

МИНИСТЕРСТВО МЕДИКОПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ОБЪЕДИНЕНИЕ ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
ИМ. В. Д. ЖУРНА САННИИРИ

ТРУДЫ САННИИРИ

Выпуск 184

(Русловые процессы, гидравлика сооружений,
гидротехнические сооружения)

ТАШКЕНТ — 1971

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
им. В. Д. ЖУРИНА „САНИИРИ“

ТРУДЫ САНИИРИ

Выпуск 134

(Русловые процессы, гидравлика сооружений,
гидротехнические сооружения)

ТАШКЕНТ — 1971

УДК 626 . 01

В сборнике даются результаты исследований по русловым процессам: размыв грунта падающей струей, расчет поверхности плотного потока при его движении по водохранилищу, исследование селевых выносов на примере Ферганской долины. В книге даются натурные обследования нижних бьефов гидросооружений на ирригационных каналах, основные параметры водохранилищ Средней Азии, исследуется новый вид водосброса.

Книга рассчитана на научных работников, проектировщиков, работников водохозяйственных организаций, преподавателей и студентов институтов гидротехнического профиля.

Редакционная коллегия:

Ф. Н. Наджимов (отв. ред.), Р. А. Алимов, Х. А. Аскарлов,
К. И. Белоцерковский, Г. Г. Валентини, И. И. Горошков, А. А. Кадыров,
С. И. Кеберле, Н. Т. Лактаев, А. М. Мухамедов, У. Ю. Пулатов
(зам. отв. ред.), А. А. Рачинский (зам. отв. ред.), И. Б. Хамадов,
Х. И. Якубов.

УСКОРИТЕЛЬ ВКЛЮЧЕНИЯ СИФОНА

При больших напорах в сифонах нетрудно добиться малой высоты зарядки (5-10 см), так как падающая струя обладает большой скоростью и поток начинает аэрироваться при своем движении по водосливной грани сифона еще до впадения его в водяную подушку зарядного колодца.

При больших скоростях падающей струи давление в ней становится меньше атмосферного и воздух проникает внутрь струи — происходит физическая аэрация потока.

В месте падения струи в водяную подушку происходит дополнительная аэрация потока в виде механического захватывания мелких и крупных порций воздуха в образующемся воронкообразном пульсирующем понижении водной поверхности. Захват воздуха в воронке водяной подушки происходит очень интенсивно; нужно лишь, чтобы захваченный воздух, увлеченный в воронку, как можно скорее выносился из сифона в НБ, т.е., чтобы пузырьки воздуха проходили через водяную подушку зарядного колодца по наименьшему пути. Этого можно достичь, если радиус потолка зарядного колодца сделать минимально допустимым (по условиям кавитации или потерь) и струю, переливающуюся через гребень сифона, направить откидным носком под потолок зарядного колодца под углом $\sim 30^\circ$ с тем, чтобы воронка на водной поверхности образовалась рядом с закруглением потолка колодца. Таким образом, устраивается механическая аэрация потока.

При средних напорах теми же средствами можно получить высоту зарядки 15-20 см.

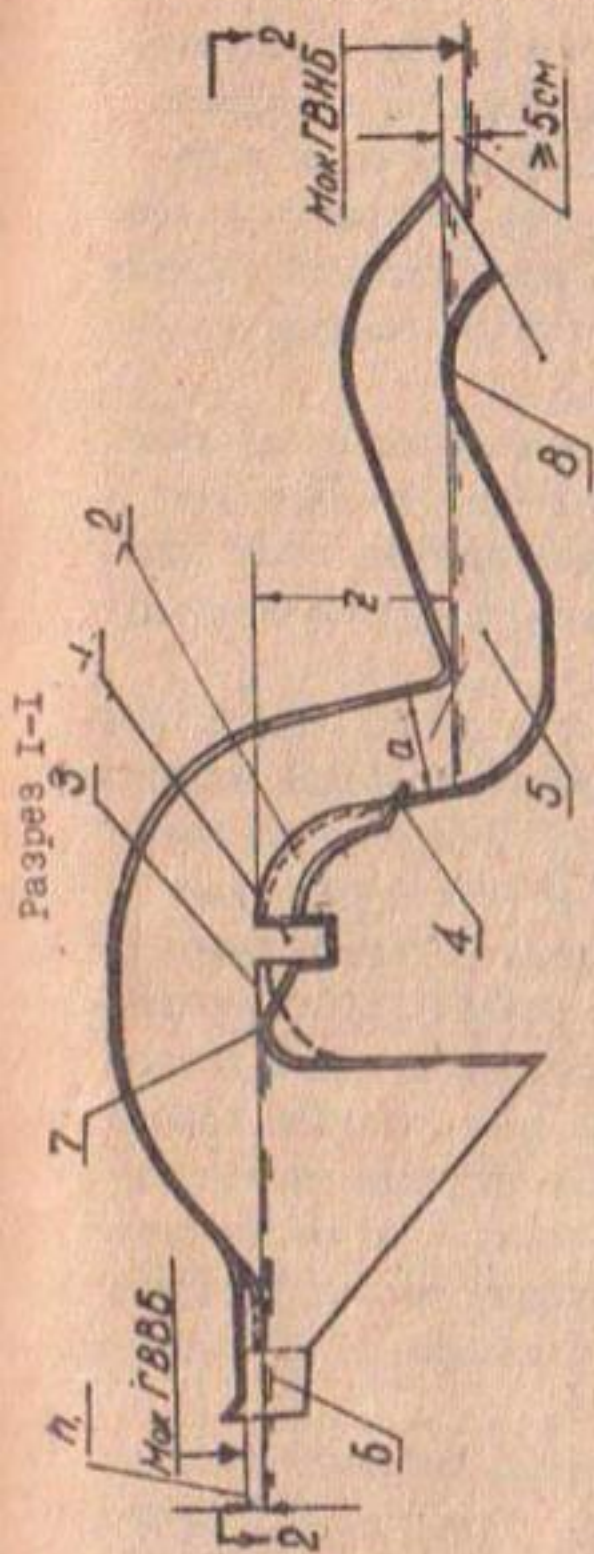
При малых напорах небольшую высоту зарядки можно получить лишь значительно уменьшая погонные расходы, т.е. снижая высоту сечения сифона.

Сохраняя относительно высокие величины погонных расходов, можно получить малую высоту зарядки только при значительном увеличении интенсивности удаления воздуха из сифона,

что можно достигнуть специальным ускорителем включения, предложенным и разработанным в отделе водохранилищ САНИИРИ в 1966-1969 гг. (авторское свидетельство № 289166 от 26 февраля 1966 г.).

На рис. I изображен продольный разрез и план автоматически действующего сифона, снабженного предлагаемым устройством, которое состоит из водосборного лотка прямоугольного сечения, расположенного в средней части гребня сифона на всей его ширине и выходящего из него водосливного лотка также прямоугольного сечения, шириной, равной $1/2-1/3$ ширины сифона, дно которого почти повторяет форму водосливной грани сифона и заканчивается известным откидным носком. При этом предусматривается наличие известного регулятора расходов и, при необходимости, зарядного колодца, когда вода из сифона сбрасывается не под уровень воды нижнего бьефа. Откидной носок устраивается и на водосливной стене сифона, но не на всей ширине ее — для возможности выравнивания давления под откидными носками с верхней разряжаемой областью сифона. (Дальнейшее уменьшение ширины сливного лотка приводит к нежелательному замедлению роста интенсивности удаления воздуха из сифона в средней части периода его включения).

Процесс включения сифона происходит следующим образом. При подъеме горизонта воды в верхнем бьефе гидротехнического сооружения выше отметки гребня сифона вода начинает переливаться через гребень, собираться в водосборном лотке, а затем поступать в водосливной лоток. Толщина струи воды, вытекающей на водосливной лоток, в 2-3 раза больше, чем на гребне сифона, так как ширина водосливного лотка в 2-3 раза меньше ширины гребня. Поэтому предлагаемый ускоритель обеспечивает удаление воздуха из разряжаемой части сифона при меньшей высоте переливающего через гребень сифона слоя воды, так как вода, собранная со всей ширины гребня, сосредоточивается водосливным лотком на части откидного носка. Благодаря этому с откидного носка стекает струя, обладающая большей удельной кинетической энергией, которая при падении в воду колодца захватывает больше воздуха и дальше увлекает его за



План 2-2

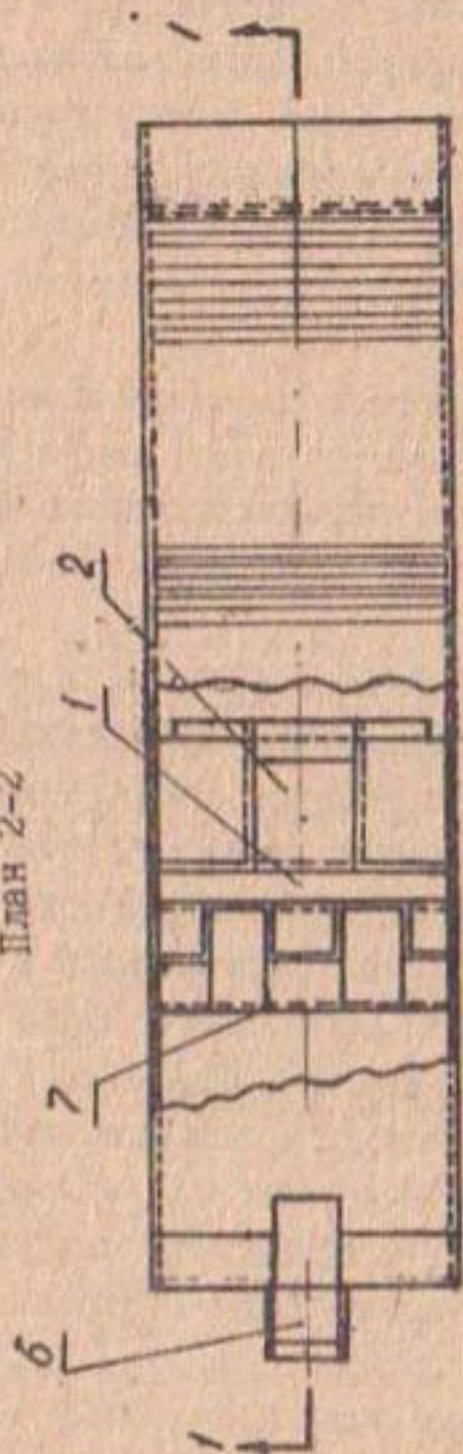


Рис. I. Автоматически действующий сифон с ускорителями включения в виде зигзагообразного порога, водосборного и сливного лотков:
 1-водосборный лоток; 2-сливной лоток; 3-зигзагообразный порог; 4-откидной носок с воздухопроводной трубкой; 5-зарядный колодец; 6-регулятор расхода сифона; 7-гребень сифона; 8-порог зарядного колодца.

собой. Включение сифона начинается при меньшем подъеме горизонта воды в верхнем бьефе, увеличивается интенсивность удаления воздуха из сифона, а, следовательно, и диапазон его устойчивой работы.

При очень малых напорах ($H \leq 2,0$ м) можно дополнить предлагаемый ускоритель зигзагообразным порогом на гребне сифона (рис.1), что ведет к увеличению расхода воды в начальный период работы сифона (примерно еще в 2 раза, а всего, следовательно, в 4-6), к повышению кинетической энергии потока и увеличению интенсивности удаления воздуха из сифона.

Этот ускоритель работает аналогично описанному выше варианту, но он обеспечивает начало удаления воздуха при еще меньшей высоте переливающегося через гребень слоя воды, а, следовательно, еще большую интенсивность удаления воздуха из сифона.

В САНИИРИ были проведены опыты с моделью сифона предложенной конструкции; для проектировавшегося Средазгипровод-хлопком перегораживающего сооружения из четырех труб двухметровой ширины с расходами $6,25 \times 4 = 25$ м³/сек и напорами 1,57

В связи с этим в лаборатории предварительно была построена модель одной трубы сифона в масштабе 1:10 с предлагаемым ускорителем включения. Сифон включался при подъеме горизонта воды в верхнем бьефе на 7 см над отметкой гребня (в пересчете на натуру), минимальный устойчивый расход одной трубы оказался равным 0,3 м³/сек, т.е. 0,05 от максимального расхода, и пропускал максимальный расход 6,25 м³/сек при подъеме горизонта воды в верхнем бьефе на 10 см над отметкой гребня и ширине сифона $B = 2,2$ м.

Пересчетом были составлены типовые сифоны с предлагаемым ускорителем включения на напор $H = 0,2-2,0$ м с погонными расходами $q = 0,125-4,0$ м³/сек соответственно для водовыпусков, водосбросов и перегораживающих сооружений.

Продольный профиль и план показаны на рис.2, а основные размеры сифонов и их характеристика приведены в таблице.

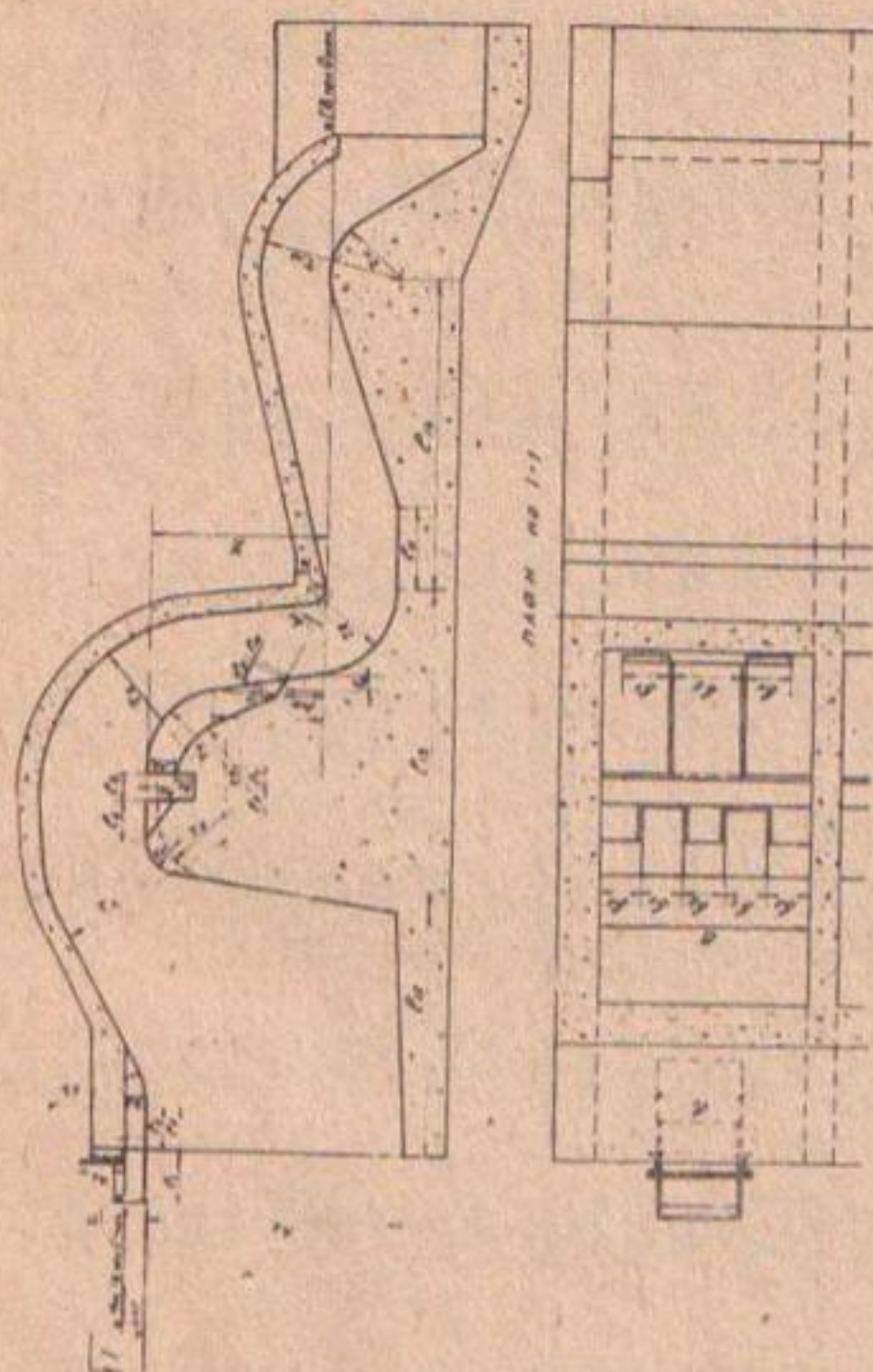


Рис. 2. Автоматически действующий малонапорный сифонный водосбор
или перегородивающее сооружение.

