

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР**

**ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
ИМ. В. Д. ЖУРИНА «САНИИРИ»**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 140

**(Гидротехнические сооружения
на гидромелиоративных системах)**

Ташкент—1974

В сборнике излагаются данные научных исследований САНИИРИ по усовершенствованию существующих креплений мелко-песчаного откоса, получению устойчивых в агрессивной среде трубофильтров для устройства закрытого горизонтального дренажа; по разработке методики гидравлического расчета сквозных шпор; совершенствованию схем гидроузлов применительно к предгорным участкам рек Средней Азии; регулированию русловых процессов; применению петактового прогнозирования расхода воды.

Книга предназначена для научных работников, проектировщиков и работников эксплуатации водохозяйственных объектов.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.А.Духовный, (отв.ред.САНИИРИ), Абдужабаров А.А., Алимов Х.А., Аманов Р.А. (зам.ред.ТуркменНИИГМ), Аскарров Х.А., Белоцерковский К.И., Жулаев А.Ж. (зам.ред.КазНИИВХ), Валентини Г.Г., Дерлятка Т.И., Кеберле С.И., Лактаев Н.Т., Машков В.Н., Мухамедов А.М. (зам.ред.), Пулатов У.Ю., Рачинский А.А. (зам.ред.), Хамадов И.Б., Якубов Х.И.

С

Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации им.В.Д.Журина
"САНИИРИ", 1974 г.

О.А. КАХМОВ

канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ р. АМУДАРЬИ

Для прогноза русловых деформаций используют морфометрические закономерности, характеризующие связь геометрических размеров русла с гидравлическими характеристиками потока. В инженерной практике наиболее распространены зависимости, структурный вид которых обоснован М.А. Великановым [1] на основании теории размерности. При выводе их использован качественный постулат одного из основоположников русловой гидрологии В.М. Дохтина о зависимости размеров и формы русла от трех факторов: водоносности, уклона и сопротивляемости твердых частиц размыву.

По М.А. Великанову, сопротивляемость твердых частиц размыву проявляется двояко: как шероховатость, выражаемая средним диаметром d , и как подвижность, выражаемая гидравлической крупностью $u = \sqrt{g d \sigma}$. В соответствии с этим им предложены два варианта структуры расчетных формул.

Всесторонняя проверка этих формул, выполненная на основании обработки натурных данных самим М.А. Великановым (равнинные реки Европейской части СССР) [1], В.Ф. Талмаза и А.Н. Кропкинским (предгорные и горные участки рек Киргизии) [2], М.С. Похсрабяном (реки Закавказья) [3], выявила значительный диапазон колебания коэффициентов пропорциональности и в несколько меньшей мере показателей степени при определяющих факторах.

Аналогичное положение обнаружилось и в результате обработки Х.А. Исмагиловым натурных данных УГМС по гидрометрическим постам, расположенным в среднем и нижнем течении р. Амударьи [4]. Здесь даже в пределах одной реки для различных створов коэффициенты пропорциональности и показатели степени оказались различными.

Исходя из анализа результатов исследований, выполненных в последние годы [5,6,7], можно предположить, что основной причиной такого положения является то, что в существующих морфометрических зависимостях не учитывается влияния концентрации наносов на динамику формирования речных русел. Изучение этого вопроса и явилось предметом наших исследований, проведенных в 1971–1972 гг.

В качестве исходных данных использованы материалы гидрометрических измерений, выполненных на р.Амударье экспедицией Гидропроекта – в пунктах Кызыляк (1965–1968 гг.) и Тюямун (1963–1964 гг.), Гидрометслужбы – по гидрометстанции Чатлы (1955–1956 гг.), САНИИРИ – в районе Ташсака, а также результаты экспериментальных исследований отдела русел САНИИРИ.

При обработке натурных данных учитывалась не общая величина насыщения потока наносами, а только часть ее, соответствующая русловым наносам. Для условий р.Амударьи, как показали исследования, к русловым наносам следует относить частицы крупностью $d \geq 0,01$ мм. Содержание их в процентах от общего весового количества взвешенных наносов уменьшается вниз по течению реки и составляет в среднем около 85% в створе Кызыляк и 75–80% в створе Чатлы.

Установили, что наиболее приемлемыми зависимостями, характеризующими морфометрические закономерности естественных русел, являются зависимости М.А.Великанова [1], дополненные коэффициентом $K_p = 1 + 3 \rho^{2/3}$ Б.И.Студеничникова [8], учитывающим степень насыщения потока русловыми наносами (ρ принимается в кг/м³). В общем виде структура их может быть выражена следующим образом:

$$\frac{B_i}{d\alpha(1+3\rho^{2/3})^{0,5}} = A_1 \left[\frac{Q}{d^2 \sqrt{g d i}} \left(\frac{i}{\alpha} \right)^{2,5} \right]^{K_1}, \quad (1)$$

$$\frac{h_i(1+3\rho^{2/3})^{0,75}}{d\alpha} = A_2 \left[\frac{Q}{d^2 \sqrt{g d i}} \left(\frac{i}{\alpha} \right)^{2,5} \right]^{K_2}, \quad (2)$$

$$\frac{V}{\sqrt{g d d (1 + 3 \rho^{2/3})^{0.25}}} = A_3 \left[\frac{Q}{\sqrt{g d i}} \left(\frac{i}{\sigma} \right)^{2.5} \right]^{0.3} \quad (3)$$

В условиях р.Амударьи, как известно, отмечаются значительные деформации русла, что свидетельствует о нарушении баланса наносов в отдельных створах. Поэтому на основании натурных данных, фиксирующих режим потока и состояние русла в одном створе (материалы Гидропроекта и УГМС), крайне трудно точно установить количественные параметры в (1-3).

Для отыскания их использованы, в первую очередь, данные экспериментальных исследований на пространственных русловых моделях /9/, где фиксация русловой обстановки производилась после стабилизации деформаций. Кроме этих материалов, использованы также данные натурных наблюдений экспедиции САНИИРИ, поскольку они дают представление об осредненных характеристиках динамики формирования русла, полученных в результате измерений по нескольким створам (8-10 створов) на участке, протяженностью около 10 км на р.Амударье в районе Ташсака.

Результаты обработки перечисленных выше материалов приведены на рис.1, из которого видно, что натурные и экспериментальные точки удовлетворительно расположены около одних и тех же прямых, выражаемых следующими зависимостями:

$$B = 3,0 (1 + 3 \rho^{2/3})^{0.5} \left(\frac{Q}{\sqrt{g d i}} \right)^{0.4}, \quad (4)$$

$$h = \frac{0.15}{(1 + 3 \rho^{2/3})^{0.25}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g d i}} \right)^{0.4}, \quad (5)$$

$$V = 2,25 (1 + 3 \rho^{2/3})^{0.25} Q^{0.2} (g d i)^{0.4}. \quad (6)$$

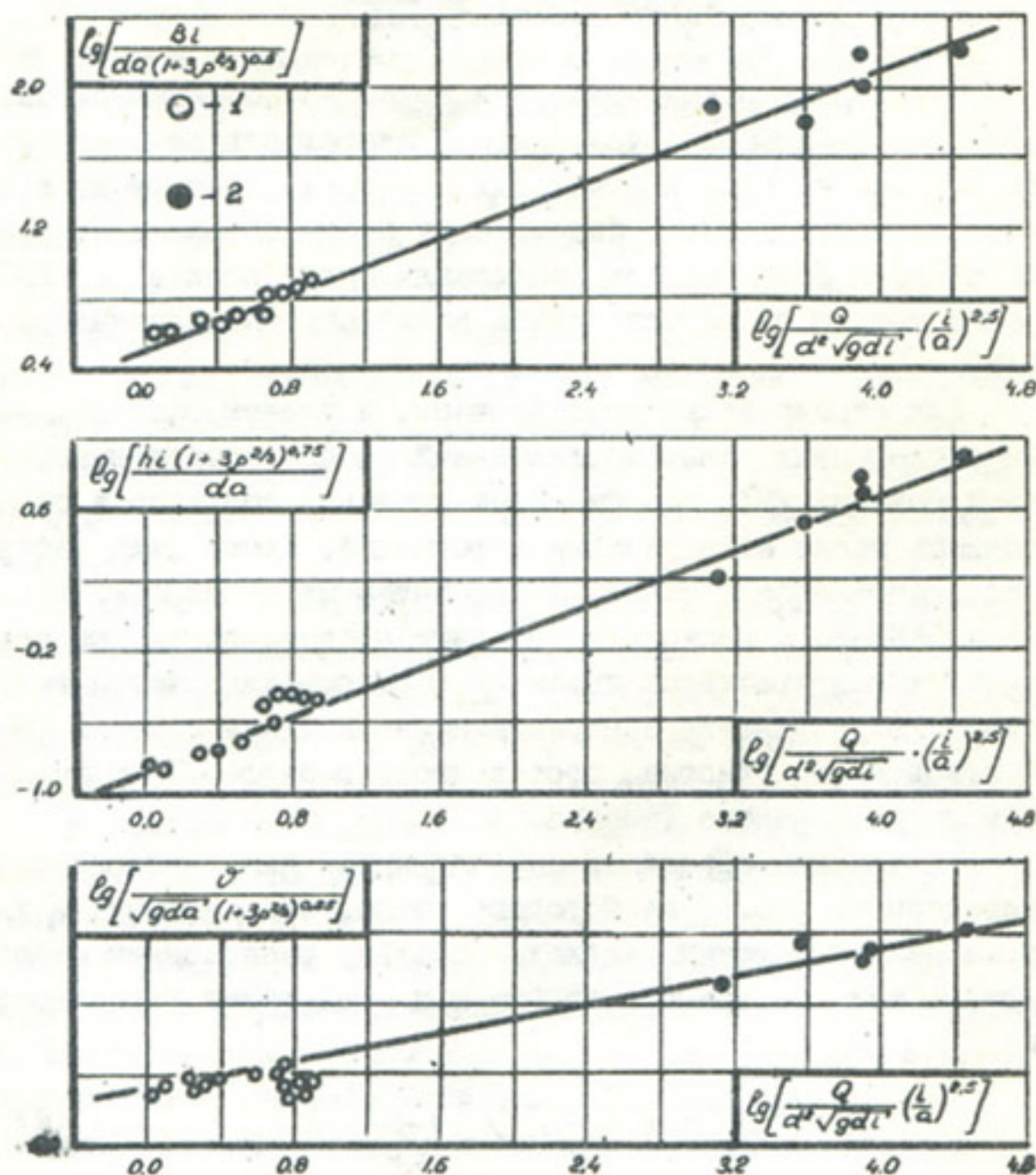


Рис. I. Закономерности изменения морфометрических характеристик: 1—данные экспериментальных исследований; 2—данные натурных измерений, осредненных для участка р. Амударья в районе Ташсака (1972 г.).

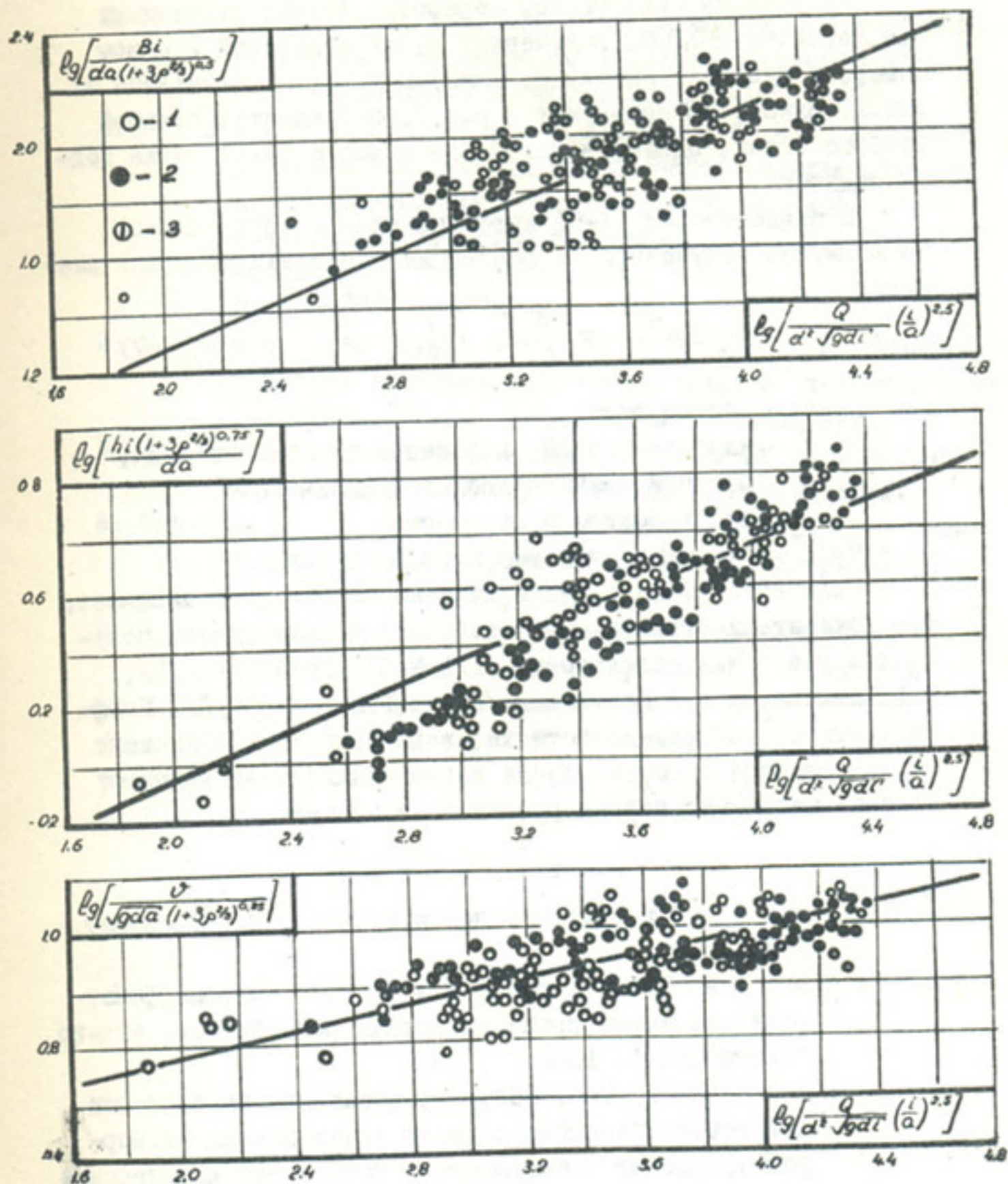


Рис.2. Закономерности изменения морфометрических характеристик р.Амударьи: 1-Кизиляк (1965-1969 гг.); 2-Тюямун (1963-1964 гг.); 3-Чатлы (1955г., 1958 г.).

Результаты аналогичной обработки данных экспедиции Гидропроекта и УГМС, полученных путем измерений в одном створе в пунктах Кызыляк, Тямухун и Чатлы, приведены на рис.2. Здесь, по сравнению с рис.1, наблюдается большой разброс точек, однако в целом зависимости (4-6) также подтверждаются.

В зависимостях (4-6) коэффициент K_p определяется по формуле, полученной на основании обработки натуральных данных:

$$1 + 3\rho^{2/3} = 3,7 \left(\frac{Q}{V} \right)^{0,25} \left(\frac{i}{d} \right)^{0,75}, \quad (7)$$

где Q - расход воды;
 V - кинематический коэффициент вязкости воды;
 d - средний диаметр донных отложений;
 i - уклон водной поверхности;
 $\alpha = \frac{\delta_H - \delta_s}{\delta_s}$ - относительный вес наносов в воде.

Сравнение (4-6) с существующими формулами показывает, что показатели степени аналогичны или весьма близки полученным ранее М.А.Великановым [1], М.С.Похсраряном [3], В.Ф.Талмаза и А.Н.Крошкиным [2], Ю.Г.Иваненко [6]. Коэффициенты пропорциональности же, включающие и коэффициент K_p , являются в общем случае переменными, зависящими от степени насыщения потока русловыми наносами.

Л и т е р а т у р а

1. В е л и к а н о в М.А. Русловой процесс. М., Госиздат, 1968.
2. Т а л м а з а В.Ф., К р о ш к и н А.Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек. Фрунзе, изд-во "Кыргызстан", 1968.
3. П о х с р а р я н М.С. Натурные исследования русл рек Севанского бассейна с целью установления их морфометрических зависимостей. Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме, том II, Ереван, изд-во АН АрмССР, 1962.

4. И с м а г и л о в Х.А. Некоторые морфометрические зависимости реки Амударьи в среднем и нижнем течении. Труды САНИИРИ, вып. II7, Ташкент, 1968.
5. А н д р е е в О.В., Я р о с л а в ц е в И.А. Морфометрические зависимости для расчетов размеров речных русел и прогноз русловых изменений при транспортном гидротехническом строительстве. Труды III-го Всесоюзного гидрологического съезда, том У, М., Гидрометеиздат, 1960.
6. И в а н е н к о Ю.Г., К л а с с е н И.И. О морфометрических зависимостях естественных и искусственных водотоков. Труды САНИИРИ, вып. I24, Ташкент, 1970.
7. М и х а й л о в В.Н. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек. М., Гидрометеиздат, 1971.
8. С т у д е н и ч н и к о в Б.И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов. Издат. литературы по строительству, М., 1964.
9. И с м а г и л о в Х.А. Морфометрические зависимости применительно к условиям среднего и нижнего течения р. Амударьи по данным модельных исследований. Труды САНИИРИ вып. I20, Ташкент, 1970.

М.МИРЗИЯТОВ
мл.научн.сотрудник
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА У СКВОЗНЫХ ШПОР^{х)}

Для регулирования русла и защиты берегов от размыва, наряду с другими видами сооружений, употребляются сквозные шпоры. Изучению гидравлики потока и глубины размыва у сквозных шпор посвящен ряд работ [1,3,6,7]. Но детального анализа структуры потока у шпор в них нет.

Местный размыв сопровождается не только деформацией русла, но и существенным изменением структуры потока. Размеры деформации русла связаны с изменением структуры потока.

Для прогнозирования глубины размыва необходимо детально изучить кинематическую структуру потока как в воронке размыва, так и в подходной части русла. В данной работе излагаются материалы экспериментального исследования этого вопроса, выполненного в отделе русл САНИИРИ.

Исследование проводилось в остекленном лотке шириной $B=40$ см рабочей длиной $L=8,0$ м; в качестве сквозной шпоры были использованы решетки с вертикальными стержнями, изготовленными из круглой латунной трубки и квадратных деревянных реек. Диаметр круглых трубок и толщина деревянных реек были одинаковыми и составляли соответственно 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 см. Изучались и тетраэдрные шпоры диаметром 1,0 см, высотой $h=8-10$ см. Принятая степень стеснения потока решеткой $n = \frac{d}{d+s}$ равнялась 0,75. Величина застройки решетки для цилиндрической и квадратной шпоры составляла

$\rho = \frac{d}{d+s} = 0,33; 0,5; 0,67$; а тетраэдрной — $\rho = 0,12-0,15$. Угол установки решетки $\alpha = 90^\circ$. Расход воды в лотке $Q = 5-10$ л/сек. Русло формировалось из керамзита с удельным и объемным весом соответственно $1,6 \text{ т/м}^3$ и $0,82 \text{ т/м}^3$,

^{х)} Работа выполнена под руководством чл.-корр. ВАСХНИЛ д.т.н., проф. А.М.Мухамедова.

начальной скоростью течения $V_0 = 13 \div 15$ см/сек. Структуру потока изучали методом кино съемки.

В качестве неразрываемой эмульсии, из которой делались шарики размером 2-3 мм, была использована смесь цинковых белил с вазелиновым маслом, по плотности не отличающаяся от воды; кино съемки производили аппаратом "Киев" со скоростью 48 кадров в секунду. При обработке кинограмм применялась методика, разработанная Е.М. Минским и Б.А. Фридманом [6].

Полученные кинокадры проектировались с помощью по-кадрового проектора на карточки - экраны из миллиметровой бумаги. При обработке этих карточек все поле исследуемого участка делили на площади размером 1×5 см. Осреднение осуществлялось за период $\tau = \frac{1}{n} = 0,021$ (n - скорость съемки в кадр/сек).

В результате обработки для каждого опыта было получено по 50-70 таблиц - в соответствии с общим числом площадок, на которые было разделено поле исследуемого участка. Каждая таблица содержала по 50-80 измеренных значений продольных и вертикальных составляющих мгновенных скоростей.

При обработке материалов кино съемки были найдены осредненные скорости $\bar{u}$, $\bar{v}$, величины максимальных значений продольной $\bar{u}_{max}$ и вертикальной $\bar{v}_{max}$ составляющих скоростей, а также максимальные значения пульсационных составляющих скоростей u'_{max} , v'_{max} . Для характеристики изменения степени турбулентности по длине его были подсчитаны среднеквадратичные отклонения пульсационных составляющих скоростей σ_u , σ_v , найдены значения интенсивности турбулентности $\sigma_u/\bar{u}_{cp}$ и $\sigma_v/\bar{v}_{cp}$, где $\bar{u}_{cp}$ - средняя скорость в подходе створе; установлены значения турбулентного трения $\tau = \rho \bar{u}' v'$, где ρ - плотность воды; подсчитаны параметры $M_x = \frac{\bar{u}'_{max}}{\bar{u}_{cp}}$, $M_y = \frac{\bar{v}'_{max}}{\bar{v}_{cp}}$.

Опыты по изучению кинематической структуры потока дали возможность выяснить действительную картину протекания его в зоне действия сквозной шпоры. Поток, протекающий по подводному руслу в условиях равномерного движения, покидая гребень донных отложений, продолжает двигаться в сто-

рону шпоры. По мере приближения к ней глубина потока возрастает, и наблюдается размыв дна. Подойдя к шпоре, поток разделяется на две части: одна часть проходит через решетку, другая движется вниз вдоль напорной грани решетки ко дну, образуя валец (рис. I, а).

Таким образом, между транзитным потоком и решеткой образуется зона обратного течения, создающая условия для возникновения турбулентности в потоке. Восходящие из зоны обратного течения токи проникают в толщу потока, и происходит интенсивный турбулентный обмен между транзитной струей и зоной обратного движения. Это явление обуславливает наличие зоны с повышенной турбулентностью. Кинематическая структура потока в этой зоне характеризуется движением крупных вихрей, создающих интенсивную турбулизацию потока.

За шпорой поток, проходящий через решетку, встречается с обратным течением, возникающим в воронке размыва, где и происходит обмен массами жидкости. По мере удаления от шпоры придонная скорость в вымоине уменьшается, в связи с этим уменьшается и кинетичность потока, что ведет к отложению наносов за воронкой размыва.

Результаты измерений осредненного вектора продольной скорости ($\bar{U}$) и максимальных значений ее $\bar{U}_{max}$ показали, что эти величины распределяются по вертикали равномерно (рис. I, б).

Наибольшие значения величин $\bar{U}$ и $\bar{U}_{max}$ во всех опытах находятся в верхних слоях потока; с другой стороны, увеличение их наблюдается от начального сечения к шпоре; за шпорой значения их постепенно уменьшаются.

Максимальная величина продольной скорости $\bar{U}_{max}$ в начальном сечении вдвое больше средней скорости $\bar{U}$. В створе перед шпорой она превышает $\bar{U}$ в 2,2 раза; за этой зоной шпоры, в конечном створе, отношение $\bar{U}_{max}/\bar{U}_{\infty} = 1,2$.

Из рис. 2 видно, что максимальное значение отношения $\bar{U}_{max}/\bar{U}_{\text{ср}}$ наблюдается перед шпорой при большом диаметре стержня и при увеличении застройки ρ . У квадратной и тетраэдрной шпор пределы изменения отношения $\bar{U}_{max}/\bar{U}_{\text{ср}}$ меньше, чем у цилиндрической.

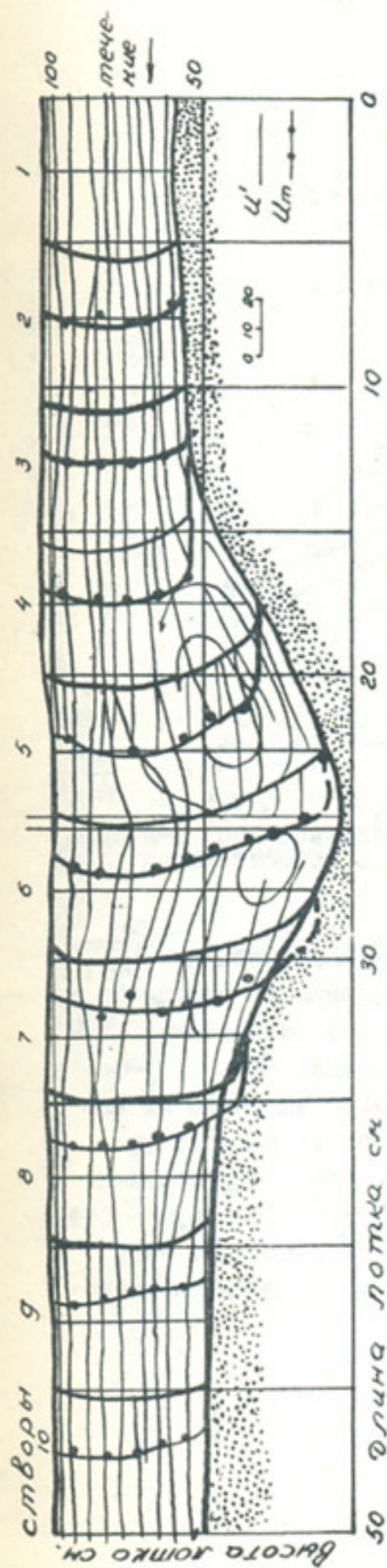


Рис. 1а. Распределение актуальных и максимальных продольных скоростей потока по длине лотка.

13

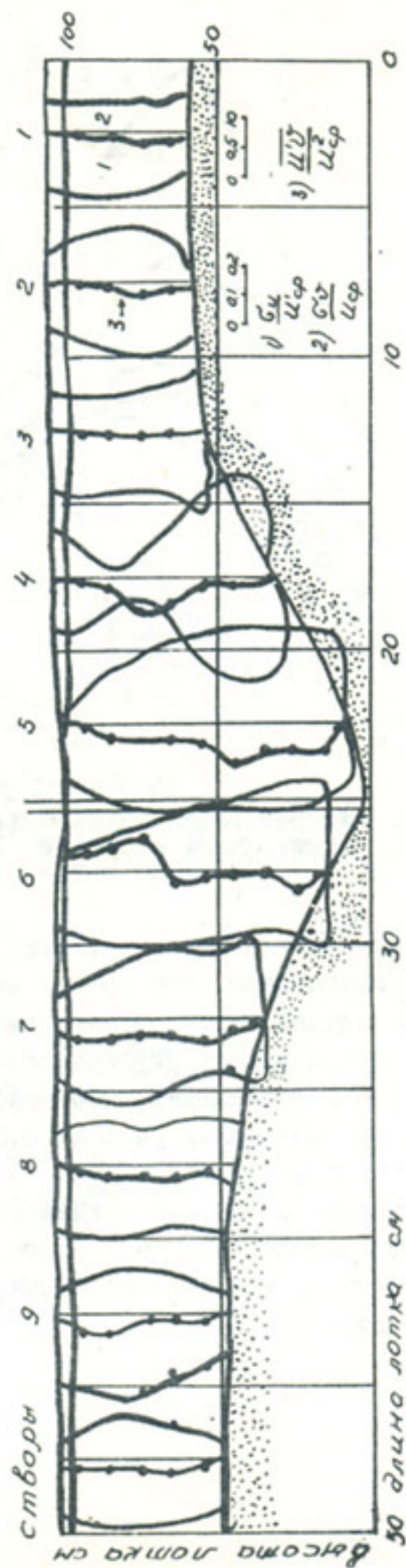


Рис. 1б. Поле среднеквадратичной продольной $\frac{b_y}{u_{cp}}$ и вертикальной $\frac{b_v}{u_{cp}}$ пульсаций скорости и изменение величины турбулентного трения при $q = 5$ л/сек; $\rho = 0,5$; $\lambda = 0,75$.

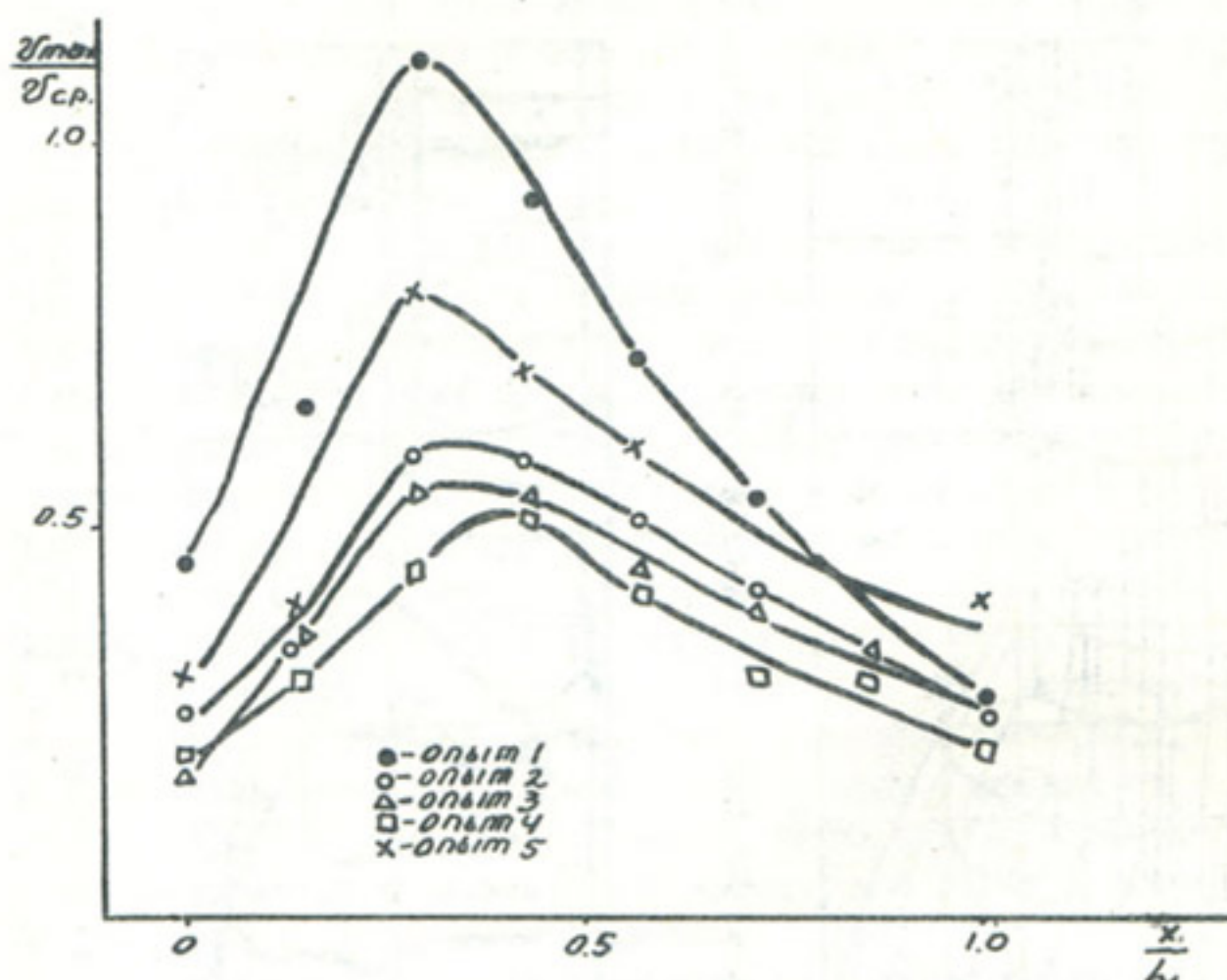


Рис.2. Распределение максимальных относительных значений вертикальной скорости v_{max}/v_{cp} к относительной длине лотка.

Полученные эпюры по распределению значений $M_x = \frac{u'_{max}}{u_{cp}}$, $M_y = \frac{v'_{max}}{v_{cp}}$ показывают, что наибольшие значения их находятся в зоне восходящих токов, между створами 4-5 на глубине 0,6 Н, где Н – максимальная глубина. Распределение M_x и M_y вдоль потока показывает, что максимальное значение их находится на расстоянии, равном $0,3 \frac{x}{L}$ перед шпорой; за шпорой на расстоянии $0,42 \frac{x}{L}$ от нее оно уменьшается до минимального; на расстоянии $0,7-0,8 \frac{x}{L}$ от шпоры – снова увеличивается, принимая второе максимальное значение (x – расстояния между створами; см; L – общая длина исследуемого участка).

Т а б л и ц а
Максимальные относительные значения продольной и вертикальной
пульсаций скоростей потока.

Опыт	Расход, л/сек	Длина, L см	$\rho = \frac{d}{d+s}$	d, мм	Створ										$M_x = \frac{U_{max}}{U_{cr}}$
					3	4	5	6	7	8	9	10			
1	5	50	0,5	5	0,96	1,2	1,34	0,79	0,89	1,05	0,87	0,60			
2	5	50	0,33	5	0,70	0,76	0,87	0,58	0,68	0,77	0,84	0,52			
3	5	50	0,5	10	0,62	0,54	0,85	0,61	0,63	1,0	0,6	0,72			
4	5	50	0,33	10	0,63	0,56	0,94	0,83	0,56	0,91	0,58	0,58			
5	5	50	0,5	10	0,74	1,0	1,02	0,58	0,82	0,55	0,52	0,47			
Значение M_y															
1	5	50	0,5	5	0,46	0,66	1,12	0,93	0,73	0,54	0,46	0,28			
2	5	50	0,33	5	0,27	0,31	0,54	0,53	0,60	0,31	0,27	0,28			
3	5	50	0,5	10	0,45	0,50	0,55	0,55	0,42	0,33	0,22	0,19			
4	5	50	0,33	10	0,30	0,56	0,94	0,37	0,27	0,33	0,24	0,22			
5	5	50	0,5	10	0,23	0,5	0,60	0,64	0,33	0,22	0,22	0,22			

В створе, расположенном на расстоянии $\frac{x}{L} = 0,3$ перед шпорой, величина M_x примерно в 1,5 раза, а M_y — примерно в 2–3 раза больше, чем в начальном сечении.

Увеличение вертикальной пульсации объясняется тем, что мощные выходящие токи со значительными вертикальными составляющими скоростями доходят до поверхности потока, где происходит интенсивное турбулентное перемешивание транзитного потока с областью возвратного течения.

Распределение пульсаций скорости по вертикали, по мере удаления от начального сечения, неравномерно (рис. I, б): у поверхности $G_u/\bar{u}_r$ и $G_v/\bar{u}_r$ остаются, примерно, постоянными; изменение их по вертикали в начальных створах незначительно. В начале зоны воронки размыва у дна обе составляющие заметно возрастают, а в зоне шпоры увеличиваются по вертикали равномерно. За шпорой, с уменьшением глубины размыва, равномерное распределение этих величин нарушается. В конце исследуемого участка $G_u/\bar{u}_r$ и $G_v/\bar{u}_r$ остаются постоянными по вертикали.

Наибольшие значения G_u в начальном и конечном сечениях составляют 21–27% от $\bar{u}$, в зоне шпоры достигают 29–35% от $\bar{u}_r$; максимальные значения G_v в начальном и конечном створах равны 14,6–18,5 % от $\bar{u}_r$, а в зоне шпоры они достигают 29–33% от $\bar{u}_r$.

Из рис. 3 видно, что обе составляющие пульсации возрастают от гребня отложений наносов по направлению к шпоре. Максимум пульсаций находится, примерно, в створе на расстоянии $\frac{x}{L} = 0,3$ перед шпорой в воронке размыва. Уменьшение пульсации после достижения максимума продолжается до конечного сечения. Пульсации в области возвратного течения во всех опытах, примерно, одинаковы, причем, в некоторых точках его пульсации скорости даже меньше, чем на подходном участке.

При сопоставлении максимального значения пульсации скорости U_{max} со среднеквадратичными G_u и G_v получены следующие величины:

$$\frac{G_u}{U_{max}} = 0,3-0,445 \text{ и } \frac{G_v}{U_{max}} = 0,28-0,45.$$

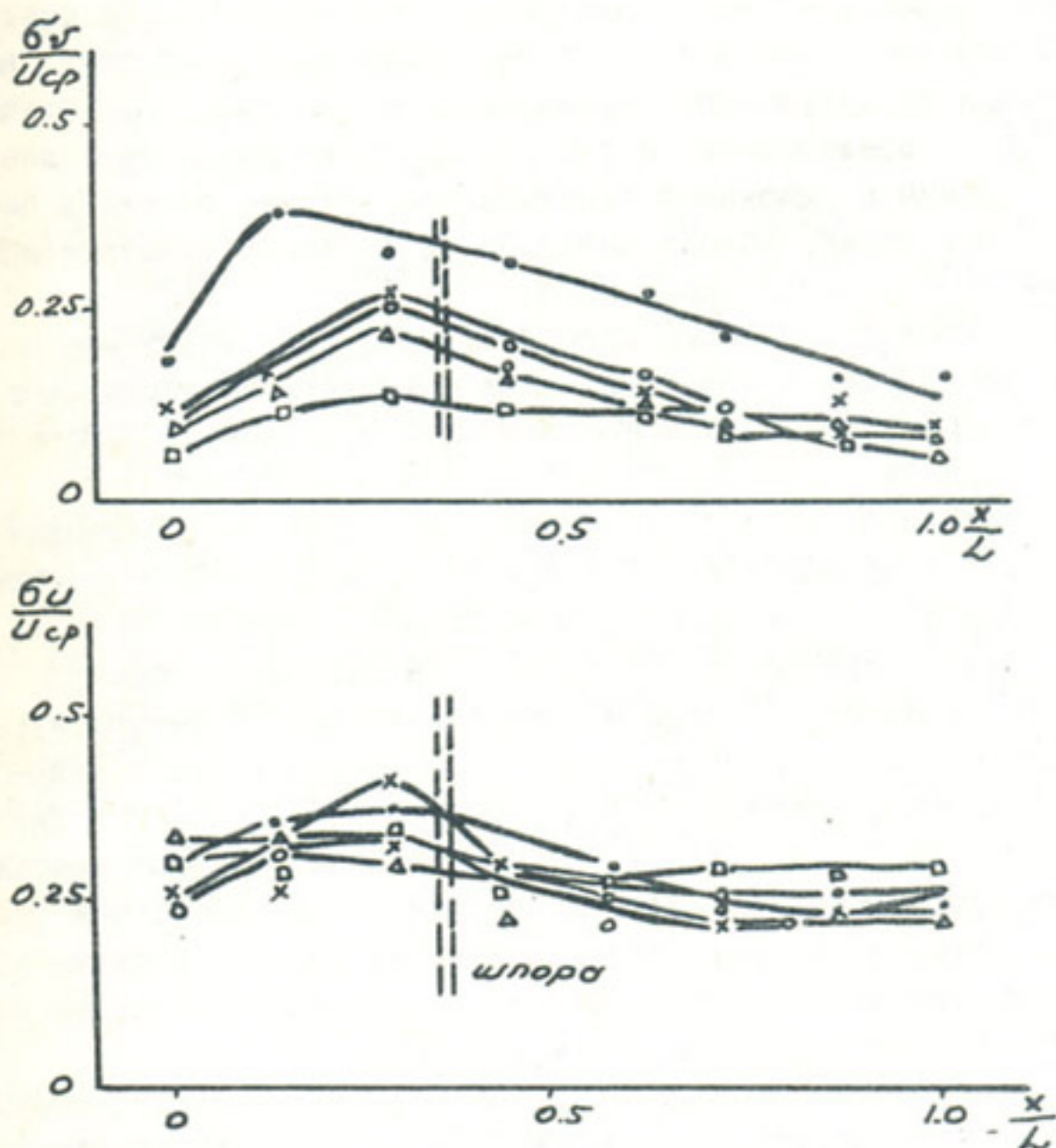


Рис. 3. Распределение среднеквадратичной продольной $\frac{b_v}{U_{cp}}$ и вертикальной $\frac{b_u}{U_{cp}}$ составляющих пульсации скорости по длине потока.

Для продольной пульсации $\overline{C_v} = \frac{1}{3} u'_{max}$, что согласуется с имеющимися данными [2, 4], а для вертикальной пульсации

$\overline{C_v} \approx \frac{1}{3} u'_{max}$. Величина $\overline{u'v'}$ представляет собой количество движения, переносимое в вертикальном направлении благодаря наличию вертикальной составляющей v' . На осуществление этого переноса тратится часть энергии потока, называемая турбулентным трением $\tilde{\tau} = -\rho \overline{u'v'}$ (рис. I, б). Величины $\frac{\overline{u'v'}}{\overline{u'^2}}$ представляют собой отношение величины турбулентного трения к удвоенной кинетической энергии потока в начальном сечении. Вблизи поверхности величина турбулентного трения вдоль потока постоянна.

