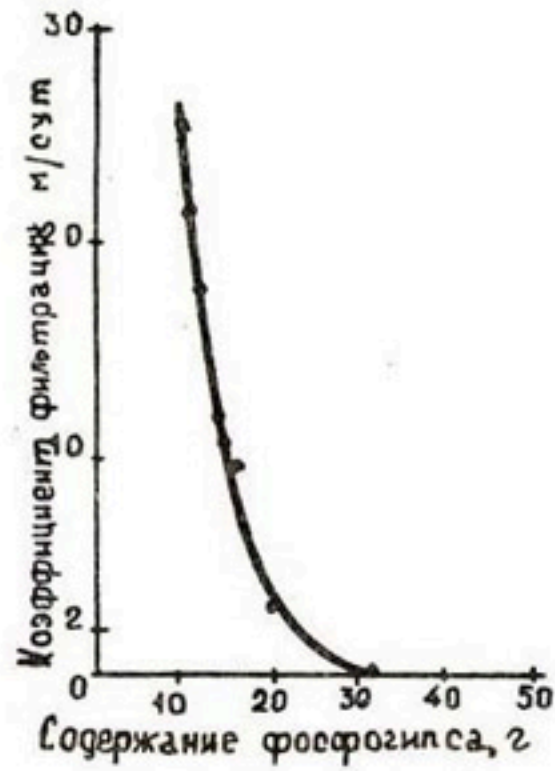


Рис.3. Изменение коэффициента фильтрации пенопластовых образцов в зависимости от содержания в них фосфогипса

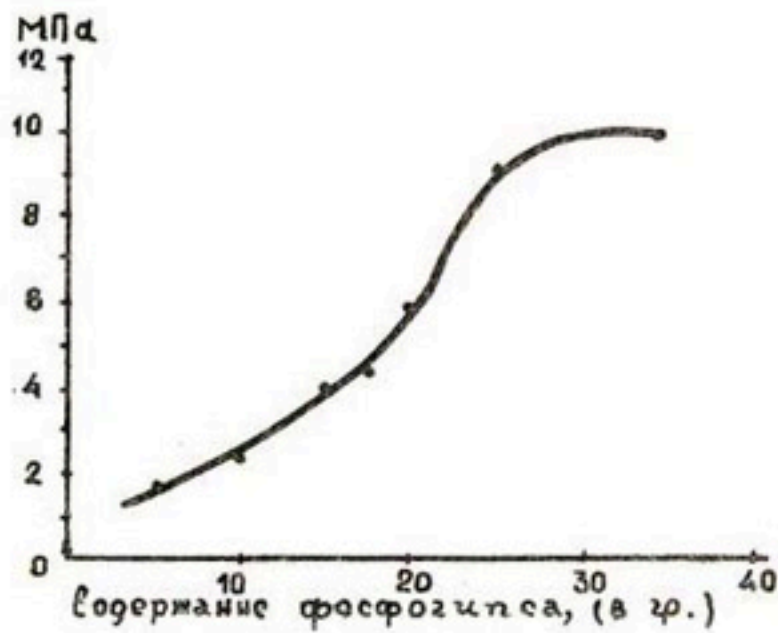


Рис.4. Изменение прочности на сжатие пенопластовых образцов в зависимости от содержания в них фосфогипса

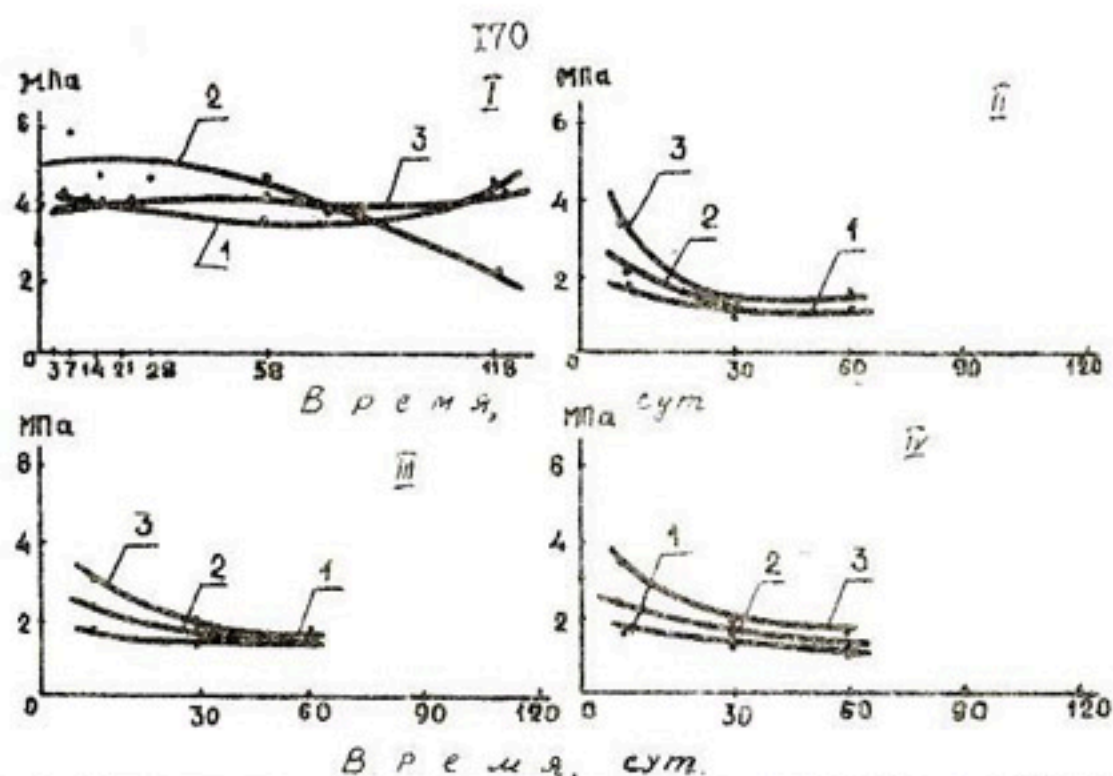


Рис.5. Изменение прочности на сжатие пенопластовых образцов, содержащих фосфогипс, при хранении их в суховоздушном состоянии - I; водопроводной воде - II; насыщенном растворе $NaCl$ - III и в агрессивной среде - IV: 1, 2, 3 - номера составов.