Основные размеры подобных сифонов

Таблица

g_{cm}	: 20	: 30	: 40	: 50	: 75	: 100	: 125	: 150	: 175	: 200
$L_{5/2}$	0,666	I	I,33	I,66	2,5	3,33	4,16	5,0	5,83	6,66
L	0,362	I	2,04	3,55	9,88	20,2	35,5	55,91	83,00	114,8
B_{cm}	26,6	40	53,2	66,6	100	123	166	200	234	266
$Q_{m^3/сек}$	0,034	0,094	0,192	0,333	0,920	1,900	3,33	5,250	7,800	10,700
$Q_{m^3/сек}$	0,125	0,235	0,360	0,500	0,920	1,550	2,000	2,620	3,330	4,000
h_1	50	50	50	60	70	80	90	100	110	120
h_2	330	500	670	830	1250	1650	2100	2500	2900	3300
h_3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
h_4	200	200	200	250	300	300	350	400	400	400
h_5	100	100	100	120	140	160	180	200	200	200
h_6	10	15	20	25	38	50	63	75	88	100
h_7	32	48	64	80	120	160	200	240	280	320
h_8	35	52	70	87	130	174	216	260	300	340
h_9	120	180	240	300	450	600	750	900	1050	1200
h_{10}	53	80	107	133	200	267	333	400	466	535
h_{11}	7	10	13	17	25	33	42	50	58	60
z_1	20	20	25	35	50	65	80	100	110	120
z_2	120	180	240	300	450	600	750	900	1050	1200
z_3	226	340	450	565	850	1130	1420	1700	1980	2260
z_4	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400
z_5	83	125	166	208	312	416	520	625	730	835
z_6	93	140	186	232	350	465	585	700	820	930

	20	30	40	50	75	100	125	150	175	200
1	10	15	20	25	38	50	63	75	88	100
2	113	170	226	282	425	565	710	850	990	1135
3	20	30	40	50	75	100	125	150	175	200
4	186	280	372	464	700	930	1170	1400	1640	1860
5	93	140	186	232	350	465	585	700	820	930
6	70	70	100	120	175	240	300	350	400	400
7	100	100	150	200	250	350	420	500	600	600
8	50	50	90	120	160	260	320	400	500	500
9	53	80	107	133	200	267	333	400	466	535
10	33	50	67	83	125	167	208	250	292	333
11	37	55	73	92	138	183	230	275	320	366
12	23	35	47	58	88	117	146	175	204	233
13	20	30	40	50	75	100	125	150	175	200
14	24	36	48	60	90	120	150	180	210	240
15	3	4	5	6	10	13	16	20	23	26
16	130	200	260	330	500	670	830	1000	1100	1200
17	330	500	660	830	1250	1670	2080	2500	2920	3330
18	425	640	850	1070	1600	2130	2680	3220	3740	4250
19	400	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
20	10	20	30	40	55	70	85	100	115	130
21	110	160	215	270	400	540	670	800	940	1100
22	50	80	100	130	200	240	330	400	470	530
23	55	80	111	135	200	250	335	400	470	530
24	70	110	145	180	275	360	450	550	640	730
25	90	140	185	230	350	460	580	700	820	930

Подходные скорости предусмотрены равными $V_{\text{под}} \approx 0,4-1,2$ м/сек. соответственно.

При больших подходных скоростях потока необходимо вносить коррективы в отметку гребня, высоту ниши регулятора расхода и величину запаса в дамбах. Указанные в таблице ширины сифонов можно сделать большими для увеличения пропускной способности, но при этом надо сохранять соотношение $\delta_1 : \delta$, $\delta_4 : \delta$ и $\delta_5 : \delta$ (рис.2), соответственно увеличивая число зигзагов.

Сифон автоматически сбрасывает лишнюю воду из верхнего бьефа в нижний, поддерживая горизонт воды в верхнем бьефе на отметке нормально подпертого горизонта воды (НПГ), допуская лишь небольшой подъем над НПГ — соответственно до 5-15 см (при пропуске $Q_{\text{ток}}$). Автоматизм обеспечивается регулятором расхода (рис.3).

Воздух в сифон может попадать только через регулятор расхода — нишу во входном козырьке сифона, оборудованную неподвижным вертикальным щитком с почти горизонтальным металлическим козырьком, приподнятым над НПГ на 4-12 см соответственно, а со стороны нижнего бьефа воздух не может попадать в сифон из-за "водяной пробки" в зарядном колодце

При появлении лишней воды в верхнем бьефе (ВБ) ее уровень начнет подниматься выше гребня сифона. Переливающаяся вода начнет удалять воздух из сифона и создавать в нем вакуум, который будет расти до величины, обусловливаемой воздухом, поступающим через регулятор расхода (нишу). Подъем воды в ВБ уменьшит сечение ниши и количество поступающего воздуха. Подъем прекратится тогда, когда расход поступающего воздуха сравняется с удаляемым. Изменение величины лишней воды в ВБ вызовет соответствующее изменение уровня воды в нем, количество поступающего через регулятор воздуха и расхода сифона. Перед вводом в эксплуатацию сифона производятся пусконаладочные работы по нему, которые включают в себя устранение дефектов строительства и определение отметки установки щитка регулятора расхода, обеспечивающего заданный

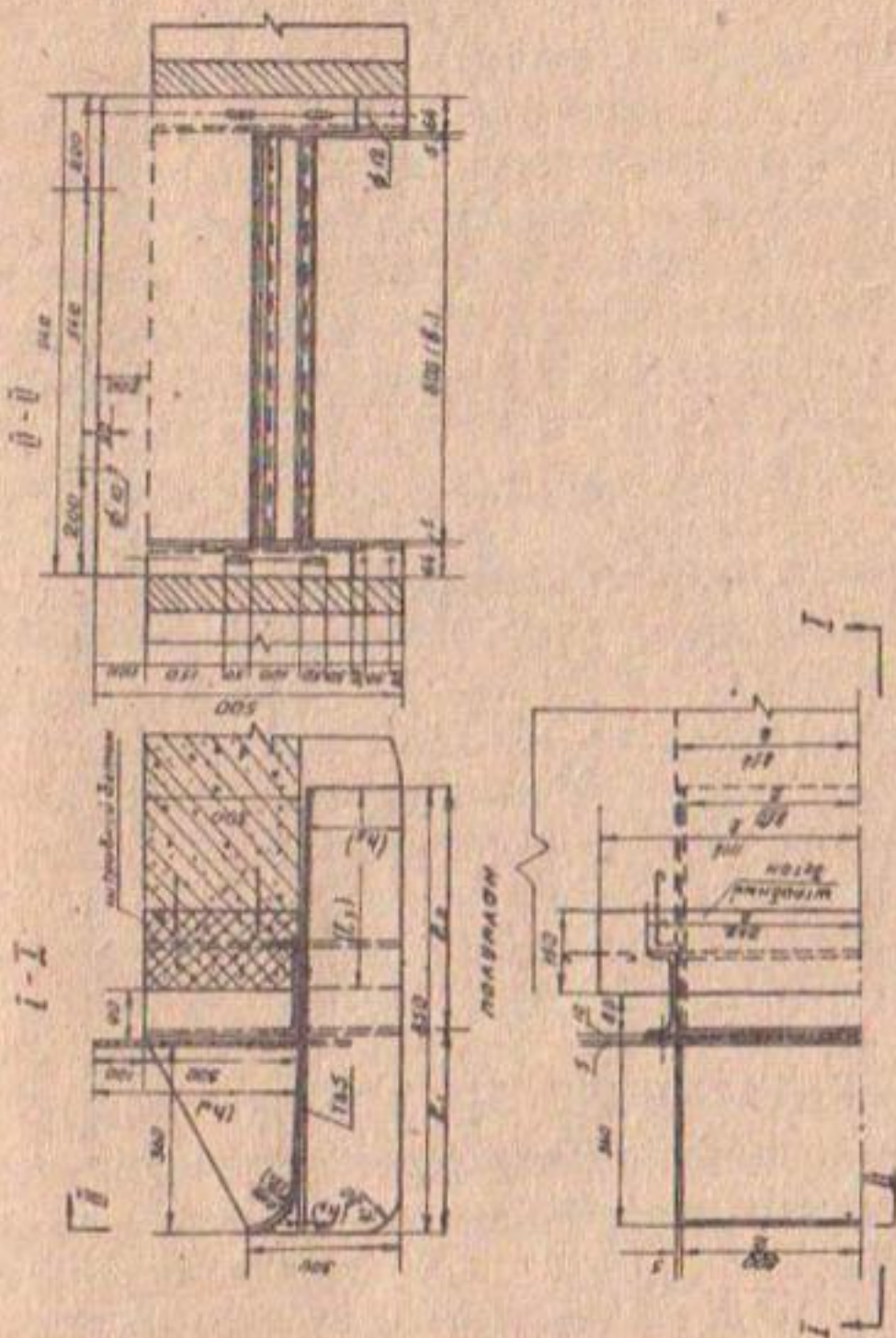


Рис.3. Регулятор расхода для сифона с $Q_{\max}=5\text{ м}^3/\text{сек}$, $Z=1,50\text{ м}$
и $h_v=12\text{ см}$.

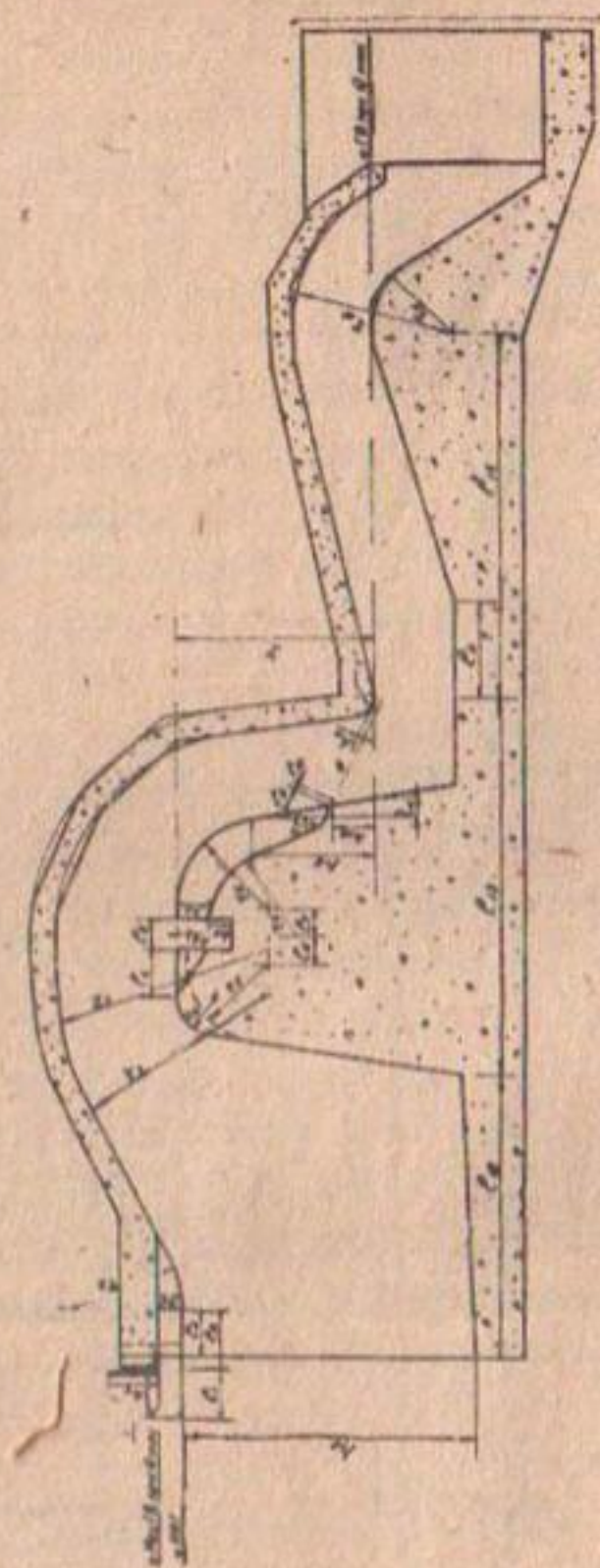


Рис. 4. Автоматически действующий малонапорный сифонный сброс или перепоразивающее сооружение (упрощенный вариант).

режим работы. Щиток в найденном положении закрепляется "намертво" (гайки привариваются к болтам).

Конструкция регулятора расхода (рис.3) допускает работу сифона с замусоренной водой и позволяет при пусконаладочных работах установить регулятор расхода в нужном положении.

Целесообразно эти малонапорные сифоны изготавливать из металла, пластмассы и железобетона.

Сифоны с предлагаемым ускорителем включения были запроектированы Средазгипроводхлопком и уже построены Джурханводстроем в железобетонном исполнении на четырех перегораживающих сооружениях левой ветки Шерабадского магистрального канала в Сурхандарьинской области УзССР на расход

$Q_1 = 5 \times 6 = 30 \text{ м}^3/\text{сек}$, $Q_2 = 4 \times 6 = 24 \text{ м}^3/\text{сек}$,
 $Q_3 = 4 \times 6 = 24 \text{ м}^3/\text{сек}$ и $Q_4 = 3 \times 6 = 18 \text{ м}^3/\text{сек}$ при одинаковых напорах $z = 1,57 \text{ м}$. При этом сопряжение

с нижним бьефом не исследовалось ввиду того, что сифоны строились в бетонированном канале. Подходные скорости не превышали $1,0 \text{ м/сек}$.

Проведены пусконаладочные работы по вводу в эксплуатацию сифонных сооружений. Сифоны надежно поддерживают горизонт воды в верхнем участке канала, устойчиво сбрасывая лишнюю воду в нижний участок канала с максимальным подъемом уровня воды над нормально подпертым горизонтом на $h_c = 15 \text{ см}$ (при пропуске Q_{max}), хотя сифоны выполнены с отклонением основных размеров до 5-6 см.

Недавно в САНИИРИ, для облегчения строительства сифона в железобетонном исполнении, испытана модель сифона с упрощенным очертанием (рис.4). Опытами установлено, что основные свойства сифона ($h_{\text{зоп}}$, $Q_{\text{min ует}}$) сохранились, но пропускная способность уменьшилась на 15%.

Однако большей точности в исполнении железобетонных сифонов и упрощения в разбивке можно достигнуть, если устроить боковые стенки сифонов из листовой стали ($\delta = 5-6 \text{ мм}$) с приваренным по контуру сифона угловым железом, по которым можно точно устанавливать опалубку дна и потолка сифона. Разработанные сифоны рекомендуются для широкого внедрения.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В связи с разработкой проблемы научных основ и мероприятий по комплексному и эффективному использованию в народном хозяйстве водных ресурсов страны и в частности с разработкой рекомендаций по проектированию, строительству и комплексному использованию водохранилищ, начатой в Советском Союзе, САНИИРИ в период 1966–1970 гг. выполнял работу по составлению кадастра технико-экономических показателей водохранилищ Средней Азии.

На основании проектных и эксплуатационных материалов собраны технико-экономические показатели водохранилищ Узбекской, Туркменской, Таджикской и Киргизской ССР.

Всего по Средней Азии числится 56 водохранилищ, из которых 47 действующих и 9 – строящихся. Кадастром охвачены все действующие на 1 января 1970 г. водохранилища, объем которых более 1 млн.м³.

В статье приводятся основные параметры водохранилищ Средней Азии.

ТАБЛИЦЫ

Водохрани- лище	Территори- альное рас- положение	Тип во- дохрани- лища	Источники питания	Водохранилище				Плотина (параметры)	
				пол- ный объем, млн м ³	полез- ный объем, млн м ³	пло- щадь зерка- ла, км ² при ВЛГ	дли- на по су- ху, км	высо- та, м	дли- на, км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Удобрения ССГ

Андижанское (Кампырра- ватское)	Андижанская область	Наливн.	р. Кара- дарья	1750	1600	56	12	110	1,1
Чарвакское	Ташкентская обл., Ходж. район	Руслов.	р. Чир- чик	1624	1190	36,4	19	160	0,7
Ожно-Сурхан- ское	Сурхан- дарьинская обл.	Руслов.	р. Сурхан- дарья	800	610	65,0	20	30	5,2
Каттакур- ганское	Самарканд- ская обл.	Наливн.	р. Зараф- шан	662	638	64,7	13	29,5	3,9
Увеличение емкости	"	"	"	900	876	79,5	15	31,0	4,0
Чимкурган- ское	Кашкадарьин- ская обл.	Руслов.	р. Кашка- дарья	500	450	49,2	17,5	33	7,4
Кухмазар- ское	Бухарская обл.	Наливн.	р. Зараф- шан	350	303	18,0	5,25	24,3	0,1
Фархадское	Ленинабад- ская обл.	Руслов.	р. Сыр- дарья	350	20	48	36,0	27,5	0,6
Пачкамар- ское	Кашкадарьин- ская обл.	"	р. Гузар- дарья	260	250	12,4	5,0	70	0,5
Ташкентское (Тяпбугуз- ское)	Ташкентская обл.	"	р. Ахан- гарая	250	224	20	9	36,5	2,8

Материал	Назначение водохрани- лища	Характер осуществле- емого регу- лирования	Стадия работ	Начало и конец строи- тельства, год ввода в действие	Генеральный проектиров- щик
I1	I2	I3	I4	I5	I6

Земляная-га- лечниковая отсыпка, ка- менная наб- роска	Ирригацион- но-энерге- тическое	Многолет- нее	Строится	1963-1971	Средазгипро- водхлопок
Каменно-на- бросная с суглинистым ядром	"	Сезонное	"	1962-1970	САОГИДЭП
Земляная из мелкоземов	Ирригацион- ное	Сезонное	Действует	<u>1958-1967</u> 1962	Средазгипро- водхлопок
Земляная из лессовидных суглинков	"	"	"	<u>1940-1951</u> 1941	Савводпроез
"	"	Многолет- нее	"	<u>1962-1967</u> 1967	Средазгипро- водхлопок
Земляная, ядро из суглинка и гравелисто- песчаные бо- ковые призмы	"	Сезонное	"	<u>1957-1962</u> 1960	"
Земляная	"	"	"	<u>1953-1958</u> 1957	Самарналд, проектно-изыск. контора "Узвод- проезстрой"
"	Ирригацион- но-энерге- тическое	Суточное	"	1942-1948, 1948	САОГИДЭП
"	"	Многолет- нее	Действует	<u>1964-1968</u> 1967	Узгипроводхоз
Земляная из галечникового грунта с су- глинистым ядром	Ирригацион- ное	Сезонное	"	<u>1953-1963</u> 1960	Средазгипро- водхлопок

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Учкынское	Термезский район	Називи.	р. Сурхандарья, канал Занг	160	80	10	5,5	11,5
Уртатокайское (Каосансайское)	Наманганская обл.	Руслов.	р. Каосансай	100	95	5,7	5,0	59
Каосансайское (увелит. сик.)	Каосансайский р-н	"	"	165	155	8	5,2	64
Джизахское	Самаркандская обл.	Називи.	р. Савар	90	84	12,7	4,5	23
Туркское (Ахалгаранское)	Ташкентская обл.	Руслов.	р. Ахалгаран	83	70	2,9	6,0	66
Каркиданское	Ферганская обл.	"	р. Кузасай и ЮФК	218,4	211,5	9,533	5,0	70,0
Камининское	Кашкадарьинская обл.	Називи.	р. Янги-Багдарья	17,6	16,6	1,8	4,0	9,8
Рудосайское	"	"	р. Камкадарья	13,5	11,5	3,6	2,5	8,5
Дегресское	Сурхандарьинская обл.	"	р. Ходжипан, р. Тупо-ланг	12,75	12,2	2,25	3,5	12,8
Водохранилище п-за "Правда"	Ташкентская обл. Верхне-чирчикский район	"	р. Банкмызсай	1,5	1,5	0,16	0,6	15,0
Хирауское	Самаркандская обл.	"	р. Зерафшан	16,0	4,4	2,0	15,0	38,5