Наибольших величин турбулентные трения достигают в зоне восходящих токов, что можно объяснить максимальными значениями вертикальной составляющей пульсации скорости в этой области.

Максимальная величина $\overline{u'v'}$ в створе на расстоянии $\frac{x}{L} = 0,3$ до шпоры и $\frac{x}{L} = 0,7$ после шпоры в 4-5 раз превосходит эту же величину в начальном сечении.

Результаты опытов скоростной киносъемки позволили внести некоторую ясность в вопрос изучения структуры турбулентного потока в зоне действия шпоры. С помощью мгновенных и пульсационных составляющих скорости оценена интенсивность турбулентности и установлено, что главным показателем турбулентности является вертикальное расширение потока, которое, в свою очередь, зависит от коэффициента застройки шпоры, степени стеснения потока шпорой, грунта ложа русла, и угла установки шпоры в потоке.

Проведенное исследование еще раз показало, что шпоры значительно уменьшают скорости потока, следствием чего является уменьшение кинетической энергии и размывающей скорости потока. Большая часть энергии потока гасится в зоне действия шпоры (в воронке размыва), что ведет к снижению скорости потока за шпорой. Размывающая способность потока резко уменьшается, благодаря чему прекращается размыв берега за шпорой.

Л и т е р а т у р а

1. Башкиров Г.С. Гидротехнический расчет сквозных сооружений. Ж. "Гидротехника и мелиорация", № 8, 1956.
2. Ирмахамедов Х.А. Результаты измерения турбулентности потока на подходе к гидроузлу с постоянной схемой водозабора. Изв.АН УзССР, серия техн.наук, вып.24.
3. Ишаев Ф.Ш. Исследования сквозных защитно-регулирующих сооружений из ж/б балочных тетраэдров применительно к рекам Средней Азии, автореферат, Ташкент, 1969.
4. Кумин Д.И. Турбулентность и гашение энергии при сопряжении бьефов, Изв.ВНИИГ, т.55, 1956.
5. Минский Б.М., Фидман Б.А. Об экспериментальном определении статистических характеристик турбулентных потоков, М., Изв.АН СССР, т.9, 1940.
6. Орлов И.Я. Сквозные заилители для защиты берегов от размыва. Ж. "Гидротехника и мелиорация" № 12, 1951.
7. Уркинбаев Р.К. Некоторые вопросы гидравлики сквозных шпор. Труды САНИИРИ, вып.117, Ташкент, 1968.

С.Х.АБАЛЬЯНЦ
зав.кафедрой "Гидротехнические сооружения",
профессор, докт.техн. наук
(ТашПИ)

М.Р.КАРАПЕТЯН
мл.научн. сотрудник
(САНИИРИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В МЕЛКОПЕСЧАНЫХ РУСЛАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТУРНОГО МАТЕРИАЛА

В статье [1] предложен метод моделирования мелкопесчаных речных русел с применением мелкого песка, основанный на подобии или сходстве двух явлений, определяющих деформации: взмучивания и осаждения частиц в потоке. Суть его заключается в следующем. Для подобия процесса осаждения в потоке необходимо, чтобы частица с одинаковой гидравлической крупностью W , находящаяся на высоте в натуре и на модели соответственно h_n , h_m , упала на соответствующих расстояниях l_n , l_m от начального створа. При модели, геометрически подобной натуре, со скоростью $V_{0,n}$ и глубиной $h_{0,n}$ в этом случае должно соблюдаться условие

$$V_{0,n} = V_n.$$

Однако донная скорость на такой модели, определяющая взмучивание, будет больше натурной. Увеличим глубину и одновременно уменьшим скорость течения в модели с таким расчетом, чтобы частица упала на то же место, а донная скорость уравнилась с натурной. Первое условие записывается так:

$$V'_m h'_m = V_{0,n} h_{0,n} = q, \quad (I)$$

где V'_m , h'_m - скорость и глубина в модели с искаженной глубиной.

Но поскольку $h_{0,n} = \frac{h_n}{\alpha_l}$ (α_l - масштаб длины), то
имеем

$$\alpha_q = \alpha_r; \quad \alpha_q = \alpha_r^2. \quad (2)$$

Введем второе условие [6, 5]:

$$v_A \sim v_* = idem, \quad h'_m i'_m = h_n i_n \quad (3)$$

откуда, исходя из формулы скорости,

$$\alpha'_v = C_n : C_m,$$

где C_n, C_m — скоростные множители.

Согласно (1) искомая степень искажения глубин

$$\frac{h'_m}{h_{0,m}} = \alpha'_v. \quad (4)$$

При моделировании участков р. Амударьи с натурным песком в масштабах глубины 50+100 получилось, приблизительно, следующее соотношение:

$$\frac{C_n}{C_m} \approx \left(\frac{h_n}{h_m} \right)^{1/3}. \quad (5)$$

Далее, для частиц одинаковой крупности можно принять пренебрегая влиянием начальной скорости, известный "закон куба скорости" [2], согласно которому мутность

$$s = a \frac{v^3}{h}. \quad (6)$$

В результате имеем следующие сводные масштабы при заданном (плановом) масштабе длины:

$$\begin{aligned} \alpha'_h &= \alpha_r^{3/4}; & \alpha'_v &= \alpha_r^{1/4}; & \alpha'_q &= \alpha_r^2; \\ \alpha'_i &= \alpha_r^{-3/4}; & \alpha'_t &= \alpha_r^{-3/4}; & \alpha'_s &= 1. \end{aligned} \quad (7)$$

Масштаб расходов соответствует известной и многократно подтвержденной зависимости Лассея, согласно которой ширина русла изменяется пропорционально корню квадратному из руслоформирующего расхода.

Недостаток такого моделирования — увеличенное значение числа Фруда на модели, что дает возможность моделировать лишь общие деформации русла при довольно крупных масштабах модели. С увеличением на модели числа Фруда, определенного по средним в сечении значениям скорости и глубины, до значений, превышающих 0,25, на греб-

нях гряд и других точках возникают возмущения, характерные для бурного течения.

Для устранения этого недостатка увеличим дополнительно глубину в модели с соблюдением условия (I) с тем, чтобы уравнивать число Фруда на модели с натурой (рисунок). Таким образом, сходство осаждения в модели сохранится, будет соблюдено и условие гравитационного подобия. Нарушенное сходство взмучивания заменим требованием сохранения идентичной с натурой формы движения руслоформирующих наносов.

Согласно И.К.Никитину [5] в русловом потоке различаются следующие формы движения наносов, связанные с отношением гидравлической крупности частиц к динамической скорости:

донное влечение наносов -

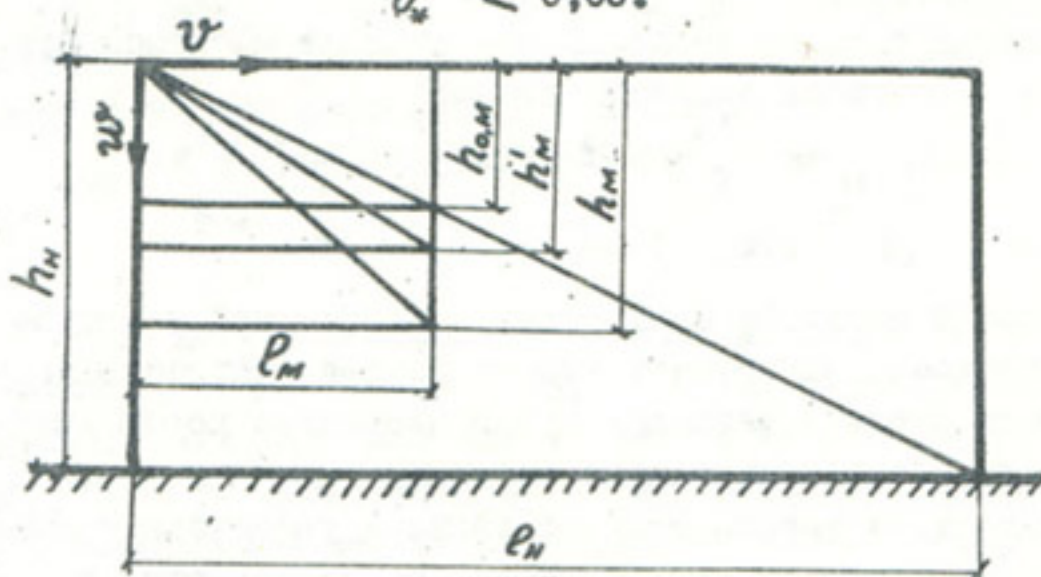
$$\frac{w}{v_*} > 3,15;$$

взвешенные руслоформирующие наносы -

$$3,15 > \frac{w}{v_*} > 0,05; \quad (8)$$

взвешенные транзитные наносы -

$$\frac{w}{v_*} < 0,05.$$



Потоки в мелкопесчаных руслах относятся обычно к второму виду движения; так, для р.Амударьи $w/v_* = 0,1$. При предлагаемом моделировании должно быть соблюдено условие $w/v_* < 3,15$, которое практически легко осуществимо. Согласно данным Н.С.Знаменской [4] для нашей области мелко-

песчаных русл форма и размеры гряд однозначно связаны с числом Фруда, поэтому в новой модели будет обеспечено подобие гряд.

Несоблюдение условия взмучивания при условии сохранения одинаковой с натурой формы движения наносов на модели несущественно отразится на деформациях в модели, включая местные, например, у стесненного русла в проране или у берегового крепления. Дело в том, что глубина местного размыва в любой локальной области русла определяется величиной предельной неразмывающей скорости, свойственной данному потоку и материалу русла. Такой скоростью для взвесенесущего руслового потока является средняя скорость его течения [3].

Река в своем естественном режиме несет наносы в среднем в количестве, соответствующем ее транспортирующей способности, однозначно связанной со средней скоростью потока. Рассмотрение множества поперечников за ряд лет по гидрометрическим створам в низовьях р.Амударьи показывает, что удельное содержание наносов в различных вертикалях створа изменяется незначительно и весьма слабо связано со скоростью в этих вертикалях. Это объясняется влиянием интенсивного перемешивания потока и динамикой осаждения взвешенных наносов. Так, для выпадения на дно частицы с гидравлической крупностью 15 мм/сек с середины глубины, равной 3 м, при скорости потока 2 м/сек необходимо расстояние 200 м.

Пользуясь формулой (6), найдем погонный расход наносов:

$$q_{\tau} = s v h = a v^4,$$

т.е. расход наносов зависит лишь от скорости течения и не зависит от глубины.

Местный размыв русла вызывается увеличением скорости в местной струе, против средней по течению, и соответствующим увеличением местной транспортирующей, а следовательно, и размывающей скорости потока. Прекращение размыва происходит в результате постепенного расширения струи в зоне размыва и уменьшения ее скорости до средней скорости течения в русле.

Учитывая решающую роль донной скорости, здесь мы естественно допускаем, что отношения донной скорости к максимальной, осредненные по сечению потока и в местной струе, вызывающей размыв, равны или близки между собой.

Поскольку модель с движущимися взвешенными руслоформирующими наносами является русловым потоком, а соблюдение равенства чисел Фруда дает основание считать местные области потока подобными натурным, то естественно ожидать, что местные размывы также будут подобны натурным.

Основу для рекомендованного нового метода моделирования составляют, таким образом, два условия: подобие отставания и равенство чисел Фруда. Имеем

$$F_2 = \frac{q_n^2}{gh_n^3} = \frac{q_m^2}{gh_m^3} ; \quad \frac{h_n^3}{h_m^3} = \frac{q_n^2}{q_m^2} ,$$

откуда с учетом (2) при заданном масштабе длины

$$\alpha_h = \alpha_e^{2/3} ; \quad \alpha_v = \alpha_e^{1/3} ; \quad \alpha_t = \alpha_e^{2/3} . \quad (9)$$

Масштабы расхода определяются согласно (2). Масштаб руслоформирующей части мутности, необходимый для предварительного формирования модели, установим по (6):

$$\alpha_s = \frac{\alpha_v}{\alpha_h} = \alpha_e^{1/3} . \quad (10)$$

Эксперименты с моделями различных масштабов, а также опыт размыва дна в модели у Тахиаташского скального выступа на р.Амударье, где имеются измеренные натурные данные, подтвердили приемлемость рекомендуемого метода моделирования, включая предположение о соответствии глубин местного размыва натурным.

Л и т е р а т у р а

1. А б а л ь я н ц С.Х. Изв. АН УзССР, № 5, Ташкент, 1972.
2. А б а л ь я н ц С.Х. Труды САНИИРИ, вып.96, Ташкент, 1958.
3. А б а л ь я н ц С.Х. "Вопросы гидротехники", вып.27, Ташкент, изд-во "Наука", 1965.

4. Знаменская Н.С. Грядное движение наносов., Л., Гидрометеиздат, 1968.
5. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. Киев, изд-во АН УССР, 1963.
6. Фидман Б.А. "Русловые процессы", М., изд-во АН СССР, 1958.

И.В. КОГТЕВА
мл. научн. сотрудник
(САНИИРИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА СВАЛА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОТОКА В ЗОНЕ ДЕЙГИША

В условиях Амударьи в результате резкого свала потока на берег происходит интенсивный размыв берегов, получивший местное название дейгиш [1].

Дейгиш зависит от целого ряда параметров потока и русла: расхода воды, угла свала потока к берегу, величины скорости, глубины потока, насыщения его наносами, разности высотных отметок уреза и бровки, состава слагающего берег грунта [2,3].

Изучение дейгиша невозможно без исследования гидравлических элементов и кинематики потока, причин и условий, сопутствующих размыву. Поэтому возникает необходимость анализа гидравлических элементов потока на подходном участке и в зоне дейгиша.

Накопленный материал по гидравлическим элементам потока на участках дейгиша (в районе каналов Ташсака, Клычбай, пристани Турткуль и др.), а также результаты лабораторных исследований, проведенных в отделе русл в 1970-1973 гг. на моделях с использованием опилок, песка, керамики, дают возможность установить закономерности измерения основных гидравлических характеристик потока и русла.

Ранее было установлено, что при резком свале потока к берегу русло постепенно сужается, скорость течения повышается. Это ведет к увеличению глубины потока вдоль размываемого берега, повышению удельных расходов, кинетической энергии [4,5].

Изменение ширины русла вдоль участка исследований

В зоне дейгиша в результате резкого свала поток сосредоточенно проходит вдоль берега. В своих исследованиях мы выделили активную часть русла, в которой протекает большая часть расхода воды (до 90–95%). Эта активная зона позволила выявить наиболее очевидные причины, способствующие размыву в зоне дейгиша.

Результаты анализа натуральных данных показали, что в зоне дейгиша происходит 3–5-кратное сужение русла. В центре дейгиша относительная ширина русла для участка 8 км канала Ташсака составляет $\frac{B}{B_1} = 0,35$, 12 км – 0,30; для канала Клычбай $\frac{B}{B_1} = 0,25$, для участка в районе пристани Турткуль – 0,4–0,46 (B – ширина русла в створах зоны размыва, B_1 – ширина русла на подходном участке).

Такой характер изменения относительной ширины русла оказался зависимым от угла свала потока к берегу (α). Последний определялся как угол между направлением динамической оси потока и касательной, проведенной к точке максимального разворота излучины.

На исследуемых участках, имеющих береговые укрепления, угол свала потока для района канала Клычбай составил $\alpha > 50^\circ$; для районов 8 и 12 км канала Ташсака, соответственно, $\alpha = 20\text{--}25^\circ$ и $30\text{--}35^\circ$. Для участка реки в районе пристани Турткуль, где наблюдался свободный береговой размыв, угол свала $\alpha = 30\text{--}45^\circ$.

Характер изменения относительной ширины русла вдоль участка исследований в экспериментах также оказался связанным с углом свала потока к берегу. Создаваемый на модели угол свала был равен $30, 45, 60^\circ$. После формирования русла, в случае с размываемыми берегами, угол свала становился несколько меньше, и в каждом конкретном опыте по динамической оси потока находили образовавшийся угол свала, которым оперировали в дальнейшей работе.

По имеющимся данным выбрали минимальные значения относительной ширины $\frac{B}{B_1} \min$ и построили графики связи $\frac{B}{B_1} \min = f(\sin \alpha)$ для закрепленных и размываемых берегов русла. Оказалось, что с увеличением угла свала потока относительная ширина в центре дейгмша уменьшается. При закрепленных берегах угол свала изменялся в пределах $0,4 \div 0,9$, при этом $\frac{B}{B_1} \min = 0,45 \div 0,30$; при размываемых берегах русла $\sin \alpha = 0,2 \div 0,8$, $\frac{B}{B_1} \min = 0,75 \div 0,45$.

Когда берега закреплены, поток более сосредоточенно проходит вдоль вогнутого берега и углубляет дно русла. При естественном размыве берегов поток тратит свою энергию на размыв и вынос обрушенного материала. Глубины при этом незначительны и поток расплывается по ширине русла. Поэтому при одних и тех же углах свала и расходах воды ширина потока в центре дейгмша меньше в случае с береговыми креплениями.

В результате изучения влияния угла свала потока на минимальную относительную ширину русла для закрепленных берегов была получена зависимость

$$\frac{B}{B_1} \min = \frac{0,3}{\sin \alpha^{0,4}}, \quad (1)$$

для размываемых —

$$\frac{B}{B_1} \min = \frac{0,4}{\sin \alpha^{0,4}}. \quad (2)$$

Поскольку на участке дейгмша происходит постепенное сужение русла до минимальной ширины в центре дейгмша ($B_{\min}$), а затем постепенное восстановление ее до бытовых величин (рисунок), оказалось возможным установить изменение относительной ширины русла вдоль участка исследований и выразить его зависимостью

$$\frac{B}{B_1} = \frac{1-c}{\delta^2} \left(\frac{x}{L} - \delta \right)^2 + c, \quad (3)$$

где $c = \frac{B}{B_1} \min$ — минимальная относительная ширина в центре дейгмша, определяемая по зависимостям (1 и 2);

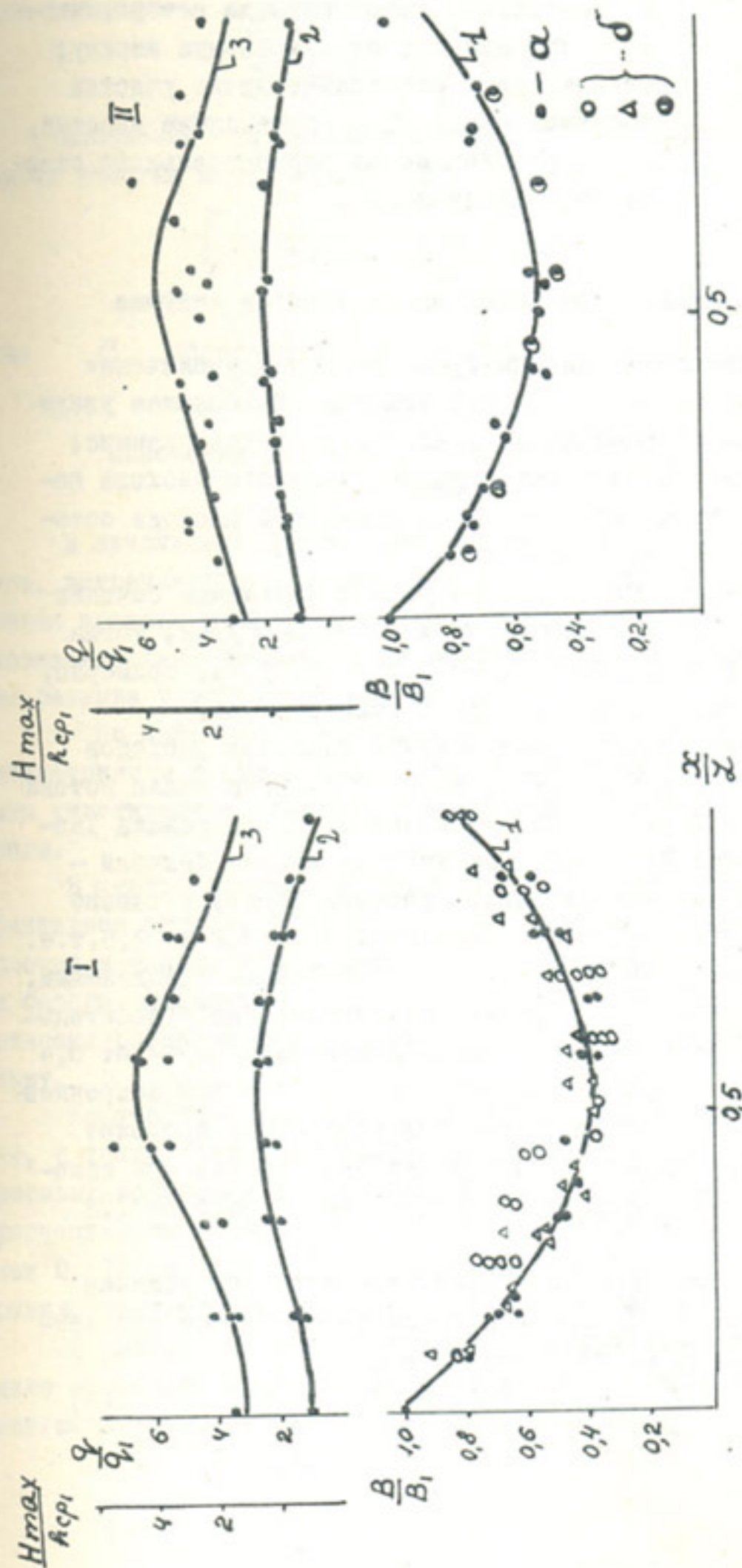


Рисунок. Изменение гидравлических элементов потока в зоне дейгига вдоль участка исследований (I - берега закреплены; II - берега размываемые): а - опытные точки, $\alpha = 30^\circ$; б - натурные точки: район 12 км канала Ташсак, $\alpha = 35^\circ$; район 8 км того же канала, $\alpha = 25^\circ$; район пристани Турткуль, $\alpha = 45^\circ$. 1, 2, 3 - кривые, построенные по формулам (3), (6) для $\alpha = 30^\circ$.

$\delta = 0,55$ – относительное расстояние до створа, имеющего минимальную относительную ширину;
 $\frac{x}{L}$ – относительное расстояние вдоль участка исследований (L – общая длина участка, x – расстояние от первоначального створа до последующего).

Изменение удельных расходов вдоль участка дейгиша

Резкое изменение ширины русла вызывает увеличение удельного расхода вдоль участка дейгиша. Наибольшее увеличение удельного расхода наблюдается в центре размыва; ниже по течению степень возрастания удельного расхода постепенно снижается, хотя величины удельного расхода остаются достаточно большими.

По указанным выше участкам реки в начальном сечении удельные расходы составляют $q_1 = 0,6-3,0$ м²/сек, тогда как в центре размыва $q = 1,7-8,7$ м²/сек, т.е., примерно, в 3 раза больше, чем на подходе к зоне размыва.

Изменение относительных величин удельных расходов $\frac{q}{q_1 \max}$ так же, как и $\frac{B}{B_1}$, зависит от угла свала потока к размываемому берегу и для участков 8, 12 км канала Ташсака составляет 2,8, 3,1; для участка канала Кдычбай – 4,75. На участке естественного размыва берега в районе пристани Турткуль $\frac{q}{q_1 \max}$ изменяется от 2,2 до 2,5, т.е. оказывается ниже, чем на участках с береговыми креплениями.

С увеличением α растут и максимальные относительные величины удельных расходов. С изменением $\sin \alpha$ от 0,4 до 0,9 $\frac{q}{q_1 \max}$ увеличивается от 2,5 до 3,5 при закрепленных берегах, когда поток более сосредоточенно проходит вдоль вогнутого берега. При размываемых берегах при изменении $\sin \alpha$ от 0,2 до 0,8 $\frac{q}{q_1 \max}$ возрастает от 1,2 до 2,6.

Связь максимальных значений относительных величин удельных расходов $\frac{q}{q_1 \max}$ с углом свала потока для закрепленных берегов можно выразить так:

$$\frac{q}{q_1 \max} = 3,4 \sin \alpha^{0,3}; \quad (4)$$

для размываемых берегов —

$$\frac{q}{Q} \max = 3,0 \sin \alpha^{0,6}. \quad (5)$$

Изменение относительных величин удельных расходов вдоль участка исследований (рис. I) выражается формулой

$$\frac{q}{Q} = \frac{C_1 \delta^2}{\delta^2 + (C_1 - 1) \left[\frac{x}{L} - \delta \right]^2}, \quad (6)$$

где C_1 определяется по формулам (4 и 5).

Изменение глубины потока вдоль участка исследований

В начальном участке дейгиша при поперечном свале поток, встречаясь с берегом, меняет свое направление, сохраняя прежнюю скорость, малый удельный расход и обладая незначительной кинетической энергией при небольшой глубине размыва у вогнутого берега.

По мере роста величины погонного расхода потока, вовлеченного в свал, повышаются прибрежная скорость, удельная кинетическая энергия, приводящие к размыву дна и берега.

В центре дейгиша в свале участвует почти весь поток (активное русло), приводящий в результате повышенных скоростей и кинетической энергии к значительным размывам дна и берега. Возникшая здесь мощная поперечная циркуляция относит размытый или обрушенный материал, способствуя размыву.

На участках дейгиша в районах 8, 12 км канала Ташсака, а также канала Клычбай в результате осуществления береговых креплений в основном происходила глубинная деформация, смыв береговой полосы был незначителен. В районах 8, 12 км канала Ташсака зафиксированная $H_{\max}$ была равна, соответственно, 8, 12 м; канала Клычбай — 25–26 м.

В районе пристани Турткуль развитие дейгиша происходило свободно, и размыв в глубину здесь меньше за счет материалов обрушения берега: $H_{\max} = 8-10$ м.

Значительные глубины размыва у канала Клычбай объясняются максимальными значениями скоростей, погонных расходов, кинетической энергии, возникшими в результате крутого поворота русла ($R = 450-500$ м), мощной поперечной циркуляцией [4].

Результаты исследований показали, что основными причинами, вызывающими значительные размывы русла на участке дейгиша, являются резкий свал потока к берегу, уменьшение ширины русла, повышение скоростей, удельных расходов и избыток кинетической энергии потока по сравнению с подходным участком.

В зоне наибольшего сужения и увеличения удельных расходов были определены максимальные значения $\frac{H_{max}}{h_{cp}}$ и исследованы их связи с углом свала потока; для закрепленных берегов -

$$\frac{H_{max}}{h_{cp}}_{max} = 8,8 \sin \alpha^{0,9}, \quad (7)$$

для размываемых берегов -

$$\frac{H_{max}}{h_{cp}}_{max} = 7,9 \sin \alpha^{1,1} \quad (8)$$

Следовательно, с увеличением угла свала потока $\frac{H_{max}}{h_{cp}}_{max}$ на участках с береговыми креплениями возрастает от 3 до 10; при естественном размыве берегов - от 1 до 6.

Изменение относительных величин максимальных глубин вдоль участка исследований (рисунок) также можно установить по формуле (6), где $C_1 = \frac{H_{max}}{h_{cp}}_{max}$ для закрепленных или размываемых берегов определяется из равенств (7 и 8).

На основании проведенных исследований определили влияние угла свала на основные гидравлические элементы потока в зоне дейгиша.

Полученные зависимости позволяют установить основные характеристики потока в зоне дейгиша и использовать их при гидравлическом расчете берегозащитных сооружений.

Л и т е р а т у р а

- И. А л т у н и н С.Т. Русловые процессы, защита берегов от размыва, борьба с наводнениями и наносами. Мате-

риалы по производственным силам Узбекистана, вып. П, АН УзССР, Ташкент, 1960.

2. Мухамедов А.М., Тузов В.Е. Особенности русловых деформаций р.Амударьи (дейгиш). Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 36, Л., 1967.
3. Мухамедов А.М. Некоторые особенности р.Амударьи и причины размыва берегов (явление дейгиш). Труды САНИИРИ, вып.120, Ташкент, 1970.
4. Мухамедов А.М., Ирмахамедов Х. А., Тузов В.Е., Когтева И.В. Некоторые результаты изучения гидравлических элементов и кинематики потока в зоне дейгиша. Труды САНИИРИ, вып.124, Ташкент, 1970.
5. Ирмахамедов Х.А., Когтева И.В. Некоторые результаты исследования структуры распределения скоростей в потоке на участке дейгиша. Труды САНИИРИ, вып. 124, Ташкент, 1970 .

А.М. МУХАМЕДОВ
доктор техн. наук, профессор
Х.А. ИРМУХАМЕДОВ
канд. техн. наук
М. МИРЗИЯТОВ
мл. научн. сотр.
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

К МЕТОДИКЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СКВОЗНЫХ
ШПОР РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ
ЗАЩИТЫ БЕРЕГОВ РЕКИ АМУДАРЬИ ОТ РАЗМЫВА
(ДЕЙГИША)

В низовьях р. Амударьи наблюдается интенсивный размыв берегов — дейгиш, причиняющий огромный ущерб народному хозяйству. Борьба с размывом берегов требует изыскания рациональных и экономичных методов берегозащиты.

В настоящее время появился ряд предложений по защите берегов при помощи сквозных шпор. Глубина местного размыва у последних значительно меньше, чем у глухих массивных шпор: они преграждают путь не всей массе воды, направленной на них, а только части ее, вследствие чего не вызывают водоворотов, и размыва берегов за шпорой не наблюдается, что имеет место у глухих шпор; они эффективны в отношении производства работ [1, 3, 4].

Так как сквозные сооружения различной конструкции начали применяться при берегозащитных работах на р. Амударье, возникла необходимость изучения гидравлики таких шпор.

На основании экспериментальных и теоретических исследований нами разработана методика гидравлического расчета сквозных шпор в зависимости от угла установки шпоры (α), коэффициента застройки (ρ), степени стеснения русла шпоры (β), кинетичности потока $F_2 = \frac{V^2}{2gH}$, длины шпоры (l_w) и конструкции свай (рисунок).

Основные элементы гидравлического расчета сквозных шпор: определение коэффициента сопротивления, гашения энер-

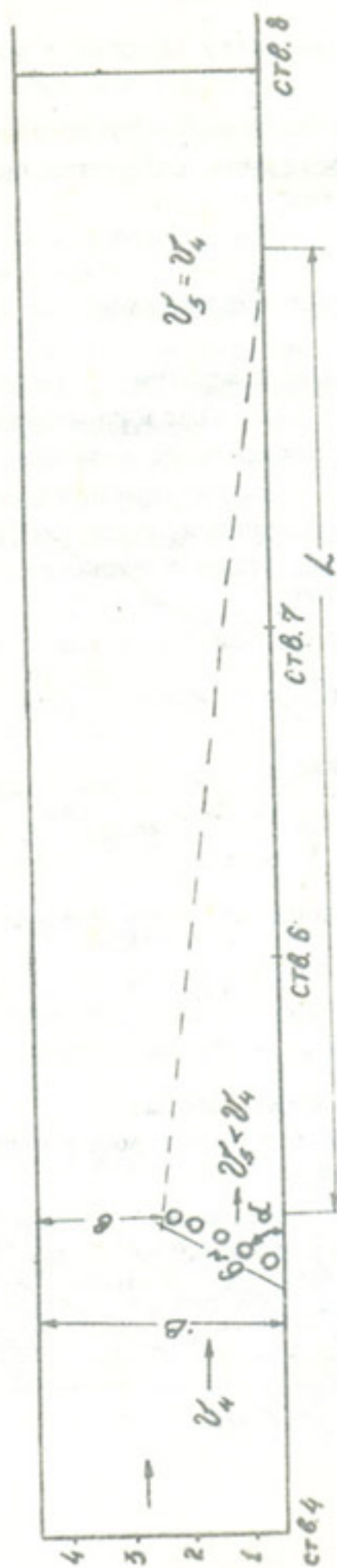


Схема исследуемого участка.

гии потока, расстояния между шпорами и установление глубины местного размыва.

В результате исследований установлена следующая зависимость значения коэффициента сопротивления:

$$\xi = \mathcal{A} \xi, \quad (1)$$

где ξ - коэффициент сопротивления с неразмываемым дном;

$\mathcal{A}$ - переходный коэффициент, равный для шпор из сквозных свай круглого сечения 0,71; шпор из свай квадратного сечения - 0,75; тетраэдров из балок квадратного сечения - 0,77.

Для определения расстояния между шпорами различных конструкций получены следующие зависимости.

При $F_2 < 0,2$

для шпоры из сквозных свай круглого сечения -

$$\frac{L}{\ell_w} = 165 \rho^{0,75} n^{0,8} (\sin \alpha)^{0,04} F_2; \quad (2)$$

квадратного сечения -

$$\frac{L}{\ell_w} = 165 \rho^{0,5} n^{0,8} (\sin \alpha)^{0,3} F_2; \quad (3)$$

для тетраэдрной шпоры из балок квадратного сечения -

$$\frac{L}{\ell_w} = 125 \rho^{0,22} n^{0,71} (\sin \alpha)^{0,42} F_2, \quad (4)$$

где ℓ_w - рабочая длина шпоры;

L - общая длина участка восстановления скорости за шпорой.

Теоретически получена зависимость для определения длины восстановления скорости за сквозными шпорами [2]:

$$\bar{L} = \frac{\ell_w \left[\frac{\left(\frac{u_0}{V_0} \right)^2 (1 + m_1^2 \frac{n}{1-n})}{1,776 \frac{u_0}{V_0} (1 + m_1^2 \frac{n}{1-n}) - \frac{0,776}{1-n}} \right]}{\frac{\sigma}{2} (1-n)}. \quad (5)$$

Здесь

V_δ - бытовая скорость;
 $\bar{L} = \frac{L_\delta}{b_0}$ - относительная длина области растекания;

$m_1 = \frac{U_w}{U_0}$ (U_w - скорость за сквозной шпорой, определяется по формуле Уркинбаева; U_0 - скорость в нестесненной части русла);

$\sigma = \frac{\lambda \beta}{h}$,
 где λ - коэффициент сопротивления дна и берега;

β - ширина лотка-русла.

На основании приведенных зависимостей можно определить расстояние между шпорами.

Глубина местного размыва у сквозных шпор различных конструкций определяется по следующим зависимостям:

для шпор из сквозных свай круглого сечения -

$$\frac{H_{max}}{h} = 540 P^{0,3} n^{0,12} (\sin \alpha)^{0,25} F_2^{1,5}; \quad (6)$$

квадратного сечения -

$$\frac{H_{max}}{h} = 540 P^{0,6} n^{0,58} (\sin \alpha)^{0,25} F_2^{1,85}; \quad (7)$$

для тетраэдрной шпоре из балок квадратного сечения -

$$\frac{H_{max}}{h} = 175 P^{0,8} n^{0,6} (\sin \alpha)^{0,3} F_2^{1,6}. \quad (8)$$

На основании предлагаемой методики был произведен гидравлический расчет сквозных шпор из свай для защиты берегов от размыва на участке Алибаба-Динг на р.Амударья для использования при составлении проекта берегозащитных сооружений.

Л и т е р а т у р а

1. М у х а м е д о в А.М. Некоторые особенности р.Амударьи и причины размыва берегов (явление дейгил). Труды САНИИРИ, вып.120, Ташкент, 1970.

2. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Бакиев М., Мирзиятов М. Закономерности растекания потока за сквозной шпорой. Доклады всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам (1971 г.), Ташкент, 1974.
3. Мухамедов А.М., Уркинбаев Р.К. Применение теории источников и стоков при решении задачи об обтекании потоком жидкости сквозной шпору (решетки). Труды САНИИРИ, 117, Ташкент, 1968.
4. Орлов И.Я. Сквозные заилители для защиты берегов от размыва, "Гидротехника и мелиорация", 12, 1951.

Р.Р.АБДУРАУПОВ

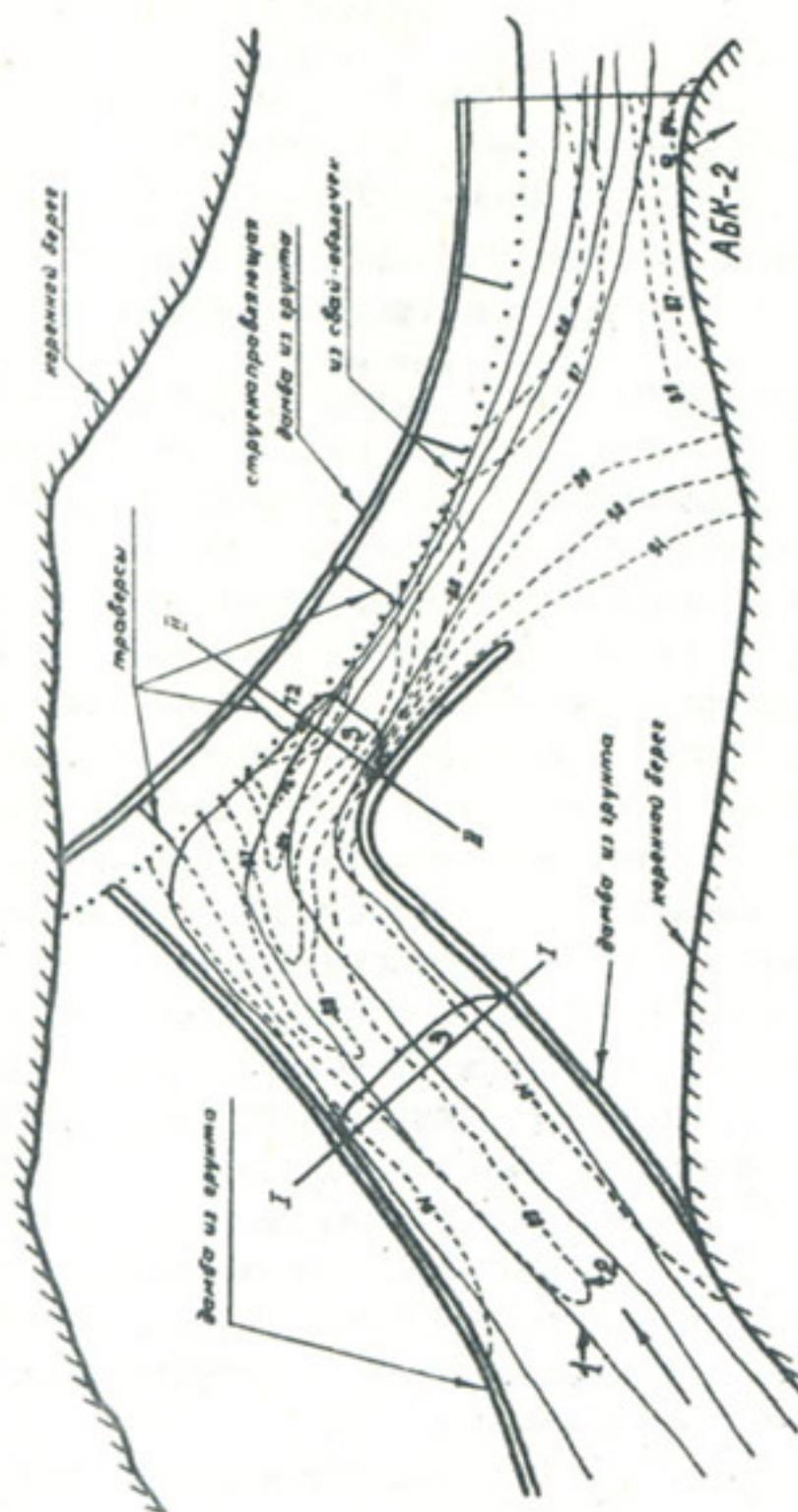
канд.техн. наук, зав. лабораторией
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ДЕЙСТВИЕ СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩЕЙ ДАМБЫ АМУБУХАРСКОГО КАНАЛА ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ НА ПЛАНОВОЕ ПРОТЕКАНИЕ ПОТОКА

С целью ликвидации блуждания потока перед водозабором и исключения устройства прорезей на подходе к регуляторам в период их эксплуатации в составе головных сооружений Амубухарского канала второй очереди (АБК-2) предусмотрена струенаправляющая дамба криволинейного очертания в плане с выпуклостью против течения, которая направляет поток к водозабору. Она состоит из свай-оболочек в один ряд (сквозная дамба) и из местного грунта (глухая, снабженная траверсами). Глухая дамба устраивается параллельно на 200 м ниже по течению от сквозной (рисунок).

Установлен оптимальный радиус кривизны струенаправляющих дамб и характер планового течения перед регулятором, а также величина размыва дна. Исследования проводились при различных значениях расходов воды. В местах удара потока на сквозную дамбу наблюдалось проникновение воды. Наличие траверсов из свай-оболочек уменьшило скорость, в результате между сквозной и глухой дамбами образовалась водяная подушка. Поэтому сквозная струенаправляющая дамба из свай-оболочек действовала на набегавший поток, как глухая стенка, вследствие чего величины размывов у струенаправляющей дамбы оказались значительными.