Л и т е р а т у р а

1. А н г л и й с к и й п а т е н т I290847 AIB AOId 25/06
№ 19, 1972.
2. С в и к л и с П.Б., Б а т у р и н а А.Д. Пластиче-
ские массы, № II, 1973.
3. А л и к у л о в П.У., П а т у р о е в В.В., М а х -
м у д о в Ш.М. Сб.научных трудов, вып. I45,
Ташкент, САНИИРИ, 1975.
4. Т е м к и н а Р.З. Синтетические клеи в деревообра-
ботке, М., 1971.
5. А х м е д о в М.А., С а р к и с я н К.Э., Г о р д а -
шевский П.Ф., И в а н и ц к и й В.В.
О возможности получения гипсовых вяжущих и фос-
фогипса. "Строительство и архитектура Узбекиста-
на" № 7, Ташкент, 1975.
6. С а р к и с я н К.Э., А х м е д о в М.А., Г о р д а -
шевский П.Ф., И в а н и ц к и й В.В.,
А м е л и н а Е.Ф., И с л а м о в Т.И. Исполь-
зование фосфогипса для изготовления рабочих форм.
"Строительство и архитектура Узбекистана" № 5, Ташкент, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

К е б е р л е С.И., Г о р ю н о в С.М. Рекомендации к проектированию и возведению перепадов-быстротоков и вододелителей на мелкозернистых песках с высоким уровнем грунтовых вод	3
И р м у х а м е д о в Х.А., Ч е р н и к о в а Г.И. Расчет пионерных прокопов при спрямлении излучин в условиях р. Амударьи	7
К а р а п е т я н М.Р. Расчет объема банкета для перекрытия песчаного русла	14
П е ч а т к и н С.А. К вопросу повышения эффективности переустройства гидромелиоративных систем и орошаемых земель	19
И р м у х а м е д о в Х.А., Х а л и к о в А.Р. Схема закрепления криволинейных участков реки Амударьи глухими шпорами	28
М у х т а р о в М.П., Г л а д к о в В.В. К вопросу об управлении процессом водоподачи в самотечном канале	34
И в а н е н к о Ю.Г., А б д у р а у п о в Р.Р., И в а н е н к о Н.Г., Х о р с т М.Г. Применение метода аппроксимирующих функций для численного решения одномерных задач гидравлики открытых русл	42
З у д и н а Н.Н., Н а с р е д д и н о в Х. Естественная отмостка русл горно-предгорных рек	53
Н у р и т д и н о в З.Н. Результаты исследования коэффициента сопротивления движению при наличии и исчезновении донных гряд	57
В а ф и н Р.Г. Исследования твердой составляющей селевых паводков	62

С к р ы л ь н и к о в В.А. Некоторые закономерности процес- са заилления верхних бьефов гидроузлов	68
Х а л и к о в А.Р. Установление оптимального угла отвода трассы ссылающей прорези	74
Х у с а н х о д ж а е в Э. Расчет пропускной способности входных отверстий многоочковых водовыпусков вододе- лителей	76
М а ш к о в и ч Л.А., М а л л а е в Б.Г. Расчет размеров водобойного колодца за щитовым отверстием перед перепадом	81
Г л о в а ц к и й О.Я. Результаты натурных и лабораторных исследований аванкамеры насосной станции "Карши-1" .	87
М у х а м е д о в Я.С., М у х а м е д о в Д.А. К вопросу о смещении минерализованной воды с водой водохрани- лища	94
Х а л и т о в Н.Я. Влияние глинистой составляющей на проч- ностные свойства связных грунтов с крупнозернистыми включениями	99
Б е з б о р о д о в Р.А. Расчет оптимальных параметров водораспределительной сети	106
С е в р ю г и н В.К. О средствах управления распадом дож- девалльных струй	115
О с т р о в с к и й А.С., Ж у р а в л е в Ю.М., С о т - н и к Е.Я. Исследование устойчивости синхронных дви- гателей на насосных станциях при автоматическом регу- лировании возбуждения	122

- К л и м о в Э.В. Основы нормативного метода построения функциональной структуры производственной организации I27
- С п е с и в ц е в А.Н., С т а р к о в с к и й А.С., Б о - г у с л а в с к и й Ю.И. Интегрированная модель АСУ водным хозяйством бассейна р. Сырдарьи I36
- Х а т а м о в У.Х. Применение методов планирования эксперимента при поиске оптимальных настроек на модели САР I43
- Д р ы г а В.Я., Г р и ц е н к о К.Т., Щ е к о т о в а Л.Н. Гидратация основных силикатных минералов портландцемента в присутствии добавок ОХШ и АП-ІЩ I47
- С а л ь н и к о в М.П., К о н о в а л о в Е.В. Анализ коэффициентов расхода воды градуированных шлюзов-регуляторов I52
- А б д у ж а б а р о в А.А., Т а ш м у х а м е д о в А.Ю., Ш и п и л о в В.М. Шарнирное сопряжение элементов гибких армицементных покрытий оросительных каналов . I57
- В и л ь к о в а С.Н., М а х м у д о в Ш., Х о л т а е - в а Ш.Х. Получение фильтрующего пенопласта для ирригации I61