I0	I1	I2	I3	I4	I5	I6
1,15	Мелкозернистый песчаный грунт	Ирригацион- ное	Сезонное	Действует	<u>1953-1960</u> 1954	Узгипровод- хоз, Средаз- гипровод- хлопок
0,229	Из рваного камня с ж.б. экраном	"	"	"	<u>1941-1954</u> 1942	Средазгипро- водхлопок
0,290	Из рваного кварца с ж.б. экраном	"	"	"	<u>1962-1967</u> 1942	"
5,5	Земляная	"	Многолет- нее	Строится	1963-1966	Узгипровод- хоз
1,11	Земляная из гз- лечника с ядром из суглинка	Ирригацион- ное и про- мышленное водоснабже- ние	Сезонное	"	<u>1965-1968</u> 1969	Средазгипро- водхлопок
0,42	Земляная с су- глинистым эк- раном	Ирригацион- ное	"	Действует	1961-1967, 1963	Узгипровод- хоз
0,9	Земляная из су- глинков	"	"	"	<u>1954-1958</u> 1957	"
1,2	"	"	"	"	1941-1942	Сазводпроиз
3,2	Земляная из лес- совидных суглин- ков	"	"	"	1957-1960, 1958	Сурхандарьин- ское обл. УОС г. Термез
0,286	"	"	"	"	1956-1960	Узгипроводхоз
0,152	Земляная	Ирригацион- но-энергетич.	Суточное	"	<u>1946-1958</u> 1956	Средазгидэл

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токтогуль- ское	Ошская обл.	Руслов.	р. Нарын	19500	14500	265	50	220
Атбашинское	Тянь-Шан- ский р-н	Наливн.	р. Атбаш	1220	870	-	-	100
Кировское	Таласская обл.	Руслов.	р. Талас	550	500	26	13	86
Ортотокон- ское	Иссыккуль- ская обл.	Руслов.	р. Чу	470	450	24	15	52
Попавское	Ошская обл.	"	р. Ак- бур	260	240	6,8	5,2	119
Торт-Гуль- ское	"	Наливн.	р. Исфара	90	75	6,57	6,0	3-32,5 B-19,0
Найманское	"	"	р. Ашир- сай, р. Чилисай	39,5	38	4,23	8	40
Нижне-Ала- Арчинокоз	Фрунзенская обл.	"	р. Аламе- дин	39	35	5,21	3-3,5 B-2,5	25
Базар-Кур- ганское	Ошская обл.	"	р. Кара- Унгурсай	22,5	20	2,904	2,0	25
Джингильдин- ское	Кенес-Анар- хайский р-н, Джамбулская обл.	Руслов.	р. Джин- гильди	16,5	16,24	2,35	3,25	22,3
Сокулукское	Сокулукский р-н, Фрунзен- ская обл.	"	р. Карасу р. Сокулук	11,46	10	1,77	3,8	23,5 "
Долоокское	Топский р-н, Иссыккуль- ская обл.	"	р. Топ	5,84	4,2	0,78	2,0	18,5
Карабалтин- ское	Калининский район	"	р. Карасу р. Карабал- ты	4,3	3,8	0,154	2,5	11
Пруд Мель- ничный	Топский район	Наливн.	Карасуки	2,92	-	-	-	4,5
Макачи	Московский район	"	Канал 18- 19 из БК	2,48	-	-	-	3

9	10	11	12	13	14	15	16
---	----	----	----	----	----	----	----

Киргизская ССР

0,433	Бетонная	Ирригационно-энергетическое	Многолетнее	Строится	1963-19..	САОГидропроект
0,075	Каменно-гравийная	"	Сезонное	"	1961-19..	-
0,26	Каменно-бетонная	Ирригационное	"	"	1965-1969	-
0,365	Земляная из крупно-обломочных грунтов	"	"	Действует	1941-1946, 1952-1958	САОГИДЭП, Среднеазиатгипроводхоз
0,12	Ж.б. арочная	"	Многолетнее	Строится	1964-1968	Киргизгипроводхоз
5-1,218 В-0,527	Земляная	"	Сезонное	"	1965-19..	"
0,265	Земляная из глинисто-галечникового грунта с суглинками и ядром	"	"	Действует	1962-1966 1966	"
2,565	Земляная из лесовидных суглинков	"	"	"	1961-1965 1965	"
2,4	Земляная из суглинков	"	"	"	1956-1962 1959	"
0,45	Земляная с ядром из супеси	Ирригационное, обводнение	"	"	1960-1963 1963	"
0,56	Земляная из суглинков	Ирригационное	"	"	1966-1968 1968	"
0,085	Земляная	"	"	"	1901	"
0,197	Земляная из суглинков	"	"	"	1961-1963 1964	Киргизгипроводхоз
0,075	Земляная	Для хозяйственных нужд	"	"		
1,45	"	Ирригационное	"	"	1932	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Водоем сахарного завода	Кантский район	Наливн.	р. Сокудук	1,2	-	-	-	7	0,3
Степни-ское	Калининский район	Руслов.	р. Кара-бейти	1,1	-	0,34	-	9	0,28
Водоохрани-лище при Уч-Кургал-ской ГЭС № 1	Омская обл.	"	р. Нарын	52,5	20,9	4,0	20,0	30,0	2,8
<u>Таджикская</u>									
Нурекское	Душанбин-ская обл.	Руслов.	р. Вахи	10500	4500	98	20	300	1,5
Кайракку-ское	Ленинабад-ская обл.	"	р. Сир-дарья	4160	2600	513	55	30,5	1,202
Каттасай-ское	Уратьбин-ский р-н	"	р. Катта-сай, р. Бао-мандысай	55,07	33,61	3,03	2,5	65	0,80
Мумин-Абад-ское	Кулябский район	Наливн.	р. Обя-шур	25,3	24,1	2,60	2,0	34	1,400
Сальбурское	Восейский район	"	р. Кизил-су	20,33	19,67	2,3	3,0	12	0,985
Головная ГЭС	Курганто-бинский район	Руслов.	р. Вахи	94,5	18	7,5	13,0	32	1,047
<u>Туркменская</u>									
Хауэ-Хан-ское I очар.	Ашхабад-ская обл.	Наливн.	Канал Каракум-ский	460	435	136	22,0	10,6	17,2
Сари-Язир-ское	Ташта-Бе-зерский район	Руслов.	р. Мур-габ	263	250	46	20	24	2,6
Тедженское II	Тедженский район	"	р. Тед-жен	183,5	180	40	15	20,5	7,4
Тедженское I	"	"	"	150	142,6	26	18	19,5	2,42

11	12	13	14	15	16
----	----	----	----	----	----

Земляная	Для пром. целей	Сезонное	Действует	1936	-
Земляная из суглинков	Ирригационное	"	"	1932	-
Земляная из гравелисто-галечн. грунта	Энергетич. и ирригационное	Суточное	"	1956-1964 1961	САОГидзэп

ССР

Каменно-набросная с суглинистым ядром	Ирригационно-энергетическое	Сезонное	Строится	1961-1970	САОГидро-проект
Земляная из мелкозернистых песков	"	Многолетнее	Действует	1951-1957 1956	"
Земляная, ядро из суглинка и галечниковые приемы	Ирригационное	Сезонное	"	1958-1966 1961	Среднегипроводхоз
Земляная из суглинистых грунтов	"	"	"	1958-1959, 1959	Гипроводхоз г. Москва
Земляная из лессовидных суглинков	"	"	"	1961-1966 1965	Таджикгипроводхоз
Земляная	Ирригационно-энергетическое	"	"	1947 (за-млено)	САОГидзэп

ССР

Земляная из малкопесчаных грунтов	Ирригационное	Сезонное	Строится	1961-1983 I очередь закончена в 1962 г.	Туркменгипроводхоз
Земляная из местных грунтов	"	"	Действует	1954-1958 1958	"
Земляная из легких суглинков	"	"	"	1958-1962 1960	"
"	"	"	"	1940-1950 1950	Управление водн. хоз-ва Наркомзема

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ташкентское	Ташкентский р-н	Руслов.	р. Мургаб	166	147,75	42	25	22
Икхотанское	Икхотанский район	"	"	73,2	71,5	13,15	25	12,67
Копхобентское	"	"	"	54,6	50	66,5	32,5	10
Ванадное (Куртинское)	Ашхабадская область	Наливи.	Канак Керакумский	48,0	38,0	11,3	4,0	4,5
Хор-Хорское	Серахосский район	"	р. Тодкен	21,5	20,6	3,445	7,0	8,0
Гиндукушское (нижнее)	Туркмен-Калинский район	"	р. Мургаб	20,8	16,86	6,07	4	6,05
Гиндукушское (среднее)	"	"	"	17,468	16,814	5,48	8,8	7,05
Мамедкуль	Ашхабадская область	"	р. Атрек	20,4	17,9	6,3	4,0	4,5
Восточное	"	"	ККК	6,25	-	3,3	3,0	6,0

0.1	II	I2	I3	I4	I5	I6
1.11	Земляная из пугинок	Ирригацион- ное	Сезонное	Действует	1935-1939 1939	Проектное бюро Таш- кепристроя
0,661	"	"	"	"	1910	-
1,417	Земляная	"	"	"	1909	-
1,5	Земляная	Ирригацион- ное	"	"	1962	Туркменгипро- водхоз
1,552	"	"	"	"	1959	"
7,812	Земляная из местных грунтов	"	"	"	1895	-
8,045	Земляная	"	"	"	1895	-
3,50	"	"	"	"	1964	Туркменгипро- водхоз
4,0	"	Спортивное	"	"	1965	"

НАТУРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ НИЖНИХ БЬЕФОВ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ НА ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

В настоящему времени на территории республики Средней Азии построено множество сетевых гидротехнических сооружений.

Выполняются они, как правило, по индивидуальным проектам, что приводит к разнообразию в их конструкциях. В частности, разнообразны конструкции нижних бьефов и типы гасителей. Применяемые конструкции сопряжения сооружений с нижним бьефом в процессе эксплуатации пока приводят к их разрушению. Нижние бьефы сооружений одной и той же конструкции, построенные на разных грунтах, ведут себя по-разному: на песчано-галечниковых, естественно, повреждений меньше, чем на суглинисто-песчаных.

Цель намеченных исследований — выбор наиболее удачных типов конструкций сооружений и креплений нижних бьефов.

В процессе выполнения поставленной задачи мы ознакомились с опубликованными работами о конструкциях и разрушениях нижних бьефов гидротехнических сооружений, с проектами гидротехнических сооружений, построенных в Голодной степи и Ташкентской области; провели натурные обследования гидротехнических сооружений и отобрали наиболее рациональные типы конструкций нижних бьефов сооружений.

В натуральных условиях были обследованы перегораживающие сооружения с расходами более $10 \text{ м}^3/\text{сек}$, имеющие перепады менее 4-х метров и сужение ширины потока не более чем в 4 раза; перепады-бистроток с расходами более $10 \text{ м}^3/\text{сек}$, перепадами до 8 м и сужением ширины потока не более 6 раз.

Всего было обследовано 88 сооружений: 25-на Ташканане (включая Левую ветку и Уруо-Арык); 26-на канале Джун; 18-на Южном Голодностепском канале (включая центральную Левую и Правую ветки) и 19-на Кировском магистральном канале (включая Правую ветку).

При обследовании обращалось большое внимание на выяснение причин хорошего и плохого состояния сооружения.

Обследования сооружений проводились при наличии пропускаемого расхода — для оценки гидравлики и при отсутствии воды — для осмотра подводных частей сооружения и примыкающих участков канала. При натурном обследовании сооружений проводилась визуальная оценка гидравлики сооружения с соответствующими зарисовками, замерялись скорости в нижнем бьефе сооружения в конце бетонного крепления, в начале и в конце разрушенного участка канала, а также высота воли в нижнем бьефе сооружения.

Нижние бьефы сооружений и их отдельные фрагменты зарисовывались и фотографировались с определением соответствующих размеров разрушенных участков.

По каждому исследованному сооружению составлены: паспорт, ведомость данных по гидравлическим эксплуатационным характеристикам и качеству строительных работ с приложением зарисовок, схем, чертежей, фотографий.

Обработка полевого материала по обследованным сооружениям, расположенным на вышеперечисленных каналах, позволило сделать следующее предварительное заключение:

1. Нижние бьефы сооружений, оборудованные различного типа активными гасителями (поперечные стенки, пирсы, шашки, ребра и т.д.), хорошо работают в слаборазмываемых грунтах (галечниках, полускальных, скальных грунтах).

2. В суглинисто-песчаных и лессовидных грунтах аналогичные сооружения с несколько увеличенной длиной крепления нижнего бьефа работают неудовлетворительно.

В основном это объясняется тем, что часть энергии не гасится, а превращается в энергию вихревого движения турбулентного потока. В этом случае поток как бы переходит в сверхбурное состояние. Для гашения избыточной энергии сверхбурного потока длина крепленной части сооружения, определенная по общеизвестной методике, оказывается недостаточной. Поэтому поток, поступающий в примыкающий канал, имеет избыточную энергию. Гашение ее происходит в примыкающем канале на длине до 5В.

По указанной причине за бетонным креплением многих сооружений примыкающий канал приобретает каплевидную форму в плане с максимальными габаритами длины до 5δ , ширины до $(2+2,5)\delta$, где δ — ширина по урезу воды на неразрушаемом участке примыкающего канала.

В этих грунтах хорошо работают сооружения полудюкерного типа или сооружения, в нижних бьефах которых используются рассекатели по типу направляющих стенок, а сами нижние бьефы в плане выполнены в виде раструба.

Сооружения полудюкерного типа представляют собой многоочковые трубчатые сооружения, выполненные из железобетонных труб прямоугольного сечения с размерами отверстий $2 \times 2,5$ м.

В конструкциях нижних бьефов этих сооружений предусмотрены водобойные колодцы глубиной до 2 м. Длина крепленной части за выходными сечениями труб не превышает 10-15 м при пропускной способности сооружения до $40 \text{ м}^3/\text{сек}$. Сооружения работают при диапазоне перепадов $\mathcal{X}$ от 1 до 3,5 м.

При всех упомянутых значениях $\mathcal{X}$ поверхность потока в пределах водобойного колодца совершенно спокойна.

Каких-либо волнений на свободной поверхности не наблюдается. Поток, выходящий из труб на коротком участке, отклоняется от дна почти на 90° и выходит на свободную поверхность, равномерно растекаясь по всему сечению. В конце крепленной части сооружения скорость потока достигает битьевых значений.

За много лет эксплуатации в нижних бьефах этих сооружений каких-либо разрушений не обнаружено. В момент обследования сооружения находились в хорошем состоянии.

Типовые трубчатые перепад-быстротоки (ПБТБ-10) с диаметром труб менее 1 м, построенные на ирригационных каналах, вода в которых содержит большое количество плавленка и крупногабаритные плавающие предметы, — работают неудовлетворительно. Такими сооружениями армирована трасса Чилисайской ветки (Урус-Арык).

Всего на трассе насчитывается 9 трубчатых перепадов. Эти перепады в основном выполнены из железобетонных труб диаметром менее 1 метра, уложенных в три, четыре нитки. В момент обследования в рабочем состоянии находились только два сооружения, остальные были полностью разрушены. Разрушение этих сооружений, в основном, произошло в результате закупорки отверстий труб в верхнем бьефе плавающим мусором и перелива воды через борта канала в верхнем бьефе, что привело к образованию обводного русла. Полуразрушенные сооружения в настоящий момент находятся на расстоянии 20-30 метров в стороне от обводного русла.

Нижние бьефы сохранившихся сооружений также находятся в неудовлетворительном состоянии. Примыкающий канал разрушен на участке 10-20 м за бетонным креплением. Эти участки канала закреплены по всему смоченному периметру габионными габионами. Подобные сооружения, с несколько увеличенной длиной крепления нижнего бьефа, могут быть рекомендованы к применению на каналах, в которых полностью гарантируется защита этих сооружений от плавающих предметов.

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА
ПЛОТНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ВОДОХРАНИЛИЩУ

На реках Средней Азии проектируются и строятся большие водохранилища: Нурекское и Рогунское — на р.Вахи, Андиканское — на р.Карадарья, Токтогульское — на р.Нарин, Тяньмунское — на р.Амударья и др.

Почти во всех указанных водохранилищах при большой мутности из мелких глинистых частиц наносов образуется плотный поток, что определяет необходимость учета и расчета его движения.

Частицы наносов в таком потоке характеризуются диаметром $d < 0,015$ мм, когда речной поток, попадая в зону выклинивания кривой подпора, теряет крупные частицы наносов и при определенной концентрации взвеси опускается в придонные слои, образуя донный поток. Такое течение в водохранилище получило название донного или плотного потока.

Изучение движения жидкостей с различными плотностями начато сравнительно недавно, и из-за сложности явлений и трудности проведения экспериментов выполненные исследования нельзя считать еще достаточными. Они позволяют вести расчет лишь в пределах плоской задачи.

Однако плановое очертание водохранилища характеризуется многочисленными поворотами, расширениями и сужениями русла. Все это будет оказывать влияние на продвижение донного (плотного) потока вниз по течению.

При этом часть энергии будет затрачиваться на преодоление этих местных сопротивлений, в результате чего будут изменяться характеристики донного потока по пути его движения.

При расчете характеристики плотного потока, учитывая зависимости И.И.Леви [1], по длине водохранилища необходимо выполнить ряд вычислений, в результате которых в условиях

данной задачи определилось положение граничной поверхности плотного потока. Оценку их можно произвести, распространяя предложения И.И.Левина [1,2], на случай движения донных потоков в непризматических руслах (т.е. учитывая плановое очертание и рельеф водохранилища).

При этом можно использовать для количественной оценки два способа. В основе одного из них лежит уравнение количества движения^{х/}.