Набегавшая струя, поворачиваясь вправо, достигает струенаправляющую дамбу на некотором расстоянии вниз по течению от ее прямолинейного движения; изгибаясь влево, отрывается от стенки и далее, растекаясь веерообразно, направляется в сторону регулятора АБК-2; там она снова сосредоточивается и в дальнейшем движется с изгибом вправо. Последнее способствовало отклонению наносов влево от регулятора АБК-2.



План течения у ступенчатой дамбы АБК-2:

I - поверхностные струи; 2 - отметки дна в горизонтальных; 3 - эпюра скоростей; I-I и II-II - расчетные створы.

Следовательно, плановое течение воды на участке регулирования русла с помощью струенаправляющей дамбы происходит с переходом динамической оси потока от стенки дамбы к точке водозабора. Наибольшая глубина потока наблюдается в створе максимального прижима. Поперечный профиль русла здесь имеет треугольную форму с максимальной глубиной у стенки дамбы.

Набегающая струя у стенки испытывает некоторое торможение, кинетическая энергия преобразуется в потенциальную, что выражается в повышении уровня воды и в перекосе водной поверхности, за счет чего у стенки дамбы возникает избыточное давление. Вследствие неравномерного распределения скоростей по вертикали нарушается равенство центробежных и радиальных сил, направленных к центру, что создает поперечную циркуляцию. Циркуляция одного направления у стенки струенаправляющей дамбы на перекате преобразуется в циркуляцию противоположного направления — у стенки перед регулятором АБК-2. Поперечная циркуляция вызывает постепенное перемещение максимума скоростей к стенке. Наложение продольной скорости потока преобразует поперечную циркуляцию в винтовое движение водяных масс. При этом нисходящая струя, опускаясь по стенке дамбы и стенке перед порогом регулятора на дно и преобразуясь там по винтовому движению в восходящую струю, размывает дно и выносит продукты размыва вниз по течению и к побочню. Размыв прекращается после того, как энергия нисходящих струй, уменьшаясь по мере углубления ямы размыва, окажется недостаточной для транспорта наносов. Поступающие сверху наносы, не доходя до дна размыва, перехватываются обратным током циркуляционного течения и уносятся вниз по течению.

Для определения глубины размыва составим уравнение баланса удельной энергии нисходящей струи, исходя из следующих допущений:

1) нисходящая струя, опускаясь на дно под углом θ к горизонту воды, растекается в водной среде, как затопленная струя;

2) кинетическая энергия расходуется на преодоление сопротивления, возникающего при турбулентном перемешивании струи с окружающей средой водных масс;

3) касательное напряжение, возникшее между струей и окружающей средой, представляется аналогично сопротивлению трения шероховатой стенки;

4) во всей области затопленной струи давление одинаково.

В результате получим формулу, выражающую закон изменения скорости затопленной струи. -

$$V_e = \frac{V_e}{\sqrt{\frac{\lambda_K \cdot \ell}{H} + 1}}, \quad (1)$$

а также формулу для максимальной глубины размыва на изгибе -

$$H_p = H \left\{ 1 + \frac{\sin \theta}{\lambda_K} \left[\left(\frac{V_\theta}{V_e} \right)^2 - 1 \right] \right\}, \quad (2)$$

где $V_\theta = V_{\lambda n} \sqrt{\tan^2 \theta + 1}$ - скорость в начале нисходящей струи;

$V_{\lambda n} = V_1 / \cos \alpha$ - продольная скорость на поверхности воды;

α - угол отклонения струи в плане;

$\ell = \frac{H_p - H}{\sin \theta}$ - длина половины шага винта;

H - толщина нисходящей струи, равная глубине набегающего потока;

λ_K - коэффициент трения на раздельной поверхности;

θ - угол направления струи по вертикали;

V_e - скорость у дна на расстоянии ℓ от поверхности; принимается из условия транспорта наносов в бытовых условиях.

Для определения ширины потока на изгибе, с учетом угла отклонения струи в плане, составим уравнение количества движения (при этом распределение давлений в сечениях принимается по законам гидростатики):

$$\frac{\rho}{2} V_2 \cos \alpha - \frac{\rho}{2} V_1 = 0,5 H_1^2 B_2 - 2 H_2 B_2 \cos \alpha.$$

После преобразования для ширины потока на изгибе получим следующую формулу:

$$B_2 = \frac{7,15}{H_2^2} \left(A + \sqrt{A^2 - \frac{0,28 H_1 \rho Q^2}{g}} \right) \quad (3)$$

Здесь $A = \left(\frac{Q V_1}{g} + 0,5 H_1^2 B_1 \right) \frac{1}{\cos \alpha}$ — соответственно количество движения и импульса силы набегающего потока;

Q — расход воды;

V_1, H_1, B_1 — скорость, глубина и ширина набегающего потока;

V_2, H_2, B_2 — скорость, глубина, ширина на изгибе.

Рекомендуемые зависимости позволяют определять глубину и ширину потока на изгибе в зависимости от гидравлических элементов набегающего потока на струенаправляющую дамбу.

В дальнейших исследованиях будут уточнены значения ряда параметров, входящих в состав указанных выше зависимостей.

Л и т е р а т у р а

1. Ч у г а е в Р.Р. "Гидравлика", Л. изд-во "Энергия", 1971.
2. П а т р а ш е в А.Н. "Гидромеханика", Л., Военно-морское изд-во, 1953.
3. А б д у р а у п о в Р.Р. Переформирование русла Амударьи в нижнем бьефе регулировочных сооружений АБК-2, Труды САНИИРИ вып. 130, Ташкент, 1972.

Р.В.ТИМИРОВА

канд.техн.наук, ст. научн. сотр.

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ВОДОЗАБОРНЫХ УЗЛОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ
К ПРИМЕНЕНИЮ НА ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКАХ
РЕК

В результате анализа около 50 схем гидроузлов, построенных на предгорных участках рек, появилась возможность составить классификацию, т.е. разделить по методу борьбы с донными наносами все гидроузлы на 6 групп (табл. I). Первая группа объединяет гидроузлы, в которых борьба с донными наносами ведется путем отстаивания их в карманах-отстойниках-индийский тип водозабора; во второй группе борьба осуществляется путем отстаивания наносов в отстойниках и деления потока по глубине, т.е. забора воды из верхних осветленных слоев потока и сброса нижних, насыщенных донными наносами, через промывные галереи; в третьей группе - путем деления потока по глубине - бычковый тип водозабора; в четвертой - путем использования гидравлики обтекания потоком преграды; в пятой - при помощи поперечной циркуляции, возникающей в криволинейных карманах; и в шестой группе - путем использования поперечной циркуляции, образующейся в криволинейных руслах.

Проанализируем каждый метод борьбы с донными наносами по отдельности соответственно привязке к типу сооружения.

П е р в а я г р у п п а . Метод борьбы с донными наносами путем отстаивания их в кармане-отстойнике, как принцип, заложен в компоновку водозаборных узлов, выполненных по индийскому типу забора воды (рис. I). К таким узлам относятся Рават-Ходжинский на р.Зарафшан, Кугартский на р.Кугарт, Караспаньский на р.Арысь.

Этот метод борьбы является пассивным. Карманы-отстойники имеют относительно небольшую емкость, и при том количестве донных наносов, какое несут реки в предгорной зоне,

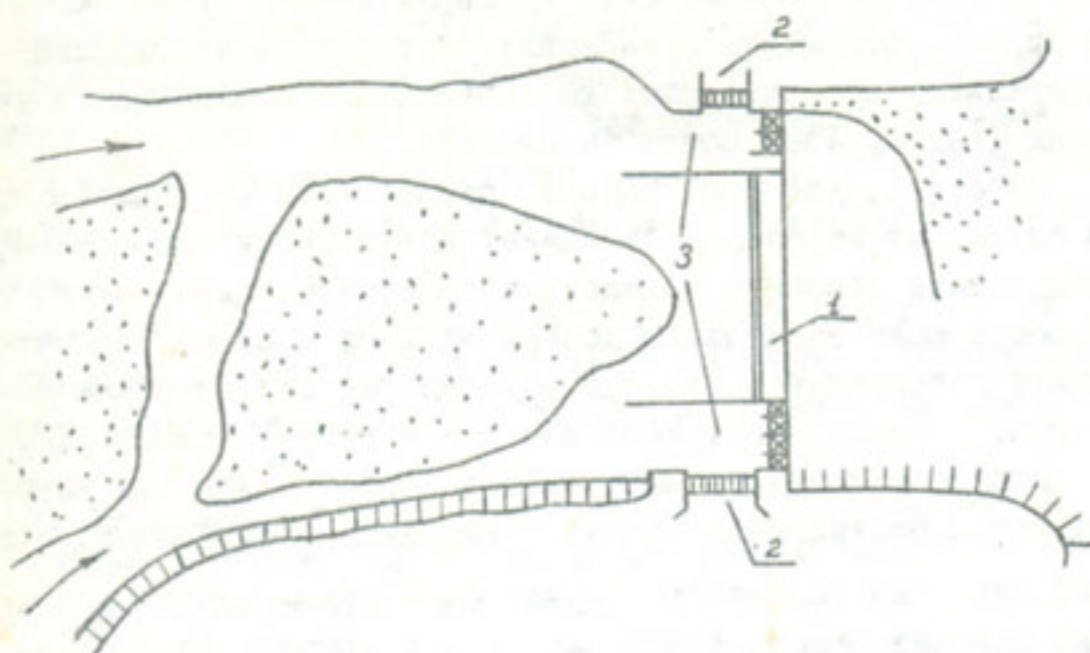
Т а б л и ц а I

Классификация водозаборных узлов на предгорных участках рек
Средней Азии

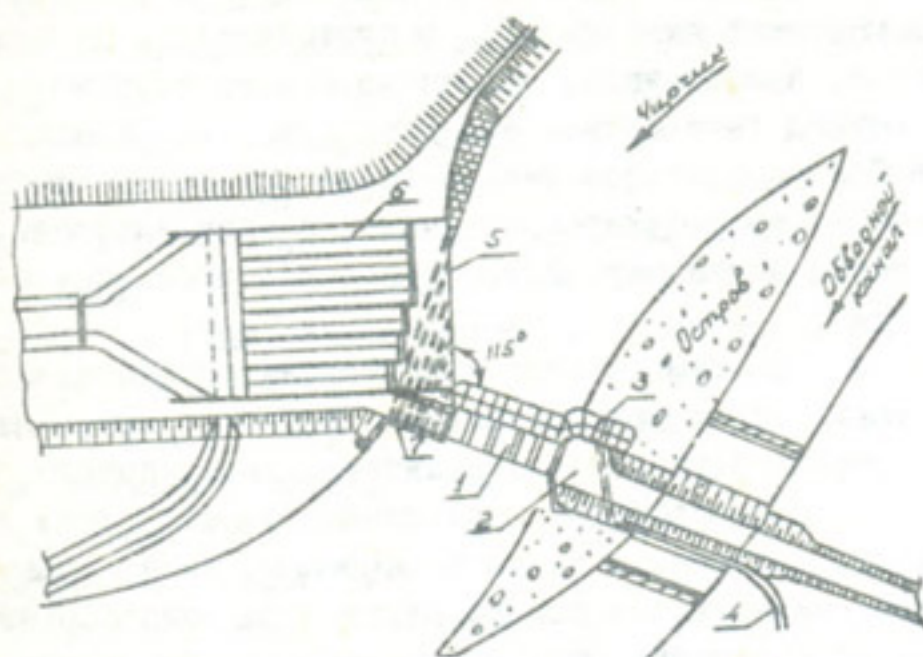
Номер : по пор.:	Тип гидроузла	Метод борьбы с донными наносами	Способ борьбы с донными наносами	Промывки обезна- ного во- дозабора
I	Индийский	Отстаивание наносов	Карманы-отстойники	15-20
II	Послойный:	Отстаивание наносов и деление потока по глу- бине		
	I. Боковой с промывными галереями		Промывные галереи и отстойники	20-30
	2. Фронтальный с промыв- ными галереями		Карманы-отстойники и промывные галереи	20-30
III	Бычковый	Деление потока по глу- бине	Криволинейное русло и промывные галереи	30-40
			Лотки, построенные в теле бычков и промыв- ные галереи	
IV	Водозаборные с наносопе- рехватывающими галереями	Исследование гидравлики обтекания преград	Наносоперехватывающие галереи	40-50
	I. Боковой			
	2. Фронтальный			

Продолжение табл. I

Но- мер по пор.	Тип гидроузла	Метод борьбы с донными наносами	Способ в борьбе с донными наносами	Проценты экономии до- ходов забора
У	Плотины с криволинейными каманами	Исследование поперечной цирку- ляции, возникающей в криволиней- ном камане	Криволинейная плотина криволинейный карман Стрельчатая плотина	30-40 30-40 30-40
У I	Ферганский	Использование поперечной цирку- ляции потока, создаваемой в криво- линейном русле	Криволинейное русло и Г-образный порог	50-60
I	С Г-образным порогом		Криволинейное суженое русло	60-70
2	С автоматическим водо- сливом		Криволинейное русло и порог-галерея	90-95
3	С порогом-галереей		Криволинейное русло- система направляющих устройств	90
4	С реактивным порогом		Криволинейное русло и обратная промывная галерея	80-90
5	С обратной промывной галереей		Криволинейное русло и наносо-перехватывающие галереи	85
6	С наносоперехватывающими галереями		Криволинейное русло и открытая галерея	80-85
7	С открытой промывной галереей		Криволинейное русло	80-85
8	С нанососоотбойной стен- кой			



Индийский тип: 1 - водосливная плотина; 2 - водозаборные каналы; 3 - карманы - отстойники.



Послойный тип: 1 - плотина;
2 - земляная плотина; 3 - водозабор ирригационного канала; 4 - ирригационный канал;
5 - промывные галереи; 6 - отстойник;
7 - затворы промывников.

Рис. I.

естественно, назначение свое не оправдывают. Кроме того, для промыва отложений в карманах-отстойниках необходимы значительные сбросные расходы, которые, к сожалению, в условиях Средней Азии почти не имеются.

Известно, что при боковом отводе воды из реки (в нашем случае из кармана-отстойника) возникает изгиб потока, в результате которого появляется поперечная циркуляция, способствующая завлечению донных наносов в отвод. Исследованиями установлено, что при водозаборе, составляющем более 20%, в каналы поступают почти все речные наносы [1].

В силу указанного выше, метод борьбы с донными наносами путем отстаивания потока в карманах-отстойниках, т.е.

индийский тип водозабора, может быть рекомендован для условий широких бьефов (не более B_y); некрупных наносов -

$d_{max} = 10-50$ мм; водозабора, не превышающего 20%; при наличии больших сбросных расходов воды, т.е. когда есть возможность производить регулярные промывки верхнего бьефа сооружения и карманов-отстойников.

В т о р а я г р у п п а . Метод борьбы с донными наносами путем отстаивания потоков в отстойниках и деления их по глубине, как принцип, заложен в основу компоновки Средне-Изарского типа и типа Эльсдена (рис. I). Разница в том, что в Средне-Изарском типе деление потока по глубине производится перед регулятором канала, в типе Эльсдена - перед плотиной, путем устройства в порогах промывных галерей.

Борьба с наносами в этих компоновках осуществляется двумя ступенями. В первой происходит борьба с крупными наносами, которая осуществляется путем деления потока по глубине, т.е. забора верхних осветленных слоев потока и сброса нижних, насыщенных донными наносами, через промывные галереи, заложенные в пороге регулятора водозаборного канала (Средне-Изарский тип) или в пороге регулятора сброса (тип Эльсдена).

Во второй ступени идет борьба с мелкими наносами путем отстаивания наносов в отстойниках, расположенных перед регуляторами водозаборных каналов.

Для успешной борьбы с донными наносами в первой ступени необходимо, чтобы подход потока к сооружению всегда был благоприятным, т.е. нормальным к фронту расположения промытых галерей. В противном случае через одни промывные галереи будет сбрасываться чистая вода, а другие будут забиваться наносами. Основные недостатки в работе промывных галерей:

1. Сброс расходов воды через промывные галереи вызывает сбойные течения в нижнем бьефе сооружения и отложение наносов, подпирающих сбросные отверстия со стороны нижнего бьефа;

2. Промывные галереи, посредством которых осуществляется борьба с донными наносами, представляют собой закрытые устройства, трудно доступные осмотру;

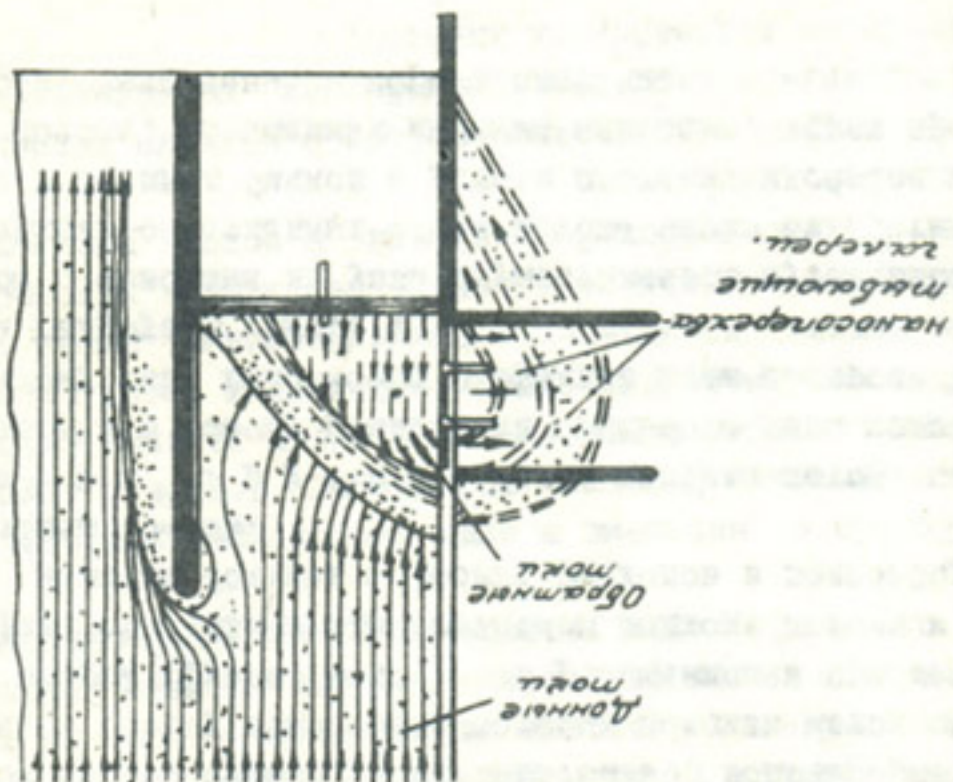
3. С увеличением процента отбора воды толщина слоя потока, отбираемая в водозаборный канал, также будет увеличиваться. И когда эта толща окажется ниже порога водоприемника, структура потока перед промывными галереями нарушится — возникает явление взмучивания, и донные наносы во взвешенном состоянии будут поступать в водозаборные каналы.

Метод борьбы с донными наносами путем отстаивания потока и деления его по высоте более эффективен, чем предыдущий. Этот способ борьбы, а следовательно, водозаборные сооружения, в основу компоновки которых положен метод, описанный во второй группе, может быть рекомендован при нешироких бьефах, стабильном благоприятном подходе потока к сооружению, наличии больших сбросных расходов в водозаборе, не превышающем 30–40%.

Третья группа. Метод деления потока по глубине заложен в основу компоновки бычкового типа водозабора. По этому типу водозабора в Средней Азии построен Тешикташский гидроузел (рис.2).

Борьба с наносами на узле осуществляется путем забора воды из верхних осветленных слоев потока через отверстия, устроенные в стенках бычков и устоев плотин, и сброса нижних слоев потока, насыщенных донными наносами, через промывные галереи, заложенные в пороге плотины.

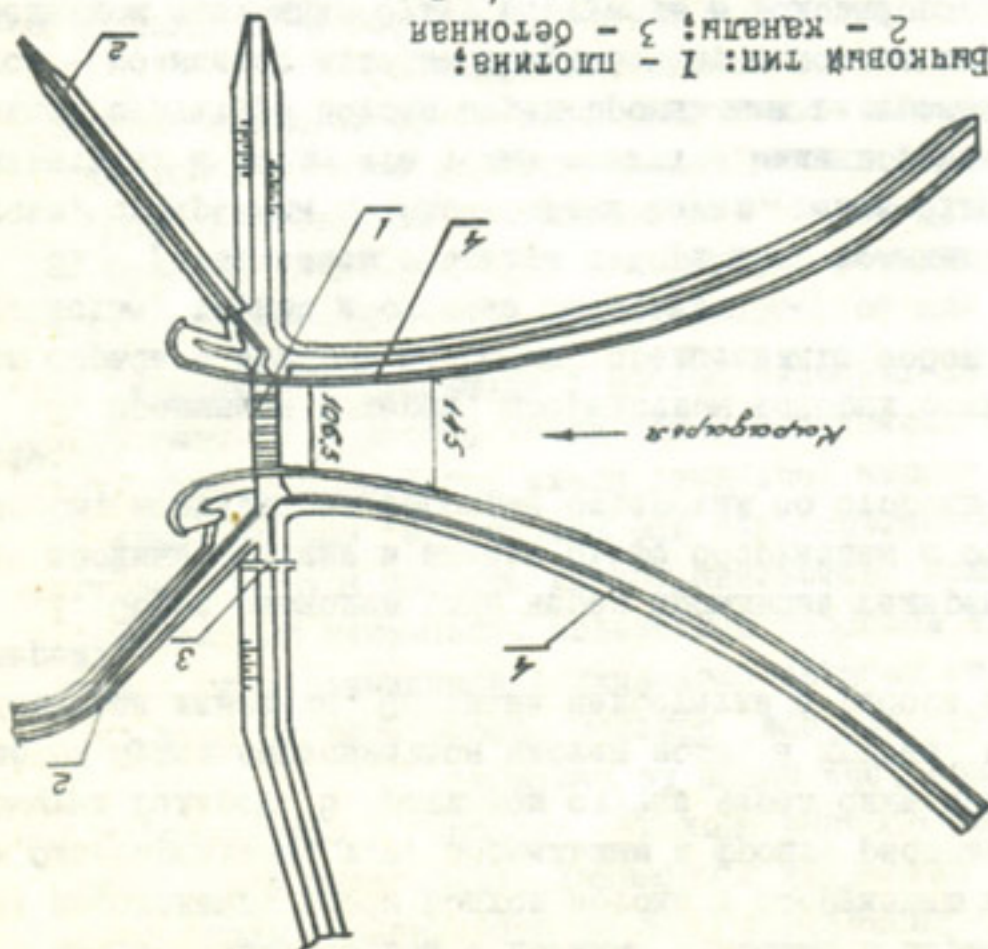
С наконечниками в виде лопастей.



4 - ступенчатая лопастная труба

труба по лопастям $d = 100$

Выходной тип: 1 - плотина; 2 - канал; 3 - бетонная



При бычковом водозаборе необходимо поддерживать перед плотинной постоянный горизонт воды, обеспечивающий забор ее в отводы. Верхний предел величины водозаборного отверстия лимитируется положением горизонтов воды в верхнем бьефе; нижний предел — условием сохранения при боковом отводе структуры потока в пролете плотины.

Подъем горизонтов воды перед плотинной будет способствовать увеличению водозабора. Но при этом поднимается высота плотины и верхний бьеф будет работать как отстойник, который заносится в короткие сроки и, соответственно, требует частой промывки. Снижение порога водозаборного отверстия ведет к тому, что большая часть речных наносов забрасывается в отводы, а не проносится в нижний бьеф, как это предусмотрено при составлении компоновки бычкового водозабора.

Таким образом, метод борьбы с донными наносами путем деления потока по глубине, т.е. бычковый тип водозабора может применяться в условиях широких бьефов (не более B_y) и при относительно небольших процентах заборов воды в каналы (30–40%).

Ч е т в е р т а я г р у п п а . Метод борьбы путем использования гидравлики обтекания потоком преграды положен в основу компоновок послойно-решетчатого водозабора и водозабора с наносоперехватывающими галереями. Подобные компоновки разработаны в ГрузНИИГИМе.

Послойно-решетчатый способ забора воды осуществляется при помощи затопливаемых перегораживающих сооружений на бычках; в пролетах его имеются водозаборные отверстия, закрытые решетками для задержания донных наносов. Место расположения решеток в пролетах сооружения подбирается из условия гидравлики обтекания потоком бычков.

Этот метод борьбы с донными наносами, а следовательно, послойно-решетчатый водозабор приемлем в основном для горных участков с широкой поймой, где преобладают крупные наносы и процент отбора воды из реки незначительный.

Так послойно-решетчатые сооружения построены на горных реках Боруле и Квириле.

Водозабор с наносоперехватывающими галереями представляет собой боковой забор воды плотинного типа с входным

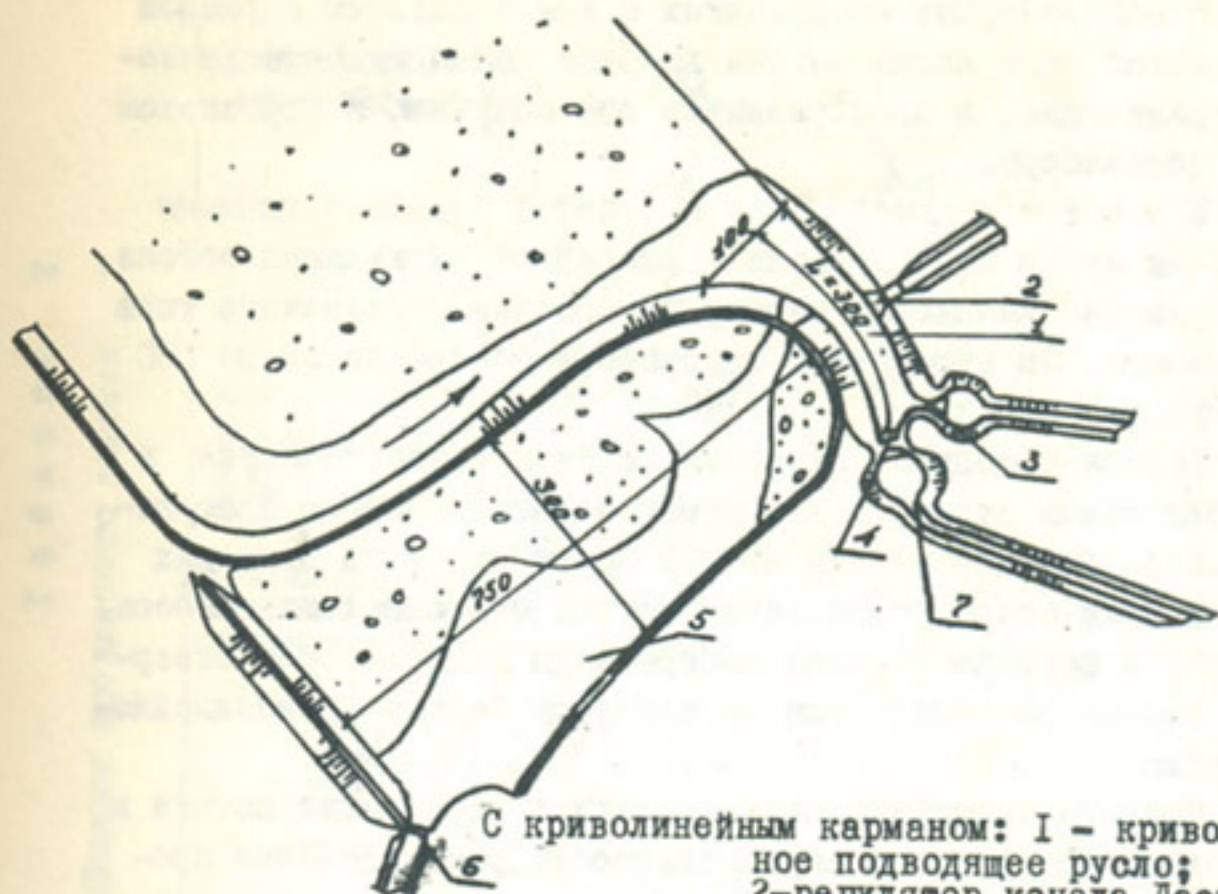
порогом, выше которого, в зоне наименьшего давления и наибольшей кривизны потока, в месте концентрации донных наносов, устраивается основная (рабочая) наносоперехватывающая галерея. Рядом с ней под входным порогом водоприемника располагается вторая донная галерея для промыва наносов, отложившихся перед входным порогом (рис.2). Как и во второй и третьей группах, сброс наносов в водозаборных сооружениях с наносоперехватывающими галереями осуществляется через закрытые устройства, трудно доступные осмотру и ремонту.

Метод борьбы с донными наносами при помощи циркуляции, создаваемой натеканием потока на преграду, эффективен. Водозаборные сооружения с наносоперехватывающими галереями, в основу компоновки которых положен указанный выше метод, могут применяться на предгорных участках рек с обильными донными наносами, не крупными по величине ($d < 300$ мм) при наличии возможности сброса значительных расходов воды и при водозаборе, не превышающем 40-50%.

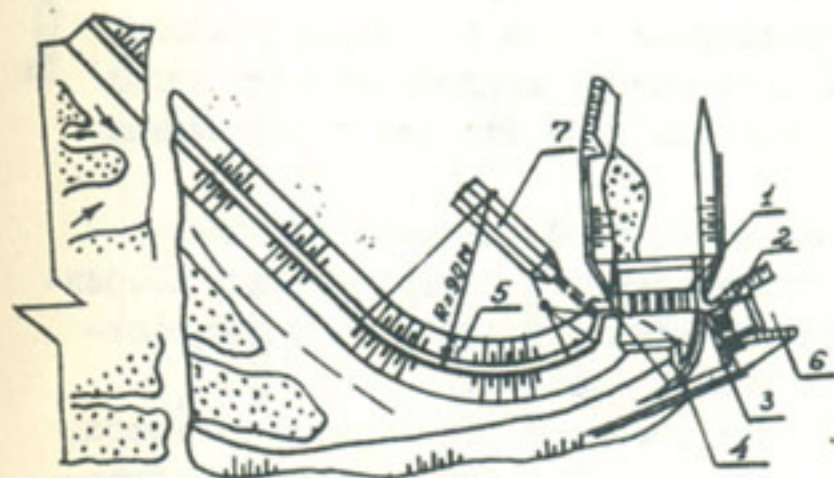
Пятая группа. Метод борьбы с донными наносами путем использования поперечной циркуляции потока в криволинейном кармане. По такому принципу на предгорных участках рек Средней Азии построены гидроузлы: Бешалынский на р.Исфайрамсае, Куйганярский на р.Карадарье, Кокандский на р.Сох, Ходжабакирганский на р.Ходжабакирган и Акдарьинский на р.Зарафшан (рис.3).

Борьба с наносами на этих узлах осуществляется в криволинейных карманах, создаваемых сочетанием берега и плотин криволинейных очертаний в плане.

Стандартных расчетов криволинейных карманов на сегодняшний день не имеется, параметры назначаются конструктивно, без учета создания полезной поперечной циркуляции потока для борьбы с донными наносами. Поэтому борьба с донными наносами в криволинейных карманах малоэффективна и, как правило, в задачу водозаборных узлов в этих случаях входит вторая ступень борьбы с донными наносами (отстойники, песколовки и т.п.).



С криволинейным карманом: 1 — криволинейное подводящее русло; 2—регулятор канала Дасторхон; 3—регулятор левобережного канала; 4—регулятор сброса; 5—отстойник; 6—регулятор правобережного канала; 7—лирообразный нижний бьеф.



Ферганский тип: 1—плотина; 2—регулятор правобережного канала; 3—то же левобережного; 4—криволинейный порог Г-образного профиля; 5—струенаправляющая дамба; 6—вход в отстойник правобережного канала; 7—левобережный канал.

Рис.3.

В водозаборных сооружениях с криволинейным карманом поперечная циркуляция потока впервые нашла гидротехническое применение, а свое развитие она получила в ферганском типе водозабора.

Ш е с т а я г р у п п а . Метод борьбы с донными наносами путем использования поперечной циркуляции потока, как принцип, заложен в основу компоновки ферганского типа водозабора. По этому типу водозабора построено около 30 гидроузлов (рис.3).

Борьба с донными наносами на узле осуществляется в криволинейном русле, у вогнутого берега которого благодаря поперечной циркуляции потока почти при всех расходах воды в реке сосредоточивается поток, свободный от наносов. Поэтому в ферганском типе забора воды водозаборное отверстие всегда располагается на вогнутом берегу криволинейного русла.

Причина возникновения поперечной циркуляции потока в криволинейном русле — неравномерность распределения продольных скоростей по глубине потока, вызывающая различие в центробежных силах инерции у поверхности и у дна потока. Поверхностные струи потока с максимальной скоростью, а следовательно, и с наибольшими центробежными силами инерции, набегая на вогнутый берег, создают повышенные уровни и теснят донные с влекомыми ими наносами к противоположному выпуклому берегу.

В результате анализа методов борьбы с донными наносами и исследования водозаборных узлов в полевых условиях выявилась возможность дать оценку каждому из этих типов узлов и рекомендовать тот или иной тип для определенных условий.

В целях облегчения выбора той или иной компоновки нами предлагается, в зависимости от индивидуальных особенностей, предгорный участок реки разделить на 3 подучастка: верхний, средний и нижний (табл.2).

Для верхне-предгорных участков рек характерно (табл. 2) наличие крупных камней $d = 300-500$ мм, большое насыщение потока наносами, относительно неширокая пойма и от-

Гидротехническая классификация предгорного участка

Наименование участка рек предгорной зоны	Характер протекания потока	Уклон	Параметр уклона продольного профиля (‰)	Параметр уклона поперечного профиля (А)	Параметр кривизны (r)	$\frac{d_{max}}{d_{min}}$	В пойма русла	Насыщение потока наносами, г/м	$\frac{d_{max}}{d_{cp}}$	Диаметр наносов, мм	Коэффициент водозабора, ‰
Верхний	Поток на выходе из ущелья	0,03-0,01	6,5	0,9	0,4-1,0	21-150	1,5-2,0	2,0-3,5	0,3-0,5	100-150	60
Средний	растекает-ся по широкой пойме, образуя отдельные рукава	0,01-0,005	6,0	0	0,3-0,6	30-300	2,0-4,0	2,0-1,5	0,15-0,3	50-100	80
Нижний	Русло сложено из гальки, гравия и песка	до 0,001	5,5		0,10-0,5	>300	>10	1,5-0,8	0,06-0,15	10-50	100

бор воды, не превышающий 60%. Для этих условий рек рекомендуются водозаборные узлы, относящиеся к 4 и 6 группам, т.е. узлы бычкового и ферганского типов водозабора.

На средне-предгорном участке диаметр наносов, движущихся в потоке, снижается до 100–300 мм, уклоны русла уменьшаются до 0,005, пойма реки широкая, отбор воды достигает 80% (табл.2). В этих условиях могут эффективно осуществлять борьбу с донными наносами водозаборные сооружения, относящиеся ко 2 и 6 группам, т.е. водозаборные узлы послонного и ферганского типа водозабора.

Для нижне-предгорных участков характерны (табл.2) не-крупные наносы $d < 100$ мм, небольшие уклоны в пределах 0,005–0,001. Вода почти полностью разбирается на орошение. Для этих участков рекомендуются водозаборные сооружения, относящиеся к 3 и 6 группам, т.е. водозаборные сооружения с наносоперехватывающими галереями, а также ферганского типа.

Водозаборные сооружения, относящиеся к I группе, к применению на предгорных участках рек не рекомендуются.

Из изложенного выше следует, что сооружения ферганского типа водозабора рекомендуются для широкого диапазона речного участка. В настоящее время разработаны и построены гидроузлы ферганского типа для самых различных условий. Опыт эксплуатации этих сооружений показал, что борьба с донными наносами на этих узлах осуществляется довольно успешно.

Преимущество ферганского типа водозабора перед другими типами заключается в том, что борьба с донными наносами в данном случае осуществляется при помощи эффективного метода – поперечной циркуляции потока. Конструкции сооружений просты, надежны в эксплуатации и легко доступны осмотру и ремонту (криволинейное подводящее русло и порог водоприемника).

Кроме того, в ферганскую схему водозабора, по мере необходимости обусловленной гидрологическими и местными условиями участка реки в створе намечаемого гидроузла условиями водозабора и по технико-экономическим показате-

лям, вводились дополнительные элементы (автоматический водослив, наносостойкая стенка, обратная галерея, реактивный порог, открытая галерея и т.п.), благодаря которым этот тип водозабора может получить широкий диапазон применения. Коэффициент безнаосного водозабора при открытых конструкциях не превышает 0,75–0,80, а при закрытых достигает 0,95–0,97.

Успешная борьба с донными наносами на гидроузлах ферганского типа позволяет считать эту компоновку рациональной и рекомендовать ее к применению.

Л и т е р а т у р а

1. П о т а п о в М.В. Поперечная циркуляция в открытом потоке и ее гидротехническое применение, Сельхозгиз, М., 1936.
2. Ешманов О.Л. Инерционная циркуляция в водоприемниках и деривационных сооружениях ГЭС, Госэнергоиздат, М., Л., 1956.
3. А л т у н и я С.Т. Регулирование русел рек при водозаборе. Госиздат сельскохозяйственной литературы, М., 1950.

лям, вводились дополнительные элементы (автоматический водослив, наносостойкая стенка, обратная галерея, реактивный порог, открытая галерея и т.п.), благодаря которым этот тип водозабора может получить широкий диапазон применения. Коэффициент безнасосного водозабора при открытых конструкциях не превышает 0,75–0,80, а при закрытых достигает 0,95–0,97.

Успешная борьба с донными наносами на гидроузлах ферганского типа позволяет считать эту компоновку рациональной и рекомендовать ее к применению.

Л и т е р а т у р а

1. П о т а п о в М.В. Поперечная циркуляция в открытом потоке и ее гидротехническое применение, Сельхозгиз, М., 1936.
2. Кашманов О.Л. Инерционная циркуляция в водоприемниках и деривационных сооружениях ГЭС, Госэнергоиздат, М., Л., 1956.
3. А л т у н и я С.Т. Регулирование русел рек при водозаборе. Госиздат сельскохозяйственной литературы, М., 1950.

В.А.СКРЫЛЬНИКОВ
канд.техн. наук, ст. научн. сотр.
(САНИИРИ)

О НЕКОТОРЫХ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДАХ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ МАСШТАБНЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ МОДЕЛЕЙ МЕЛКОПЕСЧАНЫХ РУСЛ

Вопросы прогноза руслового процесса, разработка рациональных компоновок гидроузлов, исследование мероприятий по регулированию русла и целый ряд других практических задач, связанных с проектированием и строительством гидротехнических сооружений в условиях русел рек с мелкопесчаными наносами, решаются на размываемых русловых моделях с искажением вертикального масштаба. Большое многообразие методов, дающих для одних и тех же моделируемых условий различное искажение масштабов, затрудняет выбор наиболее надежной методики моделирования. Для вскрытия причин расхождений в результатах расчетов по существующим методам, рассмотрим три основных масштабных множителя модели:

1) α_b — поперечный, равный отношению ширины натурального русла к ширине модельного, т.е. $\alpha_b = \frac{B}{b}$;

2) α_L — продольный, равный отношению натурной длины участка русла, на которой падение горизонта воды равно глубине потока, к модельной;

3) α_h — масштаб глубин, равный отношению натурной глубины потока к модельной.

Масштабы расхода воды, скорости, времени и др., зависящие от основных, почти во всех методах определяются однотипно и рассматриваться в статье не будут.

Существующие приемы искаженного моделирования по характеру используемых формул для получения связи основных масштабных множителей условно можно разделить на две группы:

I. Методы, основанные на использовании морфометрических связей между шириной и глубиной русла (или расходом во-

ды) и устанавливающие связь поперечного масштаба с вертикальным;

2. Методы, основанные на применении критериев подвижности наносов, формул расхода наносов, Шези и т.п. и устанавливающие связь продольного масштаба с вертикальным.

К первой группе методов относятся предложения М.А.Великанова [1,2], С.Т.Алтунина [3], В.С.Лапшенкова [4,5], Г.А.Цой [6], М.А.Мосткова [21], Р.Р.Абдураупова [22] и др; ко второй – предложения И.И.Леви [7], И.В.Егiazарова [8,9], И.Я.Орлова [10], Н.А.Ржаницина [11], В.М.Маккавеева [12,13], Н.Н.Суровой [15], В.С.Алтунина [16] и др.