Рассматривается участок водохранилища, где наблюдается движение плотного потока (рис.1), в котором выделены два живых сечения 1-1 и 2-2. Применяем теорему о количестве движения [2] для расчета установившегося движения плотного потока (когда на участке живых сечений 1-1 и 2-2 имеет место плавно изменяющееся движение) при следующих допущениях:

переходная зона между плотным потоком и вышерасположенной водой водохранилища сведена к поверхности раздела;

поверхность раздела считаем плоской;

скорость обратного течения чистой воды настолько незначительна, что ее можно пренебречь;

плотность потока постоянна по глубине;

разность вязкостей настолько мала, что ее можно пренебречь;

сила трения на граничных поверхностях пропорциональна квадрату скорости;

неравномерность распределения скоростей в сечениях учитывается коэффициентами

$$\alpha_0 = \frac{\int_0^{h_1} u^2 dy}{V_1^2 h_1}, \quad \alpha_2 = \frac{\int_0^{h_2} u^2 dy}{V_2^2 h_2},$$

причем, принимается $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_0$

^{х/} Другой способ, в основе которого лежит известный метод Чарномского, был рассмотрен в статье, помещенной в данном сборнике.

Движение происходит за счет составляющей силы тяжести и разности давлений. На рис. I приведена расчетная схема плотного потока и показаны действующие на элементарный отсек жидкости объемные и поверхностные силы. Вычисляем количество движения жидкости, протекающей через рассматриваемые сечения I-I и 2-2, за промежуток времени dt . Количество движения тела (КД) равно массе тела умноженной на скорость тела.

Считая, что все жидкие частицы массы в объеме $\delta W_1 = \rho' Q dt$ проходят через живое сечение I-I с одинаковой скоростью V_1 , получим уравнение количества движения

$$[(\kappa D) \delta W_1]_{cp} = (\rho' Q dt) V_1. \quad (1)$$

Так как в различных точках сечения I-I в действительности будет разная скорость V , то искомое количество движения выразится в виде:

$$(\kappa D) \delta W_1 = \alpha_o [(\kappa D) \delta W_1]_{cp} = \alpha_o \rho' Q V_1 dt, \quad (2)$$

где V_1 — средняя скорость в живом сечении I-I.
(КД) δW_2 аналогично будет

$$(\kappa D) \delta W_2 = \alpha_{o2} \rho' Q V_2 dt, \quad (3)$$

где V_2 — средняя скорость в живом сечении 2-2.
Заменив V_1 и V_2 проекциями этих векторов на ось x и полагая, что $\alpha_o = \alpha_{o2} = \alpha_o$, получим приращение количества движения

$$\delta(\kappa D)_x = \alpha_o \rho' Q (V_{2x} - V_{1x}) dt. \quad (4)$$

Это приращение равно сумме проекций на ось x импульсов сил (ИС), действующих на тело, за соответствующий промежуток времени, т.е.

$$\delta(\kappa D)_x = \Sigma (UC)_x. \quad (5)$$

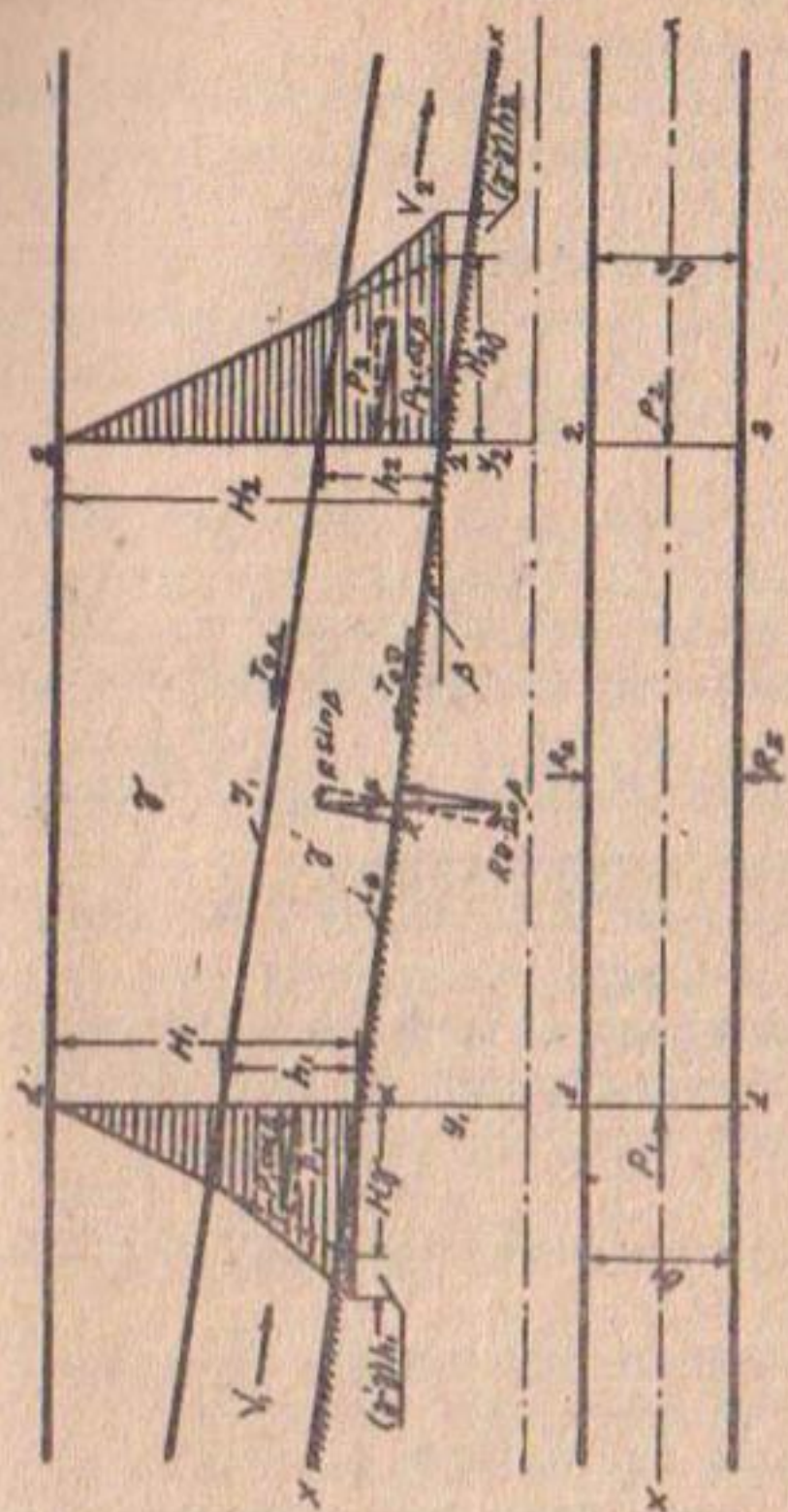


Рис. I. Расчетная схема характера движения плотного потока по водохранилищу в случае прямолинейного призматического русла ($\frac{P_2}{B_2} = const$).

Импульс сил (ИС) равен силе, умноженной на время.

Рассмотрим все внешние силы^{X/}, действующие на плотный поток при перемещении его.

Из внешних объемных сил сечения на выделенной жидкости действуют силы тяжести, трения, реакции и гидродинамического давления.

1. Сила тяжести плотного потока

Проекция силы тяжести на направление скорости равна

так как
$$F_x = F \cdot \sin \beta = \gamma' \omega_{\infty} \cdot L \cdot \sin \beta, \quad (6)$$

то
$$L \cdot \sin \beta = y_1 - y_2,$$

$$F_x = \gamma' \omega_{\infty} \cdot (y_1 - y_2).$$

2. Сила трения плотного потока:

а) силы трения по периметру стенки на длине L

$$\tau_{\infty} = -\gamma' \lambda_g \alpha \frac{V_{\infty}^2}{\delta g} (\chi_{\infty} \cdot L) = -\gamma' \lambda_g \frac{\alpha V_{\infty}^2}{\delta g} \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) L, \quad (7)$$

где h — глубина плотного потока;

λ_g — коэффициент сопротивления (гидравлического трения) по дну;

б) силы трения на поверхности раздела слоев чистой воды и донного потока (поверхности между плотным потоком и вышележащей чистой водой):

$$\tau_{\kappa} = \omega_{\kappa} \left(-\rho' \frac{\lambda_{\kappa} V^2}{\delta} \right) = -\gamma' \lambda_{\kappa} \frac{\alpha V_{\infty}^2}{\delta g} (\chi_{\infty} \cdot L) = -\gamma' \lambda_{\kappa} \frac{\alpha V_{\infty}^2}{\delta g} \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) L, \quad (8)$$

где λ_{κ} — коэффициент сопротивления от трения, возникающего на поверхности раздела.

Коэффициент λ_{κ} на поверхности раздела двух жидкостей разных плотностей может быть вычислен на основе непосредственного определения момента корреляции $U'V'$ или же по экспериментальным данным И.И.Левы, Н.П.Кулеша и К.Лефквиста.

X/ Внутренние силы (силы взаимодействия частиц жидкости, образующих рассматриваемый объем) парные, в связи с чем сумм их импульсов будет равна нулю.

Тогда сумма проекций на ось x указанных (7,8) двух сил равна:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_x}{dt} = (Q_{x1} + Q_{x2}) \frac{dt}{dt} = & - \left\{ \lambda_g \frac{V_2^2}{2g} \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) L \right] + \lambda_x \frac{V_2^2}{2g} \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) L \right] \right\} dt = \\ = & - \left\{ \frac{\lambda_g V_2^2 L}{2g} \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) + \lambda_x \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right\} dt. \end{aligned} \quad (9)$$

3. Сила реакции боковых стенок (без учета сил трения, рассмотренных выше)

Проекция импульса этой силы равна:

$$R_x dt = P_x dt. \quad (10)$$

Величина реакции будет зависеть от расчетной схемы.

1. Допустим, что $B = \text{const}$. В этом случае рассматриваемый участок между сечениями I-I и 2-2 имеет плоскую фигуру, уклон дна i_0 (при этом, i_0 — очень незначителен).

Тогда сила реакции со стороны боковой стенки равна

$$R_3 = L h_{\text{ср}} \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right). \quad (11)$$

Сила реакции, действующая на рассматриваемый участок, т.е. сечение I-I и 2-2, со стороны дна равна:

$$R_0 = \frac{L}{\cos \beta} \cdot B \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right). \quad (12)$$

Проекция этой силы на ось X будет

$$R_0 \sin \beta = \frac{L}{\cos \beta} B \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \sin \beta = L B \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \operatorname{tg} \beta. \quad (13)$$

Угол β характеризует наклон дна водохранилища. Было отмечено, что $\beta \approx 0$, следовательно силой реакции со стороны дна в этом случае можем пренебречь:

$$R_x dt = 0. \quad (14)$$

Резюмируя можем сказать, что в случае $B = \text{const}$ и i_0 — уклон дна незначителен, силы реакции со стороны боковых стенок парные и одинаковые по величине, тогда сила

их импульсов на ось x будет равна нулю, а силой реакции со стороны дна можно пренебречь, так как $\beta \approx 0$.

2. В случае сужения в горизонтальной плоскости силы реакции со стороны стенок будут направлены нормально к стенке (см. рис. 2). Разложим реакцию R_δ на две составляющие. Тогда проекция силы реакции, действующей на рассматриваемом участке со стороны боковых стенок, будет равна:

$$R_\delta \cdot \sin \alpha = \frac{L}{\cos \alpha} \cdot h_{cp} \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \cdot \sin \alpha.$$

Проекция суммы импульса этой силы равна

$$R_x dt = -2 R_\delta \cdot \sin \alpha dt =$$

$$= -2 L \cdot h_{cp} \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha \cdot dt, \quad (15)$$

где $h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2}$ — средняя глубина плотного потока.

$$P_1 = \frac{(H_1 - h_1) \delta + H_1 \delta + (\delta' - \delta) h_1}{2} = \delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1,$$

$$P_2 = \frac{(H_2 - h_2) \delta + H_2 \delta + (\delta' - \delta) h_2}{2} = \delta (H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2,$$

P_1 и P_2 — среднее гидростатическое давление в рассматриваемом сечении.

Подставляя h_{cp} , P_1 и P_2 в выражение (15) и решая относительно h_2 , получим:

$$-(2 R_\delta)_x \cdot \sin \alpha dt = -\frac{L}{2} \operatorname{tg} \alpha \left[(H_1 + H_2) \delta h_1 - h_1^2 \left(\delta - \frac{\delta'}{2} \right) + (H_2 + H_1) \delta h_2 + \right. \\ \left. + \delta' h_1 h_2 + h_2^2 \left(\delta + \frac{\delta'}{2} \right) \right] dt. \quad (16)$$

3. В случае расширения в вертикальной плоскости как в случае $B = \text{const}$, силы реакции со стороны стенок будут в сумме равны нулю, а силы реакции со стороны дна на рассматриваемый участок (где $\alpha \neq 0$, т.е. $0 < \alpha < 45^\circ$) будут равны (рис. 3):

$$R_\theta = \frac{L}{\cos \alpha} \cdot B \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right), \quad (17)$$

где P_1 и P_2 — среднее гидростатическое давление в рассматриваемом сечении.

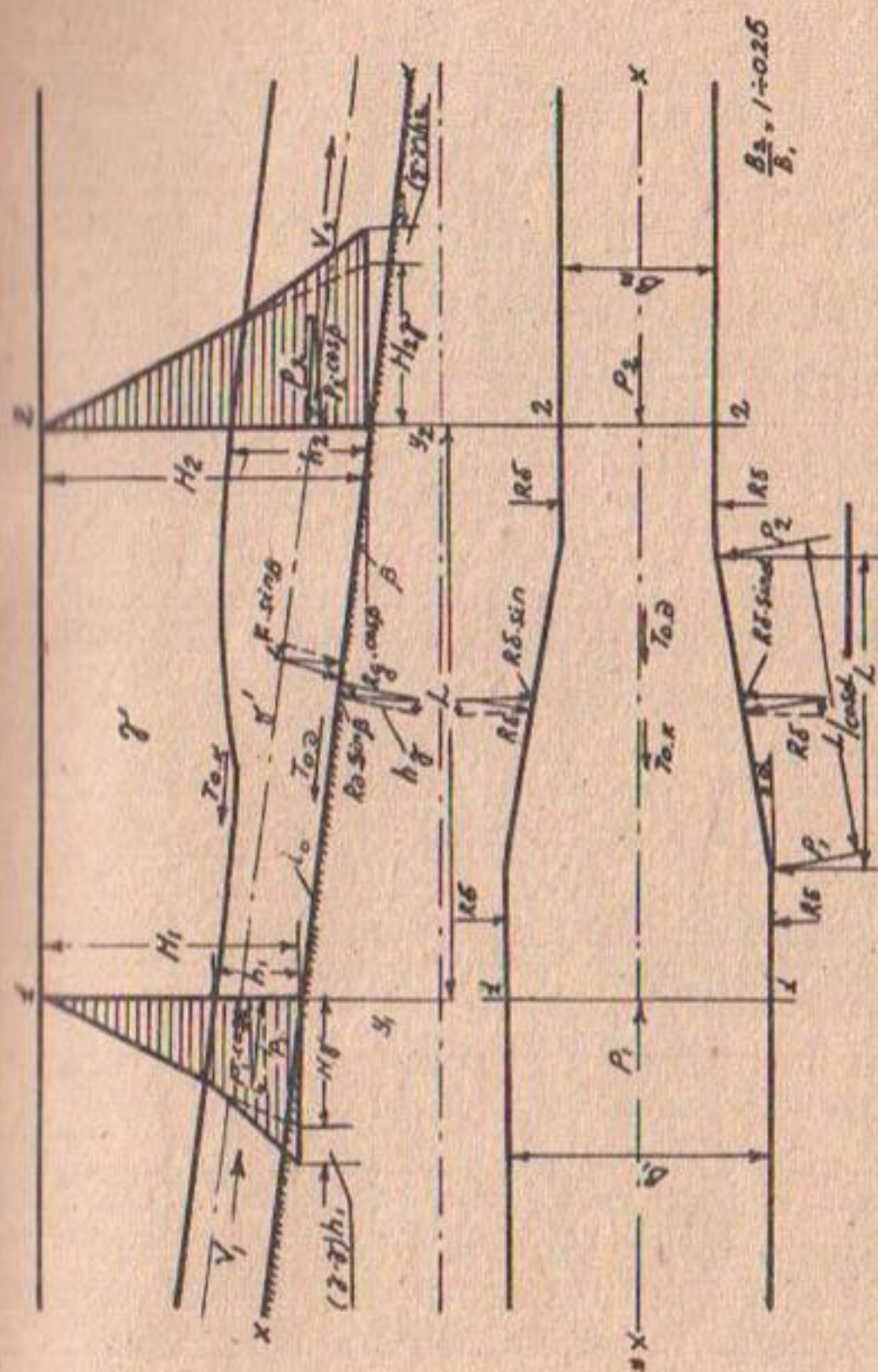


Рис.2. Расчетная схема характера движения плотного потока по водохранилищу в случае сужения в горизонтальной плоскости ($\frac{B_2}{B_1} = 1 \div 0,25$).

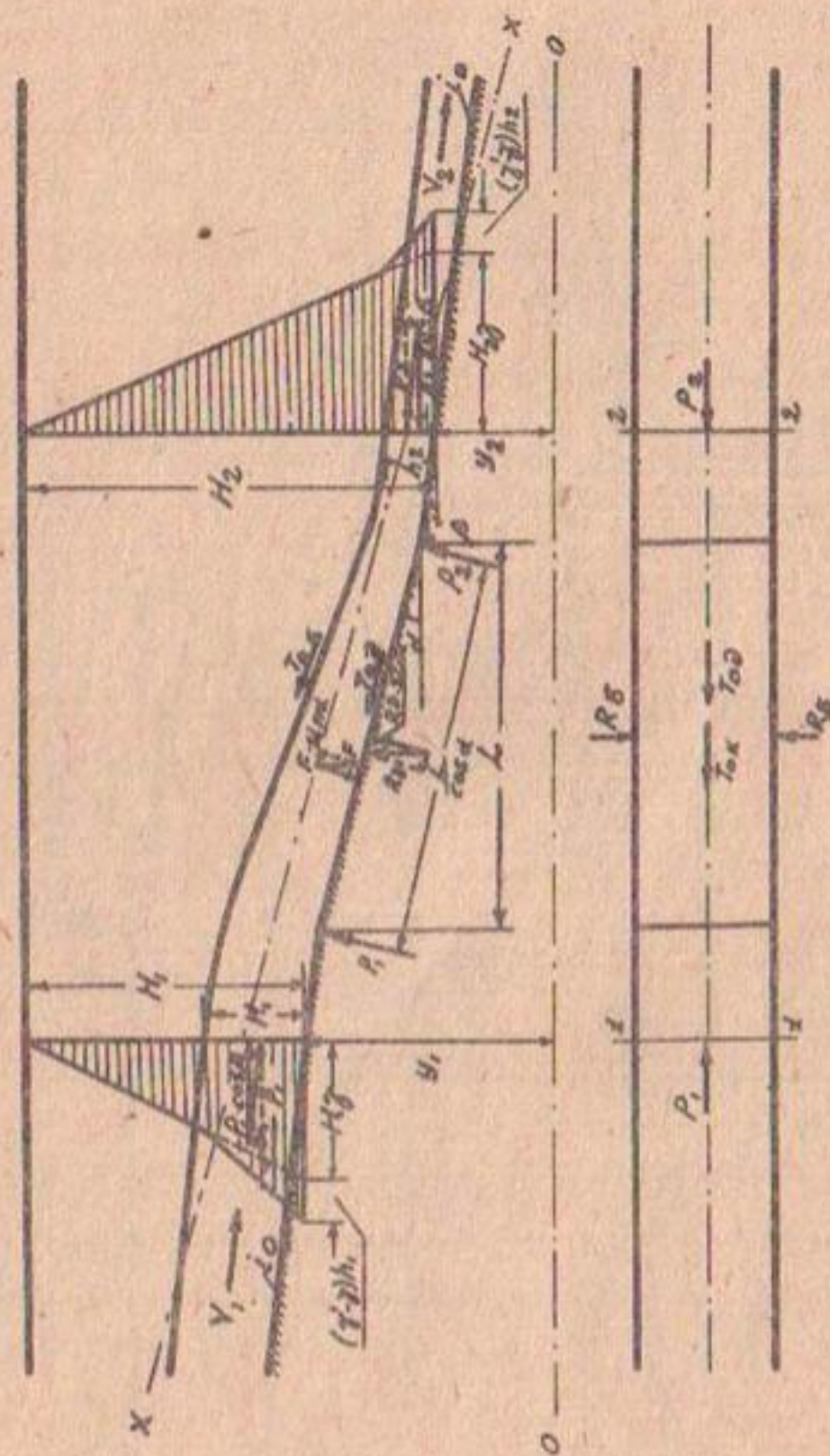


Рис. 3. Расчетная схема характера движения плотного потока по водоохрани-
лищу в случае расширения в вертикальной плоскости.

Проекция этой силы равна:

$$R_y \sin \alpha = \frac{L}{\cos \alpha} \cdot B \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \sin \alpha = \frac{L}{2} B (P_1 + P_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Импульс этой силы равен:

$$R_y \sin \alpha dt = \frac{L}{2} B \left[(H_1 - h_1) \delta + \frac{\delta'}{2} h_1 + (H_2 - h_2) \delta + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] \operatorname{tg} \alpha dt. \quad (18)$$

Угол α , как уже отметили, характеризует наклон дна водохранилища.

4. В случае изменения направления течения (поворот на угол θ). Находим проекции силы реакции на ось x , которая проходит по касательной к дуге окружности поворота, т.е. под углом $\theta/2$ (рис. 4). Силы реакции будут направлены нормально к рассматриваемой оси x и проекция их будет равна нулю.

Исходя из вышеизложенного, можем сказать, что в случае сужения в горизонтальной плоскости нужно учитывать силы реакции со стороны боковых стенок, которые по величине одинаковы и направлены нормально к боковым стенкам. Сумма их импульсов на ось направлена против скорости течения.

Силами реакции со стороны дна аналогично ($B = \text{const}$) пренебрегаем.

В случае расширения в вертикальной плоскости силы реакции со стороны стенок будут в сумме равны нулю, так как

$$B = \text{const}.$$

Силы реакции со стороны дна направлены нормально к наклонному участку дна водохранилища.

В случае изменения направления течения плотного потока, силами реакции со стороны дна аналогично со случаем $B = \text{const}$ пренебрегаем, так как $\beta \approx 0$. Импульс силы реакции со стороны боковых стенок на ось x равен нулю, так как силы реакции направлены нормально к рассматриваемой оси x .

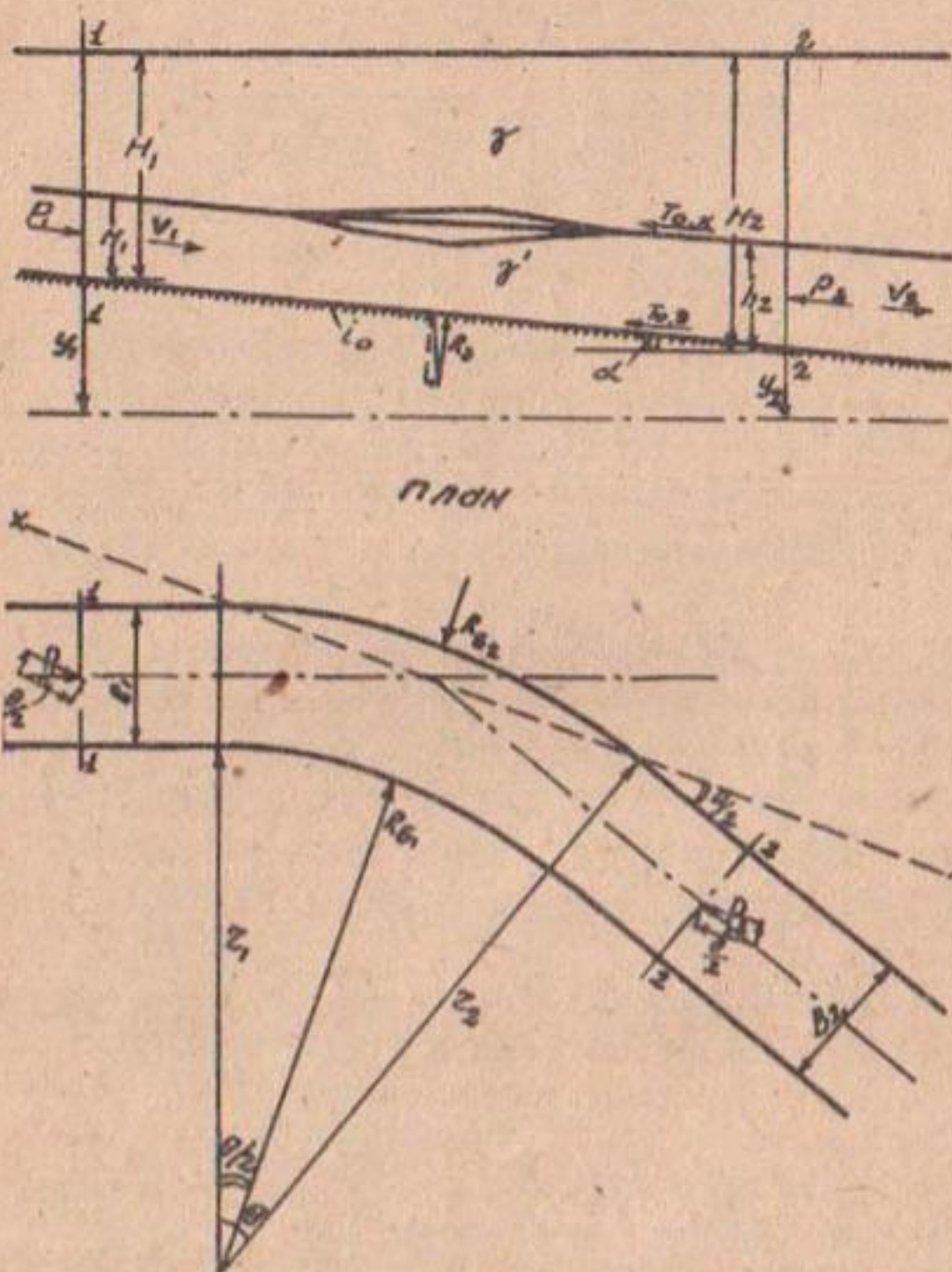


Рис. 4. Расчетная схема характера движения плотного потока по водохранилищу в случае изменения направления течения (поворот на угол $\theta = 0 \div 60^\circ$).

4. Силы гидродинамического давления, действующие на торцовые сечения потока I-I и 2-2 со стороны остальной жидкости (силы P_1 и P_2). Проекция импульса этих двух сил равна

$$(P_1 + P_2)_x dt = P_x dt, \quad (19)$$

где P_x — сумма проекций на ось x указанных двух сил:

$$P_1 = \rho_1 \omega_1 \quad \text{и} \quad P_2 = \rho_2 \omega_2.$$

Тогда

$$P_1 = \frac{\delta(H_1 - h_1) + \delta H_1 + (\delta' - \delta)h_1}{2} B h_1 = \left[\delta(H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B h_1,$$

$$P_2 = \frac{\delta(H_2 - h_2) + \delta H_2 + (\delta' - \delta)h_2}{2} B h_2 = - \left[\delta(H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B h_2$$

Подставляя значение P_1 и P_2 в (19) после сокращения на dt получим

$$P_x = \left\{ \left[\delta(H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B h_1 - \left[\delta(H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B h_2 \right\} \cos \beta. \quad (20)$$

В общем виде уравнение количества движения будет иметь вид:

$$\rho' Q (V_2 - V_1) = F_x + (T_x)_x + P_x + P_x, \quad (21)$$

где $\rho' Q$ — масса жидкости, проходящая в единицу времени (в секунду) через любое живое сечение потока $\rho Q = \text{const}$ (вдоль потока).

Теперь будем рассматривать уравнение количества движения для каждого случая отдельно, изучая полученное выше выражение для входящих в уравнение сил.

1. Уравнение количества движения в случае постоянной ширины ($B = \text{const}$), когда рассматриваемый участок характеризуется прямолинейным очертанием в плане и уклон дна i_0 незначительный. Используя уравнение количества движения в общем виде (21) и пользуясь полученным выше выражением для входящих в уравнение сил, получим

$$1. \quad F_x = \delta' \omega_{\varphi} L \sin \beta; \quad \beta \approx 0; \quad F_x = 0. \quad (6)$$

$$2. \quad (T_o)_x = - \left\{ \frac{\delta' V_2^2}{\delta g} L \left[\lambda_g \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) + \lambda_k \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

$$3. \quad (R_g)_x = LB \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \operatorname{tg} \beta; \quad \beta = 0; \quad (R_g)_x = 0. \quad (14)$$

$$4. \quad P_x = \left\{ \left[\delta(H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B_1 h_1 - \left[\delta(H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B_2 h_2 \right\} \cos \beta. \quad (20)$$

Учитывая, что $F_x = 0$, $(R_g)_x = 0$, получим уравнение количества движения в следующем виде:

$$\rho' Q (V_2 - V_1) = (T_o)_x + P_x. \quad (22)$$

Подставляя (9) и (20) в (22), получим

$$\begin{aligned} \rho' Q (V_2 - V_1) = & - \left\{ \frac{\delta' V_2^2}{\delta g} L \left[\lambda_g \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) + \lambda_k \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\} + \\ & + \left\{ \left[\delta(H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B_1 h_1 - \left[\delta(H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B_2 h_2 \right\} \cos \beta. \end{aligned} \quad (23)$$

В рассматриваемом случае $B_1 = B_2 = B$ и $\lambda_g + \lambda_k = \Sigma \lambda$.

Решая относительно h_2 после несложных преобразований получим:

$$\begin{aligned} h_2^4 - \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta'}{2}} H_2 h_2^3 + \left\{ \left[\frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta'}{2}} (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta'}{2}} \frac{h_1}{2} \right] h_1 + \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta'}{2}} \cdot \frac{Q V_1}{B g \cos \beta} \right\} h_2^2 - \\ - \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta'}{2}} \cdot \frac{Q^2}{g B^2 \cos \beta} \left[1 + \frac{L}{\delta B} \lambda_g \right] h_2 - \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta'}{2}} \cdot \frac{Q^2}{B^2 \cos \beta} \cdot \frac{L}{\delta g} [B(\lambda_g + \lambda_k) + \lambda h_1] = 0. \end{aligned}$$

После упрощений получим:

$$h_2^4 - 2 H_2 h_2^3 + 2 h_1 H_1 h_2^2 - \frac{2 h_1^2 V_1^2 h_2}{g \cos \beta} - \frac{V_1^2 h_1 L \Sigma \lambda}{4 g \cos \beta} = 0. \quad (24)$$

2. Уравнение количества движения в случае сужения в горизонтальной плоскости $\rho' Q (V_2 - V_1) = F_x + (T_o)_x + R_x + P_x$.

$$1. F_x = \delta' \omega_{\text{ср}} \cdot L \cdot \sin \beta; \quad \beta \approx 0; \quad F_x = 0. \quad (6)$$

$$2. (T_0)_x = - \left\{ \frac{\delta' v_2^2}{\delta g} \cdot L \left[\lambda_9 \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) + \lambda_{\kappa} \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

$$3. (2R_0)_x = - \frac{L}{2} \operatorname{tg} \alpha \left[(H_1 + H_2) \delta h_1 h_1^2 \left(\delta - \frac{\delta'}{2} \right) + \delta h_2 (H_1 + H_2) + \delta h_1 h_2 + h_2^2 \left(\delta + \frac{\delta'}{2} \right) \right]. \quad (16)$$

$$4. P_x = \left\{ \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} \right] B_1 h_1 - \left[\delta (H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B_2 h_2 \right\} \cos \beta. \quad (20)$$

Учитывая, что $F_x = 0$, получим уравнение количества движения в виде:

$$\rho Q (v_2 - v_1) = (T_0)_x + (2R_0)_x + P_x. \quad (25)$$

Подставляя (9), (16) и (20) в (25) получим

$$\begin{aligned} \rho Q (v_2 - v_1) = & \left\{ \frac{\delta' v_2^2}{\delta g} \cdot L \left[\lambda_9 \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) + \lambda_{\kappa} \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\} - \\ & - \frac{L}{2} \operatorname{tg} \alpha \left[(H_1 + H_2) \delta h_1 h_1^2 \left(\delta - \frac{\delta'}{2} \right) + \delta h_2 (H_1 + H_2) + \delta h_1 h_2 + h_2^2 \left(\delta + \frac{\delta'}{2} \right) \right] + \\ & + \left\{ \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B_1 h_1 - \left[\delta (H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B_2 h_2 \right\} \cos \beta; \end{aligned}$$

Решая относительно h_2 после несложных преобразований, получим:

$$\begin{aligned} \left(\delta - \frac{\delta'}{2} \right) \left[B_2 \cos \beta + \operatorname{tg} \alpha \frac{L}{2} \right] h_2^4 - \left\{ \delta H_2 B_2 \cos \beta + \operatorname{tg} \alpha \frac{L}{2} \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 + \delta H_2 \right] \right\} h_2^3 + \\ + \left\{ B_1 h_1 \cos \beta \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] h_2^2 - \frac{L}{2} h_1 \operatorname{tg} \alpha \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 + \delta H_2 \right] + \frac{\delta'}{g} Q v_1 \right\} h_2^2 - \\ - \frac{\delta' Q^2}{g B_2} \left[1 + \frac{L \cdot \lambda_2}{\delta g B_2} \right] h_2 - \frac{\delta' Q^2 L}{B_2^2 \delta g} \left[\frac{B_1 + B_2}{2} (\lambda_9 + \lambda_{\kappa}) + \lambda_9 h_1 \right] = 0 \end{aligned}$$

После упрощения и учитывая, что $L \operatorname{tg} \alpha = \frac{B_1 - B_2}{2} \cup \lambda_g + \lambda_k = 2$, получим:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{B_1}{B_2} + 3 \right) h_2^4 - 2 \left(\frac{B_1}{B_2} - 1 \right) (H_1 + H_2) h_2^3 + \left[\delta \frac{B_1}{B_2} H_1 - 2 \left(\frac{B_1}{B_2} - 1 \right) (H_1 + H_2) + \right. \\ & \left. + \frac{\delta \frac{B_1}{B_2} V_1^2}{g} \right] h_1 h_2^2 - \frac{\delta \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^2 V_1^2 h_1^2}{g} h_2 - \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^2 \left(\frac{B_1}{B_2} + 1 \right) \frac{h_1^2 V_1^2 L \Sigma \lambda}{g} = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Нужно отметить, что $H_2 = H_1 + L \cup h_2 = f \left(\frac{B_1}{B_2} \right)$.