Разделение методов по характерным признакам позволяет утверждать, что каждая из групп устанавливает связь отличающихся друг от друга масштабных множителей α_p и α_v с вертикальным масштабом. Этим следует объяснить то значительное расхождение в значениях масштабных множителей, а, соответственно, и различное искажение масштабов, отмечающееся для существующих методов, так как продольный масштаб α_p совпадает с поперечным α_v лишь в некоторых частных случаях.

Авторы существующих методов полагают, что предложенные ими формулы выражают связь планового масштаба с вертикальным. Принимается без каких-либо обоснований, что поперечный масштаб равен продольному. Отсюда при определении масштаба уклона в методах первой группы используется выражение $\alpha_i = \frac{\alpha_p}{\alpha_v}$ где α_p – плановый масштаб. По нашему мнению, для определения масштаба уклона следует пользоваться выражением $\alpha_i = \frac{\alpha_p}{\alpha_v}$, где α_v – продольный масштаб. Действительно, уклон $i = \frac{H}{L}$ (отсюда и получается $\alpha_i = \frac{\alpha_p}{\alpha_v}$). Если пользоваться выражением $\alpha_i = \frac{\alpha_p}{\alpha_v}$, то для определения уклона следует написать $i = \frac{H}{B}$. Некоторые авторы предлагают также выражение $i = \frac{\Delta H}{B}$. Из написанных выше выражений можно составить следующее равенство:

$$\frac{H}{L} = \frac{H}{B} = \frac{\Delta H}{B}$$

Но такого равенства не должно быть, так как $L \neq B$, $H \neq \Delta H$. Поэтому для уклона необходимо использовать только одно выражение $i = \frac{H}{L}$ или для масштаба уклона $\alpha_i = \frac{\alpha_h}{\alpha_l}$

В частном случае при $L=B$, $\alpha_l = \alpha_b$ и значение

$$\alpha_i = \frac{\alpha_h}{\alpha_b} = \frac{\alpha_h}{\alpha_b}$$

Первая группа методов

М.А. В е л и к а н о в [1,2] из морфометрических связей в начале предлагал следующее соотношение поперечного и вертикального масштабов:

$$\alpha_h = \alpha_b^{3/5} \alpha_d^{1/5} \quad (1)$$

где α_d - масштаб крупности наносов;

α_b - поперечный масштаб модели.

После уточнения показателей степени в морфометрических связях им предложены следующие соотношения

$$\alpha_b = \frac{\alpha_a^{10/33}}{\alpha_{p'}^{8/33} \alpha_d^{7/33}} \quad (2)$$

$$\alpha_h = \frac{\alpha_a^{14/33}}{\alpha_{p'}^{7/33} \alpha_d^{2/33}} \quad (3)$$

Здесь $\alpha_{p'}$ - масштаб плотности наносов.

Решая (2) и (3) относительно α_a , после некоторых преобразований можно получить соотношение

$$\alpha_h = \alpha_b^{7/8} \alpha_d^{1/8} \quad (4)$$

При $\alpha_d = 1$ из (1) $\alpha_h = \alpha_b^{3/5}$; из (4) $\alpha_h = \alpha_b^{7/8}$. Показатель степени $7/8 = 0,875$ отвечает условиям рек только горно-предгорной зоны.

С. Т. А л т у н и н [3] предлагает взаимосвязь основных масштабных множителей (поперечного и вертикального) в виде

$$\alpha_h = \alpha_b^m \quad (5)$$

где m – переменный показатель степени, изменяющийся в очень широких пределах $(0,5 \div 1)$.

Для р.Амударьи $m = 0,5 \div 0,65$; Сырдарьи $m = 0,7 \div 0,75$.

В.С. Лапшенков в [4] по результатам опытов для натурального Сырдарьинского песка и числу Фруда $Fz = 0,074 = const$, отвечающему условиям Сырдарьи в паводковый период (при расходах 6, 12, 24 и 48 л/сек), получил эмпирические связи:

$$B = 8,6 Q^{0,47}, \quad (6)$$

$$H = 0,262 Q^{0,35}. \quad (7)$$

Лабораторная морфометрия в виде (6) и (7) позволила Лапшенкову получить взаимосвязь поперечного и вертикального масштабов в виде

$$\alpha_h = \alpha_b^{3/4} = \alpha_b^{0,75}. \quad (8)$$

Выражение (8), как частный случай, подтверждает метод Алтунина, который, как указывалось выше, рекомендует для р.Сырдарьи $m = 0,75$.

В качестве теоретического подтверждения выражения (8) В.С.Лапшенков приводит следующий вывод. Для параметра кинетичности можно записать $Fz = \frac{C^2 H J}{g H} = \frac{C^2 J}{g}$.

Так как $Fz = idem$, то $\alpha_c^2 = \frac{1}{\alpha_h} = \frac{\alpha_e}{\alpha_h}$.

Из выражения $C = \frac{1}{n} H^y$ имеем $\alpha_c^2 = \frac{\alpha_h^{2y}}{\alpha_n^2}$. Далее принимается необоснованное допущение: "Если материал русла на модели и в натуре одинаков, то формально одинаков и коэффициент шероховатости", т.е. $\alpha_n = 1$. Отсюда, при $y = \frac{1}{6}$

$$\alpha_h = \alpha_c^{3/4} \quad (8-a)$$

По нашему мнению, выражение (8a) не является теоретическим выводом зависимости (8).

В выражениях (8) и (8-a) представлена взаимосвязь отличных друг от друга поперечного и продольного масштабов с вертикальным. Из этих связей следует весьма важный вывод:

если два отличных друг от друга масштабных множителя определяются по однотипной зависимости, то они равны друг другу. Таким образом, на модели, где коэффициент шероховатости равен натурному значению и $\alpha_h = 1$, по выражению (8) или (8-а) определяется плановый масштаб модели. В общем случае $\alpha_h \neq 1$.

Г.А. Ц о й [7], принимая за основу второй вариант морфометрических зависимостей М.А.Великанова [1,2] и показатель степени в этих формулах по данным Х.А.Исмагилова [14] равный $\beta = 0,5$ для нижнего и среднего течения р.Амударьи, получил следующую взаимосвязь вертикального масштаба с поперечным:

$$\alpha_h = \alpha_b^{2/3} \alpha_d^{1/3} \alpha_\delta^{1/3}, \quad (9)$$

где α_d - масштаб крупности наносов.

α_δ - масштаб относительного удельного веса наносов.

При условии $\alpha_d = 1$ и $\alpha_\delta = 1$, взаимосвязь представляется в виде $\alpha_h = \alpha_b^{2/3}$. (9-а)

М. А. М о с т к о в [21] для вывода расчетных формул использует морфометрические зависимости русла предельного (статического) равновесия. В работе [21] приводится пример расчета модели по предложенному им методу, где численное значение поперечного масштаба составляет $\alpha_b = 408$, а вертикального $\alpha_h = 836$. Иными словами, вертикальный масштаб превышает поперечный почти в 2 раза, что противоречит всем существующим методам.

Р.Р. А б д у р а у п о в [22] на песчаной модели с поперечным масштабом $\alpha_b = 500$ и размеров наносов $d = 0,34$ мм провел методические опыты при различных расходах воды. На модели для участка р.Амударьи в районе Амубухарского канала по графику связи $Q = f(B)$ принималась ширина русла для определенных расходов воды и уменьшалась в соответствии с принятым масштабом. При сохранении принятой ширины и отвечающего ей расхода воды постоянными отыскивались остальные элементы русла для различных насыщений потока наносами и составлялись графики $q = f(F_2, \rho)$, $q = f(h, \rho)$, $\rho = f(F_2, h)$.

Для натурального числа Фруда, отвечающего определенному расходу воды, из графика $q = f(F_2, \rho)$ отыскивается модельный расход воды при определенном значении ρ . При известном модельном расходе будет известен масштаб расхода воды

$\alpha_q = \frac{Q_m}{Q_n}$. По нему нетрудно определить значение вертикального масштаба из выражения $\alpha_q = \alpha_\rho \alpha_h^{1.5}$. Для выбранного α_h из графика $q = f(F_2, \rho)$ при известных F_2 и q подбирается ρ и строится график связи $\rho = f(q)$.

К недостаткам метода следует отнести формирование русла постоянной ширины для одного расхода воды при различных насыщениях потока наносами.

Вторая группа методов

И.И. Л е в и [7] предлагает следующую взаимосвязь основных масштабных множителей:

$$\alpha_h = \sqrt{\alpha_\rho} \cdot \sqrt{\alpha_{\rho'}} = \frac{\sqrt{\alpha_\rho}}{\alpha_d} \quad (10)$$

где $\alpha_{\rho'}$ — масштаб плотности наносов.

Из выражения (10) при $\alpha_d = 1$, $\alpha_{\rho'} = 1$ для соотношения масштабов можно записать выражение $\alpha_h = \sqrt{\alpha_\rho}$.

И.Я. О р л о в [10], основываясь на выражении критерия подвижности наносов в виде

$$\varphi = \frac{HJ}{d(\sigma-1)} \quad (11)$$

где d — крупность наносов;

$(\sigma-1)$ — их относительный удельный вес;

J — уклон,

предлагает следующее соотношение масштабов:

$$\alpha_h = \sqrt{\alpha_\rho \cdot \alpha_d \cdot \alpha_{(\sigma-1)}} \quad (12)$$

При применении на модели натурального песка ($\alpha_d = 1$, $\alpha_{\sigma-1} = 1$) искажение масштабов из (12) будет таким же, как по выражению (10). Большое искажение, которое может быть в этом случае, вызовет плановую неустойчивость потока, что потребует закрепления берегов модели или применения заменителей натурального песка.

Н.А. Р ж а н и ц и н [II], используя критерий подвижности наносов в виде равенства (II), получает соотношение

$$\alpha_d \cdot \alpha_{p'} = \frac{\alpha_h^2}{\alpha_e} \quad (I3)$$

Далее из формулы Шези при условии тождественности параметра кинетичности в натуре и на модели можно записать

$\alpha_c \cdot \alpha_i^{0,5} = 1$. Используя это выражение он получил соотношение

$$\alpha_c = \left(\frac{\alpha_e}{\alpha_h} \right)^{1/2} \quad (I4)$$

Принимая формулы $C = \frac{1}{n} H^{1/6}$ и $\tau = \kappa D^{1/6}$ из (I4) Ржаницин получил взаимосвязь продольного масштаба с вертикальным в виде

$$\alpha_d = \frac{\alpha_h^4}{\alpha_e^3} \quad (I5)$$

При $\alpha_d = 1$ из (I5) имеем $\alpha_h = \alpha_e^{3/4}$ (I6)
Принятое условие $\alpha_d = 1$ ($D_H = D_M$) равнозначно принятию из формулы $\tau = \kappa D^{1/6}$ условия $\tau_H = \tau_M$ ($\alpha_\tau = 1$). Такое допущение сделано и в методе В.С. Лапшенкова, только поэтому (I6) аналогично выражению (8).

Далее в работе [II] приведено совместное решение выражений (I3) и (I5) и рекомендуется взаимосвязь вида

$$\alpha_{p'} = \frac{\alpha_e^2}{\alpha_h^2} \quad (I7)$$

По нашему мнению, выражения (I3) и (I5) отражают различные условия руслового процесса, и совместное их решение придает частный характер выражению (I7).

Действительно, если на модели использовать натуральный песок, то из (I3) соотношение масштабов будет определяться равенством

$$\alpha_h = \sqrt{\alpha_e}$$

Из выражения (I5) при этом условии получается уже иное соотношение — в виде (I6).

В.М. М а к к а в е е в [I2] предлагает связь вертикального масштаба с продольным:

$$\alpha_h = \alpha_e^{3/4} \alpha_d^{1/4} \quad (I8)$$

При условии $\alpha_j = 1$ соотношение (18) переписывается в виде формулы (8) или (16).

Н.Н. С у р о в а [15] предложила методику исследования мелкопесчаных русл проводить на модели, где в качестве наносов применяются кальцинированные опилки. Эта методика основывается на связи (5), по которой определяется соотношение основных масштабов модели.

Далее рекомендуется выражение Шези в масштабных множителях:

$$\alpha_v = \alpha_c \sqrt{\alpha_h \alpha_i} \quad (19)$$

Для определения α_c и α_i рекомендуется проводить методические опыты, в которых насыщение потока принимается таким, чтобы значение α_i оставалось постоянным при пропуске любых расходов воды. В опытах Суровой для р.Амударьи на участке Чатлы-Лавак при масштабах $\alpha_b = 500$ и $\alpha_h = 50$ получено $\alpha_i = 0,2$; $\alpha_c = 3,5$.

В связи с тем, что $\alpha_c \cdot \alpha_i^{0,5} \neq 1$, числа Фруда на модели и в натуре не совпадают. Масштаб уклона, численно равный $\alpha_i = \frac{\alpha_h}{\alpha_c} = 0,2$, указывает на то, что продольный масштаб на такой модели не равен поперечному ($\alpha_b = 500$) и численно равен (при $\alpha_h = 50$) $\alpha_c = 250$ (чтобы выдержать соотношение $\alpha_i = \frac{\alpha_h}{\alpha_c} = 0,2$). Отметим, что несоблюдение условия тождественности параметра кинетичности крайне ограничивает круг вопросов, подлежащих к исследованию на модели, рассчитанной по описанной выше методике.

В.С. А л т у н и н [16], используя зависимость, полученную им для средней скорости потока, а также критерий подвижки в виде (II) после замены $J = \frac{\Delta h}{\ell}$ имеет соотношение

$$\frac{M_b^{0,5}}{M_h^{1,5-x}} = \frac{1}{M_d^{1-x} \cdot M_{b-1}} \quad (20)$$

Отметим, что в выражении (20) без обоснования принято условие $M_b = M_c$

Далее совместным решением формулы средней скорости, записанной для Фруда, и выражения уклона из (II) получена связь

$$M_d = \frac{M_h}{M_{\frac{0.5}{0.5-x}}^{\frac{0.5}{\sigma-1}}} \quad (21)$$

Совместным решением (20) и (21) получено следующее соотношение:

$$M_b = M_e = M_h M_{\frac{x}{0.5-x}}^{\frac{x}{\sigma-1}} \quad (22)$$

Из рассмотрения зависимости (22) в работе [16] делается вывод, что при применении на модели материала наносов с натурным удельным весом требуется геометрическое моделирование. Но такое условие возможно только для горных участков рек, что известно из многолетней практики. Если же моделировать участки русл с мелкопесчаными наносами, то вывод, вытекающий из выражения (22), противоречит всем выводам, вытекающим из существующих методов.

Разрешая (20) относительно M_h , мы получим совершенно иное соотношение:

$$M_h = M_b^{\frac{0.5}{1.5-x}} M_d^{\frac{1-x}{1.5-x}} M_{\frac{1}{\sigma-1}}^{\frac{1}{1.5-x}} \quad (23)$$

из которого следует, что при использовании на модели натурального песка ($M_d^{\frac{1-x}{1.5-x}} \cdot M_{\frac{1}{\sigma-1}}^{\frac{1}{1.5-x}} = 1$) необходимо применять искажение в виде

$$M_h = M_b^{\frac{0.5}{1.5-x}} \quad (24)$$

Следовательно, наименьшее искажение масштабов из (24) получается при наибольшем значении $X = 0,5$. Показатель степени при этом принимает значение $m = \frac{0.5}{1} = 0,5$. В ранее упомянутых методах С.Т.Алтунина, И.Я.Орлова при $m = 0,5$ (наименьшее значение показателя степени для условий р.Амударьи) наблюдается максимальное (30-кратное) искажение масштабов. Если же использовать значения $X < 0,5$, то $m < 0,5$. Например, при $X = 0,3$ показатель степени $m = 0,416$.

Л и т е р а т у р а

1. В е л и к а н о в М.А. Динамика русловых потоков, М., 1955.
2. В е л и к а н о в М.А. Морфометрия равнинных рек, как основа моделирования руслового процесса, Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т.У, Л., 1960.
3. А л т у н и н С.Т. Моделирование размываемых русел и речных сооружений. В сб. "Русловые процессы", М., изд-во АН СССР, 1958.
4. Л а п ш е н к о в В.С., Д у б и н ч и к Е.И. Опыт моделирования русловых деформаций на р.Сырдарье у Чардаринского гидроузла, "Вопросы гидротехники", вып. 13, Ташкент, 1963.
5. Л а п ш е н к о в В. С. Основные положения методики моделирования русловых процессов в песчаных руслах. Труды САНИИРИ, вып. 120, Ташкент, 1970.
6. Ц о й Г.А. Уточнение методики моделирования русловых процессов применительно к условиям среднего и нижнего течения Амударьи. Известия АН УзССР, серия техн.наук, № 6, 1968.
7. Л е в и И.И. Моделирование гидравлических явлений, Л., изд-во "Энергия", 1967.
8. Е г и а з а р о в И.В. Моделирование русловых процессов В сб. "Русловые процессы", М., изд-во АН СССР, 1958.
9. Е г и а з а р о в И.В. Обобщенное уравнение транспорта несвязных наносов, коэффициент сопротивления, размываемого русла и неразмывающая скорость. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т.У, Л., 1960.
10. О р л о в И.Я. Русла реки и их моделирование. Труды САНИИРИ вып. 124, Ташкент, 1970.
11. Р ж а н и ц и н Н.А. Моделирование естественных русловых потоков на размываемых моделях. В сб. "Русловые процессы", М., изд-во АН СССР, 1958.

12. М а к к а в е е в В.М. Некоторые принципиальные вопросы лабораторного изучения рек. Труды ГГИ, вып. 40 (94), 1935.
13. Р а з у м и х и н Н.В. Опыт исследования на модели динамики речного аллювия в смеси легкой и тяжелой фракций. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т.У, Л., 1960.
14. А н д р е е в О.В. Моделирование русловых деформаций, В сб. "русловые процессы", М., изд-во АН СССР, 1958.
15. С у р о в а Н.Н. Методика исследования модели участка русла р.Амударьи в районе проектируемого Тахиаташского водозаборного гидроузла. "Вопросы гидротехники", вып.6, Ташкент, 1962.
16. А л т у н и н В.С. О моделировании размываемых русл, Доклады ВАСХНИЛ № 4, 1967.
17. И с м а г и л о в Х.А. Некоторые морфометрические зависимости р.Амударьи в среднем и нижнем течении, Труды САНИИРИ, вып.117, Ташкент, 1968.
18. И с м а г и л о в Х.А. Морфометрические зависимости применительно к условиям среднего и нижнего течения р.Амударьи по данным модельных исследований, Труды САНИИРИ, вып.120, Ташкент, 1970.
19. У м а р о в А.Ю. Оценка гидравлического сопротивления бурного потока с большой шероховатостью дна. "Вопросы гидротехники" вып. 27, Ташкент, 1965.
20. П и л о с о в Э.М., С к р ы л ь н и к о в В.А. Некоторые результаты лабораторных исследований общего размыва русла реки Вахш в связи со строительством Нурекской ГЭС. "Вопросы гидротехники" вып.24, Ташкент, 1965.
21. М о с т к о в А.М. Очерк теории руслового потока, М., Изд-во АН СССР, 1959.
22. А б д у р а у л о в Р.Р. Исследование русловых процессов у регулировочных сооружений Амубухарского канала 2-ой очереди, Труды САНИИРИ вып.24, Ташкент, 1970.
23. С т у д е н и ч н и к о в Б.И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов.М., 1964.

К.А. АДЫЛОВ
кандидат технических наук
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКОЙ НАМЫВНОЙ ПЛОТИНЫ ЧАРДАРИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА^{х)}

По топографическим признакам место расположения плотины $l = 4760$ м делится на три участка:

1-й, русловой, — 796 м; наибольшая высота 26,5 м; напорный откос плотины имеет заложение 1:4; безнапорный — 1:4,5.

2-й, левобережный, участок — 3420 м; наибольшая высота 18,5 м; откосы 1:4 и 1:4,5.

3-й, Озерный, — 1009 м; плотина на этом участке перекрывает два озера: Сасык-Куль и Безымянное; максимальная высота 20,5 м; откосы 1:4 и 1:4,5.

Верховой откос плотины крепится монолитными армобетонными плитами размером 10х10 м, толщиной 0,28 м по слою из песчано-гравелистого грунта, толщиной 0,10 м. Для возведения Чардаринской плотины было намыто 8500 тыс.м³ песка (рис.1).

Для наблюдения за осадкой плотины основания и депрессионной кривой во время эксплуатации в теле плотины установлена контрольно-измерительная аппаратура в 10 створах (глубинные марки — 20 шт, поверхностные — 40 шт., пьезометры — 45 шт.).

Осадку плотины определяли специальным гидротехническим нивелированием. В таблице приводятся результаты наблюдений за осадкой намывной плотины Чардаринского водохранилища за период эксплуатации с 1966–1968 год. За это время сотрудниками отдела водохранилищ САНИИРИ изучались ветроволновые режимы водохранилища в створе ПК-7+00 (рис.2).

^{х)} Осадку плотины изучали работники группы наблюдения Чардаринской ГЭС В.И.Буканов и М.Мурзайкин.

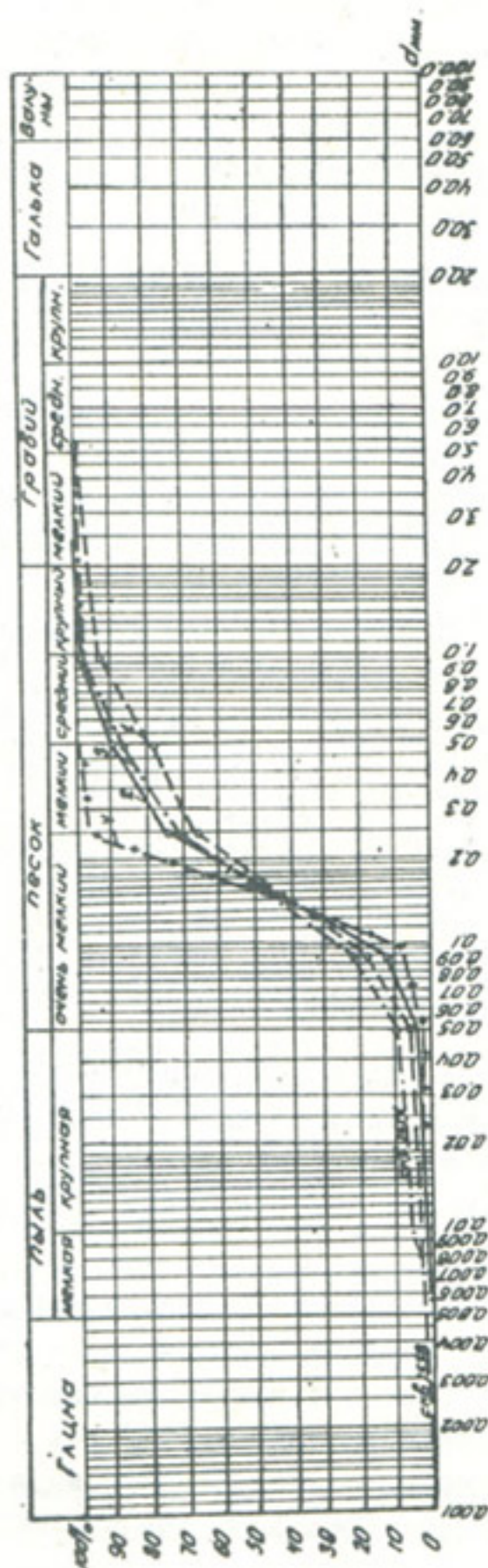


Рис. I. Гранулометрический состав грунта намывной плотины чардаринского водохранилища. Участки плотины: 1 - правобережный; 2 - русловой; 3 - левобережный; 4 - озерный.

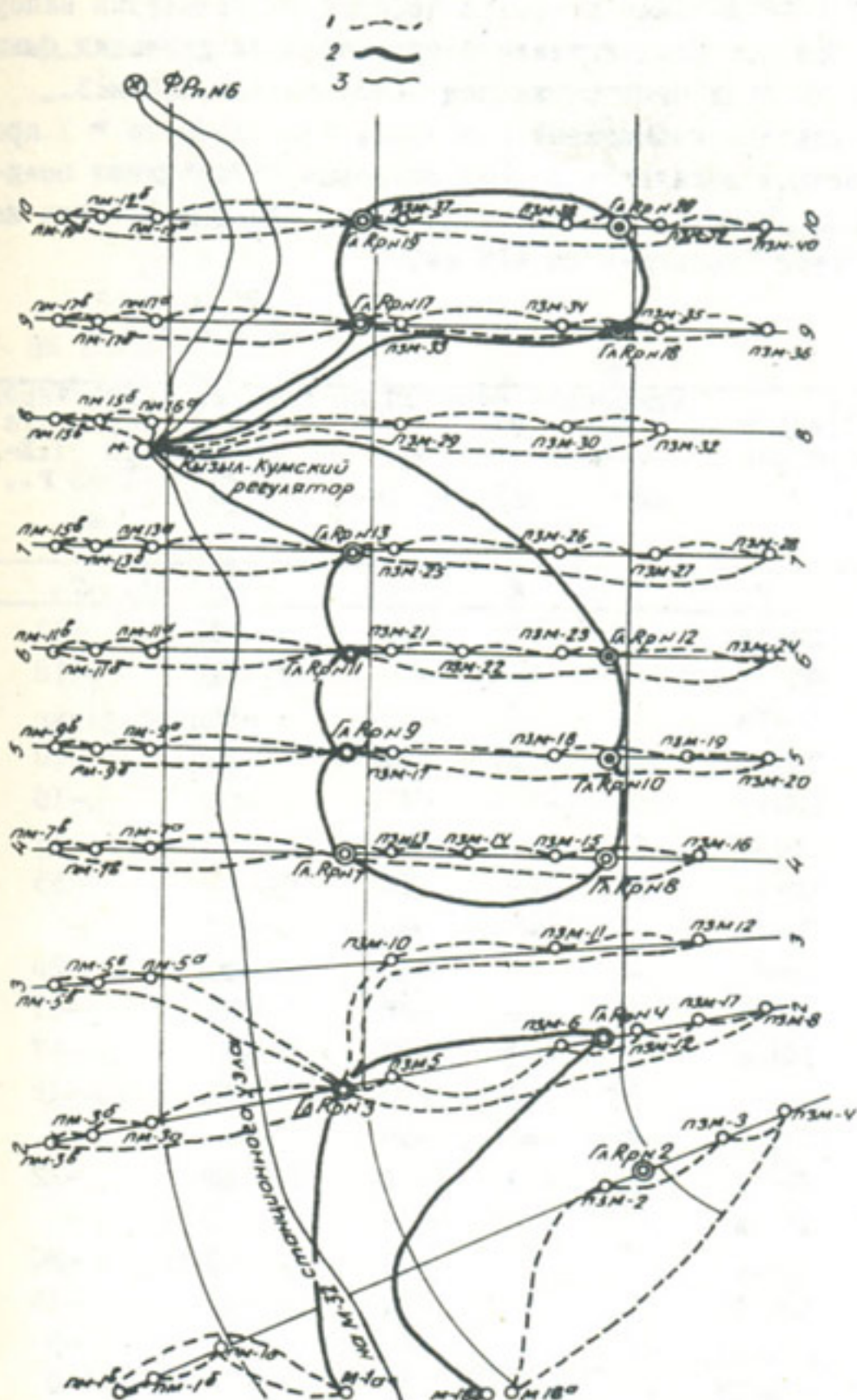


Рис. 2. План и расположения поверхностных, глубинных реперов и марок. Ходы специального гидротехнического нивелирования: 1 – по поверхностным маркам; 2 – глубинным реперам; 3 – гидротехнического нивелирования.

Для исследования вопросов деформации крепления напорного откоса под воздействием ветро-волновых давлений были установлены осадочные марки под номерами 1, 2, 3, 4 и 5.

Результаты наблюдений показали, что на марке № 1 произошла осадка величиной 13 мм; на марке № 2 никакие осадки не наблюдались и, наконец, на марке № 3 был отмечен незначительный подъем - на +17 мм.

Т а б л и ц а

Номер попереч- ника	Номер марки	Изменение отметок по циклам, мм				Нивелиров- ка цикла за II.Х- 1968 г., мм
		I2	I3	I4	I5	
1	2	3	4	5	6	7
ПК 4+40	ПМ-1а	-14	-13	-11	-18	-22
	ПМ-1б	-	-	-7	-11	-18
	ПМ-1в	-	-	-	-15	-
	ПЗМ-г	-12	+15	-15	-14	-20
	ПЗМ-з	-9	-9	-9	-6	-10
	ПЗМ-4	-6	-4	-4	-1	-4
ПК 5+70	ПМ-3а	-21	-21	-18	-26	-35
	ПМ-3в	-	-	-	-12	-
	ПМ-3б	-	-	-13	-20	-28
	ПЗМ-5	-24	-28	-28	-36	-49
	ПЗМ-6	-29	-32	-37	-37	-47
	ПЗМ-7	-11	-11	-11	-13	-19
ПК 8+70	ПЗМ-8	-7	-4	-5	-8	-7
	ПМ-5а	-15	-14	-12	-16	-22
	ПМ-5в	-	-	-	-15	-
	ПМ-5б	-	-	-10	-13	-20
	ПЗМ-10	-8	-8	-11	-9	-14
	ПЗМ-11	-7	-6	-8	-5	-9
ПК 19+40	ПЗМ-12	-5	+1	-1	+2	-0
	ПМ-7а	+6	-9	-1	-7	-15
	ПМ-7б	-	-	-	-2	-9
	ПМ-7в	-	-	-	-12	-

Продолжение таблицы

I	2	3	4	5	6	7
	ПЗМ-14	+15	-1	-5	+3	-4
	ПЗМ-15	+17	+3	-2	+5	0
	ПЗМ-16	+21	-1	-12	-8	+7
	ПМ-9а	-1	-13	-13	-9	-19
5	ПМ-9б	-	-	-9	-3	-14
ПК 28+40	ПЗМ-17	+4	-11	-13	-8	-19
	ПЗМ-18	+8	-4	-9	-2	-7
	ПЗМ-19	+7	-9	-16	-10	-13
	ПЗМ-20	+14	-	-	-	-
	ПМ-110	-4	-13	-14	-10	-
6	ПЗМ-22	+3	-4	-	-8	-14
ПК 36+40	ПЗМ-23	+4	0	-	-4	-8
	ПЗМ-24	+2	+5	-5	0	0
7	ПЗМ-25	-3	-12	-14	-13	-25
ПК 42+50	ПЗМ-26	-2	-7	-11	-7	-13
	ПЗМ-27	+3	+1	-6	0	-3
8	ПЗМ-15а	-1	-7	-8	-7	-11
ПК 44+80	ПМ-15в	-	-	-	-6	-11
	ПЗМ-29	+4	-7	-7	-8	-6
	ПЗМ-30	-15	-23	-25	-25	-26
	ПЗМ-32	+1	0	-2	-1	-2
	ПЗМ-33	0	-10	-9	-10	-11
9	ПЗМ-34	+2	-4	-5	-6	-11
ПК 47+20	ПЗМ-35	+4	+2	+2	0	-2
	ПЗМ-36	+4	-2	-2	-3	-5
	ПЗМ-37	-	-15	-16	-18	-27
10	ПЗМ-38	-1	-3	-3	-7	-11
ПК 49+20	ПЗМ-39	-2	-8	-3	-5	-7
	ПЗМ-40	-1	+3	+3	+3	+1

Условные обозначения: ПМ - поверхностные марки на напорном откосе плотины.

ПМЗ-поверхностные марки на земляном откосе плотины.

Знак "+" означает нарастание;

Знак "-" - убавление.

В ы в о д ы

В результате натурных наблюдений за осадкой намывной плотины Чардаринского водохранилища выявлено следующее:

1. Максимальная величина осадки — до 49 мм — наблюдалась в створе № 2 ПК 5+70.

2. Практически стабилизировалась осадка плотины в створах № 3 ПК 8+70, № 4 ПК 19+40, № 5 ПК 28+40, № 6 ПК 36+40 и № 10 ПК 49+20, и поэтому можно считать, что плотина находится в хорошем состоянии. Однако для полного убеждения следует продолжить натурные наблюдения за осадками намывной плотины не реже одного раза в 5 лет.

С.М. ГОРЮНОВ
канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

А.В. КОРЯНОВ
инженер-геофизик
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ЮЖНОСУРХАН- СКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Южносурханское водохранилище расположено на р. Сурхандарье в 70 км от впадения ее в р. Амударью. Питание его происходит за счет р. Сурхандарьи. Полный проектный объем водохранилища 800 млн. м³; полезная емкость — 610 млн. м³; абсолютные отметки зеркала воды при НПГ — 115 м, при ГМО — 96 м.

Земляная плотина выполнена из местных материалов. Общая длина ее 5 км. В наиболее глубокой русловой части высота плотины 30 м; профиль распластанного характера.

В правобережной части дамбы на ПК 15 располагается закрытый водовыпуск; в русловой части на ПК 18,5 отмечается катастрофический сброс. В концевой части водосброса имеется трубчатый водозабор, подающий воду в канал Агригузар.

Дренажно-коллекторная сеть, расположенная за русловой частью плотины, представлена закрытым трубчатым дренажем, простирающимся параллельно оси плотины на расстоянии 142 м от нее. По длине дренажа через каждые 200 м устроены смотровые колодцы. Из колодцев фильтрационные воды поступают по трубчатым отводам в открытый коллектор, расположенный параллельно оси плотины на расстоянии 220 м от нее.

Закрытый дренаж состоит из перфорированных асбоцементных труб, обсыпанных двухслойным фильтром.

Траншея коллектора имеет по проекту ширину по дну 1,4 м с двойными откосами. Форма траншеи значительно искажена ввиду оплывания откосов и неоднократных пригрузок грифонов.

Тело плотины выполнено различными способами: в русловой и прирусловой частях – намывом гравелистых грунтов со стороны верхового и низового откосов; в середине между намытыми грунтами – отсыпкой в воду суглинка на высоту 16 м и, наконец, выше – укаткой суглинка.

Правобережная часть плотины полностью выполнена укаткой. Коэффициент фильтрации супесей и суглинков плотины составляет 0,06–0,12 м/сут. При сопряжении тела плотины с основанием по оси устроен зуб шириной 10 м и глубиной 3,5 м.

По створу плотины прослеживаются четыре террасы р. Сурхан. В пойменной части основание плотины сложено аллювиальными отложениями мелкозернистых пылеватых песков, подстилаемых на глубине 1–8 м мелкими галечниками и песками.

Первая терраса развита по обоим берегам реки. Она сложена суглинками и супесями мощностью до 3 м (коэффициент фильтрации $K=0,8+1,9$ м/сут, ниже подстилается песками ($K=0,8+1,3$ м/сут) и галечниками ($K=4+7,3$ м/сут).

Вторая терраса сохранилась только на левобережье. Она возвышается над первой на высоте 6 м, сложена песками ($K=5+8,6$ м/сут), супесями и суглинками ($K=1,7$ м/сут).

Третья терраса сохранилась только на правом берегу. Она сложена сильнопросадочными супесями и суглинками ($K=0,03+1$ м/сут) с прослоями глин, практически непроницаемыми. Ниже эта толща подстилается песками с гравием ($K=8,4+13,8$ м/сут) и затем мелкими галечниками ($K=5,7$ м/сут). Гравелистые пески и галечники прослаиваются мелкоземами.

Четвертая терраса в створе плотины расположена только с левой стороны и представлена просадочными лессовидными супесями и суглинками ($K=0,2+3,3$ м/сут), подстилаемыми мелкими галечниками ($K=30+37$ м/сут) с прослоями песка и гравия ($K=9,5+16,4$ м/сут).

Учитывая разнородность основания и тела плотины, обусловливающих сложное распределение напоров потока, ММ и ВХ УзССР было предложено лаборатории фильтрации САНИИНИ выяснить отклонения в фильтрационном режиме Южносурханского водохранилища.

Трехлетние исследования по фильтрационному режиму земляной плотины Южносурханского водохранилища, с применением широкого комплекса лабораторных, натурных и геофизических методов исследования показали следующие результаты.

Результаты исследований

Обработкой натурных данных, по показаниям напорно-безнапорных пьезометров, установлена картина, отображающая распределение напоров фильтрационного потока (рис. I). Схема формирования области фильтрационного потока в верхнем бьефе такова: нисходящий поток проходит через покровные малопроницаемые глинистые грунты; при переходе в галечники основания он резко меняет направление — до горизонтального. После протекания под плотиной, поток носит напорный характер; направление его в зонах разгрузки становится восходящим.

На участках ПК 27 и ПК 41 отмечается наибольший эффект экранизации покровных суглинков и верхового клина плотины. От ПК 28 до ПК 40 в нижнем бьефе плотины донное взвешивающее давление на покровные суглинки повышается, доходя до 4 т, в коллекторе происходит разгрузка потока до нуля. По дну дренажного коллектора от ПК 22 до ПК 41 прослеживаются постоянно действующие грифоны, к которым концентрируется донный поток, прошедший через галечники основания. Наличие этих грифонов, а также участок наибольших донных давлений, дает основание положить, что наиболее интенсивное движение фильтрационного потока происходит между ПК 27+41. Это подтверждается данными режимных наблюдений грунтового потока по створам в районе плотины до ее постройки, из которых видно, что наибольшие колебания уровней грунтовых вод и их связь с гидрографом реки приходятся именно на этот участок. Более того, конец болота вблизи будущей плотины являлся источником, откуда и начиналась его разгрузка через галечники основания. В данный момент, т.е. при работе водохранилища этот концевой участок болота и должен быть началом входа интенсивного потока в акватории водохранилища; путь его далее лежит через галечники в открытый коллектор и р. Сурхан.

Распределение градиентов потока в области фильтрации было установлено путем обработки показаний пьезометров

(рис. I) и последующем моделировании характерных профилей плотины на электропроводных бумажных моделях (ЭГДА).

Градиенты в плотине, в начальной зоне верхового клина, достигают 4,2–4,3, в средней его части убывают до 2,6–1,7. В ядре плотины, на спаде депрессионной поверхности до зуба они меняются от 1 до 0,16; на выходе из ядра в галечниковую пригрузку составляют 0,22. В основании плотины, на границе покровных суглинков и галечников, градиенты составляют под зубом 0,22; в самих галечниках – 0,04.

Глинистые и суглинистые прослойки, находящиеся в толще галечникового основания, гасят до 40% напора; градиенты здесь составляют от 2,5 до 3,3. Изменение высотного положения глинистых прослоек в водоносной толще определяет соотношение напоров и расходов верхнего и нижнего водоносных горизонтов и влияет на интенсивность работы дренажа и коллектора. В зонах разгрузки потока интенсивные участки, где подходные градиенты достигают больших значений (до 3,3), по дренажу приходятся на ПК 32 – ПК 39; по коллектору – на ПК 37–39.

Изучение фильтрационных свойств грунтов тела и основания плотины показало, что при ожидаемых градиентах ядро плотины совместно с галечниковой пригрузкой работает с большим коэффициентом запаса. Суффозия в суглинках ядра может произойти только при градиентах 5,5 (ожидаемые – 2,5), в пригрузке – 0,65 (ожидаемые 0,22). Грунты основания: супесчаные прослойки подвержены суффозии при градиентах 1,2–4,5; пески долины – при 1,05–1,5; галечники – 0,57–1,3.

Градиентов в основании под плотинной гораздо меньше – 0,2–0,04; отклонения фильтрационного потока в этой зоне могут быть за счет контактного размыва. Галечниковая толща сложена неоднородно, имеет прослойки крупных промытых галечников без мелкого заполнителя. Как показывают эксперименты, находящиеся на контакте с ними песчано-гравийные смеси и супеси подвержены суффозии при малых градиентах – 0,05–0,1.

Наибольшие отклонения потока наблюдаются в разгрузочных зонах коллекторно-дренажной сети. Ожидаемые подходные градиенты здесь составляют местами 3,3, что значительно выше критических в песках, суглинках и галечниках. Грунты в зоне коллектора требуют пригрузки их фильтром.

Изучение фильтрационного режима плотины по пьезометрам и дебитам расходов дренажа показывает, что основные колебания давлений и изменения количества расходов в зависимости от изменения напорного горизонта и времени происходят в галечниковой толще основания. Отклонения в режиме потока связаны с внутридеформационными процессами в галечниковых грунтах, они отмечаются большими скачками уровней воды в донных пьезометрах – при незначительном изменении напорного ГВВ. Зона аномалий потока приходится на ширину высокой части плотины от ПК 18,7 до ПК 41. Режим фильтрационного потока за 1967–1969 гг. показан на рис.2.

В ядре и низовой пригрузке плотины отклонений в фильтрационном режиме не наблюдается. При значительном наполнении водохранилища выше отметки II2 м безнапорные пьезометры в плотине на участке между ПК 30, ПК 32 и ПК 42 наиболее эффективно отражают связь с ГВВ, т.е. плотина на этом участке более проницаема.

Анализ дебитов дренажных расходов показывает (рис.3), что в основании в 1967 г. происходило перераспределение расходов. На участке ПК 21–34 закрытого дренажа дебит притока резко уменьшился, а на участке ПК 36–38 – увеличился, т.е. основное количество расхода переместилось в левую сторону высокого участка плотины, напротив которого в коллекторе от ПК 37 до 41 отмечаются сильные грифоны.

Характерные изменения расхода от ГВВ объясняются перераспределением потока между дренажной системой и оттоком через нижние слои галечников в р.Сурхан.

Величина максимума ежесекундного фильтрационного расхода резко уменьшилась: как видно из графика (рис.3), в 1968 г. она составляла $2,1 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1969 – $1,4$, 1970 – $1,2 \text{ м}^3/\text{сек}$. Эти количественные изменения подтверждают происходящие внутрисуффозионные кольматационные процессы грунтовых оснований.

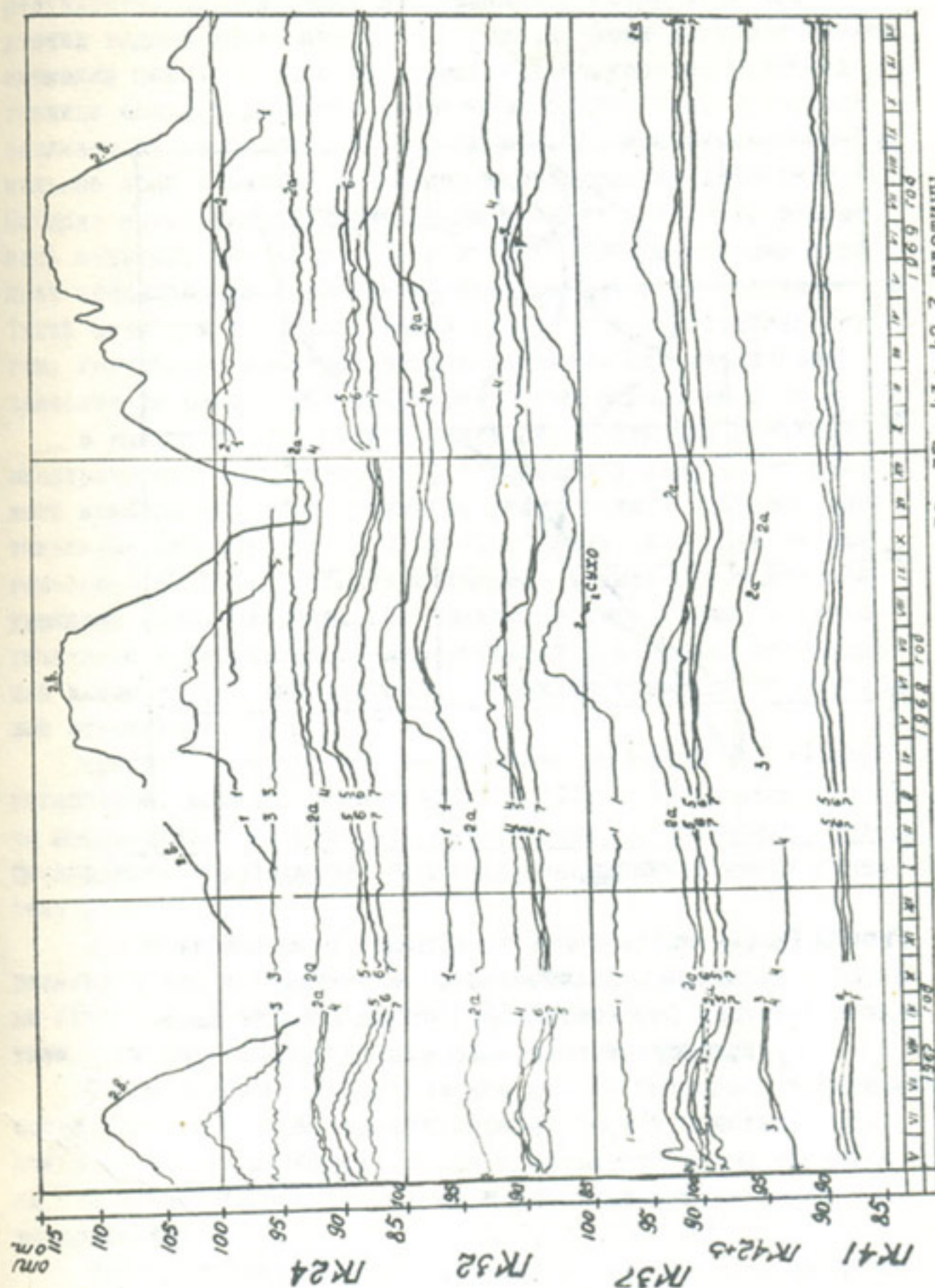


Рис.2. Показания пьезометров по створам ПК 24; 32; 37; 41; 42,3 плотины
Жносуханского водохранилища (1967-1969 гг.).

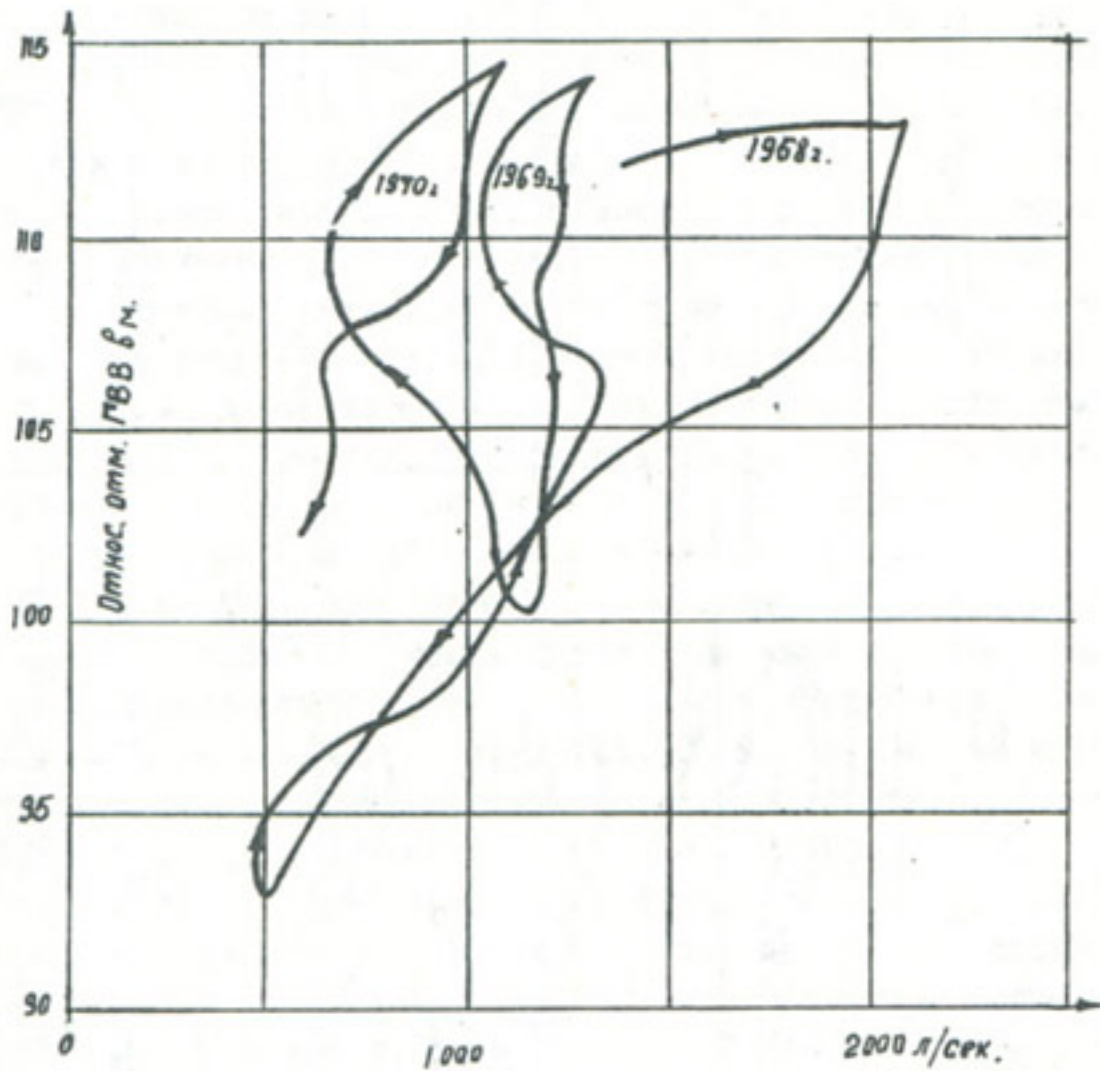


Рис.3. График многолетних зависимостей осредненных расходов на фильтрацию через основание и плотину (по коллектору) от наполнения Южно-сурханского водохранилища за 1969-1970 гг.

Данные геофизических исследований показали следующие результаты. По акватории водохранилища обнаружены места утечек воды с интенсивной фильтрацией. Зона распространения аномалий потока в ложе водохранилища приурочена к нижней границе области развития торфяников болота Чаян-Тугай; она занимает площадь около 17 га. На рис. 4 представлены аномальные зоны в различные периоды исследований 1968-1970 гг. Площадь аномальных зон при исследованиях в 1970 г. оказалась меньшей, чем по результатам 1969 г. Это еще раз позволяет предположить о заилении обнаруженной в болоте Чаян-Тугай активной зоны фильтрации суглинками сработанных берегов. Результаты промеров заиления показывают увеличение заиления за сезон 1969-1970 год в этом створе на 2 см.

В нижнем бьефе методом измерения кажущихся удельных электрических сопротивлений (по способу двух горизонтального комбинированного электропрофилирования) выявлены вертикальные неоднородности в электрических свойствах геологического разреза, характеризующиеся повышением кажущихся удельных сопротивлений. При сравнении этих данных с геологическими и результатами лабораторных и натурных исследований выявили, что они относятся к рыхлым промытым галечниковым отложениям.

При исследовании верхнего горизонта малой по размеру установкой, охватывающей глубину до 10 м, обнаружены две зоны неоднородностей (рис. 4), приуроченные к интенсивно функционирующим в коллекторе грифонам, находящимся между пикетами 37-41.

При изучении нижнего горизонта на глубине до 20 м по размеру в два раза большей установкой, чем первая, обнаружена одна полоса неоднородности. Вероятно, она является развитием в глубину расположенных выше неоднородностей.

Таким образом, геофизические данные позволили установить более локальные зоны гидравлической связи и действия аномального фильтрационного потока с начальной зоной его входа - в конце болота Чаян-Тугай и в районе выхода коллекторно-дренажной сети.

Разгрузка потока через верхние неоднородности происходит как в коллектор, так и в дренаж. По нижней неоднородности поток может следовать дальше в р. Сурхан.

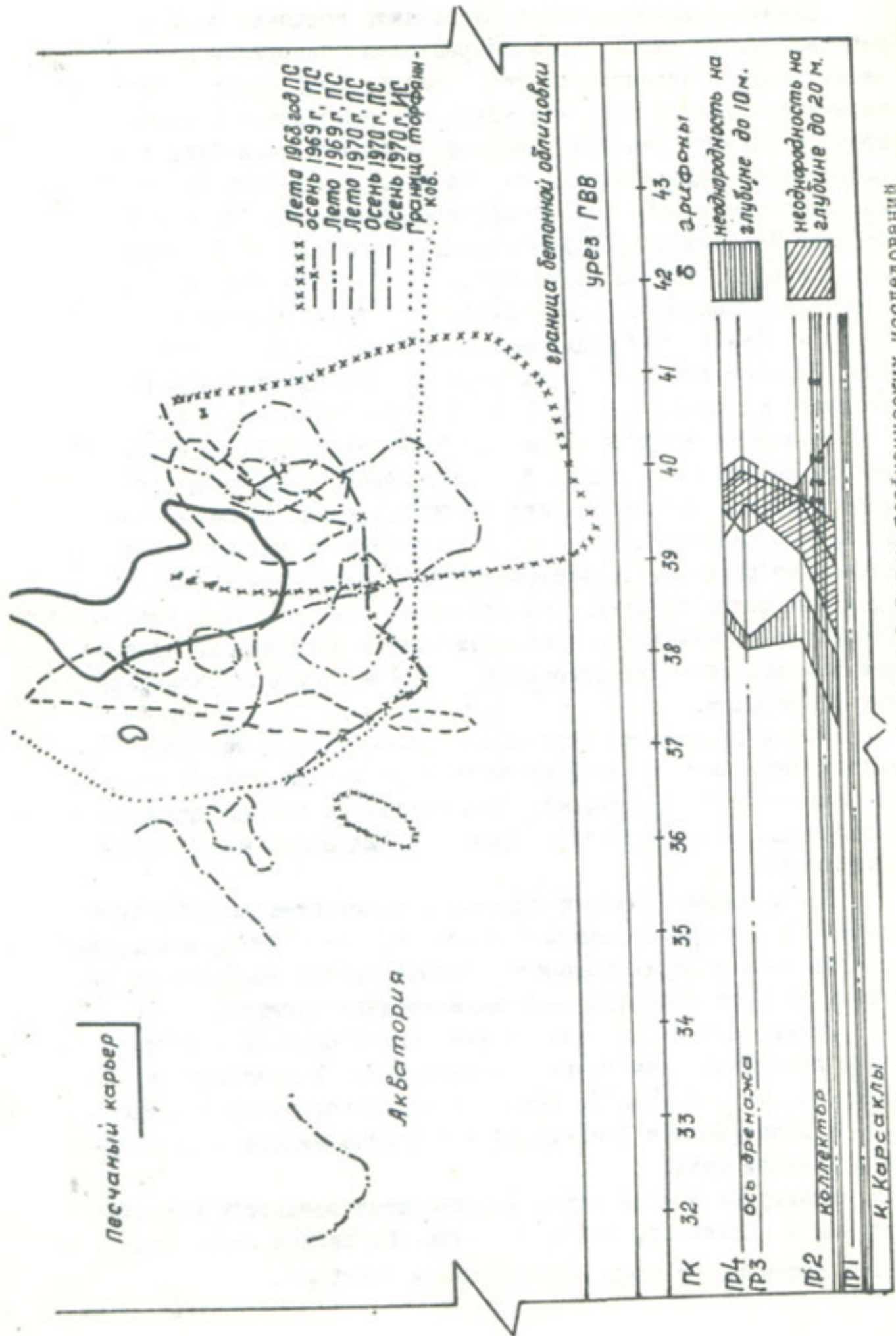


Рис. 4. Сопоставление аномальных зон по результатам геофизических исследований на Южносурханском водохранилище за 1968-1970 гг.

Изложенные результаты натурных исследований показали, что обнаруженная зона утечек (рис.4) довольно интенсивно заиляется, поэтому САНИИРИ не настаивал перед ММИВХ УзССР на выполнении предлагаемых мероприятий по устройству искусственного контура в зоне утечек.

Основное мероприятие, которое необходимо осуществить — упорядочение выхода фильтрационных вод путем устройства двухслойного фильтра с составом, подобранным САНИИРИ, с пригрузкой его в местах грифонов перфорированными бетонными плитами.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХОЧКОВОГО ТРУБЧАТОГО РЕГУЛЯТОРА

В практике ирригационного строительства обычно применяются многоочковые трубчатые регуляторы — наиболее часто встречающийся вид водовыпуска.

Одним из определяющих факторов пропускной способности сооружения является коэффициент сопротивления конструкции или, по А.Н.Патрашеву /1/, коэффициент позиционного сопротивления. Однако аналитического метода для его определения применительно к многоочковым трубчатым водовыпускам нет.

Нами рекомендуется полуэмпирическая формула пропускной способности, которая включает в себя экспериментальный коэффициент позиционного сопротивления (K_z). Основным уравнением, характеризующим взаимодействие потока и сооружения, является уравнение количества движения.

Приняв расчетную схему (рис.1) и выделив сечение I-I и II-II, составляем уравнение количества движения в проекции на ось (OX), для выделенного объема жидкости:

$$G\rho\alpha(V_{2x}-V_{1x})=G_x-F_{xrp}-P_{1x}-P_{2x}-R_{3x}, \quad (I)$$

где ρ — плотность потока;

α — корректив количества движения;

$V_1; V_2$ — скорости потока в сечениях I-I и II-II;

G_x — вес выделенного объема;

F_{xrp} — сила трения потока о жесткие границы;

P_1, P_2 — сила гидростатического давления в сечениях I-I и II-II;

R_3 - суммарная сила сопротивления конструкции (реакция сооружения).

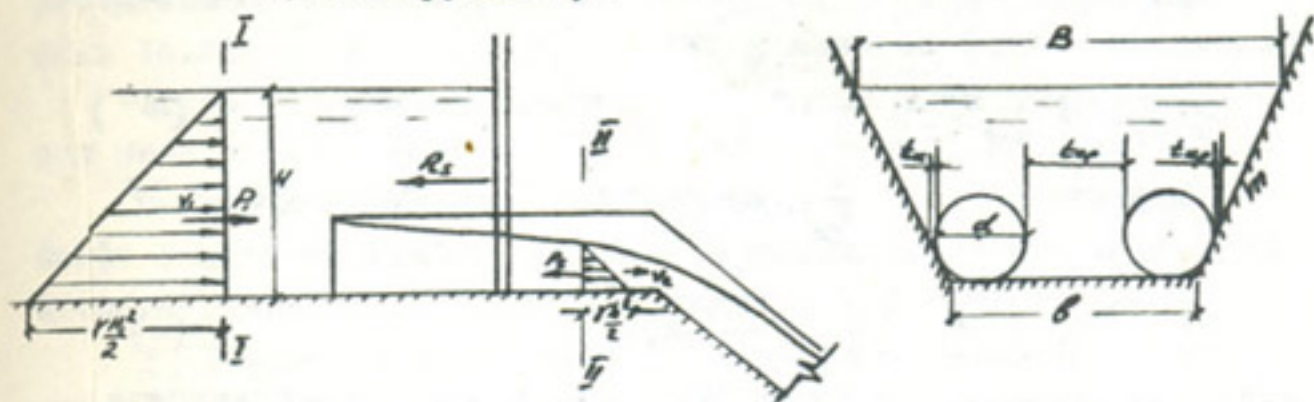


Рис.1. Расчетная схема двухочкового трубчатого водовыпуска.

Учитывая, что $G_x = 0$ и допуская $f_{xcp} = 0$, уравнение (1) перепишем в виде

$$\alpha \rho Q (V_{2x} - V_{1x}) = P_{1x} - 2P_{2x} - R_{3x}. \quad (1)$$

Распределение давлений в сечениях I-I и II-II подчиняется гидростатическому закону, тогда

$$P_1 = \gamma \frac{H^2}{2} \left(\frac{B+b}{2} \right) = \gamma \frac{H^2}{2} B_{cp} \quad (2)$$

Значение (P_2) определится согласно теории давления^X на криволинейную поверхность. В общем случае давление на плоскость, ограниченную поверхностью воды и образующую цилиндрическую поверхность, запишется в виде

$$P_2 = \frac{2}{3} \gamma \left(\frac{\sigma^2 + 4h^2}{8h} \right)^{3/2}, \quad (3)$$

При этом имеется ввиду, что

$$\sigma = 2 \sqrt{2h\tau - h^2} \quad \text{или} \quad \tau = \left(\frac{\sigma^2 + 4h^2}{8h} \right)$$

σ - τ -

Сила сопротивления, полученная на основе теории поробия А.Н.Патрашева [1], примет вид

$$R_1 = f(F_r, Re, \nu_{j2}) \rho \cdot B_1 \frac{V^2}{D}, \quad (4)$$

где F_r ; Re ; ν_{j2} - соответственно критерии Фруда, Рейнольдса, Эйлера;

^X Теоретическая гидромеханика, часть I, 1963 г. (Н.Б.Кочин, И.А.Кибель, Н.В.Розе).

B_1 - характерный элемент конструкции.

Выражая $f(Fz, Re, N_{jz}) = t$ и имея в виду, что $V = \frac{Q}{\omega}$, равенство (4') запишем в виде

$$R_1 = \rho t B_1 \cdot \frac{Q_2}{2H^2 B_{cp}} = \rho t \frac{B_1}{B_{cp}} \cdot \frac{Q_2}{2H\omega} \quad (4'')$$

Выражая $K_z = t \frac{B_1}{B_{cp}}$ аналогично Б.Г.Поляковой [2,3] имеем:

$$R_1 = \frac{\gamma}{2gH} \cdot \frac{Q_2}{\omega_1} K_z. \quad (4)$$

Учитывая зависимости (2), (3), (4), уравнение количества движения перепишем так:

$$2\gamma \cdot \frac{Q}{g} (V_{2x} - V_{1x}) = \gamma \frac{H^2}{2} B_{cp} - \frac{4}{3} \gamma \left(\frac{Q^2 + 4h^2}{8h} \right)^3 - \gamma K_z \frac{Q^2}{g} \cdot \frac{1}{2gH},$$

или, решив его относительно Q , получим уравнение следующего вида:

$$Q^2 = \frac{[3H^2 B_{cp} - 8 \left(\frac{Q^2 + 4h^2}{8h} \right)^3] 2gH\omega_1 \omega_2}{6(2H\omega_1 - 2H\omega_2 + K_z \omega_2)}. \quad (5')$$

Для удобства применения этой формулы умножим числитель и знаменатель на $(4\omega_2)$ и, сделав соответствующие преобразования, получим:

$$Q = 2\omega_2 \cdot \sqrt{2gH} \cdot \sqrt{\frac{\omega_1 [3H^2 B_{cp} - 8 \left(\frac{Q^2 + 4h^2}{8h} \right)^3]}{4[6\omega_2(2H\omega_1 - 2H\omega_2 + K_z \omega_2)]}}. \quad (5'')$$

Второй корень представляет собой коэффициент расхода, т.е.

$$K_z = \sqrt{\frac{\omega_1 (3H^2 B_{cp} - 8 \left(\frac{Q^2 + 4h^2}{8h} \right)^3)}{4[6\omega_2(2H\omega_1 - 2H\omega_2 + K_z \omega_2)]}}. \quad (5''')$$

тогда формула (5'') примет окончательный вид:

$$Q = \mu^2 \cdot 2\omega_2 \sqrt{2gH}. \quad (5)$$

Коэффициент K_z определим методом А.Н.Патрашева - замерами в спутной струе на основании уравнения количества движения, т.е. уравнения (5'):

$$K_z = \frac{2gH\omega_1}{Q^2} \left[\frac{3H^2 B_{cp} - 8 \left(\frac{Q^2 + 4h^2}{8h} \right)^3}{6} - \frac{Q^2}{g} \left(\frac{1}{\omega_2} - \frac{1}{\omega_1} \right) \right]. \quad (6)$$

Выражения (5'''), (5), (6) служат для определения пропускной способности двухочковых трубчатых водовыпусков.

Полученные на модели величины расхода совпадают с расчетными с точностью до 4%, о чем свидетельствуют графики зависимости $Q_2 = f(\mu_2)$; $\mu_2 = f(\frac{B_1}{B_{cp}})$ (рис.2.).

Таким образом, в связи с изложенным выше появляется ряд новых задач, которые необходимо решить в дальнейшем:

1. Определение изменения глубины (H) в верхнем бьефе в зависимости от величины пропускаемого расхода и открытия шита, т.е. найти зависимость $H = f(Q_2; h_{ш})$;

2. Выявление зависимости глубины в верхнем бьефе от величины отношения геометрических элементов конструкции и канала.

Здесь необходимо выделить три подзадачи, так как величина (B_1) содержит два члена, изменение которых может повлиять на глубину в верхнем бьефе:

а) $H = f(2t_{кр})$, т.е. здесь глубина меняется в зависимости от изменения геометрических размеров канала;

б) $H = f(t_{ср})$, так же возможно изменение глубины в верхнем бьефе в зависимости от расстояния между трубами;

в) $H = f(2t_{кр}, t_{ср})$, т.е. изменение глубины возможно с изменением расстояния между трубами и в зависимости от геометрических размеров канала одновременно.

Далее, изучая причины изменения величины коэффициента сопротивления (μ_2), необходимо отметить, что первопричиной этого является изменение давления до и после изучаемого объекта. Разность величин давлений в первую очередь обуславливается скоростной характеристикой потока, а поэтому изучение перераспределения скоростей на подходе к сооружению может внести дополнительную ясность при определении коэффициента позиционного сопротивления (μ_2).

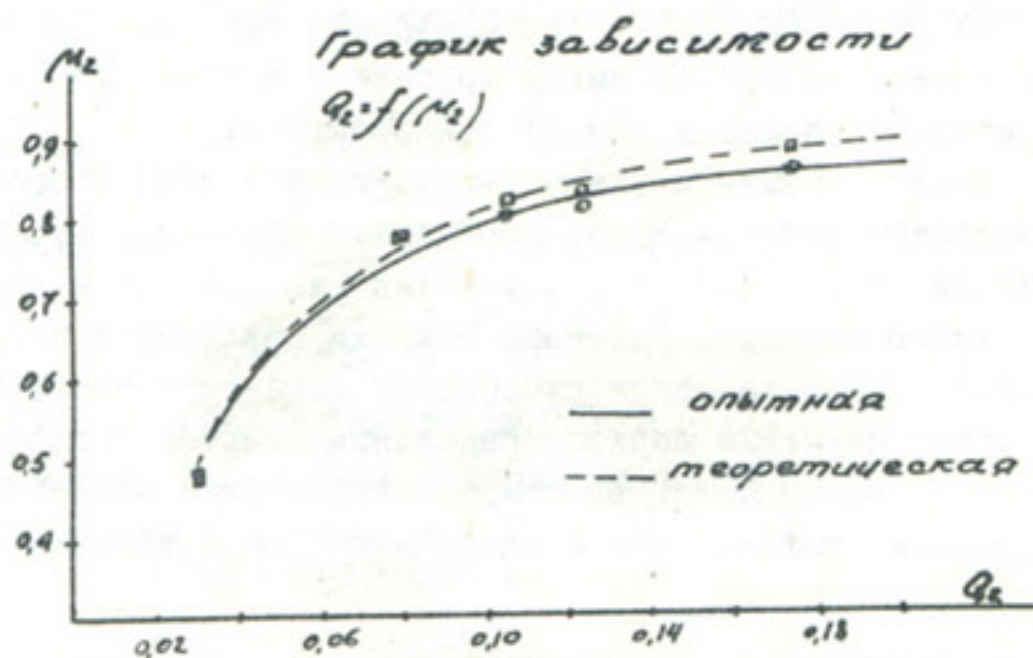
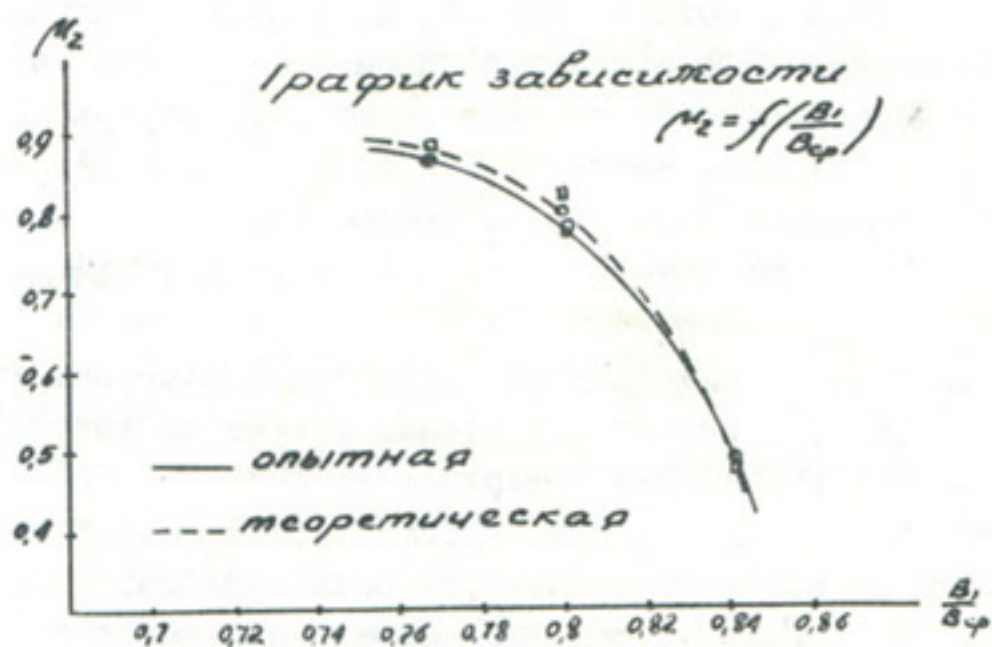


Рис.2.

Л и т е р а т у р а

1. П а т р а ш е в А.Н. Прикладная гидромеханика, М., 1970.
2. П о л я к о в а Б.Г. Труды САНИИРИ, вып. II4, Ташкент, 1968.
3. П о л я к о в а Б.Г. "Известия АН УзССР" № I, Ташкент, 1968.
4. К а д ы р о в А.А. "Вопросы Гидротехники", вып. 23, Ташкент, 1965.
5. Ч у г а е в Р.Р. "Гидравлика", Л., 1965.
6. К и с е л е в П.Г. "Справочник по гидравлическим расчетам", М., 1962.

С. И. КЕБЕРЛЕ

канд. техн. наук, зав. отделом эксплуатации водохранилищ

Б. И. БЕЛЕСКОВ

канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

(САНИИРИ им. В. Д. Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ТИПОВ КРЕПЛЕНИЙ МЕЛКОПЕСЧАНОГО ОТКОСА В БОЛЬШОМ ВОЛНОВОМ ЛОТКЕ

Гравийно-песчаные обратные фильтры под креплениями откосов дамб и берегов рек, сложенных из мелкопесчаных грунтов (с $d_{cp} = 0,10 - 0,15$ мм) относительно дороги, не всегда надежны, так как укладка их трудно поддается механизации и, кроме того, для условий Амударьинских грунтов их очень трудно подобрать и выполнить.

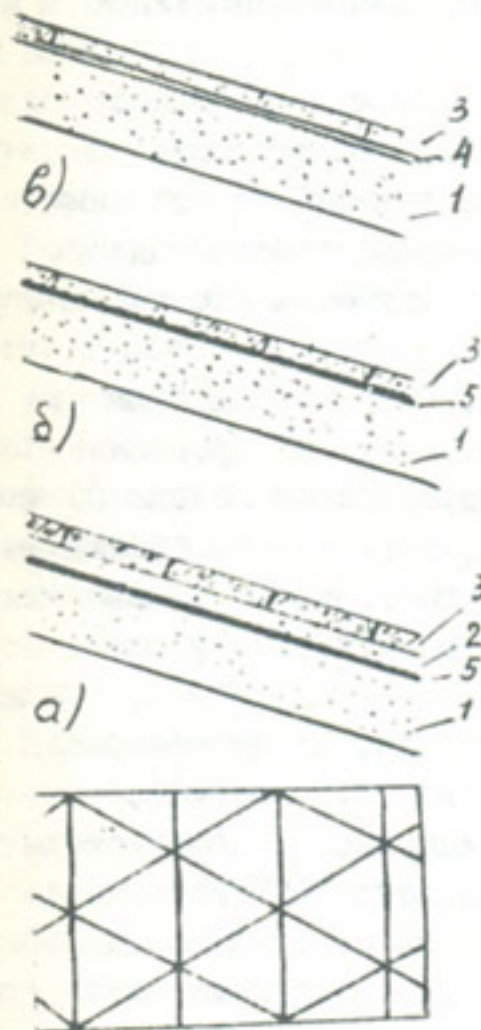
Указанные недостатки гравийно-песчаных фильтров заставляют искать и испытывать новые, более совершенные типы фильтров.

Перспективными в отношении возможной полной механизации, а также экономичности являются фильтры из волокнистых материалов (автор. свид. № 109613).

В лаборатории волновых процессов и водохранилищных сооружений САНИИРИ были проведены исследования возможности использования для части мелкопесчаного откоса (для зоны переменных уровней воды) гибкого крепления из сборных железобетонных плит треугольной формы (предложенной В. Ф. Поярковым) со стороной $\delta = 1,6$ м и толщиной $\delta = 0,24$ м, уложенных по фильтру из фильтровальной стеклоткани ТСФР (б) с защитным слоем из мелкого ракушечника ($d = 0,01 - 0,1$ м; $\delta = 0,3$ м) (рис. 1а) и без защитного слоя (рис. 1б), а также из стекловолокна — рулонного теплоизоляционного материала, сверху и снизу укрепленного стеклотканевой сеткой (СС, х 80) (рис. 1в).

Для сооружения моделей упомянутого крепления в конце большого волнового лотка ($B \times H \times l = 4 \times 4 \times 80$ м) было

отсыпано основание ($m = 3,0$) из шагала, укрепленное сверху бетонными плитами. На плиты основания (чтобы через швы не просыпался песок) был расстелен тюфяк из стекловойлока и на него уложен испытываемый натурный амударьинский песок из Тахиаташа (с $d_{90} \approx 0,11 - 0,15$ мм) слоем около одного метра.



Испытанные в волновом лотке типы креплений мелко-песчаного откоса: I - грунт откоса (амударьинский песок); 2 - щебень (мелкий ракушечник); 3 - железобетонные треугольные плиты; 4 - стекловыйлок; 5 - стеклоткань.

Необходимость ограничиться возможно меньшим количеством привезенного издалека песка не позволила отсыпать основание целиком из него. Однако, как показали наблюдения, даже при самых больших нарушениях модели откоса отсек обрушения грунта не распространялся на всю отсыпанную толщину песка.

Перед укладкой крепления на модель откоса песок уплотнялся с помощью поверхностного электровибратора типа

"И-7" (глубина проработки грунта 20-25 см) до объемного веса $1,47-1,50 \text{ т/м}^3$. На уплотненный грунт откоса укладывался фрагмент крепления из натуральных материалов в натуральную величину. Для того, чтобы стыки краев модели с боковыми стенками волнового лотка не оказались наиболее слабым местом модели, были предприняты мероприятия по их укреплению. Так, при сооружении модели с фильтром из стеклоткани края ее полотнища были введены под грунт вдоль боковых стенок лотка.

Для суждения о величине повреждений модели откоса проводилась нивелировка откоса до и после воздействия на него волн по двум рядам точек, которые брались по оси симметрии крайних рядов плит с правой и левой стороны модели. Кроме того, нивелировка делалась после замочки сооруженной модели.

Опыты проводились таким образом, что высота волн через определенное число часов воздействия их на крепление (в общей совокупности волновой лоток проработал около 30 час.) увеличивалась на 0,1-0,2 м до тех пор, пока или не наблюдалось явное нарушение откоса, или же, наоборот, он оставался целым при доведении высоты волн до максимально возможной в лотке (до $h_e = 125 \text{ см}$).

Относительная длина волн выдерживалась по возможности в пределах, характерных для водохранилищ $\frac{\lambda}{h} = 10-16$.

Предварительные испытания фильтрационных свойств стекловойлока и стеклоткани в отделе фильтрации САНИИРИ показали, что стеклоткань ТСФР (б) по сравнению со стекловойлоком ($\delta = 10 \text{ см}$) обладает лучшими фильтрационными свойствами по отношению к амударьинскому песку и стабильностью при различной нагрузке сверху.

Крепление с фильтром из стекловойлока после испытаний его в волновом лотке было признано непригодным из-за присущих ему недостатков: малой прочности стекловойлока в смоченном состоянии, ухудшения фильтрационных свойств при разрушении волокон под действием веса плит крепления, пульсации волновой нагрузки, небольших подвижек плит крепления.

Опыты с моделью крепления, фильтр которого состоял из фильтровальной стеклоткани ТСФР (б) без защитного слоя

щебня оканчивались большими разрушениями откоса. Основную роль в этом играли механические повреждения стеклоткани, которых трудно было избежать при укладке плит крепления несмотря на все предосторожности, и большие скорости струй воды на границе грунта откоса и стеклоткани при обрушении волн.

Крепление откоса по фильтру из стеклоткани с защитным слоем мелкого ракушечника было устойчивым при воздействии волн высотой до $h_g = 1,25$ м, так как защитный слой щебня надежно предохраняет ткань от механических повреждений при укладке плит крепления и значительно уменьшает скорости струй воды на границе грунта и стеклоткани.

Таким образом, указанное крепление может быть рекомендовано для испытаний в натуральных условиях на опытном участке с целью проверки долговечности стеклоткани в условиях переменной влажности (от высыхания на воздухе до подводного состояния), изменяющейся температуры, многократно повторяющегося замораживания и оттаивания, воздействия пульсирующей волновой нагрузки, агрессивности воды, а также влияния на нее растительности. Кроме того, необходимо проверить надежность защиты стеклоткани от механических повреждений во время эксплуатации крепления.

К настоящему времени лабораторией фильтров ВНИИСП разработаны более долговечные ткани из состава № 7, однако они выпускаются пока не для гидротехнических целей. Учитывая большой спрос стеклофильтров в гидротехнике, следует разработать несколько типов стеклотканей для различных технических условий.

Х.И. ЗАИРОВ
канд. техн. наук
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

Ю. ЭШМУРАДОВ
аспирант
(ЛПИ)

О ВОЛНАХ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПОДВОДЯЩЕМ КАНАЛЕ ПРИ ВНЕЗАПНОЙ ОСТАНОВКЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

В статье излагаются некоторые результаты лабораторных исследований неустановившегося движения воды в машинных каналах, проведенных на кафедре гидравлики Ленинградского Политехнического института (ЛПИ), а также данные натурных исследований машинных каналов Шерабадской, Саятской и им. 50 лет Октября насосных станций, проведенных в САНИИРИ.

Характерная особенность работы машинных каналов — неустановившиеся режимы движения воды, обусловленные кратковременным пуском или остановкой агрегатов насосной станции. В пределах каналов в таких случаях образуются положительные волны, переносящие вдоль канала некоторый конечный объем воды. Эти волны могут быть двух типов: нисходящие, удаляющиеся от насосной станции со скоростью $(C + V_0)$ и восходящие, удаляющиеся от насосной станции со скоростью $(C - V_0)$, где C — скорость волны относительно покоящейся воды, V_0 — начальная скорость течения воды в канале.

Для большинства машинных каналов начальные скорости на порядок меньше скоростей перемещения волн. Для канала "50 лет Октября" $V_0 \approx 0,25 \div 0,50$ м/сек, $C = 2,30 - 3,40$ м/сек; для подводящего канала Саятской насосной станции $V_0 = 0,05 \div 0,06$ м/сек, $C = 2,75 \div 3,40$ м/сек.

Величина положительной восходящей волны в канале зависит от объема ΔW воды, накопленного за время Δt и от производительности работающего агрегата.

Как показали лабораторные исследования, в зависимости от величины накопленного объема ΔW , начальной глубины h_0

возникают четыре типа волн: волны попуска, уединенные волны, уединенные волны с "хвостами", кноидальные волны.

Волны попуска получаются при относительно малых начальных импульсах, т.е. когда объем ΔW выпускается в канал под небольшим напором и за непродолжительное время. Благодаря этому локальные силы инерции настолько малы, что волна начинает сразу же затухать под действием сил инерции. Эта волна представляет собой несимметричный единственный гребень, расплывающийся по мере перемещения по каналу. Волны эти рассчитываются исходя из известных уравнений Сен-Венана.

Уединенные волны получаются при относительно больших начальных импульсах. Вначале объем ΔW имеет такой же вид, как и волна попуска. По мере перемещения по каналу высота гребня волны увеличивается, а длина её уменьшается, причем, профиль приобретает симметричный вид. После этого уединения волна перемещается по каналу с почти неизменным профилем. Вслед за этим наступает стадия, когда уединенная волна начинает медленно затухать.

Уединенные волны с "хвостами" образуются в случае, когда выпущенный в канал объем воды больше того объема, при котором получается уединенная волна. Эта волна представляет собой вначале единственный гребень, но по мере передвижения образуются второй и третий гребни.

Кноидальные волны возникают в случае, когда выпущенный в канал объем воды примерно в 2 раза больше, чем при образовании уединенной волны. Отличительная особенность этих волн: первый гребень никогда не отрывается от тела волны и высота их относительно большая. Следует отметить, что в натуральных условиях наиболее часто образуются именно такие волны. Они обладают наибольшей разрушительной силой.

На рис. I представлены волнограммы, наблюдаемые при проведении натуральных исследований неустановившихся режимов в канале Шерабадской насосной станции (а), а также опытов в лаборатории кафедры гидравлики ЛПИ (б). Как видно, характер образования волн идентичен для обоих случаев.