3. Уравнение количества движения в случае расширения в вертикальной плоскости $\rho' Q(V_2 - V_1) = F_x + (T_0)_x + R_x + P_x$.

$$1. F_x = \delta' \omega_{\infty} L \sin \beta; \quad \beta = 0 \quad F_x = 0 \quad (6)$$

$$2. (T_0)_x = \left\{ \frac{\delta V_2^2}{\delta g} L \left[\lambda_g \left(\frac{B_1 + B_2}{2} h_1 + h_2 \right) + \lambda_k \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

$$3. (R_g)_x = \frac{L}{2} B \left[(H_1 - h_1) \delta + \frac{\delta'}{2} h_1 + (H_2 - h_2) \delta + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] \operatorname{tg} \alpha \quad (18)$$

$$4. P_x = \left\{ \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B h_1 - \left[\delta (H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B h_2 \right\} \cos \beta \quad (20)$$

Учитывая, что $F_x = 0$, получим уравнение в виде:

$$\rho' Q(V_2 - V_1) = (T_0)_x + R_{gx} + P_x \quad (27)$$

Подставляя (9), (18 и 20) в (27), получим:

$$\begin{aligned} \rho' Q(V_2 - V_1) = & - \left\{ \frac{\delta' V_2^2}{\delta g} L \left[\lambda_g \left(\frac{B_1 + B_2}{2} h_1 + h_2 \right) + \lambda_k \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\} + \\ & + \frac{L}{2} B \left[(H_1 - h_1) \delta + \frac{\delta'}{2} h_1 + (H_2 - h_2) \delta + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] \operatorname{tg} \alpha + \left\{ \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B h_1 - \right. \\ & \left. - \left[\delta (H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B h_2 \right\} \cos \beta. \end{aligned}$$

Учитывая, что $B_2 = B_1 = B$ и $\lambda_g + \lambda_x = L$ и решая относительно h_2 , после несложных преобразований получим:

$$\begin{aligned} & h_2^3 \left(\frac{\delta'}{\delta} - \frac{H_2}{2} + \frac{L \tan \alpha}{2 \cos \beta} \right) + \left\{ \left[\frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta''}{2}} (H_1 - h_2) + \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta''}{2}} \frac{h_1}{2} \right] \left[h_1 + \frac{L \tan \alpha}{2 \cos \beta} \right] + \right. \\ & \left. \frac{L \tan \alpha}{2 \cos \beta} \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta''}{2}} \frac{H_2}{2} + \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta''}{2}} \frac{V_1^2 h_1}{g \cos \beta} \right\} h_2^2 - \frac{\delta' V_1^2 h_1^2}{g \cos \beta (\delta - \frac{\delta''}{2})} \left[1 + \frac{L \lambda_g}{\delta B} \right] h_2 - \\ & \frac{\delta'}{\delta - \frac{\delta''}{2}} \frac{h_1^2 V_1^2}{B \cos \beta g} L [B L + \lambda_g h_1] = 0 \end{aligned}$$

После упрощения с учетом $\tan \alpha = \frac{H_1 - H_2}{L}$ имеем:

$$h_2^3 - B_2^2 \frac{H_1 h_1^3}{\delta} + \left[H_1^2 - H_2^2 + 2 H_1 h_1 + \frac{2 V_1^2 h_1}{g} \right] h_2^2 - \frac{2 V_1^2 h_1^2}{g} h_2 - \frac{V_1^2 h_1^2 L L}{4 g} = 0 \quad (28)$$

4. Уравнение количества движения в случае изменения направления движения (поворот на угол θ) примет вид:

$$1. F_x = \delta' \omega_{\omega} L \sin \beta, \quad \text{так как } \beta = 0, \text{ тогда } F_x = 0 \quad (6)$$

$$2. (r_o)_x = - \left\{ \frac{\delta' V_2^2}{\delta g} L \left[\lambda_g \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) + \lambda_x \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

$$3. \text{ Сила реакции } R_x = 0.$$

$$4. R_z = \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B_1 h_1 - \left[\delta (H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B_2 h_2 \cos \frac{\theta}{2}; \quad (20)$$

Учитывая, что $F_x = 0$ и $R_x = 0$, получим уравнение в следующем виде:

$$\rho' Q (V_2 - V_1) = (r_o)_x + R_z. \quad (29)$$

Подставляя (9) и (20) в (29), получим:

$$\rho' q (V_2 - V_1) = \left\{ \frac{\delta' V_2^2}{\delta g} - L \left[\lambda_3 \left(\frac{B_1 + B_2}{2} + h_1 + h_2 \right) + \lambda_4 \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right) \right] \right\} +$$

$$+ \left\{ \left[\delta (H_1 - h_1) + \frac{\delta'}{2} h_1 \right] B_1 h_1 + \left[\delta (H_2 - h_2) + \frac{\delta'}{2} h_2 \right] B_2 h_2 \right\} \cdot \cos \frac{\theta}{2}.$$

Учитывая, что $B_1 = B_2 = B$ и $\lambda_3 + \lambda_4 = \Sigma \lambda$ и решая относительно h_2 , после несложных преобразований и упрощений получим:

$$h_2^4 - 2H_2 h_2^3 + 2h_1 H_1 h_2^2 - \frac{2V_1^2 h_1^2 h_2}{g \cos \frac{\theta}{2}} - \frac{V_1^2 h_1^2 L \Sigma \lambda}{4g \cos \frac{\theta}{2}} = 0 \quad (30)$$

Полученные зависимости (24, 26, 28, 30) позволяют последовательно по длине вычислить величину глубины плотного потока и тем самым оценить величину насыщения мельчайшими наносами на этом участке водохранилища.

Эти величины могут быть получены и, пользуясь значением коэффициента местного сопротивления, однако в этом случае мы можем оценить глубину плотного потока после какого-то одного вида сопротивления.

В реальных условиях водохранилища обычно имеет место более сложная картина, т.е. сужение сочетается с расширением в вертикальной плоскости иногда с поворотом.

Учитывая это обстоятельство, можно констатировать, что полученные уравнения являются более общими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леви И.И. Теория донных течений в водохранилищах, Известия ВНИИГ, т.62, Л., 1959.
2. Чугаев Р.Р. Гидравлика, "Энергия", Л., 1970,

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ШЕРОХОВАТОСТИ РЕК ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ
ЧИРЧИК-АХАНГАРАНСКОГО БАССЕЙНА

В многочисленных формулах, предложенных различными авторами /10-13, 15 и др./, для расчета скоростного множителя Шези фигурирует параметр n , условно именуемый коэффициентом шероховатости. Его величина обычно назначается в зависимости от характера русла по шкалам коэффициента шероховатости (Хортон, Кинга, Н.М.Носова, М.Ф.Срибного, М.А.Мосткова и др.).

Наряду со шкалами значений n для его определения существует большое количество эмпирических формул, исходящих из гидравлических особенностей потока и учета крупности русловых отложений /1, 4-7, 9-13, 15, 16 и др./. Соответствие некоторых из этих формул натурным условиям сопротивления в руслах горных рек Киргизии и бассейна Чирчика отмечалось в работах /12, 13, 15/.

Предшествующие исследования автора по выбору расчетной формулы для коэффициента Шези C (см. статью в настоящем сборнике), позволили рассчитать коэффициенты шероховатости для русел Чирчик-Ахангаранского бассейна на основании статистической обработки гидрометрических данных.

Цель данной работы - сопоставление коэффициентов шероховатости, полученных на основании этой проработки, с их значениями, рассчитанными для тех же створов по различным формулам и шкалам, используемым в практике гидрологических расчетов.

К числу формул, до сих пор наиболее широко применяемых в гидрологических расчетах, относится формула Маннинга

$$n_m = \frac{R^{1/6}}{C} \quad (I)$$

Недостатки формулы Маннинга ранее отмечались в работах /11, 15/, где указывалось на четко выраженный обратный внутригодовой ход коэффициента n_m от уровня воды. Однако при опре-

делении среднего за годовой или многолетний период значения коэффициента шероховатости формула Маннинга, как показал М.Ф.Срибный /II/, дает оправданные значения n_m и была рекомендована к расчетам для рек со средней глубиной < 1 м.

Автором исследовалась внутригодовая вариантность (на створах Чирчик-Ахангаранского бассейна) коэффициентов шероховатости, по Маннингу, рассчитанных из измеренных расходов воды по формуле (I); скоростной коэффициент C определялся по формуле Шези, как $\frac{V}{\sqrt{RJ}}$, причем гидравлический радиус R принимался равным средней глубине потока h_{cp} . В результате обработки для всех вошедших в обработку створов Чирчик-Ахангаранского бассейна подтвердился четко выраженный обратный ход n_m от уровня воды.

Для относительно устойчивых участков створов с глубиной порядка 1 м, имеющих стабильные связи $Q = Q(H)$, $C = C(h_{cp})$, $f_T = f_T(H)$, амплитуда n_m значительно уменьшается. Из числа вошедших в обработку створов это положение справедливо, в частности, для р.Ойганг (устье), Пскем (устье), р.Чаткал (ст.Чарвак), р.Ахангаран (Ангрен) (ст.Турк).

Значения n_m , полученные, как среднее из рассчитанных по формуле Маннинга, на основании измеренных расходов воды (называемые в дальнейшем, в целях сокращения, средними годовыми или средними многолетними значениями n_m , в зависимости от срока осреднения), сравнивались с соответственными "истинными" значениями n , полученными из статистической обработки гидрометрических данных.

За "истинные" значения коэффициентов шероховатости n как показано в работе /3/, можно принять значения n , полученные из логарифмической зависимости типа И.И.Агроскина

($n = \frac{1}{e - B \lg h_{cp}}$), так как зависимость этого типа наиболее хорошо соответствует гидродинамическому представлению о структуре турбулентного потока и дает наилучшее соответствие натурным условиям сопротивления русел.

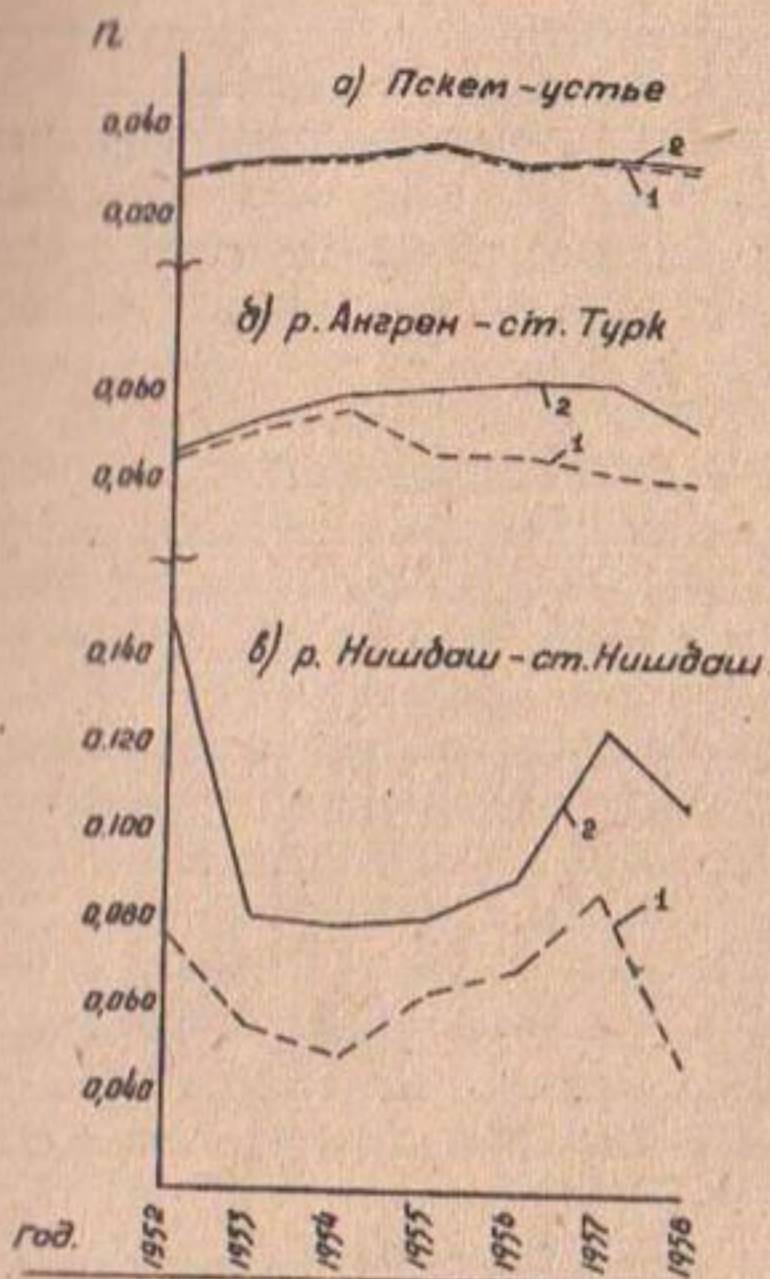
Сходимость значений n с истинными значениями этого коэффициента показывает (табл. I), что у одних рек устойчиво

типа (р. Пскем-устье, р. Чаткал-устье), значения обоих коэффициентов весьма близки как в среднем за многолетие, так и за отдельные годы (рис. I-а). У других рек этого типа устойчивости значения n_M и n обнаруживают некоторое различие, особенно за отдельные годы. Это объясняется отчасти тем, что на среднегодовую величину коэффициента шероховатости, рассчитанную по формуле Маннинга, влияет внутригодовое распределение измеренных расходов воды, по которым рассчитывалась среднегодовая величина n_M .

В годы, когда большое количество расходов воды измерялось в период межени, среднегодовая величина n_M оказалась несколько завышенной. Так, например, для р. Ойгайнг (устье) отмеченное наблюдалось в 1958-1959 гг. (см. табл. I). Сказывается на среднегодовых значениях n_M и водность года. В маловодные годы вес минимальных значений n_M , соответствующих высоким уровням воды, уменьшается и среднегодовая величина n_M оказывается завышенной, например, для р. Ахангаран (ст. Турк) в 1955-1957 гг. (табл. I, рис. I-б).

Створ на р. Ахангаран (устье Якаарчи) и все створы на притоках Ахангарана имеют стабильные связи $Q = Q(H)$, $\rho = \rho(H)$, $F\tau = F\tau(H)$ только в течение каждого из отдельных календарных лет и могут быть отнесены к числу неустойчивых створов. Среднемноголетние значения n_M для таких створов при глубинах 0,34-0,97, в сравнении с истинными значениями n , оказались завышенными в среднем на 64%. Отмеченное выше влияние таких факторов, как распределение в году измеренных расходов и, самое главное, водности года, влияет, очевидно, на среднегодовую величину n_M на таких створах значительно больше. Поэтому и разница в значениях коэффициентов n_M и n заметно возрастает, достигая, например, для р. Нитбаш (ст. Нитбаш) 114% в 1958 г., 89 - в 1952 г. и т.д. (табл. I).

При пользовании формулой Маннинга, для расчета коэффициента шероховатости по единичному измеренному расходу, коэффициент n_M , вследствие четко выраженного уменьшения шероховатости с повышением горизонта, не может characterizo-



Р и с . 1 (а, б, в) Изменение среднегодовых значений коэффициентов шероховатости:

- 1 - статистическая обработка гидрометрических данных по формуле И.И.Агроскина ($C = \frac{1}{n} + B \lg h_{кр}$);
- 2 - рассчитанные из измеренных расходов по формуле Маннинга ($n = \frac{R^{1/6}}{C}$).

вать среднюю шероховатость данного створа, и может привести при расчетах к значительным ошибкам. Так, например, в течение 1957 г. коэффициент n_M изменяется от 0,036 до 0,072 при истинном среднегодовом значении, полученном из обработки гидрометрических данных равном 0,040. Следовательно, величина коэффициента шероховатости, рассчитанная по формуле Маннинга по единичному измеренному расходу, могла быть завышена на 80%, либо занижена на 10%. Между тем, в практике гидрологических расчетов обычно требуется при расчете экстремальных расходов знать не условия шероховатости для некоторого среднего состояния реки, а для конкретного обычно максимального уровня.

Ошибка при расчете коэффициента n_M по максимальным (из измеренных) расходам воды обычно ведет к уменьшению значений коэффициентов шероховатости. Так, например, для р.Ахангаран (устье Якаарчи) для расхода воды, измеренного 28/IV-1954 г., значение коэффициента шероховатости, рассчитанного по формуле Маннинга, составляло 0,032, тогда как его величина, полученная из статистической обработки, была равна 0,075, т.е. формула Маннинга дала значения n_M , заниженные против истинного на 50%.

Для р.Пскем (устье) для максимального расхода, измеренного 7/УП-1958 г., значения коэффициентов шероховатости, вычисленных из измеренного расхода по Маннингу и из статистической обработки, были равны соответственно 0,030 и 0,038, т.е. ошибка составляла 20%.

Было также произведено сопоставление рассчитанных из статистической обработки n с его значениями, согласно существующим классификациям русел по категориям шероховатости. Были рассмотрены шкалы Н.М.Носова /8/ и М.Ф.Срибного /II/.

Шкала Н.М.Носова, предложенная им для горных рек и русел селевых потоков, учитывает три особенности русла, из которых количественно характеризуются уклон водной поверхности и максимальный расход, характеристика же ложа реки дается описательно. Данные о морфометрии русла, описываемые

терминами "гравий", "галька", "валуны" и т.п., следует считать несколько условными.

Гидравлическая классификация рек по сопротивлению движению М.Ф.Срибного /10/ широко используется в расчетах и вошла в курсы гидравлики и гидрологии. В 1960 г. /11/ эта классификация была им дополнена и уточнена на большом экспериментальном материале; в этом новом варианте она дана отдельно для равнинных и горных рек, причем для последних уклон потока вводится, как основная исходная характеристика.

При сопоставлении значений λ , полученных из статистической обработки гидрометрических данных со шкалами Н.М.Носова и М.Ф.Срибного, получено удовлетворительное соответствие в их значениях для створов р.Чаткал (устье) и р.Нишбаш (ст.Нишбаш), причем отклонение не превышало +2% (по шкале Носова) и -2% (по шкале Срибного) (табл.2). При этом, шкала Н.М.Носова, учитывающая кроме основного аргумента - уклона водной поверхности - также и максимальные расходы воды, представляется более гибкой. Поэтому приводимые в ней величины коэффициентов шероховатости дали, в отдельных случаях, лучшую сходимость с данными статистической обработки, чем значения λ по М.Ф.Срибному. Так, например, для р.Карабаусай (ст.Самарчук) отклонения значений λ по шкалам Н.М.Носова и М.Ф.Срибного от полученных из статистической обработки составляли соответственно +3% и +47%. Для р.Ахангаран (устье Якаарчи) назначить коэффициент λ по классификации Н.М.Носова оказалось невозможным, так как сочетание максимального расхода ($161 \text{ м}^3/\text{сек}$) и уклона (2,27%) вышло за рамки его шкалы.

Использование шкал Н.М.Носова и М.Ф.Срибного при назначении коэффициентов шероховатости для рек Чирчик-Ахангаранского бассейна обнаружило для ряда створов недостаточную сходимость с коэффициентами λ из статистической обработки; отклонение вышло за пределы 20%. Это объясняется тем, что для участков рек этого бассейна не было обнаружено прямой зависимости между коэффициентом шерохо-

затости и уклоном водной поверхности, тогда как наличие такой связи положено во главу угла обеих рассматриваемых классификаций. Поэтому шкалы Н.М.Носова и М.Ф.Срибного могут быть использованы для рек Чирчик-Ахангаранского бассейна с большой осторожностью и пригодны только при ориентировочной оценке коэффициентов шероховатости в первом приближении.

Кроме шкал Н.М.Носова и М.Ф.Срибного уклон водной поверхности фигурирует в качестве аргумента, обуславливающего величину шероховатости, также в ряде формул, в частности М.Ф.Срибного /10/ и В.Ф.Талмазы /12/^х.