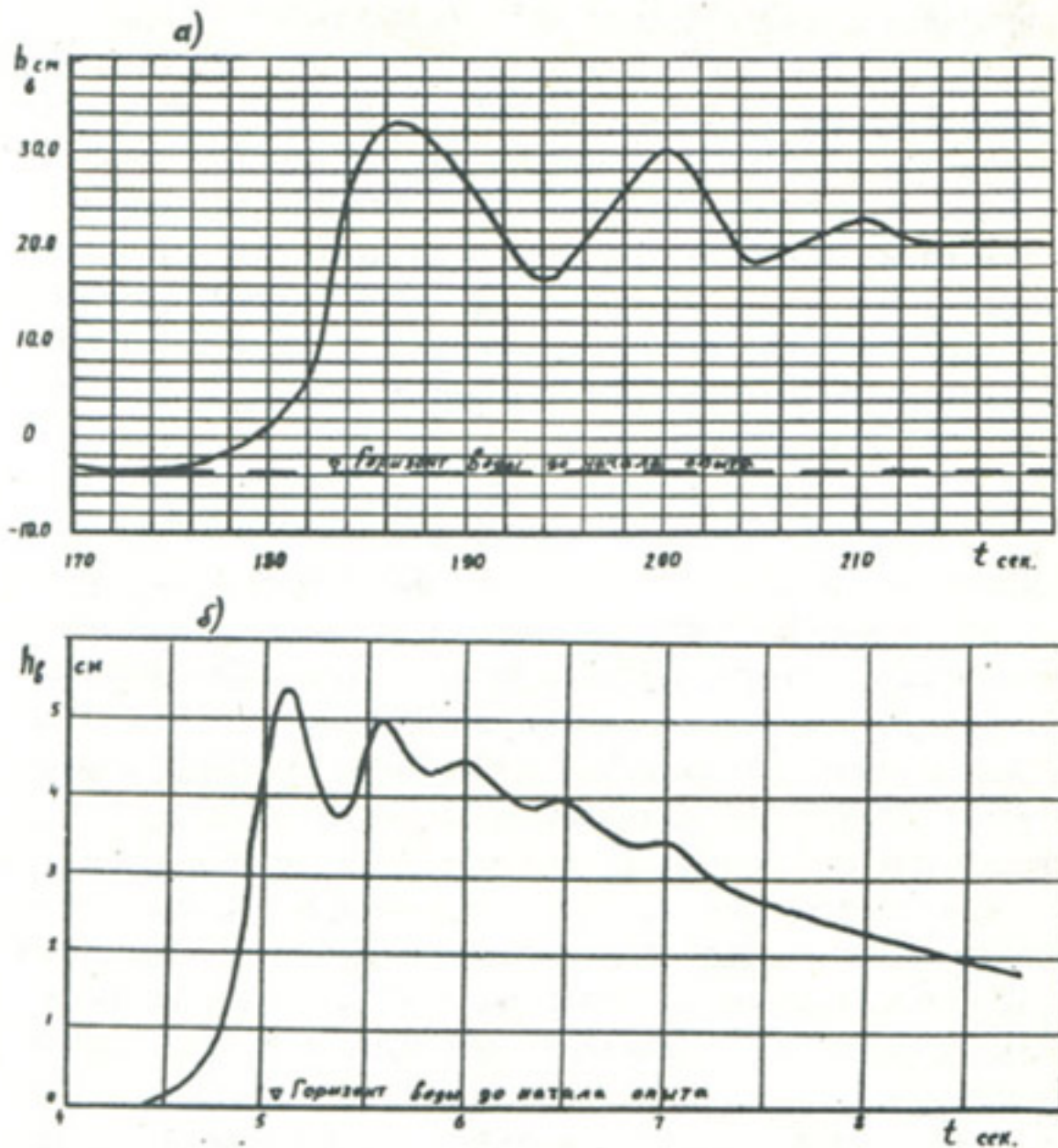


Рис. I. Волнограммы, отмечавшиеся при изучении неустойчивого режима движения воды:
 а - в подводящем канале Шерабадской насосной станции; б - в лабораторных опытах.

На рис. 2 представлены графики, на которые нанесены данные лабораторных опытов, причем по вертикальной оси отложены значения безразмерного параметра $\frac{h_g}{h_0}$ (h_g - высота волны под вершиной первого гребня, h_0 - начальная глубина потока), а по горизонтальной оси отложены значения F_n - так называемого пускового числа ($F_n = V_n \sqrt{g h_0}$).

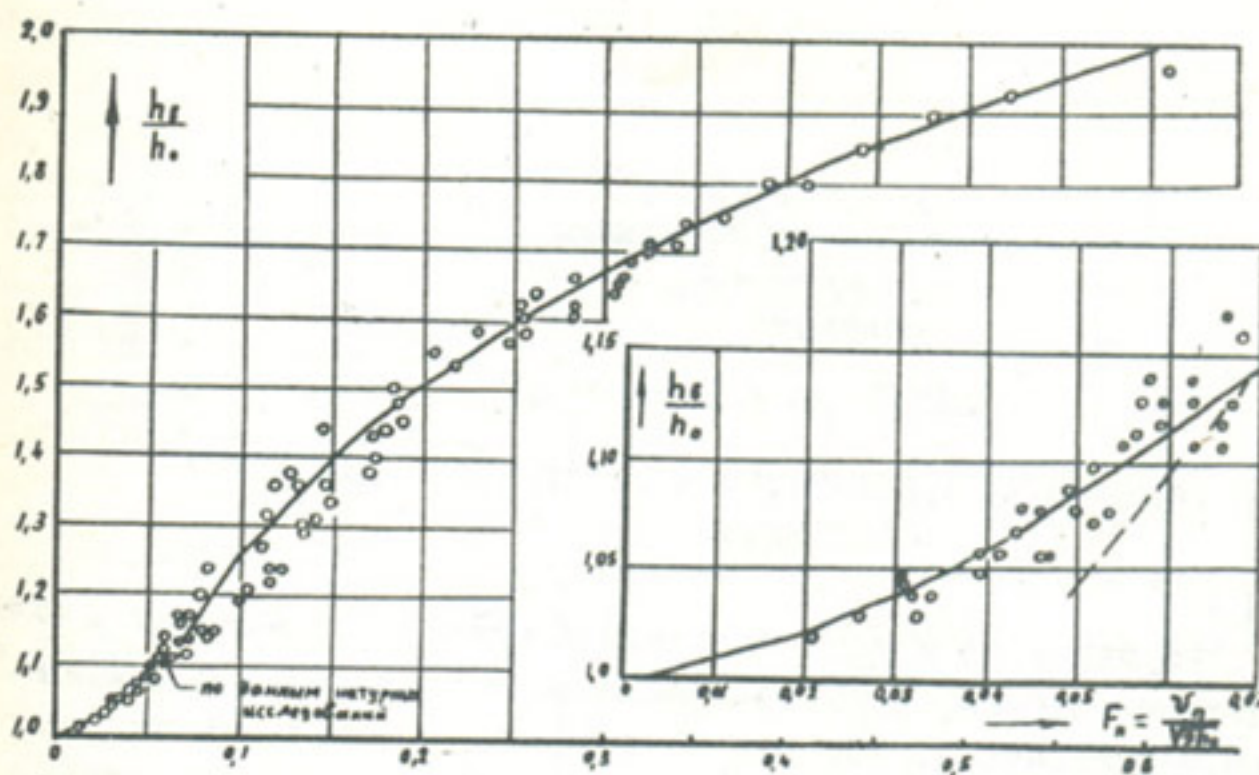


Рис. 2. Кривая зависимости $\frac{h_g}{h_0} = f(F_n)$

Анализ графиков позволил получить следующие расчетные формулы:

при $F_n \leq 0,07$ $\frac{h_g}{h_0} = 4,73 F_n^{3/2}$, (I)

при $0,07 < F_n \leq 0,60$ $\frac{h_g}{h_0} = 2,28 F_n^{0,26}$ (2)

Следует отметить, что четкой границы области существования по параметру F_n различных типов волн установить пока не удалось. Этот вопрос требует дальнейших исследований.

На кривую $\frac{h_g}{h_0} = f(F_n)$ нанесена относительная высота волны, наблюдаемая в одном из опытов (опыт № 6) на канале насосной станции "50 лет Октября" (Андижанская область).

Натурные и лабораторные исследования продолжаются. Задача состоит в том, чтобы оценить достоверность полученных зависимостей по результатам натурных экспериментов.

Л.А.ГЕХТЕР
ст.научный сотрудник,
П.П.ЛИСТРОВОЙ
аспирант

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ЛАБОРАТОРНАЯ ВОЛНОМЕРНАЯ УСТАНОВКА С ЕМКОСТНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Изучение на модели волновых явлений, возникающих в машинных каналах, вызвало необходимость создания специального регистратора, который позволил бы производить запись колебаний горизонтов воды одновременно в нескольких стволах.

Из большого числа известных типов подобных измерителей, отличающихся друг от друга конструкцией и принципом работы, нами были выбраны емкостные датчики. Они обладают рядом преимуществ перед реостатными и электролитическими типами измерителей /2/. На основании принятого типа датчиков была разработана лабораторная волномерная установка.

Конструкция установки представляет собой следующее. Вдоль лотка модели протягивается двухпроводная фидерная линия, к которой в любом требуемом месте при помощи зажимов "крокодил" могут подключаться датчики.

В фидерную линию от звукового генератора ЗГ-10 (или ему подобного) подается переменный ток звуковой частоты 5-20 кгц. Как видно из схемы (рис.1) каждая измерительная цепь состоит из витка медной проволоки, стержня датчика, выпрямительного моста В, соединительной линии и гальванометра Г. При погружении датчика в воду образуется конденсатор, одной из обкладок которого является медная проволока, а другой — вода. Емкость его зависит от количества витков, диаметра провода, толщины изоляции и изменяется с погружением датчика в воду. Колебание величины тока при этом в каждой измерительной цепи регистрируются гальванометром. Напряжение и частота питающего тока в каждом конкретном случае подбираются опытным путем.

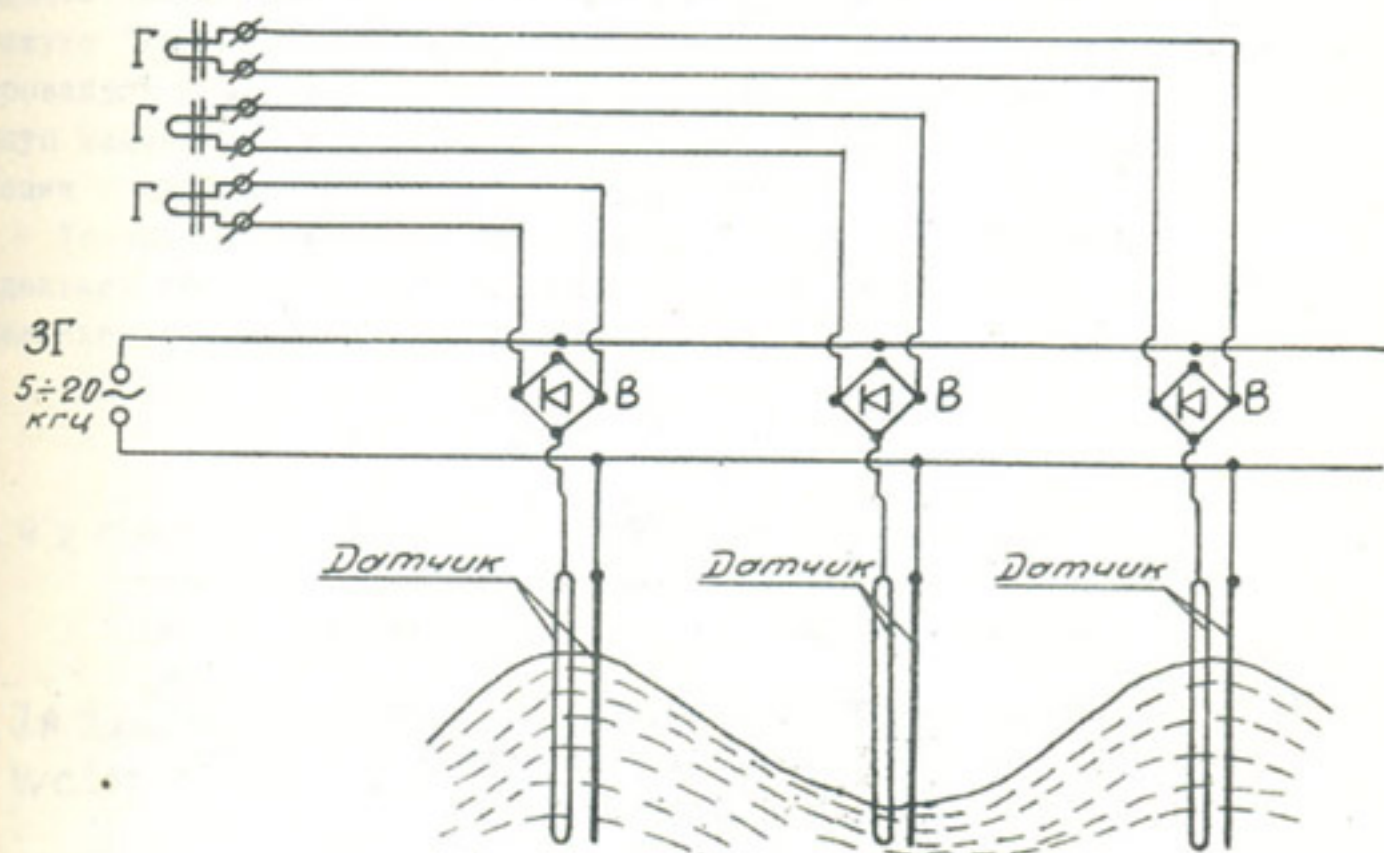


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной волномерной установки с емкостными датчиками.

Датчик представляет собой стальной стержень (рис.2), к которому при помощи плексигласовых изоляторов крепится петля из одного или нескольких витков тонкой (0,2÷0,3 мм) медной изолированной эмалью проволоки. Стержень ввинчивается вместо острия водомерной иглы, которая крепится к лотку. Датчик в потоке воды ориентирован медной проволокой навстречу волне, с тем чтобы поток, обтекающий стержень, не влиял на его показания. Малый диаметр

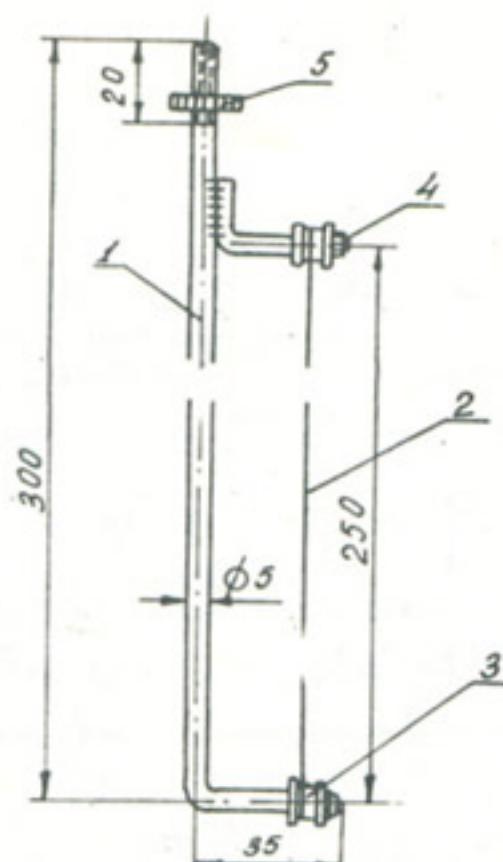


Рис. 2. Конструкция датчика: 1 - рамка;
2 - петля из медной проволоки; 3 - изолятор;
4 - гайка; 5 - контргайка.

проволоки практически исключает ошибки измерений от набегания потока.

Разработанная волномерная установка позволяет непрерывно записывать колебания горизонтов воды одновременно в нескольких (до 10 и более) створах. Зависимость изменения горизонтов воды, как функция времени, получается в виде плавной кривой. Это дает возможность с достаточной точностью построить профиль изучаемых волн в различные моменты времени. Высота регистрируемых волн может колебаться от 0 до 20 см.

После настройки аппаратуры и непосредственно перед началом опытов каждый канал необходимо протарировать. Удобный монтаж на водомерной игле значительно упрощает процесс тарировки. Датчик постепенно погружается с остановками

на известных глубинах и показания фиксируются на ленте осциллографа. Как показали тарировки, рассматриваемые датчики практически имеют линейную характеристику.

Описанная установка была использована при модельных исследованиях неустановившихся режимов движения воды в подводящем канале ГЭС Аккавак-П, которые проводились в институте "Узгипроводхоз". Точность показаний датчиков контролировалась при помощи рейки и нивелира. Опыты показали высокую надежность результатов измерений и простоту в эксплуатации предлагаемой волномерной установки.

Установка может быть использована также при различных модельных гидравлических исследованиях для фиксирования изменения горизонтов воды в створах.

Л и т е р а т у р а

1. Орлов Т.В. Аппаратура для изучения волновых процессов в водоемах Труды координационного совещания по гидравлике, вып.51, М., Изд-во "Энергия", 1969.
2. J.A. Sandover, "An Experimental Wave Recorder", Water Power, June 1957.

А.К.ЗАКУРДАЕВ
инженер

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУММАРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ
НАГРУЗКИ НА ПЛОСКИЕ ЗАТВОРЫ

В 1969-1971 гг. в лаборатории волновых процессов и водохранилищных сооружений САНИИРИ были исследованы модели плоских затворов проектируемого водовыпуска из Талимарджанского водохранилища. Схема продольного разреза одной из труб водовыпуска этого сооружения показана на рис.1.

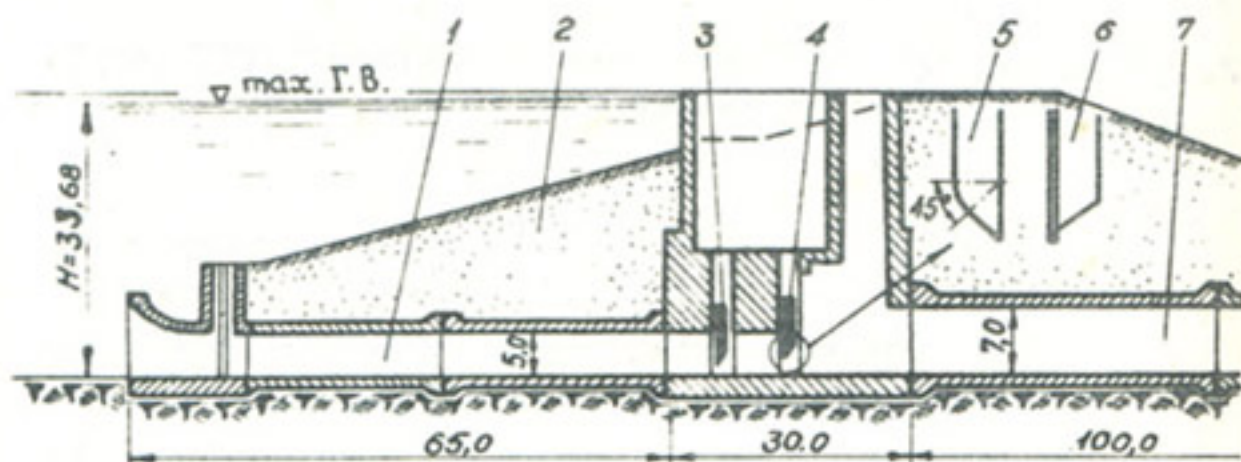


Рис. 1. Продольный разрез трубы водовыпуска:
1 - напорная труба; 2 - земляная плотина; 3 - аварийный
и 4 - рабочий затворы, 5, 6 - очертания исследуемых
нижних кромок затвора; 7 - безнапорная труба.

Затвор перекрывает трубу сечением 5,0х3,5 м. Максимальный напор на пороге входа в трубу в натуре составляет 33,68 м. Истечение из-под затвора производится в безнапор-

ную трубу сечением 7,0х3,5 м. Длина напорной трубы 65 м, безнапорной – 100 м. Расстояние между затворами (в осях пазов) 4,7 м, глубина паза 0,39 м, длина паза (по течению) – 0,73 м. Основным объектом изучения явилась возмущающая сила пульсации давления на затвор.

Исследования проводились на моделях двух масштабов: М 1:25 и М 1:40 натуральной величины. Это было вызвано необходимостью проверить моделируемость основных характеристик случайного процесса пульсации, а также избежать грубых ошибок в процессе работы.

Модели затворов из листового дюралюминия подвешивались в специальных подвижных пазах на шести упругих элементах индуктивных датчиков, четыре из которых фиксировали суммарную пульсацию горизонтальной составляющей, а два – вертикальной (рис.2). Модели затворов имели по две съемные нижние кромки: прямую и скошенную под углом 45° в сторону нижнего бьефа (рис.1). Плоские затворы с таким очертанием (по сравнению с очертаниями другой формы) нижней кромки испытывают значительно меньшую вибрацию под действием вертикальной составляющей пульсации давления, действующей на затвор [3].

Деформации упругих элементов не превышали 0,01 мм при максимальных нагрузках на затвор, при этом собственная частота системы "затвор-пружина" была значительно выше самой высокой частоты спектра нагрузки. Передаточная функция системы при таком соотношении собственной и возмущающих частот практически равна единице, что позволило заменить динамическую тарировку статической, а при пересчете пользоваться постоянными тарировочными коэффициентами.

Электроизмерительная схема показана на рис.2. Индуктивные датчики и цепи к ней рассчитывались по методике, разработанной в лаборатории [11].

Осциллограммы первых опытов показали, что пульсацию давления можно считать равномерно распределенной по всей поверхности затвора при всех открытиях последнего, причем нагрузка распределена симметрично относительно вертикальной оси затвора (рис.3,а). Это дало возможность записывать вибрацию моделей затворов от датчиков одной половины, а

Здесь $n = \frac{a}{h_{\text{тр.}}}$, где a — открытие затвора, $h_{\text{тр.}}$ — высота трубы, перекрываемой затвором. Горизонт верхнего бьефа при этом был неизменным и равен максимальному, т.е. напор на пороге входа в трубу при пересчете в натуру составлял 33,68 м.

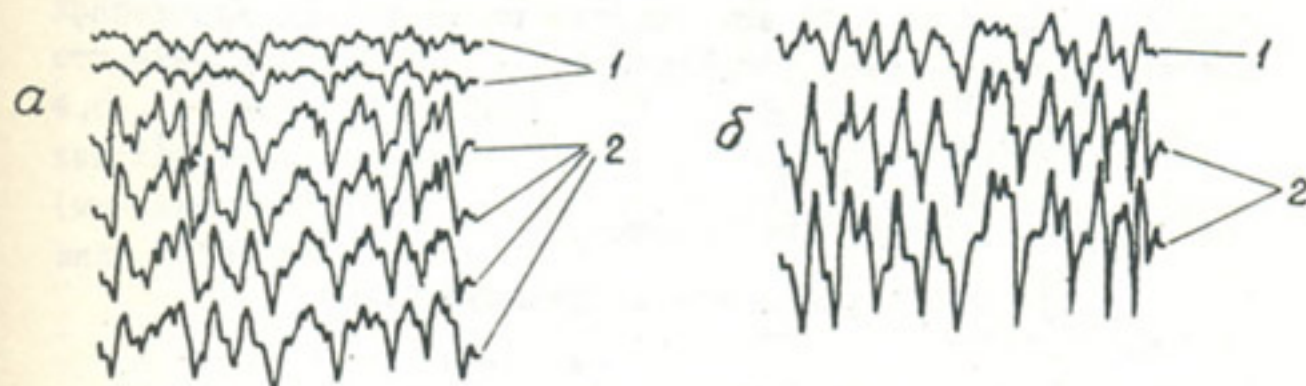


Рис. 3. Осциллограммы пульсации, записанные шестью датчиками — а; тремя датчиками — б: 1 — вертикальная и 2 — горизонтальная составляющие.

Известно, что пульсация давления турбулентного потока — случайный процесс; в зависимости от режима протекания он может быть стационарным или нестационарным. Например, при установившемся движении потока, т.е. неизменном напоре в.б. и неподвижном затворе пульсацию давления на последний можно считать стационарным случайным процессом; при движении затвора или колебаниях напора в.б. пульсация будет нестационарной.

Записи осциллограмм производились, как упоминалось выше, при установившемся движении, т.е. записывались стационарные случайные процессы пульсации.

Обработка осциллограмм заключалась в определении двух важнейших характеристик стационарного случайного процесса:

- 1) закона распределения (одномерного) и
- 2) спектральной плотности.

Закон распределения в значительной степени определяет моделирование пульсации; спектральная плотность, помимо про-

верки моделирования, необходима как основная расчетная характеристика при динамическом расчете. Кроме того, определялись зависимости $P = f(n)$ и $\Delta P = f(n)$, где P – полное давление на затвор, ΔP – пульсация давления (область давления, в которой происходят случайные колебания затвора). Кривые $P = f(n)$ и $\Delta P = f(n)$ показаны на рис. 4.

Спектральная плотность определялась через автокорреляционную функцию. Обе эти характеристики, как известно, связаны косинус-преобразованием Фурье:

$$S_p(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_p(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau, \quad (I)$$

где $S_p(\omega)$ – спектральная плотность,

$K_p(\tau)$ – автокорреляционная функция (АКФ).

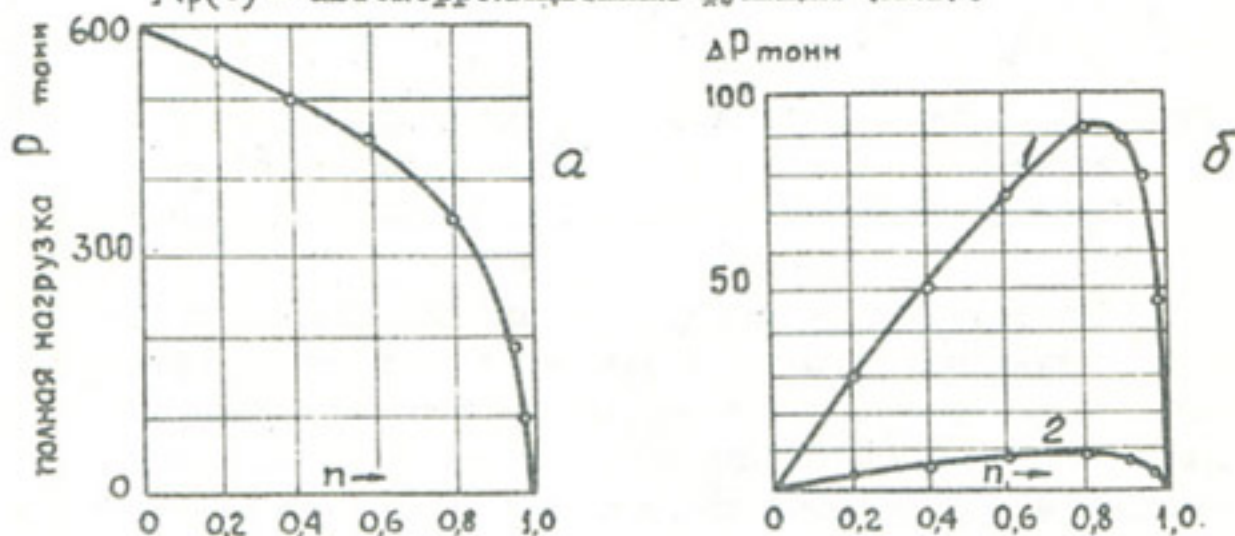


Рис. 4.

Кривые $P = f(n)$ и $\Delta P = f(n)$:

1 – горизонтальная и 2 – вертикальная составляющие.

Результаты обработки и сопоставления данных моделей обоих масштабов дали основания утверждать справедливость применения закона гравитационного подобия при моделировании пульсации давления (рис. 5). При этом, как известно, критическое число Рейнольдса модели должно быть $Re_k \geq 500$ [5], что и было соблюдено на исследуемых моделях ($Re_{min.м.} = 17000$).

На рис.5,б видно, что нормированные АКФ для всех открытий затвора мало отличаются друг от друга до первого нуля, что позволило нам ввести единую нормированную АКФ для всех открытий. Таким образом, АКФ различных открытий отличаются только вертикальным масштабом, определяемым дисперсией процесса пульсации (D_p). Дисперсия каждого открытия определяется из зависимости $\Delta P = f(\tau)$ (рис. 4,б). В результате тщательной проверки выявлено, что среднеквадратическое отклонение $\sigma_p = \sqrt{D_p}$ и величина ΔP (максимальный размах) достаточно хорошо подчиняются правилу "трех сигм", т.е.

$$\sigma_p = \frac{1}{6} \Delta P \quad (2)$$

поскольку пульсация давления подчиняется нормальному закону распределения (рис.5,а).

Таким образом, результаты масштабной серии опытов дают нам право считать справедливыми следующие соотношения (для любых одинаковых относительных открытий затвора):

$$K_{\text{нат.}}(\tau_n) = \mu^2 K_{\text{мод.}}(\tau_m), \quad (3)$$

где $K_{\text{нат.}}(\tau_n)$ - АКФ природы ($K(0) = D_p$);

$K_{\text{мод.}}(\tau_m)$ - то же модели;

μ - масштабный коэффициент;

τ_n и τ_m - временные интервалы модели и природы, связанные выражением

$$\tau_n = \mu^{0,5} \tau_m \quad (4)$$

Для спектральных плотностей из (1) и (3) получаем:

$$S_{p.\text{нат.}}(\omega_n) = \mu^2 S_{p.\text{мод.}}(\omega_m), \quad (5)$$

где

$$\omega_n = \mu^{-0,5} \omega_m \quad (6)$$

(ω_n и ω_m - круговые частоты природы и модели).

Совокупность нормированных АКФ (рис.5,б) была заменена при расчете одной средней и аппроксимирована выражением типа

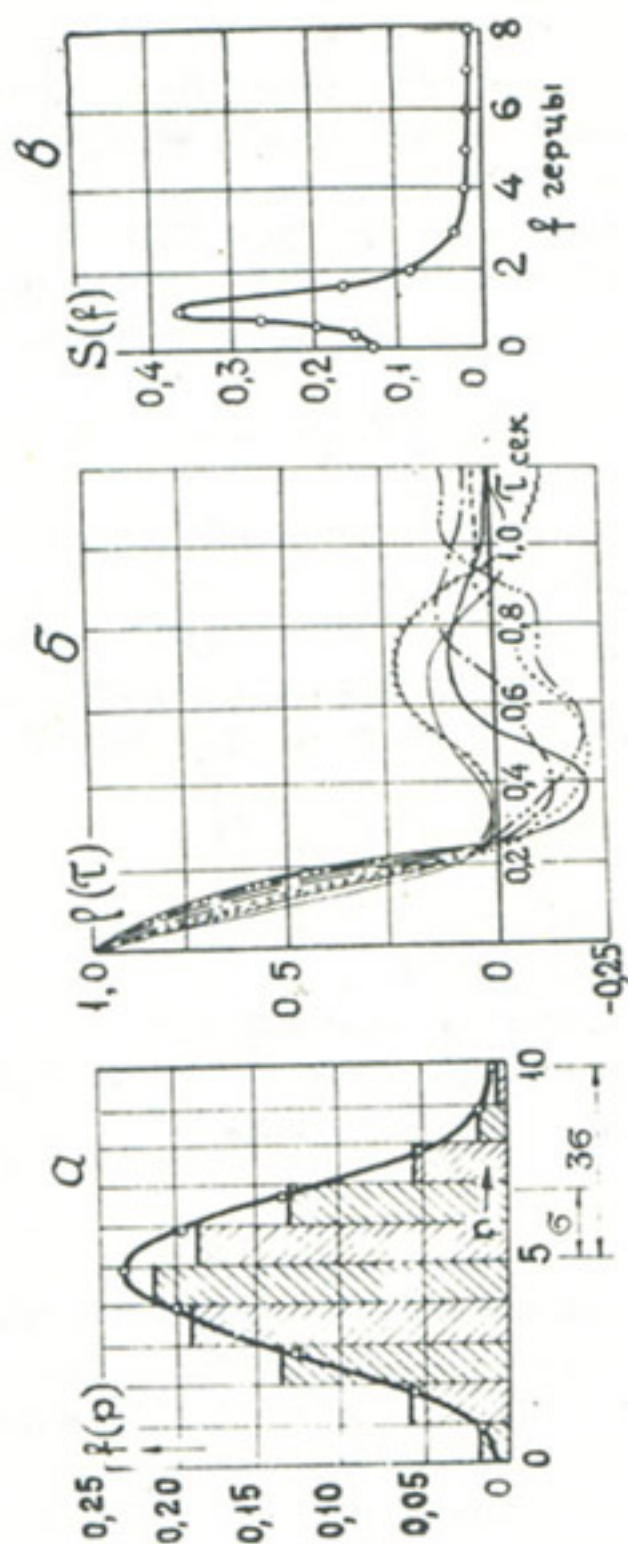


Рис. 5. Закон распределения пульсации давления - а; совокупность нормированных АКФ различных открытий затвора - б; нормированная спектральная плотность для всех открытий затвора - в.

$$\rho(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau \quad (7)$$

Коэффициенты α и β определяются элементарным преобразованием (7) и равны, соответственно, $\alpha = -3$, $\beta = 2\pi$; откуда (7) приобретает конкретный вид

$$\rho(\tau) = e^{-3|\tau|} \cos 2\pi\tau \quad (8)$$

Спектральная плотность из (I) с учетом (8) для частоты " f ", выраженной в герцах, имеет следующий вид:

$$S_p(f) = \left[\frac{3}{9 + 4\pi^2(f+1)^2} + \frac{3}{9 + 4\pi^2(f-1)^2} \right] \quad (9)$$

Зная конкретный вид $S_p(f)$, можно оценить вклад динамической нагрузки, действующей на затвор.

Спектральная плотность вынужденных колебаний затвора связана со спектральной плотностью нагрузки известным выражением

$$S_c(\omega) = |\Phi(p)|^2 S_p(\omega) \quad (10)$$

где $S_c(\omega)$ - спектральная плотность вынужденных колебаний системы,

$|\Phi(p)|$ - модуль передаточной функции.

При расчете ригеля затвора по первой, основной, форме колебания (резонанс по первой форме) можно использовать формулу, которая получается из (10) в предположении, что спектральная плотность вблизи собственной частоты системы изменяется достаточно плавно, без резких изменений (т.е. считается, что в окрестности собственной частоты системы $S_p(\omega) = \text{const}$ [4]):

$$\bar{y}_c = \eta_1 \sqrt{\frac{S_g(f)}{64\pi^3 f^3 \xi}} \quad (11)$$

где $\bar{y}_c$ - среднеквадратический прогиб ригеля посредине пролета;

$$S_g(f) = \frac{S_p(f)}{M^2};$$

M - масса ригеля;

η_1 - коэффициент вовлечения первой формы колебаний [4];

ζ - безразмерный коэффициент затухания системы.

Зная $\bar{y}_c$, а также учитывая, что при резонансе колебания системы представляют собой узкополосный, случайный процесс, пиковые значения которого подчиняются закону распределения Релея -

$$f(p) = \frac{p}{\sigma_p^2} e^{-\frac{p^2}{2\sigma_p^2}} \quad (12)$$

можно определить вероятностную степень деформации конструкции, а вместе с ней и возникающие при этом напряжения.

Численный расчет ригеля затвора по (II) показал, что на резонансной частоте первой формы колебания ($f_{рез.} = 125$ гц) динамический коэффициент по среднеквадратическому отклонению (стандарту) $\lambda = 50$; а учитывая, что пиковые значения могут превышать стандарт в 4 раза (вероятность 0,3%), динамические нагрузки на затвор в резонансном режиме становятся соизмеримыми с максимальной расчетной нагрузкой ($P_{max} = 600$ т) и составляют около 30% последней.

Значительный интерес представляет собой вибрация рабочего затвора при совместной его работе с аварийным затвором. Оказалось, что при определенных отношениях открытий обоих затворов рабочий затвор испытывает вибрацию, значительно превышающую вибрацию одиночной работы. Кривые изменения вибрации рабочего затвора при совместной работе его с аварийным показаны на рис.6. При этом отмечена характерная особенность постоянства максимального уровня вибрации на всех открытиях.

При совместной работе затворов отмечен также весьма бурный режим протекания потока в межзатворной части трубы, сопровождающийся пульсирующим вакуумом до 6 м вод.ст. Поэтому в межзатворную часть рекомендован подвод воздуха, что в определенной степени снижает динамические нагрузки на стенки трубы и затворы.

Вертикальная составляющая вибрации обеих кромок оказалась приблизительно одинаковой. Скошенная кромка вызывает более бурный режим протекания потока в пазах, но имеет

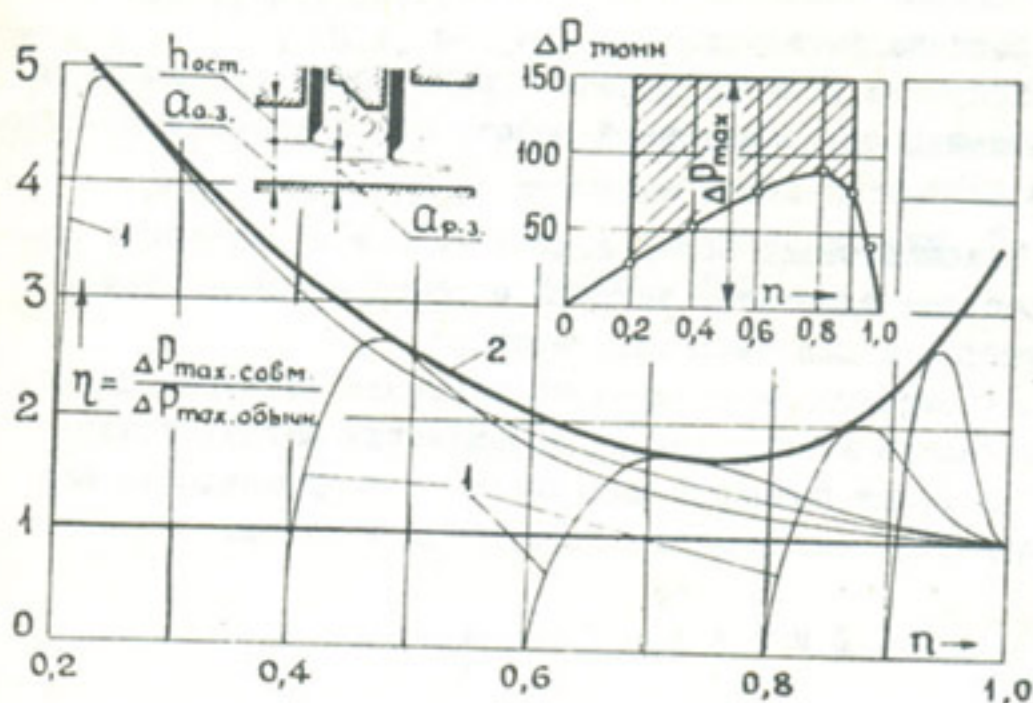


Рис. 6. Кривые $\eta = f(n)$ - 1, и огибающая их максимальных значений - 2,

то преимущество, что уменьшает подъемное усилие закрытого затвора, которое уменьшается по мере поднятия последнего.

В связи с тем, что максимум динамической нагрузки приходится на относительные открытия $n = 0,70 - 0,85$, рекомендовано избегать работы затвора в этом диапазоне, а также при отсутствии острой необходимости не допускать совместной работы рабочего и аварийного затворов.

На основании изложенного можно дать следующую краткую характеристику полученным результатам работы:

1. Масштабная серия опытов экспериментально подтвердила возможность моделирования по Фруду одной из важнейших характеристик турбулентного течения - энергетического спектра пульсации давления на сравнительно большие поверхности (обшивки затворов) в условиях напорного режима (рис.1);

2. Исследования показали независимость нормированных АКФ пульсации от открытий затвора в пределах $1,0 > n \geq 0,2$ (рис.5,6) при неизменном напоре верхнего бьефа;

3. Уточнена зависимость стандартов пульсации от открытия затвора (рис.4,б), которая в совокупности с нормированным спектром является основной характеристикой динамического расчета затвора;

4. Получена количественная оценка роста пульсации на рабочий затвор при совместной работе его с аварийным затвором (рис.6);

5. Рекомендована более современная и совершенная методика расчета элементов затвора с помощью спектральных характеристик и дан численный пример;

6. Рекомендованы режимы эксплуатации затворов, позволяющие избежать максимальных динамических нагрузок, что в итоге позволит повысить надежность и долговечность как самих затворов, так и всего сооружения в целом.

Л и т е р а т у р а

1. А б е л е в А.С. Исследование пульсации суммарной гидродинамической нагрузки для расчета вибрации плоских глубинных затворов, Известия ВНИИГ, т.58, 1958.
2. А б е л е в А.С. Моделирование пульсации суммарной гидродинамической нагрузки на плоские затворы, Известия ВНИИГ, т.61, 1958.
3. З а к у р д а е в А.К., К е б е р л е С.И. Влияние очертания нижней кромки плоского затвора на вертикальную составляющую его вибрации, Труды САННИРИ, вып.122, Ташкент, 1970.
4. К р е н д е л л С. и др. Случайные колебания, изд-во "Мир", М., 1967.
5. Л е в и И.И. Моделирование гидравлических явлений, изд. "Энергия", 1967.
6. Л я т х е р В.М. Турбулентность в гидросооружениях, изд-во "Энергия", 1968.
7. М о н и н А.С., Я г л о м А.М. Статистическая гидромеханика (механика турбулентности), Изд-во "Наука", М., 1967.

8. С в е ш н и к о в А.А. Прикладные методы теории случайных функций, Изд-во "Наука", М., 1968.
9. С е д о в Л.И. Методы подобия и размерности в механике, М., 1957.
10. Т и х о н о в В.И. Выбросы случайных процессов, Изд-во "Наука", М., 1970.
11. Г е х т е р Л.А., З а к у р д а е в А.К. Проектирование индуктивных датчиков и измерительных цепей к ним, И. "Вопросы гидротехники" вып.12, Ташкент, изд-во АН УзССР, 1963.

А.И. К И М
инженер
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ТИПОВЫХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ДИСПЕРСНОСТИ ИХ АРМИРОВАНИЯ

Как известно, армоцемент по своим физико-механическим свойствам качественно отличается от железобетона. Сочетание мелкозернистого бетона с тканой металлической сеткой позволяет изготавливать тонкостенные (10-30 мм) сборные конструкции и сооружения, предназначенные для мелиоративного строительства. В армоцементе бетон имеет значительно большую удельную площадь сцепления с поверхностью арматуры - проволокой сетки, что способствует более равномерному распределению приложенных на него усилий. Растяжимость его в стадии деформации намного больше, чем у железобетона. Мелкозернистый бетон в армоцементе практически полностью находится в сфере влияния арматурной сетки, т.е. зависимость между напряжениями и упругими деформациями, вплоть до появления в бетоне микротрещин, прямолинейна.

В настоящее время армоцемент изучен еще недостаточно, в частности оценка критерия дисперсности армирования. Нами были проведены эксперименты по определению влияния степени дисперсности на физико-механические свойства армоцемента, используемого в мелиоративном строительстве.

Испытывались армоцементные плиты (по три штуки в партии), армированные ткаными металлическими сетками №10/1 и № 6/0,7 в два, четыре и шесть слоев. Цель опытов - определение зависимости степени дисперсности от изменения коэффициента сетчатого армирования. Толщина плит 2 см, ширина 15 см.

Испытания проводились по схеме балки, опертой на две подвижные опоры. Нагрузка - сосредоточенная линейная, приложенная на середине пролета плиты. Расстояние между опорами - 43 см.

Расчетные формулы:

для определения максимального изгибающего момента -

$$M = \frac{P \cdot l}{4},$$

где P - расчетная нагрузка, кг;
 l - расстояние между опорами, см;

для выявления предела прочности на растяжение при изгибе -

$$R = \frac{6M}{b \cdot h^2}.$$

Здесь h - толщина плиты, см;
 b - ширина ее, см;

для установления коэффициента сетчатого армирования -

$$\mu = \frac{F}{b \cdot h}.$$

F - площадь сечения всех проволок сетки на единицу длины плиты, см.

Были использованы сетки с квадратными ячейками № 10/1,0, коэффициент сетчатого армирования которых при одном слое на 1 см толщины плиты был равен 0,0071, и сетки № 6/0,7, имеющие значение " μ " равное 0,0058.

Из результатов экспериментов (таблица) видно, что плиты, армированные сетками № 10/1,0 в шесть слоев, в 2,48 раза прочнее на растяжение при изгибе по сравнению с плитами, армированными такими же сетками в два слоя; расход сетки при этом увеличился в три раза. Между тем в плитах, армированных более частой и мелкой сеткой, этот разрыв несколько сократился и составил, соответственно, 2,56 и 3 раза.

Из сравнения данных испытаний плит 1 и 2, армированных, соответственно, сетками 10/1,0 и 6/0,7 в два слоя, видно, что у плиты 2 по сравнению с плитой 1, при меньшем удельном расходе сетки на армирование по весу (почти на 25%) способность плиты на растяжение при изгибе (R_{pu}) на 6,3% выше. А у

плиты 6, армированной сеткой 6/0,7 в шесть слоев, эти показатели больше, чем у плиты 5, армированной сеткой 10/1,0

Т а б л и ц а

Номер плиты	Номер и ко- личество сеток	Расход сетки на 1 дм ² плиты, г	R, кг	M кг/см	R _{рц} кг/см ²	μ
1	10/1,0 в 2 слоя	11,5	51,7	555	55,5	0,0071
2	6/0,7 в 2 слоя	9,0	55,0	590	59	0,0058
3	10/1,0 в 4 слоя	23,0	95,0	1020	102,0	0,014
4	6/0,7 в 4 слоя	18,0	105,0	1125	112,5	0,012
5	10/1,0 в 6 слоев	34,5	128,0	1370	137,0	0,021
6	6/0,7 в 6 слоев	27,0	140	1510	151,0	0,017

также в шесть слоев, соответственно, на 25 и 11 процентов, т.е. количество сеток, по сравнению с удельным их расходом растет интенсивнее. Аналогичный вывод следует и при сравнении плит 3 и 4. На графике (рисунок) приведена зависимость предела прочности армоцемента на растяжение при изгибе $R_{рц}$ от изменения коэффициента сетчатого армирования μ . Ординаты U_1, U_2, U_3 и U_4 характеризуют абсолютное увеличение предела прочности армоцемента от растягивающих усилий при изгибе за счет дисперсности армирования при неизменном μ . Отношения $U_1/U_5, U_2/U_6, U_3/U_7, U_4/U_8$ характеризуют степень дисперсности армирования сеток 10/1 и 6/0,7 в армоцементе при соответствующих значениях коэффициента сетчатого армирования, равных 0,0071, 0,012, 0,014 и 0,017.

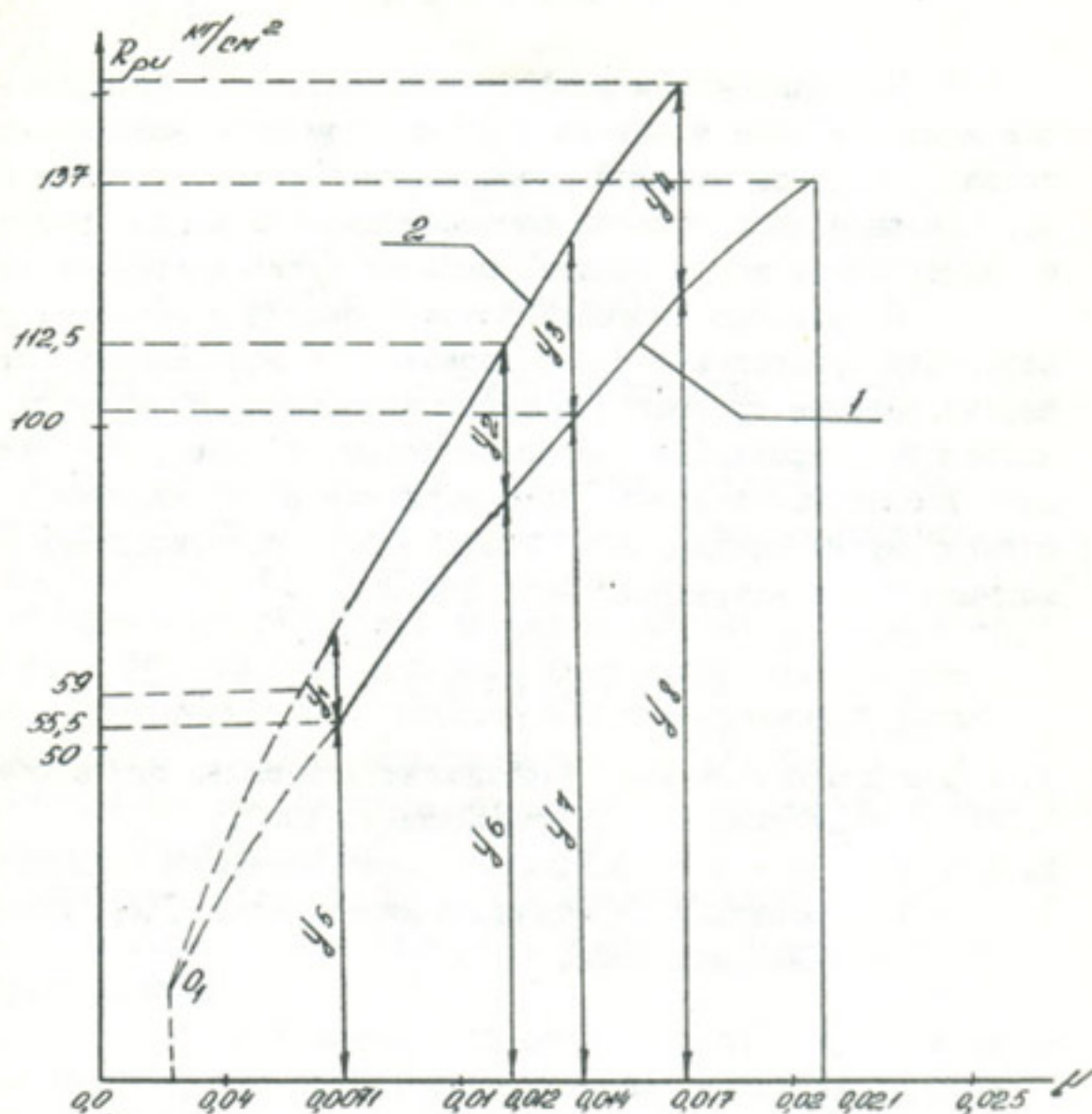


График зависимости R_{pu} от μ в армоцементе с арматурой: I — из тканой сетки № 10/1,0; 2 — № 6/0,7.

Как видно из графика, степень дисперсности тем выше, чем мельче и чаще сетка и выше коэффициент сетчатого армирования. Так, при одинаковом коэффициенте сетчатого армирования (равном 0,0071), дисперсность у сетки 6/0,7, на 20,4% выше, чем у сетки 10/1,0; а при коэффициенте сетчатого армирования, равном 0,017, разница составляет уже 28%. Точку пересечения линий I и 2 — 0 — в частном толковании можно принять за нижний предел армирования, ниже которого арматурная сетка практически дисперсности не проявляет, т.е. не способствует повышению несущей способности армоцемента за счет дисперсности. Следовательно, армоцемент в данном случае качественно не отличается от обычного железобетона.

В ы в о д ы

1. При одинаковом коэффициенте сетчатого армирования чем мельче и чаще арматурная сетка, тем выше эффективность использования ее несущей способности в мелкозернистом бетоне. Чем выше дисперсность армирования, тем меньше расход и эффективнее использование металла сетки в армоцементе.

2. Необходимо продолжить исследования и проверку дисперсности армирования с определением ее минимального предела, за которым запроектированный армоцемент становится обычным слабоармированным мелкозернистым бетоном. Результаты этих исследований должны быть включены в действующее в настоящее время официальное "Указание по проектированию армоцементных конструкций" - СН 366-67.

Л и т е р а т у р а

1. Г р о д с к и й Е.Я. Армоцемент для сельского строительства. М., Госстройиздат, 1962.
2. Б а л а в а д з в В.К. Армоцемент-материал качественно отличный от обычного железобетона, М., Госстройиздат, 1962.

Л.М. Ботвина
канд. техн. наук (ТашПИ)

З.Х. Джумаходжаев
мл. научн. сотр.

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

СИЛИКАТОБЕТОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

Большие объемы ирригационного строительства выявили необходимость изыскания новых видов строительных материалов и конструкций для устройства дренажа.

Закрытый горизонтальный дренаж изготавливается в основном из труб с плотным черепком (керамических, асбоцементных, бетонных) с многослойной песчано-гравийной, фильтрующей обсыпкой. Такое строительство требует больших капиталовложений и не отвечает современным требованиям индустриализации строительства.

В последнее время в Советском Союзе и за рубежом для трубчатых дренажей стали применять пористые бетонные трубы — трубофильтры.

Трубофильтры совмещают роль водопроводящей трубы и фильтрующей обсыпки, что существенно упрощает конструкцию дренажа, снижает его стоимость и позволяет использовать индустриальные методы строительства.

Стоимость устройства дренажа из пористых бетонных труб без гравийного фильтра на 15–20% ниже стоимости строительства дренажа из керамических и гончарных труб с гравийной обсыпкой. При этом на один погонный метр экономится 0,28 м³ дорогостоящего и дефицитного песка и щебня.

В настоящее время в нашей стране накоплен определенный опыт изготовления и эксплуатации трубофильтров, которые изготавливаются в основном из бетонов на цементном вяжущем и заполнителей в виде мелкого щебня или керамзитового гравия. Следует отметить, что такие дренажные трубы в агрессивных грунтовых водах использовать нельзя, что ограничивает применение их в условиях сильно минерализованных почв и грунтовых вод Средней Азии. Для получения стойких трубофилт-

ров в ТашПИ и САНИИРИ исследовались возможности применения пористого силикатобетона. Исходной предпосылкой изготовления трубофильтров явилось получение в лаборатории образцов бетона с достаточным пределом прочности и высокой химической стойкостью.

В качестве компонентов силикатобетона были использованы негашеная известь, лёсс, предварительно дегидратированный при температуре 650°C , керамзитовый песок фракции 5–0,15 мм и объемным весом 800 кг/м^3 . Известь и дегидратированный лёсс предварительно подвергли помолу до получения удельной поверхности $5000\text{--}6000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Для регулирования сроков схватывания лессоизвесткового вяжущего, исходя из технологических факторов вводился двухводный гипс в количестве 4% от веса извести. При подборе состава пористого бетона водотвердое соотношение подбиралось таким образом, чтобы обеспечить наилучшие технологические свойства бетона. Для получения хорошо фильтрующего бетона необходимо, чтобы вяжущее удерживалось на поверхности частиц заполнителя и в процессе формовки труб не происходило затекания пор.

При подборе состава бетона брались различные соотношения лессоизвесткового вяжущего и керамзита. Отформованные образцы после предварительной выдержки помещались в автоклав, где происходило запаривание при 8 атм.

В среде насыщенного пара происходит химическое взаимодействие между основными компонентами сырьевой смеси: известью, дегидратированным лёссом и керамзитом. Образующиеся в результате реакции гидросиликаты срастаются с зернами заполнителей в прочный камень.

Эксперименты показали, что зависимость прочности бетона от содержания в смеси активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ проходит через максимум. В начале прочность с повышением содержания активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ в смеси возрастает, а при дальнейшем увеличении снижается. Это снижение связано с неполным связыванием извести в новообразованиях при автоклавной обработке. Исследования влияния активности смеси лессоизвестковых композиций на прочность позволили выбрать

Т а б л и ц а

Результаты испытаний образцов, хранившихся в различных условиях

Отношение: вяжущего к заполни- телю при активно- сти массы 8% CaO	Предел прочности при сжатии, кг/см ²												Кэффи- циент размяг- чения	Кэффи- циент фильт- рации, м/сут	Объемный вес, г/см ³
	в воздушных условиях						в воде								
	в агрессивной водной среде						в агрессивной водной среде								
	30	90	180	30	90	180	30	90	180	30	90	180			
I : 3	202	215	218	140	149	153	147	153	158	0,7	-	1,42			
I : 4	178	184	189	124	129	132	134	141	146	0,7	0,9	1,25			
I : 5	153	156	157	107	111	112	122	133	136	0,71	5,32	1,15			
I : 6	116	118	119	98	101	101	99	106	106	0,85	10,8	1,05			

оптимальную активность массы, равную 8% в пересчете на активную CaO .

Для изучения физико-механических свойств образцы бетона помещались в различные условия хранения (таблица). В качестве агрессивной среды использовался раствор, содержащий следующее количество солей (в г/л):

сернокислого натрия	- 20,2;
сернокислого магния	- 14,5;
сернокислого кальция	- 0,5;
хлористого натрия	- 20,7.

Фильтрационные свойства пористого бетона связаны с прочностью обратной зависимостью. Наиболее приемлемым по своим прочностным и фильтрационным свойствам оказался силикатобетон состава 1:5.

Из бетона оптимального состава на Джизакском комбинате строительных материалов была изготовлена серия труб. Трубофильтры формовались на станке СДТ-1-64 и после предварительной выдержки в течение 2-3 час. были автоклавированы по режиму 2+10+3 часа при 8 атм. После хранения в нормальных условиях в течение одного месяца трубы были подвергнуты испытаниям.

Характеристика трубофильтров:

внутренний диаметр, мм	- 150-200;
длина, мм	- 600;
толщина стенки, мм	- 50;
разрушающее усилие, кг/пог.м	- 1800-2000;
коэффициент фильтрации, м/сутки	- 6-10.

Показатели испытаний несущей способности, коррозиестойчивости, фильтрационных свойств образцов полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к конструкции сооружений для водохозяйственного строительства, и позволяют рекомендовать фильтрующий силикатобетон для изготовления трубофильтров.

Б.Ю.САДЬКОВ
аспирант
(САНИИРИ)

К ВОПРОСУ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ
КОНТРОЛЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИРРИГАЦИОННЫХ
КАНАЛОВ

Для определения расхода оросительной воды в эксплуатационной гидрометрии применяются главным образом косвенные методы, основанные на предварительном расчетном или тарифовочном установлении зависимостей от непосредственно измеряемых параметров потока, переменных величин конструктивных элементов (уровня, напора, перепада уровней воды, положения затвора и т.д.).

В практике гидрометрических служб эксплуатации оросительных систем широко распространен русловой метод учета воды. Русловой метод, как правило, применяется на естественных или фиксированных руслах гидростов при отсутствии

подпорно-переменного режима движения потока [1]. В основу этого метода положено установление (с помощью вертушечных контрольных замеров) зависимостей расходов, проходящих через контрольный гидроствор, от соответствующих им значений уровня воды — $Q = f(H)$.

Однако, как показано в [2], этот метод дает ошибки измерения расходов при деформации русла (вследствие размыва, заиления и других причин) до 10–20% и более. Это происходит из-за нарушения однозначной зависимости $Q = f(H)$. Для

компенсации погрешностей, возникающих вследствие деформации русла, в гидрометрии разработан ряд способов их частичного устранения.

Для гидрометрических постов на головных участках магистральных каналов, где деформации русел происходят лишь в вертикальном направлении, наиболее приемлемы способы, описанные в [1]:

а) способ приведения кривой расходов к основному "живому сечению";

б) способ использования стандартной кривой с внесением поправок уровня воды.

Получаемая при этих способах приведенная или стандартная кривая позволяет снимать с нее значения текущих расходов воды при известных уровнях H с учетом деформации русла, для чего к измеренному значению уровня H периодически вносятся поправки $\pm \Delta H$. Вопрос периодичности ввода поправок рассмотрен в работе [3].

При создании централизованного контроля технологических параметров гидромелиоративных систем необходима автоматизация ввода поправок $\pm \Delta H$ при известной зависимости

$$Q = f(H). \quad [4].$$

Осуществить это можно двумя путями:

1. Созданием специального устройства, которое с учетом поправок $\pm \Delta H$ выдавало бы значения $H_{\text{испр.}}$ в систему сбора информации;

2. Разработкой алгоритма обработки исходных данных гидрометрической служб для коррекции зависимости $Q = f(H)$ при отклонении сечения русла в гидростворе от основного.

Неудобство ввода поправок — табличная запись зависимости $Q = f(H)$. При этом Q определяется из табличного значения Q_i , отвечающего значению H_i . Одним из наиболее рациональных методов определения Q является запись $Q = f(H)$ каким-либо аналитическим выражением, что избавляет от необходимости занесения всей таблицы в память вычислительной машины. В [5, 6] показано, что для эксплуатации с достаточной степенью приближения рассмотренная зависимость может быть выражена в виде

$$Q = aH^2 + bH + c, \quad (I)$$

где a, b, c — коэффициенты полинома.

При аппроксимации функции $Q = f(H)$ полиномами вида [1] в память машины заносятся только коэффициенты. Вычисление коэффициентов аппроксимирующего полинома возможно по методу наименьших квадратов [7, 8], по методу средних [8], по методу асимптотических полиномов [6]. Все эти методы обеспечивают достаточную степень приближения при аппроксимации

кривой $Q = f(H)$ полиномами (I).

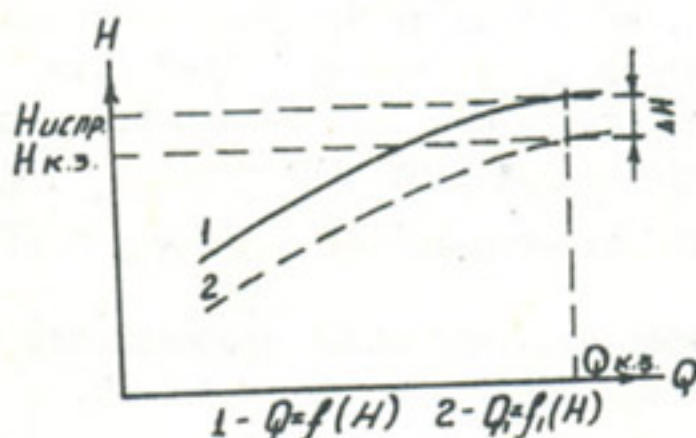
Для временных кривых, найденных по способам а) и б), выражение зависимости расхода воды от уровня примет вид

$$Q = f(H_{испр}), \quad (2)$$

где

$$H_{испр.} = H \pm \Delta H. \quad (3)$$

Для удобства автоматизации обработки информации предлагается вводить коррекцию не на текущее значение аргумента, а изменять сам оператор, т.е. $Q = f(H)$ представить в виде $Q_1 = f_1(H)$ где H - текущее значение уровня воды.



Тогда (I) преобразуется в

$$Q = \alpha H^2 + K_1 H + K_2 C, \quad (4)$$

(K_1 и K_2 - временные коэффициенты на деформацию русла).

Из построения кривой $Q = f(H_{испр})$ или $Q_1 = f_1(H)$.

(рисунок) следует, что кривые, выраженные по (I) и (4), параллельны и для них:

$$\frac{\partial Q}{\partial H_{испр}} = \frac{\partial Q_1}{\partial H}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial H_{испр}^2} = \frac{\partial^2 Q_1}{\partial H^2}. \quad (6)$$

Зная значение текущего расхода $Q_{н.з.}$ при уровне $H_{н.з.}$ которое определяется при контрольном замере, нетрудно из (I) найти $H_{испр.}$; далее, решая (3,4,5,6), находим значения временных коэффициентов K_1 и K_2 :

$$K_1 = \frac{2\sigma\Delta H + \delta}{\delta}, \quad (7)$$

$$K_2 = \frac{\sigma\Delta H^2 + \delta\Delta H + c}{c}. \quad (8)$$

где $\Delta H = H_{испр.} - H_{н.з.}$. (9)

Процедура ввода временных коэффициентов K_1 и K_2 с частотой 3, найденных по предлагаемому алгоритму, моделировалась для зависимости $Q_i = f_i(H)$ створа гидропоста ПК6 Правобережного Большого канала р.Зарафшан. Коэффициенты полинома при этом вычислены по [8]:

$$\sigma = 24,79; \quad \delta = 1,622; \quad c = -8,635.$$

В таблице приведены временные коэффициенты K_1 и K_2 , рассчитанные для некоторых значений ΔH .

Т а б л и ц а

Номер п/п	ΔH	K_1	K_2
1	+ 0,07	3,15	0,973
2	+ 0,08	3,45	0,967
3	+ 0,09	3,75	0,960
4	+ 0,10	4,06	0,952
5	+ 0,11	4,37	0,944
6	+ 0,12	4,67	0,936
7	+ 0,14	5,28	0,918
8	+ 0,15	5,59	0,907
9	+ 0,17	6,20	0,885
10	+ 0,18	6,51	0,873

При определении расхода воды свыше $10 \text{ м}^3/\text{сек}$ по (4) получена максимальная относительная погрешность $\delta = 4,7\%$, где $\delta = \frac{\Delta Q}{Q}$, и среднеквадратичная погрешность $\delta = 3,03\%$, где

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}}.$$

Как видно, последовательность (алгоритм) вычисления временных коэффициентов не представляет большой сложности, и полученное в работе выражение (4) позволяет повысить оперативность вычисления на ЭВМ расходов воды при использовании руслового метода на гидростоях, где наблюдается постоянная деформация русла.

Л и т е р а т у р а

1. Ж е л е з н я к о в Г.В. Гидрометрия, М., изд-во "Колос", 1972.
2. О в ч а р о в Е.Е., П л о т н и к о в В.М. Автоматизация учета воды на оросительных системах. М., изд-во "Колос", 1972.
3. С а д ы к о в Б.Ю. Об одном из методов дискретного ввода поправок Стоута, Сборник научных трудов САННИРИ, Ташкент, 1973.
4. М е т о д о л о г и ч е с к и е рекомендации к обоснованию автоматизации гидромелиоративных систем. Фрунзе, 1972.
5. Г л у ш к о в В.Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований, М., АН СССР, 1961.
6. М и р о в Б.М. Применение аппарата асимптотических полиномов при организации контроля расхода воды с применением ЭВМ. Труды ВНИИГМ, т.54(2), М., 1972.
7. Г у т е р Р.С., О в ч и н с к и й Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта, изд-во "Наука", 1970.
8. Д е м и д о в и ч Б.П., М а р о к И.А., Ш у в а л о в а Э.З. Численные методы анализа, М., Физматгиз, 1973.

Д.А.АБДУЛЛАЕВ

докт.техн.наук, зав.лабораторией теле-
механики и информационной техники
(УзНИИЭИА)

Б.Ю.САДЫКОВ

аспирант

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

О ПРЕДСКАЗАНИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА АППРОКСИМИ-
РУЮЩЕГО ПОЛИНОМА ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕ-
РЕНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА РЕЧНЫХ ВОДОМЕРНЫХ ПОСТАХ

При дискретизации непрерывных сигналов с равномерным шагом используются полиномы нулевого [1] или первого [2] порядка. Точность аппроксимации можно повышать применением определенных полиномов высших порядков. Однако, как показано в [3], при аппроксимации реальных сигналов и этот подход не дает желаемого результата. В [4] показано, что существенное повышение точности приближения может быть достигнуто при аппроксимации реальных процессов полиномами переменного порядка (АПВП).

В данной работе приводятся результаты применения метода аппроксимации полиномами переменного порядка для потактового прогнозирования уровня (расхода) воды. Метод потактового прогнозирования позволяет решать задачу оперативной коррекции водораспределения, с учетом динамики контролируемого процесса, в реальном масштабе времени. В качестве исходного сигнала рассматривается график колебания уровня воды в р.Зарафшан на гидропосту Зиадин (рис.1).

1. Эффективность применения различных методов аппроксимации оценивается на базе экстраполяционной формулы Ньютона, которая для условий потактового прогнозирования имеет вид

$$y^{(m)}(t_{i,n}) = x(t_i) + \Delta x(t_{i-1}) + \Delta^2 x(t_{i-2}) + \dots + \Delta^n x(t_{i-n}), \quad (1)$$

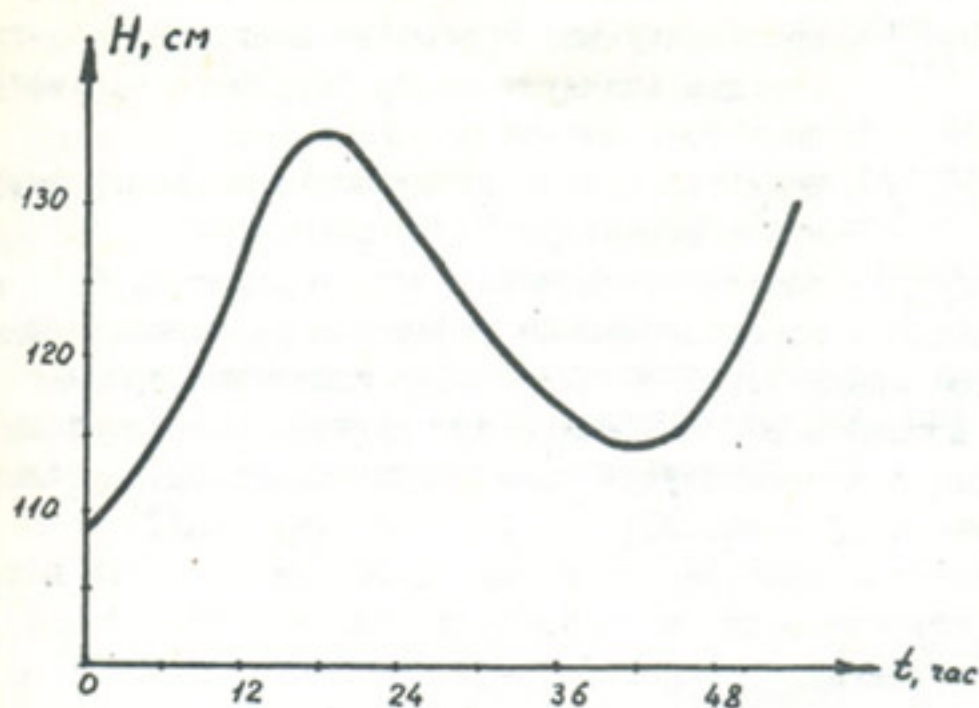


Рис. 1. Изменение уровня воды в р.Зарафшан (г/п Зиадия).

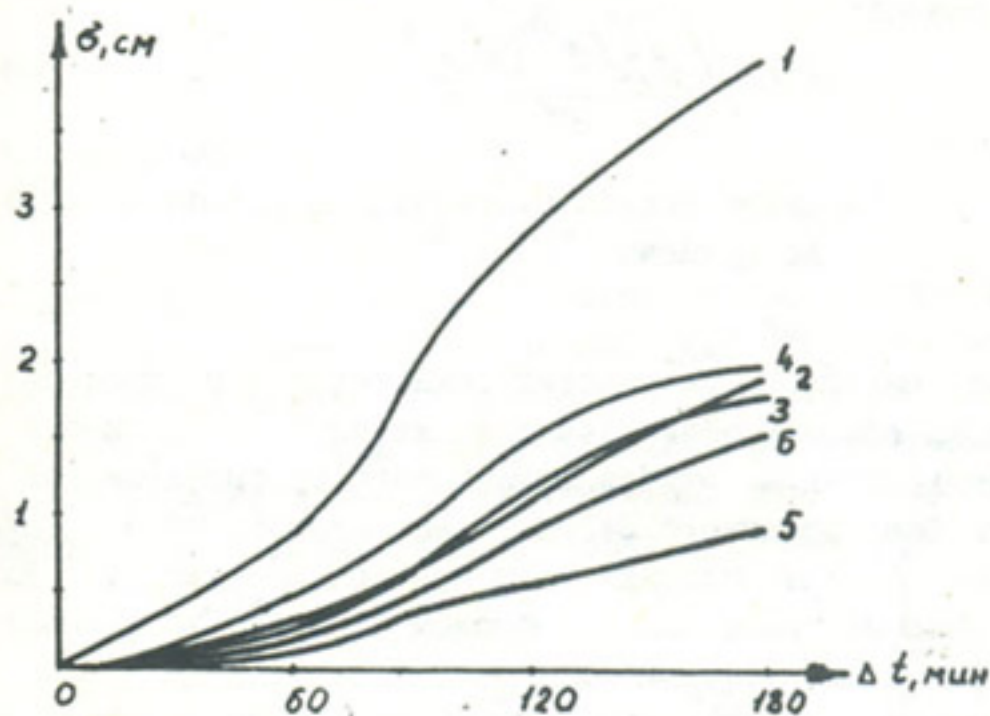


Рис. 2. Зависимость среднеквадратичной ошибки потактового прогнозирования от шага прогнозирования.

где $y^{(n)}(t_{i+1})$ - прогнозируемое с помощью полинома n -го порядка значение контролируемого параметра на $(i+1)$ -ый такт;

$x(t_i)$ - реальное (измеренное) значение контролируемого параметра на i -м такте;

$\Delta^2 x(t_{i-n})$ - конечные разности n -го порядка.

Потактовое прогнозирование уровней воды моделировалось на ЭВМ Минск-22. Суточный график изменения уровня вводился в память ЭВМ с пятнадцатиминутным шагом, поэтому шаги прогноза в этом случае принимались кратными пятнадцати минутам ($\Delta t = 15; 30; 60; 90; 120; 180$ мин).

В качестве критерия оперативной оценки точности потактового прогнозирования используется величина абсолютной ошибки приближения на прогнозируемом такте:

$$\varepsilon^{(n)}(t_{i+1}) = x(t_{i+1}) - y^{(n)}(t_{i+1}). \quad (2)$$

Сравнительная оценка качества потактового прогнозирования различными методами за период времени T (например, за сутки) производилась по критерию среднеквадратичного отклонения:

$$\sigma^{(n)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} [\varepsilon^{(n)}(t_i)]^2}{N}}. \quad (3)$$

Здесь N - число тактов прогноза при выбранном периоде времени T .

$$N = \frac{T}{\Delta t}.$$

На рис. 2 приводятся результаты потактового прогнозирования уровня воды. Графики 1-4 характеризуют зависимость среднеквадратичной ошибки потактового прогнозирования полиномами фиксированного 0-3 порядка, соответственно, при заданном T от величины шага прогнозирования Δt . Для потактового прогнозирования методом АППП эта зависимость характеризуется графиком 5.

Анализируя полученные результаты, легко заметить, что при $\Delta t > 15$ мин. точность потактового прогнозирования для изучаемого процесса с применением АППП существенно выше, чем при использовании любого полинома фиксированного порядка.

2. Для реализации метода АППИ на ЭВМ необходимо хранение в памяти машины $(n + 1)$ эталонов о прогнозируемом параметре.

Ниже рассматривается задача предсказания порядка полинома наилучшего приближения, что позволяет реализовать метод АППИ, имея в памяти ЭВМ единственный эталон. Это дает выигрыш в улучшении показателей использования ЭВМ при решении задач оперативной коррекции.

Выразим значение контролируемого параметра на i -м такте через его значения на предыдущих тактах, при различных порядках экстраполяционных полиномов (I):

$$\left. \begin{aligned} y^{(0)}(t_i) &= x(t_{i-1}) && - \text{ступенчатая экстра-} \\ &&& \text{поляция,} \\ y^{(1)}(t_i) &= x(t_{i-1}) + \Delta x(t_{i-2}) && - \text{линейная экстра-} \\ &&& \text{поляция,} \\ y^{(n)}(t_i) &= x(t_{i-1}) + \Delta x(t_{i-2}) + \Delta^2 x(t_{i-3}) + \dots + \Delta^n x(t_{i-n-1}) && \\ &&& - \text{экстраполяция полиномом степени } n. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Используя соотношение [5]

$$\Delta^n x(t_{i-n}) = \sum_{r=0}^n C_n^r x_{i-r} \quad (6)$$

и (2), получим:

$$\varepsilon^{(n)}(t_i) = \Delta^{n+1} x(t_{i-(n+1)}). \quad (7)$$

Для предсказания порядка полинома $n \geq 1$ проверим на сходимость полученные последовательности (5) и остановимся на таком порядке полинома n , при котором обеспечивается условие наилучшего приближения. Если выбранный

n -го порядка полином действительно дает наилучшее приближение, то он должен удовлетворять условию [5]

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon^{(n)}(t_i) &> 0, \text{ при } \varepsilon^{(n)}(t_{i-1}) < 0 \\ \varepsilon^{(n)}(t_i) &< 0, \text{ при } \varepsilon^{(n)}(t_{i-1}) > 0 \end{aligned} \right\} \dots \quad (8)$$

Таким образом, при $n \geq 1$ для потактового прогнозирования значения контролируемого параметра на $(i+1)$ -ый

такт по методу АППП, порядок полинома наилучшего приближения предсказывается на i -м такте из условия сходимости последовательностей (5) и соблюдения условий (8).

Для предсказания полинома нулевого порядка, отвечающего условию наилучшего приближения, используем следующий подход. Зададим некоторое допустимое значение погрешности экстраполяции $\varepsilon_{\text{доп}}$. Далее применим принцип сравнения [6] допустимой ошибки $\varepsilon_{\text{доп}}$ с расчетной $\varepsilon(t_{i+1})_p$. Если $\varepsilon(t_{i+1})_p < \varepsilon_{\text{доп}}$, то полином нулевого порядка обеспечивает наилучшее приближение в смысле $\varepsilon_{\text{доп}}$ и его надлежит применять на $(i+1)$ -м такте расчетов.

Из изложенного следует, что для предсказания порядка полинома при потактовом прогнозировании значения контролируемого параметра на один такт необходимо использовать следующие критерии выбора:

1. $n = 0$, если $\varepsilon(t_{i+1})_p < \varepsilon_{\text{доп}}$;
2. $n = 2$, если $|\Delta^2 \chi(t_{i-3})| > |\varepsilon^{(2)}(t_i)|$
и $\varepsilon^{(2)}(t_i) < 0$, при $\varepsilon^{(2)}(t_{i-1}) > 0$,
или $\varepsilon^{(2)}(t_i) > 0$, при $\varepsilon^{(2)}(t_{i-1}) < 0$;
3. $n = 3$, если $|\Delta^3 \chi(t_{i-4})| > |\varepsilon^{(3)}(t_i)|$
и $\varepsilon^{(3)}(t_i) < 0$ при $\varepsilon^{(3)}(t_{i-1}) > 0$,
или $\varepsilon^{(3)}(t_i) > 0$, при $\varepsilon^{(3)}(t_{i-1}) < 0$;
4. $n = 1$ - во всех остальных случаях.

На графике 6 (рис.2) показано изменение среднеквадратичной ошибки при потактовом прогнозировании изменения уровня воды (рис.1) с исследованием аппроксимации полиномами переменного порядка (порядок полинома выбирался по предлагаемым критериям).

Как видно из сравнения графиков 1-6, точность прогнозирования по предложенному методу предсказания порядка полинома наилучшего приближения хуже, чем при прогнозировании с помощью АППП, однако заметно лучше, чем при прогнозировании полиномами фиксированного порядка. Но использование лишь одного эталона о прогнозируемом парамет-

ре уменьшает необходимый объем памяти ЭВМ (в отличие от метода АПП, где $(N+1)$ эталонов), позволяет принять решение о коррекции режима водораспределения при рассмотрении задачи оптимизации для одного значения эталона, что значительно уменьшает число вычислительных операций.

Л и т е р а т у р а

1. Т е м н и к о в Ф.Е. Автоматические регистрирующие приборы, Машгиз, 1960.
2. Ф р и д р и х З. К теории дискретных отсчетов. Труды МЭИ, вып.52, 1963.
3. А б д у л л а е в Д.А., К л ы к о в с к а я Т.С. Сравнительная оценка условий применения некоторых полиномов для аппроксимации измерительных сигналов. Известия АН УзССР № 1, 1972.
4. А б д у л л а е в Д.А. О некоторых свойствах аппроксимации реальных процессов полиномами переменного порядка. Доклады АН УзССР, № 8, 1972.
5. Б е р е з и н И.С., Ж и д к о в Н.П. Методы вычислений, т.1, Изд-во "Наука", М., 1966.
6. А б д у л л а е в Д.А. Об одной системе обработки измерительной информации. Сб. "Вопросы кибернетики и вычислительной математики", вып.32, Ташкент, Изд-во "Фан" УзССР, 1963.

Х.И. ЗАИРОВ
кандидат технических наук
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

О ПРОФИЛЕ УЕДИНЕННОЙ ВОЛНЫ В ПРИЗМАТИЧЕСКОМ РУСЛЕ

В связи со строительством крупных насосных станций перед проектировщиками, исследователями возникают новые и сложные проблемы. Одной из них является, в частности, неустановившееся движение в каналах, которое будет иметь место при остановке и пуске крупных насосов.

Известно, что в пределах таких каналов могут образоваться крутые волны перемещения, первый гребень которых может достичь большой высоты. Обладая огромной энергией и распространяясь на значительное расстояние, эта волна неблагоприятно воздействует на откосы канала, сооружения на канале, суда и т.д.

Важно уметь определять профиль первого гребня волны, который обычно при расчетах принимают за уединенную волну.

Существуют зависимости теоретического расчета уединенной волны [1-4]. Так, для вычисления ее ординат А.А.Турсуновым [3] дана следующая теоретическая зависимость:

$$\eta = 1 + \frac{1}{2} F_1^2 \left(1 - \exp \left\{ -4 \ln F_1 \operatorname{sech}^2 \xi \left[1 + \frac{3}{2} \ln F_1 (3 \operatorname{sech}^2 \xi - 2) \right] \right\} \right). \quad (1)$$

где $\eta = \frac{h_i}{h_1}$ — относительная высота волны;
 h_i — ордината волны в произвольной точке;
 h_1 — глубина невозмущенного потока;

$$\xi = \frac{x}{h_1} \sqrt{\frac{3}{2} \ln F_1}, \quad (2)$$

(ξ — безразмерная продольная координата уединенной волны);

$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g h_1}}$ — число Фруда невозмущенного потока
 (V_1 — скорость невозмущенного потока).