Следует отметить, что график В.Ф.Талмазы для горных рек Киргизии, на основании которого была получена упомянутая формула (табл.2), обнаруживает довольно сильный разброс точек (рис.2). Наложение на график В.Ф.Талмазы коэффициентов шероховатости рек Чирчикского бассейна, рассчитанных О.П.Щегловой и А.А.Чирковой /15/, и результатов настоящей проработки еще более увеличило этот разброс. Так, например, одно и то же значение коэффициента n , равное 0,053, имеет место при уклонах русла, варьирующих в диапазоне от 2,3 до 29,0%. При этом из 61 точки, наложенной на рис.2, каждая из которых соответствует отдельному речному створу, 20 точек (т.е.

33%) вышли за пределы 50% отклонения.

В своей последней работе /13/ сам В.Ф.Талмаза указывает, что основным параметром, определяющим шероховатость русла, является не уклон, а крупность русловых отложений. Поэтому он рекомендует использовать ранее предложенную формулу /12/, рассматривающую n как функцию уклона лишь в качестве ориентировочной; предлагая для более точных расчетов формулу, основывающуюся на изучении морфометрии слагающих русло наносов.

Причина отсутствия однозначной связи $n = f(J)$ для вошедших в обработку створов Чирчик-Ахангаранского бассейна и большого разброса точек на графике В.Ф.Талмазы, составленного для горных рек Киргизии, возможно, объясняется неправильной методикой измерения уклонов на отдельных

^х/ Вид исследуемых формул приведен в табл.2.

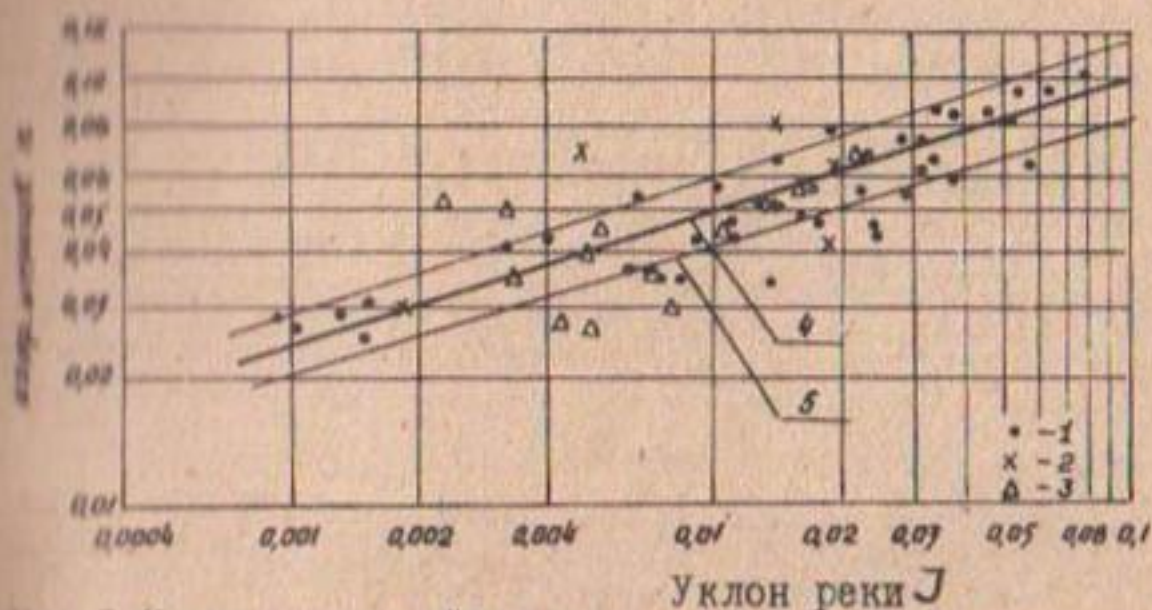


Рис. 2. Изменение коэффициента шероховатости в зависимости от уклона реки:

1—значения " n " из обработки гидрометрических данных рек Киргизии; 2—данные О.П.Щегловой и А.А.Чирковой по бассейну Чирчика; 3—данные по Чирчик-Ахангаранскому бассейну; 4—по формуле В.Ф.Талмазы $n = 0,2 \cdot J^{0,3}$; 5—то же, при ошибке в измерениях уклона 50%.

Таблица 2

Река-отвор	n из статисти- ческой обработки	Манинг:	Шкалы		Срибный	Талмаза
		/1/		/10/	/12/	
		$n = \frac{1}{\delta}$	Носова /8/	Срибного /11/	$n = \frac{\sqrt{5}}{6,5}$	$n = 0,25^{0,5}$
Ойганг-устье	0,045	0,056	0,043	0,040	0,042	0,042
Поком-устье	0,035	0,036	0,031	0,040	0,037	0,036
Чаткал-устье	0,040	0,041	0,041	0,040	0,042	0,042
Ахлигаран-Турк	0,048	0,062	0,041	0,040	0,037	0,036
Ахлигаран-Якаарча	0,052	0,084	-	0,035	0,034	0,032
Карабауай-Самарчук	0,034	0,050	0,035	0,050	0,046	0,046
Низам-Низам	0,066	0,121	0,067	0,065	0,059	0,063

Река-отвор	Дтриклер	Ласей	Гончаров	Бойер	Пирковский
	/5/	/13/	/1/	/15/	/16/
	$n = 0,03 \delta^{1/6}$	$n = 0,048 \delta^{1/6}$	$n = \frac{\delta^{1/6}}{22,6}$ $\Delta = 0,7 d_s$	$n = 0,127 h^{1/6}$ $\frac{d_p h}{\delta} + 2,4$	$n = 0,025 + 0,1 d$
Ойганг-устье	0,073	0,041	0,035	0,041	0,045
Поком-устье	0,061	0,037	0,030	0,036	0,032
Чаткал-устье	0,082	0,044	0,039	0,046	0,066

Река-отвор	Мухамедов	Рибон	Талмаза /13/		
	/7/	/9/			
	$n = 0,1 \delta^{1/6}$ $\delta_{max} = 0,7 d_{max}$	$1000 (\frac{n}{0,0062}) = 0,854 \delta^{1/6}$	$n = \frac{\delta^{1/6}}{1000 (\frac{n}{0,0062})}$ $n = 0,2 + \frac{h}{\delta} - 0,21$ $(\frac{d_p h}{\delta})^2 \cdot 2,52$	$n = 0,21 \sqrt{h} - 5$ $2 < \frac{h}{\delta} < 10$	$n = 0,12 \sqrt{h} - 5$ $3 < \frac{h}{\delta} < 30$
Ойганг-устье	0,050	0,010	0,031	0,036	-
Поком-устье	0,038	0,009	0,029	-	0,029
Чаткал-устье	0,045	0,011	0,036	0,038	-

створах, а именно недостаточностью длин участков нивелирного хода или расстояния между уклонными рейками. Тем самым могут быть привнесены ошибки в измеряемые величины уклонов, на участках створов, а, следовательно, искажены и величины коэффициентов шероховатости, рассчитанных тем или иным способом на основе гидрометрических данных.

Для вошедших в число обработанных автором створов малонадежными следует считать уклоны, измеряемые на р. Ахангаран в устье Якаарчи, которую по характеру течения можно отнести к бурным горным потокам, испытывающим заметную высотную деформацию /3/. Между тем средний из измеренных уклонов для данного створа составляет всего 2,27% (при средней ширине реки 22 м и длине нивелирного хода 24-40 м). При этом на той же р. Ахангаран в створе Турк, расположенном на 39 км ниже первого створа, средний уклон составляет 3,30% (при средней ширине реки 26 м и длине нивелирного хода 50 м). Поэтому участок для измерения уклона водной поверхности в устье Якаарчи нерепрезентативен и измеряемые уклоны не отражают всех потерь энергии на трение.

Отсутствие однозначной зависимости между коэффициентом n и уклоном на участках створов отмечалось еще в работе М.А. Мосткова /6/, который объясняет отсутствие однозначной зависимости $n = f(J)$ различием в геологических и морфологических особенностях бассейна реки, в различном характере грунтов ложа и берегов, а также в морфометрических различиях донного материала.

Выводы М.А. Мосткова об отсутствии четко выраженной зависимости гидравлических сопротивлений от уклона водной поверхности подтвердили также М. Пирковский и Ж. Винсен /16/, проводившие натурные исследования на Дунэе. Они получили строгую однозначную зависимость $d_{\text{ср}} = f(J)$ только при лабораторных экспериментах. При исследовании абсолютной шероховатости русел бассейна р. Чадак /2/ также не было получено однозначной зависимости среднего диаметра русловых наносов от уклона русла. Поэтому формулы М.Ф. Срибного /10/ и В.Ф. Талмазы /12/ так же, как и приведенные выше класси-

фикации, исходящие из зависимости $n = f(J)$, могут быть использованы при назначении коэффициентов шероховатости русел рек горно-предгорной зоны Чирчик-Ахан-гараанского бассейна только при их ориентировочной оценке.

Теоретическими и экспериментальными работами многочисленных авторов обоснована зависимость потерь напора в области квадратичных сопротивлений для шероховатых русел от относительной шероховатости и предложен ряд формул для определения коэффициента n , исходя из измерений размеров слагающих русло наносов. Первой из числа их явилась формула Штриклера (с уточненным постоянным множителем для естественных водотоков В.М.Маккавеевым /5/ и А.В.Караушевым /4/, формулы Ласея /13/, В.Н.Гончарова /1/, М.Бойера /15/, М.Пирковского /16/, А.М.Мухамедова /7/, А.К.Рябова /9/, В.Ф.Талмазы /13/ и др.

Сравнение коэффициентов n , полученных из статистической обработки гидрометрических данных, с рассчитанными по формулам, было проведено для трех рек, по которым имелись измерения фракционного состава русловых отложений (табл.2).

Формулы Ласея, В.Н.Гончарова, М.Бойера и А.М.Мухамедова дали близкую сходимость с данными статистической обработки, при средних отклонениях не превышающих 10%.

Формула Штриклера зависила значения коэффициента в среднем на 80%.

Формула М.Пирковского обнаружила почти полное совпадение коэффициентов шероховатости с результатами статистической обработки для створов р.Ойганг (устье) и р.Пскем (устье). Для р.Чаткал (устье) значения n оказались завышенными на 66%.

Формула А.К.Рябова основана на результатах обработки материалов 500 измерений размеров русловых отложений и расходов воды на реках горного и предгорного типов Советского Союза и зарубежных стран. Коэффициенты шероховатости рассчитаны им, исходя из формулы Н.Н.Павловского, т.е. по соотношению $C = \frac{1}{n} R^x$, при переменном x . Между тем еще

М.А.Чертоусов /14/ указывает, что для естественных русел переменный показатель степени в формуле Павловского неоправдан. Этому же мнению придерживаются М.Ф.Срибный, А.А.Сабанов, Д.Е.Скородумов, Лакшман Рао и Нараяна и др. При сравнении коэффициентов шероховатости, полученных из формулы А.И.Рябова, с результатами статистической обработки оказалось, что эта формула по всем створам дала значения λ , заниженные примерно в 4 раза.

Результаты расчетов по формулам В.Ф.Талмазы /13/ для участков гидростворов Чирчик-Ахангаранского бассейна дали в среднем заниженные на 28% величины λ по сравнению с данными статистической обработки. Значительные расхождения при использовании как этой, так и других формул, не могут целиком быть отнесены за счет недостатка самих формул. Причина расхождений, по-видимому, кроется в различных методах обработки результатов измерений гранулометрического состава приустьевых русловых отложений, из которых исходили В.Ф.Талмаза и автор данной работы. По этому вопросу нет до сих пор, к сожалению, общепринятой методики, что делает результаты различных авторов не вполне сопоставимыми.

В настоящее время автором ведутся работы в области уточнения методики измерений морфометрических характеристик донных отложений для выявления влияния абсолютной шероховатости русел на величину гидравлического сопротивления. Необходимость подобных исследований отмечалась в работах /1, 4, 9, 11-13, 15, 16/. М.Ф.Срибный, в частности, приходит к выводу, что "... в некоторых случаях даже полезно было бы относить в описание русла величину Δ , как одну из условных гидравлически эквивалентных характеристик" /11/.

В ы в о д ы

1. Проведенная статистическая обработка гидрометрических данных с использованием логарифмической зависимости Н.И.Агроскина, как наиболее хорошо соответствующей гидродинамическому представлению о структуре турбулентного потока, позволила вычислить коэффициенты шероховатости, принятые,

как наиболее надежные; сравнить полученные значения n с результатами других формул и шкал коэффициентов шероховатости и сделать ряд выводов относительно их применимости в Чирчик-Ахангаранском бассейне.

2. Формула Маннинга (I) применима при оценке средних годовых и среднемноголетних коэффициентов шероховатости для створов с устойчивыми руслами. Коэффициенты шероховатости, рассчитанные по Маннингу, по одному измеренному расходу, могут привести к значительным ошибкам.

3. Шкалы коэффициентов шероховатостей М.Ф.Срибного /II/ и Н.М.Носова /8/ могут быть использованы для рек Чирчик-Ахангаранского бассейна с большой осторожностью и пригодны только при ориентировочной оценке коэффициентов шероховатости.

4. Формулы, исходящие из гидравлических характеристик потока, в которых коэффициент n является функцией только уклона водной поверхности, такие применимы лишь для приближенной оценки коэффициентов шероховатости.

5. Из числа эмпирических формул, предложенных для расчета коэффициента n , на основе измерения абсолютной шероховатости русел, наиболее близкие значения к рассчитанным из статистической обработки дали формулы Ласея, М.Бойера, В.Н.Гончарова и А.М.Мухамедова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров В.Н. Основы динамики русловых потоков, Гидрометеониздат, М.-Л., 1954.
2. Зудина Н.И. К вопросу о коэффициенте шероховатости речных русел (на примере р.Чадак), Тр.САННИРИ, вып.II7, Ташкент, 1968.
3. Зудина Н.И. Выбор формулы для расчета коэффициента Шези для рек Чирчик-Ахангаранского бассейна. /В настоящем сборнике/.
4. Караушев А.В. Исследование формы водной поверхности на закруглении речного русла, Л., Тр.ГГИ, вып.22(76), 195

5. Маннавов В.М. Распределение продольных и поперечных скоростей в открытых потоках, Л., Тр.ГТИ, вып.2(56), 1947.
6. Мостков М.А. Расчетная формула для горных потоков, находящихся в естественном состоянии, "Гидротехника и мелиорация", № 5, 1938.
7. Мухамедов А.М. О сопротивлениях в движении бурного потока, "Вопросы гидротехники", Изд-во АН УзССР, вып.24, 1965.
8. Носов Н.М. Переходы через горные реки и селевые русла, Гос.транспорт.-техн.изд., 1938.
9. Рыбов А.К. Гидравлический расчет водотоков с использованием относительной шероховатости, "Метеорология и гидрология", № 6, 1967.
10. Срибный М.Ф. Расчет мостовых струенаправляющих дамб, Трансжелдориздат, 1937.
11. Срибный М.Ф. Формула средней скорости течения рек и их гидравлическая классификация по сопротивлению движению, Сб. "Исследование и комплексное использование водных ресурсов", Изд-во АН СССР, М., 1960.
12. Талмаза В.Ф. О коэффициентах групповой шероховатости и Шези для горных рек Киргизии, Изд-во АН КиргССР, серия техн.и естест.наук, т.IV, вып.5, Фрунзе, 1962.
13. Талмаза В.Ф. Об определении коэффициента шероховатости рек горно-предгорной зоны, "Вопросы водного хозяйства", вып.2, Фрунзе, 1968.
14. Чертоусов М.Д. Гидравлика, Госэнергоиздат, М.-Л., 1957.
15. Шоглова О.П., Чиркова А.А. Шероховатость речных русел бассейна Чирчика, Научн.труды ТашГУ, вып.237, гидрология, Ташкент, 1964.
16. *Waskowski Michal, Vincent Jan hydrodicku odpor Koryta pri pohybu splavnin, Sb Vysokého učení techn Brně, "№ 12, 1987"*

ВЫБОР ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ШЕЗИ ДЛЯ РЕК ЧИРЧИК-АХАНГАРАНСКОГО БАССЕЙНА

Для количественного определения коэффициента Шези предложено большое количество (около 200) эмпирических и полуэмпирических формул. Из их числа наибольшим распространением пользуются одночленные формулы с дробными показателями степени:

$$C = \frac{1}{n} R^x \quad (1)$$

Впервые формула показательного вида была предложена Вольтманом в 1791 г., которую позже усовершенствовали Сен-Венан, Гауклер, Маннинг, Лундгрэн, Форхгеймер, Павловский и др., изменив в основном значения дробного показателя степени. Но только немногие из этих формул получили рекомендации для применения их в практике гидрологических расчетов, причем особенно большую известность получила формула Н.Н.Павловского /6.7/.

Кроме формул показательного вида в последнее время распространение получила формула И.И.Агроскина, выведенная на основании полуэмпирической теории турбулентности, /1/:

$$C = A + B f^q R, \quad (2)$$

со значениями коэффициентов $A = \frac{1}{n}$ и $B = 17,72$; величина коэффициента B была получена в соответствии с данными опытов Никурадзе, в которых параметр Кармана f принимается постоянным, равным 0,406.

В.Ф.Талмаза /8/, учитывая переменность показателя Кармана ($f = 0,3 \div 1,4$), представил формулу И.И.Агроскина в виде

$$\varrho = \frac{1}{n} + (21 - 100n) \lg R, \quad (3)$$

где

$$\frac{1}{n} = A, \quad 21 - 100n = B$$

В 1965 г. И.И.Агроскин и Д.В.Штеренлихт /2/ уточнили формулу (2), исходя из переменности показателя φ :

$$\varrho = \frac{1}{n} + (27,5 - 300n) \lg R, \quad (4)$$

где

$$\frac{1}{n} = A, \quad 27,5 - 300n = B.$$

Попытка проверить соответствие ряда наиболее широко применяемых расчетных формул для коэффициента ϱ условиям рек горной и предгорной зон Средней Азии (бассейн Чирчик), была сделана за период 1950-1957 гг. О.П.Щегловой и А.А.Чирковой /II, I2/. В.Ф.Талмаза /8, I0/ исследовал этот вопрос применительно к рекам Киргизии.