Анализируя зависимость (I), автор отмечает, что профиль волны, подсчитанный по ней, получается более крутым, чем по известной формуле Фридрихса-Хайерса (рис. I);

б) к линии NN (начальных глубин) этот профиль приближается снизу, что маловероятно. Нами подсчитаны профили волн для $f = 1,70$ и $2,00$ и нанесены на график. Как видно, с увеличением числа Фруда разница в профиле волн, подсчитанных по Турсунову и Фридрихсу-Хайерсу, возрастает.

Профиль волны определялся нами путем последовательного приближения при разном шаге интегрирования^х.

Расчеты координат кривой свободной поверхности в пределах первого гребня уединенной волны показали, что изменение шага интегрирования ΔX ($\Delta X = 0,10; 0,05; 0,02$) существенного влияния на величину относительной высоты волны не оказывает.

Т а б л и ц а

Ординаты уединенной волны для $f = 1,60$ при разном шаге интегрирования (II приближение)

$\frac{x}{h_1}$	ΔX	
	$\Delta X = 0,02$	$\Delta X = 0,05$
1	2	3
0,00	2,2281	2,2281
0,10	2,2279	2,2279
0,20	2,2276	2,2276
0,30	2,2269	2,2270
0,40	2,2258	2,2259
0,50	2,2238	2,2240
0,60	2,2204	2,2207
0,70	2,2141	2,2147

^х Расчеты на ЭВМ "М-22" выполнены канд. техн. наук Б.И. Белесковым.

Продолжение табл.

I	:	2	:	3
0,80		2,2023		2,2035
0,90		2,1801		2,1825
1,00		2,1392		2,1438
1,10		2,0689		2,0769
1,20		1,9612		1,9738
1,30		1,8198		1,8370
1,40		1,6616		1,6816
1,50		1,5067		1,5273
1,60		1,3688		1,3880
1,70		1,2534		1,2699
1,80		1,1610		1,1744
1,90		1,0300		1,1000
2,00		1,0378		1,0452
2,10		1,0011		1,0063
2,20		0,9770		0,9802
2,30		0,9623		0,9642
2,40		0,9545		0,9554
2,50		0,9515		0,9517
2,60		0,9516		0,9514
2,70		0,9538		0,9533
2,80		0,9571		0,9565
2,90		0,9610		0,9608
3,00		0,9650		0,9644
3,10		0,9690		0,9684
3,20		0,9728		0,9722
3,30		0,9763		0,9757
3,40		0,9794		0,9789
3,50		0,9822		0,9818
3,60		0,9847		0,98437
3,70		0,9869		0,9865
3,80		0,9888		0,9885
3,90		0,9904		0,9901
4,00		0,9918		0,9916

Продолжение табл.

1	:	2	:	3
4,10		0,9930		0,9928
4,20		0,9941		0,9989
4,30		0,9949		0,9948
4,40		0,9957		0,9956
4,50		0,9963		0,9962
4,60		0,9969		0,9968
4,70		0,9974		0,9973
4,80		0,9978		0,9977
4,90		0,9981		0,9980
5,00		0,9984		0,9983

В таблице представлены результаты подсчета η для числа Фруда 1,60, причем, здесь приведены величины для второго приближения. Для получения первого приближения ξ_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) вычислялись по зависимости (2), затем по формуле (1) — η_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$). Для получения второго приближения определяли по зависимости

$$\xi = \frac{1}{h_1 V_1} \sqrt{\frac{3}{2}} \ln f_1 \int_0^{\lambda} \frac{u' dx}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

где u — скорость в произвольной точке на свободной поверхности волны.

Для вычисления значений $\cos \alpha_i$ использовались величины η_{i-1} и η_i по первому приближению. Третье приближение определялось по численным значениям η_i из 2-го приближения.

Из рис. 2. где для примера представлены профили уединенной волны для $\zeta = 1,60$ при 3-х последовательных приближениях, видно, что: а) с увеличением последовательного приближения лоб волны становится круче; б) к линии AA свободная поверхность волны во всех приближениях также подходит снизу.

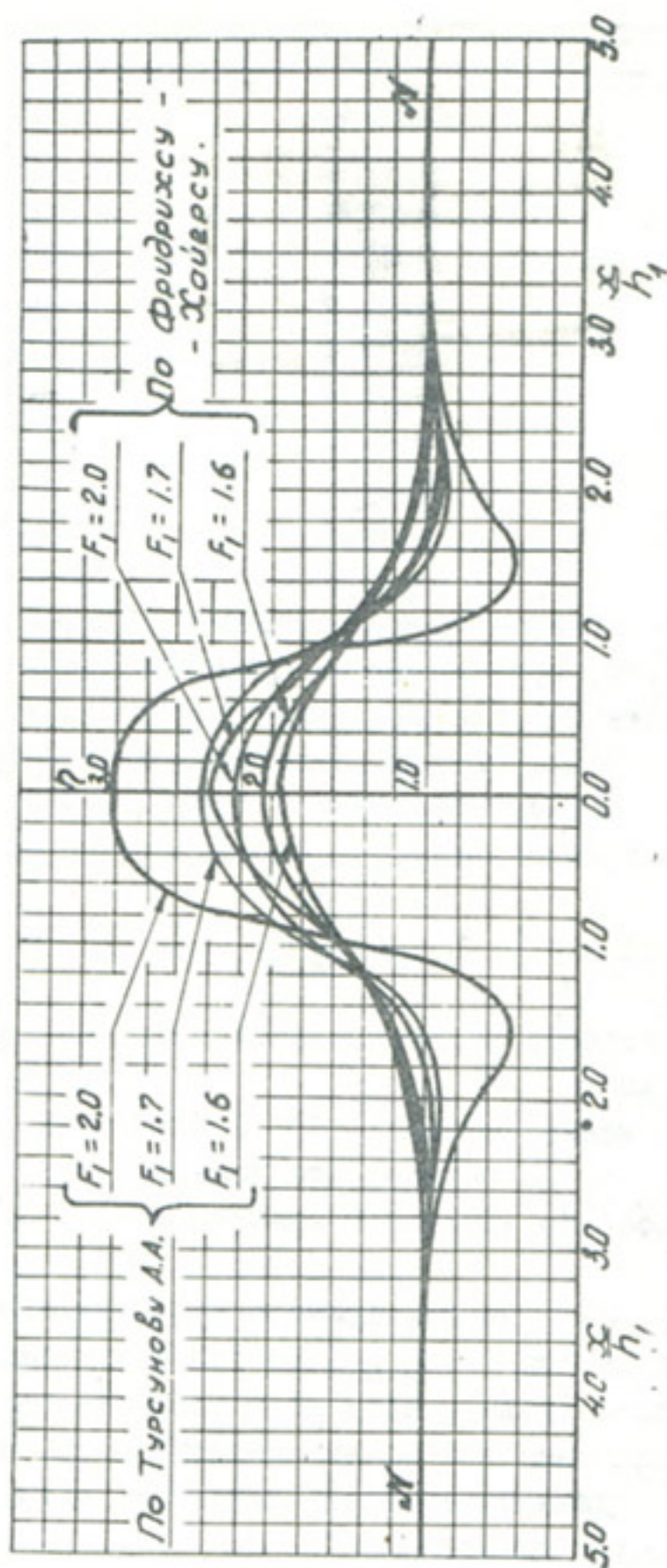


Рис. I. I. Профили удлиненной волны, рассчитанные по Турсунову и Фридрихсу-Хайерсу.

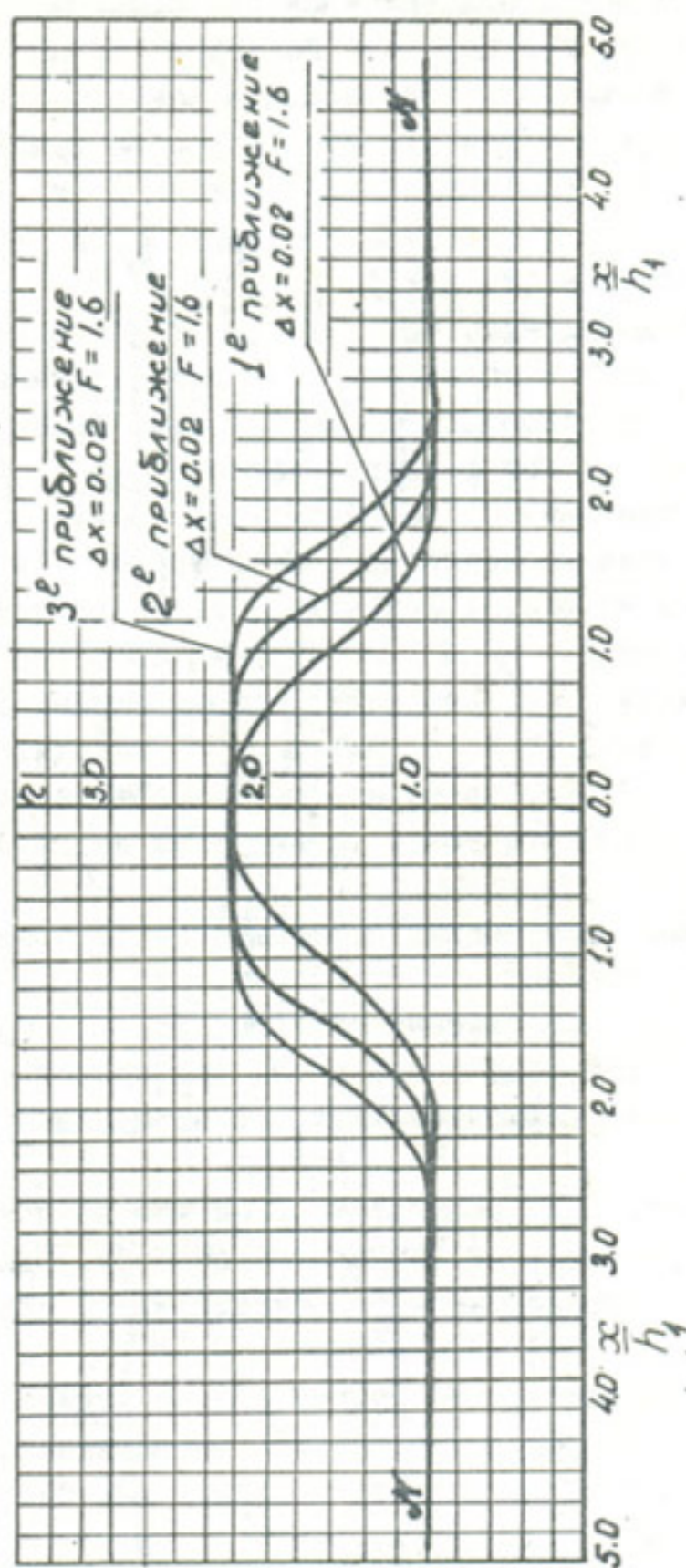


Рис. 2. Профиль волны, подсчитанный при последовательном приближении.

С целью дальнейшего анализа кривой свободной поверхности исследуемой волны был применен еще один способ расчета, где коррективы при подсчете последовательных приближений вводились в значения угла наклона вектора скорости поверхностной струйки к оси OX . Этим способом вычислялись значения ξ_0 и ξ_1 по формуле (2), затем η_0 и η_1 по (1). Зная η_0 и η_1 , уточнялись значения ξ_1 и ξ_2 , соответственно по формулам (3) и (1).

Принималось допущение, что $\cos \alpha_2 \approx \cos \alpha_1$, следовательно, $\xi_2 = \xi_1$. Для вычисления η_2 подсчитывалось ξ_1 по формуле (3); определения $\eta_3 = \xi_2$ и т.д. Таким образом, для вычисления на n -ом шаге принималось $\xi_n = \xi_{n-1}$, причем ξ_{n-1} подсчитывалось на предыдущем $n-1$ шаге.

Результаты этих расчетов для чисел Фруда $F_r = 1,10 \div 1,90$ представлены на рис.3. Как видно, и при данном способе расчета, начиная с $F_r = 1,60$, кривая свободной поверхности волны к линии NN' подходит снизу. Однако для $F_r = 1,90$ наинизшая точка от линии NN' находится на глубине $0,22 \eta$, в то время как по I приближению (см. рис.1) для $F_r = 2,00$ эта точка расположена на глубине $\sim 0,50 \eta$.

Произведенный выше анализ зависимости (1) позволяет сделать следующие выводы:

1) при всех использованных способах расчета кривая свободной поверхности уединенной волны при числах $F_r \approx 1,60$ приближается к линии первоначальных (до возмущения) глубин NN' снизу.

Наиболее приемлемые результаты, как нам представляется, получаются при расчетах по последнему способу. Однако достоверность этого предположения необходимо подтвердить опытным путем;

2) следует отметить, что существование уединенной волны при числах $F_r \geq 1,60$ доказано лишь теоретически, а экспериментально такие волны удалось получить для чисел Фруда близких к $1,40$;

3) необходимы дальнейший, более глубокий анализ существующих зависимостей для определения профиля уединенной

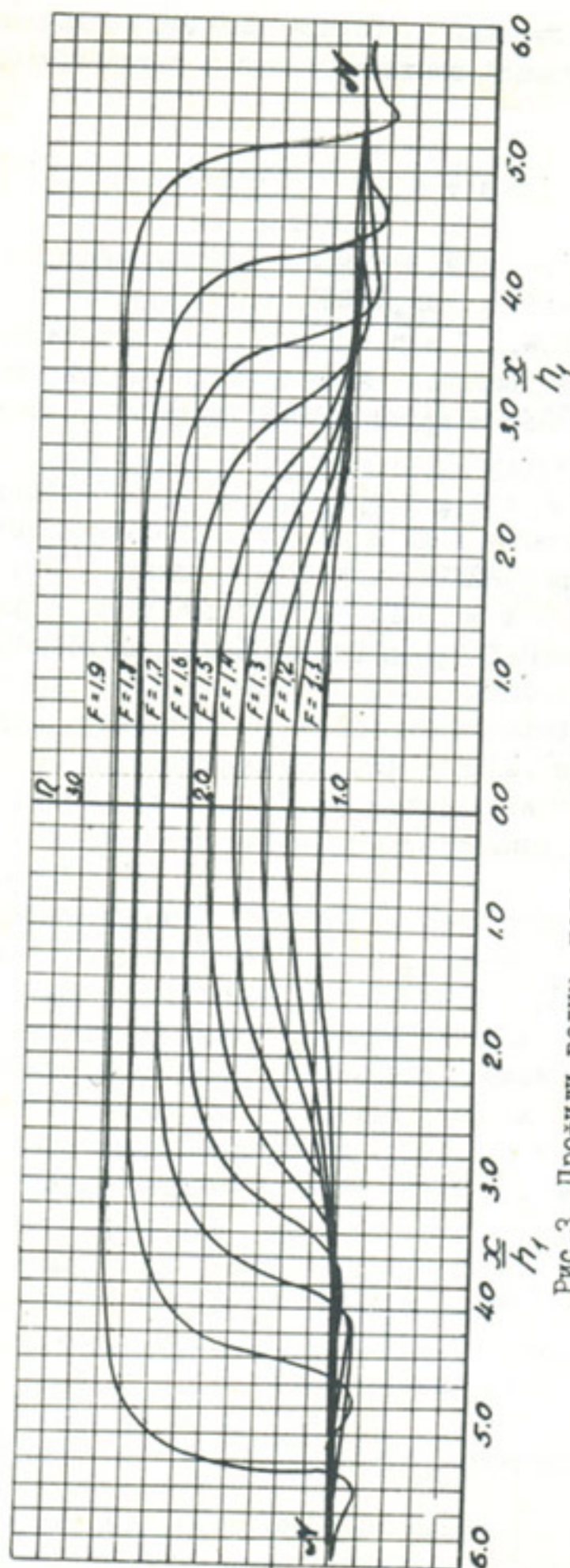


Рис.3. Профили волны, подсчитанные при корректировании угла α .

волны и постановка широких экспериментальных исследований. Это позволит сопоставить опытные данные с результатами расчета.

Л и т е р а т у р а

1. Е г и а з а р о в И.В. Неустановившееся движение в длинных бьефах. Изв.ВНИИГ, т.21, Л., 1937.
2. М о и с е е в Н.И., Т е р - К р и к о р о в А.М. Исследование движения тяжелой жидкости при скоростях, близких к критической. Труды МФТИ, вып.3, 1959.
3. Т у р с у н о в А.А., З а и р о в Х.И. Околокритические течения воды в длинных призматических руслах. Труды САНИИРИ, вып.120, Ташкент, 1970.
4. В е р е з е м с к и й В.Г. О волновом боре в призматическом канале. Труды Гидропроекта, сб.23, М., 1972.

Т.И.МАМЫШЕВ
инженер
Б.И.БЕЛЕСКОВ,
канд.техн. наук, ст.научн. сотр.
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛАПАНА СРЫВА ВАКУУМА В СИФОН- НОМ ВОДОВЫПУСКЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

На крупных мелиоративных насосных станциях при подъеме воды на высоту менее 30-50 м широко применяются сифонные водовыпуски, отличающиеся экономным использованием электроэнергии независимо от изменений глубины в приемном канале, минимумом избыточной энергии потока, поступающего в приемный бассейн из водовыпуска, сравнительной простотой устройства, возможностью полной автоматизации работы насосной установки.

Для предупреждения обратного течения воды через насосную установку при выключении насоса применяются клапаны срыва вакуума в сифоне водовыпуска. Наиболее распространены электромеханические и гидравлические клапаны.

Применяющиеся электромеханические клапаны срывают вакуум в сифоне быстро (за 1-2 сек.), но при большом диаметре воздушного патрубка на верху сифонного водовыпуска они не всегда обеспечивают герметичность его закрытия, и надежность их недостаточна.

Существующие типы гидравлических клапанов работают надежно, без подсоса воздуха, но срывают вакуум в сифоне через 10-20 сек. после отключения насоса, так как для их срабатывания требуется изменение течения воды через насосную установку на обратное.

Нами^х разработан новый, смешанный (электрогидравличе-

^х Первоначальная идея создания смешанного (электрогидравлического) типа клапана принадлежит Т.И.Мамышеву.

ский) тип клапана. Он был усовершенствован после исследований, выполненных в лаборатории волновых процессов и водохранилищных сооружений САНИИРИ в 1970 г. В 1971-1972 гг. проведены натурные испытания его на Саятской насосной станции в Бухарской области.

Преимущество нового клапана срыва вакуума по сравнению с применяющимися клапанами - сочетание надежности с достаточной быстротой срабатывания.

Клапан устроен следующим образом. П-образная воздушная труба 1 с расширением 2 в верхней части одним концом подведена к сифону 3 водовыпуска насосной установки. Другой конец трубы опущен в колодец 4 резервуара клапана с жидкостью, запирающей для воздуха вход в трубу. Колодец через окно 5 сообщается с расширительной камерой 6, которая, в свою очередь, имеет выход 7 в окружающее пространство. В нижней своей части колодец 4 через проход 9 сообщается с вакуумной камерой 8. Вакуумная камера соединена с сифонной трубкой, снабженной электромеханическим переключателем 10.

При включении силового тока электродвигателя насоса переключатель сообщает вакуумную камеру с окружающим пространством, перекрывая сообщение ее с сифоном. При отключении тока вакуумная камера сообщается переключателем с сифоном.

Работает клапан следующим образом:

а) исходное состояние. При неработающей насосной установке в вакуумной камере устанавливается атмосферное давление (как и в сифонном водовыпуске). Конец воздушной трубы погружен в жидкость, которая располагается на одном уровне в колодце резервуара клапана и вакуумной камере;

б) выход воздуха из нагнетательного трубопровода при пуске насосной установки. Воздух, вытесняемый из нагнетательного трубопровода при пуске насосной установки, выходя с большой скоростью из воздушной трубы в колодец, увлекает за собой брызги жидкости. В окружающее пространство воздух выходит через окно и расширительную камеру, освободившись в последней от брызг жидкости. После окончания

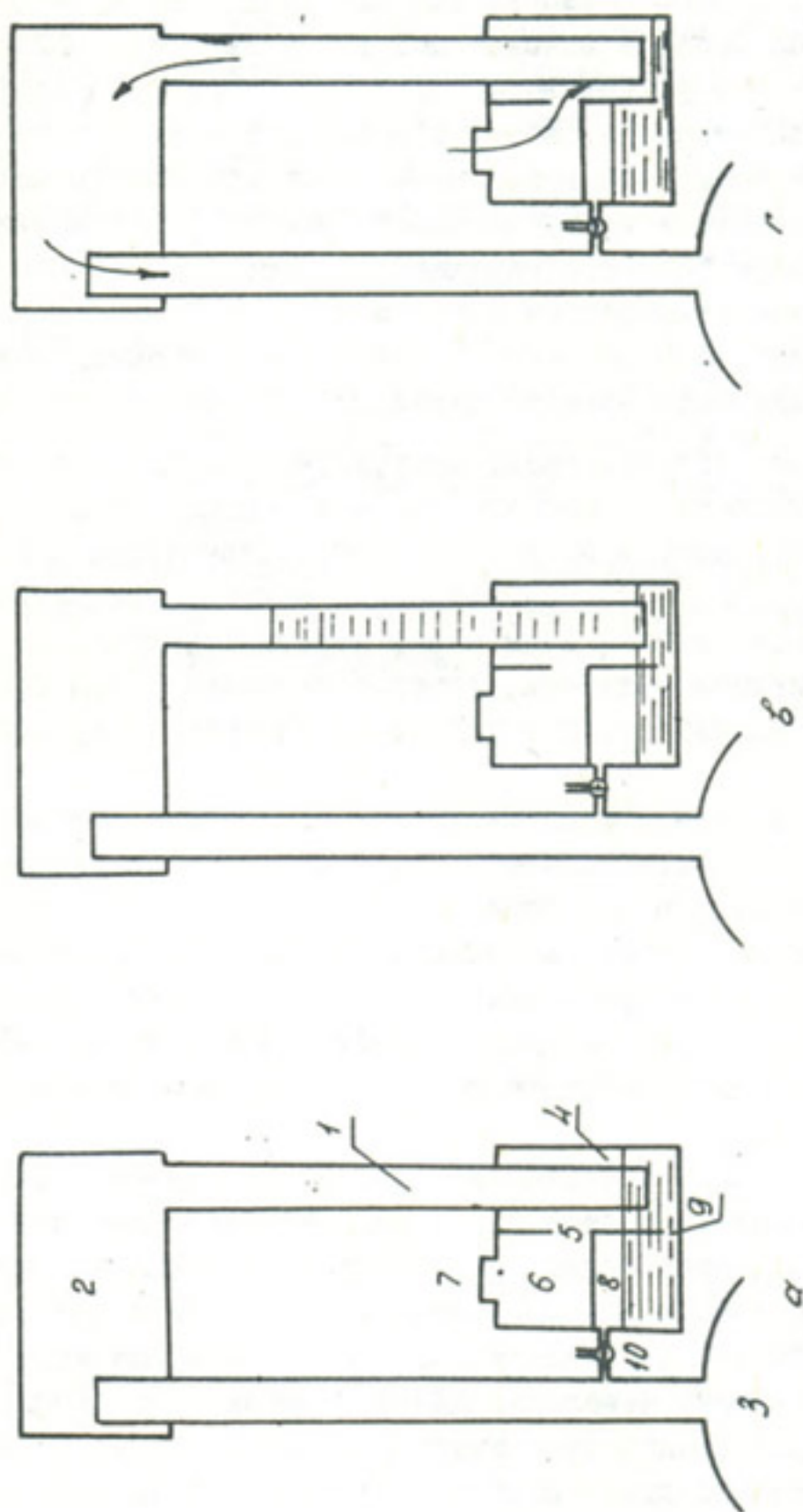


Схема устройства и принцип действия электрогидравлического клапана срыва вакуума в сифонном водовыпуске насосной станции:
 а - исходное и в - рабочее состояние; г - срыв вакуума.

выхода воздуха жидкость из вакуумной камеры стекает через окно назад в колодец резервуара клапана;

в) рабочее состояние. При зарядке сифона водовыпуска воздух не может в него попасть, так как вход в воздушную трубу запирается столбом всасываемой в нее жидкости. Высота столба жидкости устанавливается в соответствии с вакуумом в сифоне водовыпуска, который может изменяться в зависимости от глубины воды в приемном бассейне. Электромеханический переключатель во время работы насосной установки сообщает вакуумную камеру с окружающим пространством, поэтому в ней держится атмосферное давление;

г) срыв вакуума в сифонном водовыпуске при выключении насоса. При отключении электродвигателя насоса электромеханический переключатель сообщает вакуумную камеру с сифоном водовыпуска. Жидкость из колодца клапана отсасывается в вакуумную камеру. Вход в воздушную трубу открывается и воздух, устремляясь в сифон, срывает в нем вакуум, предотвращая этим обратное течение воды через насосную установку.

Для улавливания жидкости, которая увлекается при срыве вакуума в воздушную трубу, служит расширение в верхней ее части.

После исчезновения вакуума уровни жидкости в колодце и вакуумной камере выравниваются почти мгновенно и клапан оказывается в исходном состоянии.

Как показали натурные наблюдения на Саятской насосной станции, новый клапан срабатывает достаточно быстро. Воздух начинает входить через воздушную трубу в сифон через 2-3 сек. после отключения силового тока; полный срыв вакуума происходит за 4-5 сек.

Действие клапана надежно, не зависит от глубины воды в приемном бассейне. Глубина в нем лишь немного изменяет время, за которое происходит срыв вакуума. Разница во времени при минимальном и максимальном уровнях воды в приемном канале ($H=50 \div 120$ см) составляет 1-2 сек. Потери жидкости из резервуара клапана невелики. Для уменьшения потерь на испарение снаружи стенки резервуара следует окрасить в светлый цвет. Желательно даже сделать защитный слой из подхо-

дящего пластического материала. В морозное время он будет служить утепляющим слоем.

Заливаемая в резервуар клапана жидкость может быть незамерзающей (например, отработанное трансформаторное масло).

Как показывает расчет, клапан описанной конструкции рационально использовать на насосных установках сравнительно небольших размеров ($Q=3\div 6 \text{ м}^3/\text{сек}$ в зависимости от вакуума в сифоне водовыпуска $h_{\text{вак.}} = 5\div 2 \text{ м вод.ст.}$). При этом диаметр резервуара клапана будет не больше $D = 2 \text{ м}$. Диаметр трубки с электромеханическим переключателем также будет приемлемого размера: $d = 3\text{--}4 \text{ см}$.

Для насосной установки больше указанного предела клапан будет громоздким. Кроме того, становится невозможным удовлетворить требование, чтобы разность уровней жидкости в вакуумной камере и колодце воздушной трубы при срыве вакуума не превышала $0,2\text{--}0,3 \text{ м}$.

Для больших насосных установок экономичны клапаны другого типа, в том числе новый пневматический клапан^{х)}, в котором отсутствует жидкость.

х) Разработан Т.И. Мамышевым.

РЕФЕРАТЫ

к Сборнику научных статей, выпуск I40
(Гидротехнические сооружения на гидро-
мелиоративных системах)

УДК 626.01

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ р.АМУДАРЬИ

О.А.Какимов

В статье приводятся результаты исследований морфометрических закономерностей р.Амударьи. Установленные зависимости могут быть использованы в расчетах, связанных с регулированием русла р.Амударьи.

Иллюстр.2.Библиогр.9.

УДК 627.421.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА У СКВОЗНЫХ ШПОР

М.Мирзиятов

В работе излагаются материалы экспериментального исследования кинематической структуры потока в воронке размыва и в подходной части русла. Получены скоростные характеристики потока в зоне действия сквозной шпоры, оценена интенсивность турбулентности. Установлено, что все скоростные характеристики потока связаны с вертикальным расширением потока, который, в свою очередь, зависит от застройки шпоры, стеснения потока шпорой и состава грунта дна русла.

Иллюстр.3.Библиогр.6.Табл.1.

УДК 627.42

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В МЕЛКОПЕСЧАНЫХ РУСЛАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТУРНОГО МАТЕРИАЛА

С.Х.Абальянц, Р.Карапетян

В статье приводится метод моделирования мелкопесчаных русел с применением натурального песка, основанный на подобии гравитационных сил осаждения и одинаковой форме

движения руслоформирующих наносов. Сопоставление опытного моделирования с данными природы привело к положительным результатам.

Иллюстр. I. Библиогр. 6

УДК 627.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА СВАЛА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОТОКА В ЗОНЕ ДЕЙГИША

И. В. Когтева

На основании натуральных и экспериментальных исследований в работе проанализировано изменение ширины, удельных расходов, глубины и влияние угла свала на гидравлические элементы потока в зоне дейгиша.

Иллюстр. I. Библиогр. 5.

УДК 627.41

К МЕТОДИКЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СКВОЗНЫХ ШПОР РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕРЕГОВ Р. АМУДАРЬИ ОТ РАЗМЫВА (ДЕЙГИША)

А. М. Мухамедов, Х. А. Ирмухамедов, М. Мирзиятов

В статье излагается на основании экспериментальных и теоретических исследований методика гидравлического расчета сквозных шпор в зависимости от угла установки шпоры относительно берега, коэффициента застройки, степени стеснения русла шпорой, от кинетичности потока, длины шпоры и конструкции ее.

Иллюстр. I. Библиогр. 4.

УДК 627.5

ДЕЙСТВИЕ СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩЕЙ ДАМБЫ АМУБУХАРСКОГО КАНАЛА ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ НА ПЛАНОВОЕ ПРОТЕКАНИЕ ПОТОКА

Р. Р. Абдурауфов

В статье освещается характер течения потока при набегании его на струенаправляющую дамбу Амубухарского канала второй очереди (АБК-2). Составлены уравнения баланса удельной энергии для нисходящей струи и количества движения. Получены формулы для определения глубины размыва

и ширины потока в случае отклонения его от прямолинейного движения в плане при наличии струенаправляющей дамбы АБК-2.

Иллюстр. I. Библиогр. 3.

УДК 627.8

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ВОДОЗАБОРНЫХ УЗЛОВ,
РЕКОМЕНДУЕМЫХ К ПРИМЕНЕНИЮ НА ПРЕДГОР-
НЫХ УЧАСТКАХ РЕК.

Р.В.Тимирова

Дается классификация водозаборных узлов применительно к предгорным участкам рек Средней Азии и выявляются наиболее совершенные схемы гидроузлов, рекомендуемые к проектированию и строительству.

Иллюстр. 3. Библиогр. 3.

УДК 626.01

О НЕКОТОРЫХ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДАХ РАСЧЕТА
ОСНОВНЫХ МАСШТАБНЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ МОДЕЛЕЙ
МЕЛКОПЕСЧАНЫХ РУСЛ

В.А.Скрыльников

Приводится анализ существующих методов моделирования мелкопесчаных русл и выявляются их недостатки. Выявлено, что основной причиной в расхождении результатов расчета по существующим формулам является то, что известные методы устанавливают связь отличных друг от друга продольного и поперечного масштабов с вертикальным. Продольный и поперечный масштабы совпадают только в некоторых частных случаях.

Библиогр. 23.

УДК 628.8

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКОЙ НАМЫВНОЙ
ПЛОТИНЫ ЧАРДАРИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.А.Адылов

Приводятся результаты лабораторных исследований грунта и натурных наблюдений за осадкой по поверхностным земляным маркам ПЗМ и поверхностным маркам ПМ намывной плотины Чардаринского водохранилища за период эксплуатации 1966-1968 гг.

Табл. I.

УДК 627.43

ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ЮЖНОСУРХАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

С.М.Горюнов, А.В.Корянов

Обработкой натуральных данных, по показаниям напорно-безнапорных пьезометров, установлена картина, отображающая распределение напоров фильтрационного потока.

Иллюстр.4.

УДК 626.822.52

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХ- ОЧКОВОГО ТРУБЧАТОГО РЕГУЛЯТОРА

Э.Хусанходжаев

На основании теоретических и лабораторных данных даются рекомендации по определению коэффициента расхода воды в зависимости от элементов конструкции водовыпуска.

В работе намечен ряд вопросов, подлежащих дальнейшему изучению.

Иллюстр.2.Библиогр.6.

УДК 626.822.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ТИПОВ КРЕПЛЕНИЙ МЕЛКОПЕСЧАНОГО ОТКОСА В ВОЛНОВОМ ЛОТКЕ

С.И.Кеберле, Б.И.Беласков

Описываются испытания в волновом лотке САННИИРИ новых типов креплений мелкопесчаного откоса с обратным фильтром из стекловойлока и стеклоткани. В результате проведенных исследований предложено надежное, допускающее полную механизацию укладки, экономичное крепление с обратным фильтром из стеклоткани, прикрытой защитным слоем щебня.

Иллюстр.1.

УДК 626.81.84

О ВОЛНАХ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПОДВОДЯЩЕМ КАНАЛЕ ПРИ ВНЕЗАПНОЙ ОСТАНОВКЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Х.И.Заиров, Ю.Эшмурадов

Излагаются некоторые результаты лабораторных и натуральных исследований волн, возникающих в машинных каналах (Шерабадский, Саятский и "50 лет Октября"). Определены скорости нисходящей и восходящей волн и выведены зависи-

мости для определения высоты волны от начальной глубины, потока и числа Фруда.

Иллюстр.2.

УДК 626.01

ЛАБОРАТОРНАЯ ВОЛНОМЕРНАЯ УСТАНОВКА С ЕМКОСТНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Л.А.Гехтер, П.П.Листровой

Для изучения на модели волновых явлений разработана волномерная установка, позволяющая записывать колебание горизонтов воды одновременно в нескольких створах. Она дает возможность достаточно точно построить профиль изучаемых волн. Данная установка может быть использована при проведении различных модельных гидравлических исследований.

Иллюстр.2.Библиогр.2.

УДК 626.41.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУММАРНОЙ ГИДРО- ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПЛОСКИЕ ЗАТ- ВОРЫ

А.К.Закурдаев

Даны рекомендации по очертанию нижней кромки затвора и режиму эксплуатации, позволяющие избежать поломок, аварий затворов и связанных с ними механизмов. Предлагается способ динамического расчета элементов затвора с применением спектральных функций; приведен пример расчета ригеля затвора.

Иллюстр.6.Библиогр.II.

УДК 624.012.35

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ТИПОВЫХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ДИСПЕРСНОСТИ ИХ АРМИРОВАНИЯ

А.И.КИМ

Приводятся результаты исследований по определению влияния степени дисперсности на физико-механические свойства армоцемента, используемого в мелиоративном строительстве.

Иллюстр.I.Библиогр.2.Табл.I.

УДК 626.81.82

СИЛИКАТОБЕТОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ
ТРУБ

Л.М.Ботвина, З.Х.Джумаходжаев

Освещается вопрос получения устойчивых в агрессивной среде трубофильтров для устройства закрытого горизонтального дренажа. Приводится оптимальный режим изготовления, а также характеристика трубофильтров.

Иллюстр.1.

УДК 626.81.3

К ВОПРОСУ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗИ-
РОВАННОМ КОНТРОЛЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

На основе применяемых в эксплуатационной гидрометрии способов частичного уменьшения погрешностей руслового метода на гидропостах с непрерывной деформацией створа русла, в частности способом введения поправок, получено аналитическое выражение для определения расходов воды.

Предлагаемый алгоритм вычисления временных коэффициентов на деформацию створа русла для полученного выражения позволяет повысить оперативность вычисления на ЭВМ расходов воды.

Иллюстр.1.Библиогр.8.

УДК 627.4

О ПРЕДСКАЗАНИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА АППРОКСИ-
МИРУЮЩЕГО ПОЛИНОМА ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА РЕЧНЫХ ВОДОМЕРНЫХ
ПОСТАХ

Д.А.Абдуллаев, Б.Ю.Садыков

Изложены результаты исследования потактовому прогнозированию уровня воды р.Зарафшан при аппроксимации измеряемого параметра полиномами переменного порядка.

Использование авторами метода аппроксимации реальных процессов полиномами переменного порядка (АППП) позволяет учитывать динамику контролируемого процесса и решать задачу оперативной коррекции водораспределения в реальном масштабе времени.

Иллюстр.2.Библиогр.6.

УДК 627.15

О ПРОФИЛЕ УЕДИНЕННОЙ ВОЛНЫ В ПРИЗМАТИЧЕСКОМ
РУСЛЕ

Х.И.Заиров

Анализируется теоретическая зависимость, предложенная проф. А.А.Турсуновым для расчета профиля уединенной волны. Анализируются данные расчета профиля волны, проведенные на ЭВМ "М-22" для всей области ее существования; сделан вывод о необходимости экспериментального подтверждения исследованной зависимости при больших (более 1,60) числах Фруда.

Иллюстр.3.Библиогр.4.Табл.1.

УДК 626.92

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛАПАНА СРЫВА ВАКУ-
УМА В СИФОННОМ ВОДОВЫПУСКЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Т.И.Мамышев, Б.И.Белесков

В статье изложены принципы действия и результаты испытаний электрогидравлического клапана срыва вакуума в сифонном водовыпуске Саятской насосной станции. Показано преимущество предложенного клапана по сравнению с применяющимися, заключающиеся в сочетании надежности в эксплуатации, быстроты действия и независимости работы клапана от глубины воды в приемном бассейне насосной станции..

Иллюстр.1.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

О.А. К а ю м о в. Морфометрические закономерности р.Амударьи.....	3
М. М и р з и я т о в. Экспериментальные исследования кинематической структуры потока у сквозных шпор.....	10
С.Х. А б а д љ я н ц, М.Р. К а р а п е т я н. Моделирование деформаций в мелкопесчаных руслах с применением натурального материала.....	20
И.В. К о г т е в а. Исследование влияния угла свала на гидравлические элементы потока в зоне дейгиша....	26
А.М.М у х а м е д о в, Х.А. И р м у х а м е д о в, М. М и р з и я т о в. К методике гидравлического расчета сквозных шпор различной конструкции, применяемых для защиты берегов р.Амударьи от размыва (дейгиша).....	34
Р.Р.А б д у р а у п о в. Действие струенаправляющей дамбы Амубухарского канала второй очереди на плановое протекание потока.....	39
Р.В. Т и м и р о в а. Рациональные схемы водозаборных узлов, рекомендуемых к применению на предгорных участках рек.....	44
В.А.С к р ы л ь н и к о в. О некоторых существующих методах расчета основных масштабных множителей моделей мелкопесчаных русл.....	58
К.А. А д ы л о в. Результаты наблюдения за осадкой намывной плотины Чардаринского водохранилища.....	69
С.М. Г о р ю н о в, А.В. К о р я н о в. Фильтрационный режим земляной плотины Южносурханского водохранилища.....	75
Э. Х у с а н х о д ж а е в. Определение пропускной способности двухочкового трубчатого регулятора...	86
С.И.К е б е р л е, Б.И. Б е л е с к о в. Исследование новых типов креплений мелкопесчаного откоса в большом волновом лотке.....	92

Х.И. Заиров, Ю. Эшмуратов. О волнах, возникающих в подводном канале при внезапной остановке насосной станции.....	96
Л.А. Гехтер, П.П. Листровой. Лабораторная волномерная установка с емкостными датчиками.....	I00
А.К. Закурдаев. Исследование влияния суммарной гидродинамической нагрузки на плоские затворы.....	I04
А.И. Ким. К вопросу проектирования армоцементных деталей для типовых гидросооружений с учетом дисперсности их армирования.....	II6
Л.М. Ботвина, З.Х. Джумаходжаев. Силикатобетон для изготовления дренажных труб.....	I2I
Б.Ю. Садыков. К вопросу обработки информации при централизованном контроле технологических параметров ирригационных каналов.....	I25
Д.А. Абдуллаев, Б.Ю. Садыков. О предсказании оптимального порядка аппроксимирующего полинома при обработке результатов измерения уровней воды на речных водомерных постах.....	I30
Х.И. Заиров. О профиле уединенной волны в призматическом русле.....	I36
Т.И. Мамышев, Б.И. Белесков. Принцип действия и результаты испытаний электрогидравлического клапана срыва вакуума в сифонном водовыпуске насосной станции.....	I45
Рефераты к Сборнику научных статей вып. I40* (Гидротехнические сооружения на гидромелиоративных системах).....	I50

Редактор Д.Х.Володина .

Корректоры Т.М.Шапошникова, Г.Д.Яценко

Р-05622. Подписано в печать 24.ІУ.74г. Формат бумаги
50х60 1/8 Усл.п.л.10. Заказ 1335. Тираж 300 экз.

Цена 1 руб.

КартФабрика ин-та "Узгипрозем", Ташкент, муками, 176.