Данная работа продолжает исследования О.П.Щегловой и А.А.Чирковой по горно-предгорным рекам бассейна Чирчика с добавлением ряда створов по бассейну Ахангарана (Ангрена). Целесообразность обработки тех же створов была вызвана также удлинением расчетного периода с 1952 по 1961 гг., включающего как годы со средней водоносностью (1953, 1956), маловодные (1957, 1961), так и годы с повышенной водоносностью (1952, 1958). Расчеты проводились по всем створам как для всей совокупности переменных, так и для каждого отдельного календарного года.

Обработка гидрометрических данных заключалась в нахождении из формулы Шези величины скоростного множителя

$\varrho = \frac{V}{\sqrt{R \cdot J}}$, где гидравлический радиус R принимался равным средней глубине h_{cp} .

Вопросом замены R на h_{cp} при исследовании влияния формы живого сечения речного потока на характер движения

жидкости занимался Г.В.Железняков /3/, который сделал вывод, что "... средняя глубина дает более точное представление о средней скорости, чем гидравлический радиус". Кроме того, правомерность замены R на h_{cp} , для всех вошедших в обработку створов, отвечает критерию $\lambda = \frac{h_{cp}}{R} < 0,075$, при котором, по исследованиям Э.Г.Загирова /4/, ошибка при подобной замене не превышает 5%.

С целью отыскания наиболее рационального вида формулы для коэффициента Шези C , расчет производился по формулам показательного вида (I), типа И.И.Агроскина (?), равно как и предложенной О.П.Щегловой и А.А.Чирковой /12/ формуле линейного вида:

$$C = \sigma h_{cp} + \delta, \quad (5)$$

где $\sigma = \frac{1}{h}$, δ - свободный член.

Формула линейного вида была рекомендована для рек со средней глубиной $< 0,75$ м, исходя из высоких значений коэффициентов корреляции между C и h_{cp} .

Значения коэффициентов корреляции зависимостей $C = f_1(h_{cp})$ (линейного вида), $C = f_2(\lg h_{cp})$ (типа Агроскина) и $C = f_3(\lg h_{cp})$ (показательного вида) даны в табл. I.

Из таблицы видно, что связь между переменными C и h_{cp} за отдельные календарные годы для всех вошедших в обработку створов рек оказалась достаточно высокой по всем трем видам уравнений; коэффициенты корреляции варьируют в пределах от 0,70 до 0,98. Исключение составили 1954, 1955 гг. для р. Ахангаран в створе Якаарча, когда наименьшие коэффициенты корреляции для уравнения показательного вида составляли соответственно $0,45 \pm 0,11$ и $0,59 \pm 0,10$ из-за сильнейшей деформации русла реки в результате прошедшего 21/УП-1954 г. грязекаменного селя /5/, при последующем резком падении уровней и расходов в реке. Образовавшийся завал в русле (с повышением отметок дна в створе до 1,5 м) был размыт только 11/У-1955 г. прошедшим руслоформирующим рас-

Таблица I

: р. Ойгаинг (устье): р. Пскем (устье): р. Чаткал (ст. Чарвак): р. Ахангаран (ст. Турк)

Год: Коэффициенты корреляции

$r_{12} : r_{13} : r_{23} : r_{14} : r_{15} : r_{24} : r_{25} : r_{34} : r_{35} : r_{45}$
 $(r_{12}) : (r_{13}) : (r_{14}) : (r_{15}) : (r_{23}) : (r_{24}) : (r_{25}) : (r_{34}) : (r_{35}) : (r_{45})$

1952	0,83	0,85	0,87	0,92	0,93	0,94	0,99	0,97	0,97	0,90	0,94	0,94
1953	0,92	0,92	0,93	0,97	0,96	0,98	0,96	0,92	0,95	0,83	0,87	0,87
1954	0,97	0,97	0,98	0,94	0,94	0,97	0,96	0,95	0,98	0,80	0,85	0,81
1955	0,95	0,94	0,94	0,95	0,96	0,97	0,93	0,93	0,91	0,94	0,96	0,95
1956	0,96	0,97	0,98	0,96	0,96	0,97	0,94	0,92	0,93	0,93	0,95	0,95
1957	0,94	0,94	0,97	0,97	0,96	0,97	0,85	0,86	0,82	0,98	0,98	0,97
1958	0,92	0,91	0,90	0,93	0,96	0,96	0,95	0,91	0,91	0,93	0,94	0,94
1959	0,98	0,98	0,98	-	-	-	0,95	0,95	0,96	-	-	-
1960	0,93	0,95	0,95	-	-	-	0,94	0,92	0,90	-	-	-
1961	0,97	0,97	0,97	0,95	0,96	0,95	0,96	0,95	0,97	-	-	-

7, как среднее

из отдельных

лет

7 из всей со-

вокупности

точек (1952-

1961 гг.)

0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,94	0,93	0,93	0,93	0,90	0,93	0,92
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

0,88	0,90	0,91	0,92	0,91	0,93	0,94	0,91	0,92	0,85	0,90	0,90	0,90
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Год	:р. Ахангаран (устье р. Яка-арча) : р. Карабаусай (ст. Самар-чук) : р. Нишбаш (ст. Нишбаш)									
	К о э ф ф и ц и е н т ы к о р р е л я ц и и									
	$\rho = f_1$ (r_{11})	$\rho = f_2$ (r_{12})	$\rho = f_3$ (r_{13})	$\rho = f_4$ (r_{14})	$\rho = f_5$ (r_{15})	$\rho = f_6$ (r_{16})	$\rho = f_7$ (r_{17})	$\rho = f_8$ (r_{18})	$\rho = f_9$ (r_{19})	$\rho = f_{10}$ (r_{110})
1952	0,89	0,91	0,92	0,93	0,97	0,93	0,93	0,94	0,89	0,95
1953	0,89	0,88	0,87	0,82	0,82	0,81	0,81	0,76	0,85	0,83
1954	0,64	0,57	0,45	0,88	0,84	0,88	0,88	0,80	0,88	0,88
1955	0,77	0,68	0,59	0,76	0,76	0,77	0,77	0,74	0,72	0,64
1956	0,95	0,94	0,96	0,80	0,81	0,85	0,85	0,76	0,70	0,67
1957	0,96	0,93	0,95	0,80	0,69	0,72	0,72	0,73	0,70	0,71
1958	0,82	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,78	0,85	0,80
1959	0,92	0,94	0,93	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	0,96	0,95	0,93	0,93	-	-	-
2, как среднее из отдельных лет	0,96	0,84	0,82	0,86	0,84	0,85	0,85	0,79	0,80	0,78
2 из всей сово- купности точек (1952-1961 гг.)	0,88	0,77	0,76	0,65	0,61	0,62	0,62	0,60	0,60	0,55

ходом. Значительные русловые процессы в 1954 и 1955 гг. нарушили однозначную зависимость между Q и h_{cp} и снизили тесноту связи между этими переменными.

Сравнение коэффициентов корреляций, рассчитанных как среднее из отдельных лет наблюдений и для всей совокупности измеренных расходов за принятый расчетный период, очевидно, может явиться своеобразной мерой устойчивости их створов. Для участков створов, подверженных значительной плановой и высотной деформации русел от года к году, коэффициенты корреляции, вычисленные как среднее из отдельных лет наблюдений, значительно превосходят их значения, рассчитанные для всей совокупности расходов. Таким образом, с увеличением числа членов совокупности теснота связи между переменными не возрастает, а уменьшается.

Примером неустойчивой реки может служить р. Карабаусай в створе Самарчук (приток Ахангарана); коэффициенты корреляции между переменными Q и h_{cp} , вычисленные для отдельных лет из уравнений линейного вида, типа Агроскина и показательного вида, составляют соответственно 0,86; 0,84; 0,85; коэффициенты же корреляции, вычисленные для всей совокупности измеренных расходов, составляют всего 0,65; 0,61; 0,62.

Для участков створов, не претерпевающих заметных изменений, при увеличении числа точек на графике связи Q и h_{cp} теснота связи между переменными либо возрастает, либо остается такой же, как и вычисленная за отдельный календарный год.

Примером устойчивой реки может служить р. Чаткал в створе Чарвак, коэффициенты корреляции для которой, вычисленные как среднее из отдельных лет, для уравнений линейного вида, зависимости типа Агроскина и показательного вида составляют соответственно 0,94, 0,93 и 0,93, для всей же совокупности переменных — они равны 0,94, 0,91 и 0,92.

Высокие значения коэффициентов корреляции зависимостей $Q = f_1(h_{cp})$, $Q_2 = f_2(lg h_{cp})$, $lg Q_3 = f_3(lg h_{cp})$ позволили

рассчитать уравнения прямолинейной регрессии для каждого календарного года для всех вошедших в обработку створов (табл.2).

Из полученных уравнений определялись среднегодовые величины коэффициентов шероховатости, а также значения для каждого из измеренных расходов:

$$\begin{aligned} n &= \frac{h_{cp}}{C - B} && \text{(из линейного уравнения);} \\ n &= \frac{h_{cp}^*}{C} && \text{(из показательного уравнения); (6)} \\ n &= \frac{1}{C - B \lg h_{cp}} && \text{(из уравнения типа Агроскина),} \end{aligned}$$

где C принималось из обработки гидрометрических данных по формуле Шези.

Задача определения коэффициента шероховатости для расхода любой обеспеченности тесно связана с вопросом — насколько стабильны значения n при различных уровнях воды.

Многочисленные исследования абсолютной шероховатости русел горных рек Узбекистана, проведенные М.Ф.Срибным /7/, показали, что обратная зависимость n от уровня воды для рек с глубиной большей 1 м является показателем несовершенства структуры формулы, по которой этот коэффициент был рассчитан.

Для выявления правильности структуры полученных уравнений исследовалась стабильность коэффициентов n , рассчитанных по формулам (6), в зависимости от уровня, а также их соответствие натурным условиям.

Коэффициенты шероховатости, вычисленные из уравнения линейного вида, как и указывали его авторы /12/, оказались неоправданно высокими для створов русел рек с глубиной

$> 0,75$ м, и поэтому уравнение непригодно для практического пользования. Для створов с глубиной $< 0,75$ м, а именно, р.Карабаусай ст.Самарчук ($h_{cp} = 0,34$ м), р.Нимбаш — ст.Нимбаш ($h_{cp} = 0,35$ м), коэффициенты шероховатости, вычисленные

Река, створ	Уравнения регрессии	
	$Q = A + B Q_{cp} h_{cp}$	$Q = \frac{1}{h} h_{cp}^x$
Ойгаинг - устье	$Q = 22,0 + 26,1 Q_{cp} h_{cp}$	$Q = 21,6 h_{cp}^{0,61}$
Покем - устье	$Q = 29,3 + 35,1 Q_{cp} h_{cp}$	$Q = 28,6 h_{cp}^{0,54}$
Чаткал - ст. Чарвак	$Q = 25,3 + 19,8 Q_{cp} h_{cp}$	$Q = 24,9 h_{cp}^{0,54}$
Ахангаран - ст. Турк	$Q = 20,4 + 33,3 Q_{cp} h_{cp}$	$Q = 19,2 h_{cp}^{0,86}$
Ахангаран - устье р. Яikka-Apчa	$Q = 19,4 + 49,9 Q_{cp} h_{cp}$	$Q = 16,1 h_{cp}^{1,35}$
Карабаусай - ст. Самарчук	$Q = 28,1 + 17,7 Q_{cp} h_{cp}$	$Q = 28,4 h_{cp}^{0,40}$
Нишбаш - ст. Нишбаш	$Q = 14,5 + 9,6 Q_{cp} h_{cp}$	$Q = 14,9 h_{cp}^{0,45}$

по зависимости линейного вида, в большинстве случаев близки к их значениям по зависимостям других типов и соответствуют реальным условиям сопротивления русла. Однако в отдельные годы (р. Карабаусай – 1953, 1955, 1958 гг., р. Нишбаш – 1952 г.) коэффициенты λ , вычисленные по зависимости линейного вида, обнаруживают неоправданные расхождения с их значениями по другим видам зависимостей (рис. I).

Исследование вариантности коэффициентов λ внутри отдельных лет показало несоответствие линейного уравнения и для рек с глубиной $< 0,75$ м. Например, для р. Карабаусай (ст. Самарчук) среднегодовые значения λ за 1952 г., рассчитанные по уравнениям линейного вида, типа Агроскина и показательного вида, имели близкие значения, составляющие соответственно 0,034; 0,035 и 0,029. Однако внутригодовые изменения λ по уравнению линейного вида были велики, и при низких уровнях воды значения коэффициентов шероховатости оказались резко завышенными (рис. 2, б). В ряде других случаев, например, для р. Нишбаш (ст. Нишбаш) в 1954 г. значения λ , вычисленные из уравнений линейного вида, типа Агроскина и показательного вида, оказались равными соответственно 0,054; 0,051 и 0,041. Но экстермальные значения коэффициента шероховатости при использовании уравнения линейного вида для отдельных измеренных расходов оказались равными $-28,0$ и $+0,082$. Причина нереальных по абсолютной величине и отрицательных по знаку значений λ заключается, вероятно, в неправильной структуре формулы – наличии в уравнении свободного члена. При равенстве коэффициента Шези C вычисленного из отдельного измеренного расхода, как $\frac{V}{\sqrt{h_{\text{ср}} \cdot J}}$, значению свободного члена σ в линейном уравнении (5) коэффициент шероховатости λ , равный $\frac{1}{\sigma}$, должен быть равен бесконечности, что не соответствует реальным условиям сопротивления русел.

Средние годовые значения коэффициентов шероховатости, рассчитанные из уравнений показательного вида и типа Агроскина, для устойчивых русел рек почти полностью повторяют

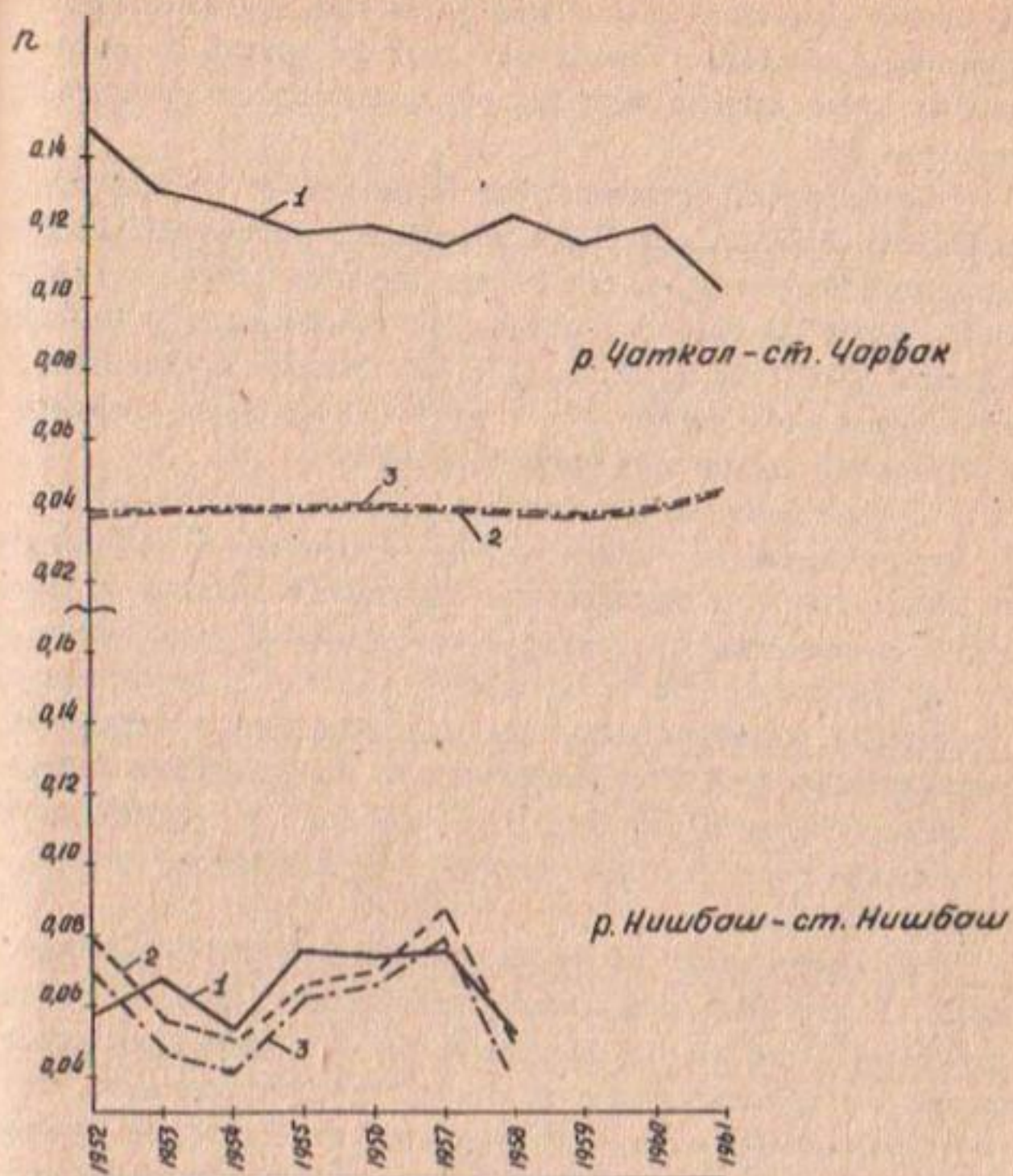


Рис. I. Изменение коэффициентов шероховатости в отдельные годы:
 1-по уравнению (5); 2-по уравнению (7); 3-по уравнению (1).

друг друга; значения же λ для русел рек, подверженных деформации, несколько отличаются друг от друга, но обнаруживают почти полную синхронность в колебаниях в многолетии (рис. I).

Исследование стабильности значений λ внутри отдельных лет показало, что для устойчивых русел рек коэффициенты шероховатости, рассчитанные по двум последним уравнениям, имеют практически одинаковые значения и не зависят от уровня воды (рис. 2, а), т.е. удовлетворяют требованию, высказанному М.Ф.Срибным [7] в качестве критерия надежности расчетных формул для коэффициента λ .

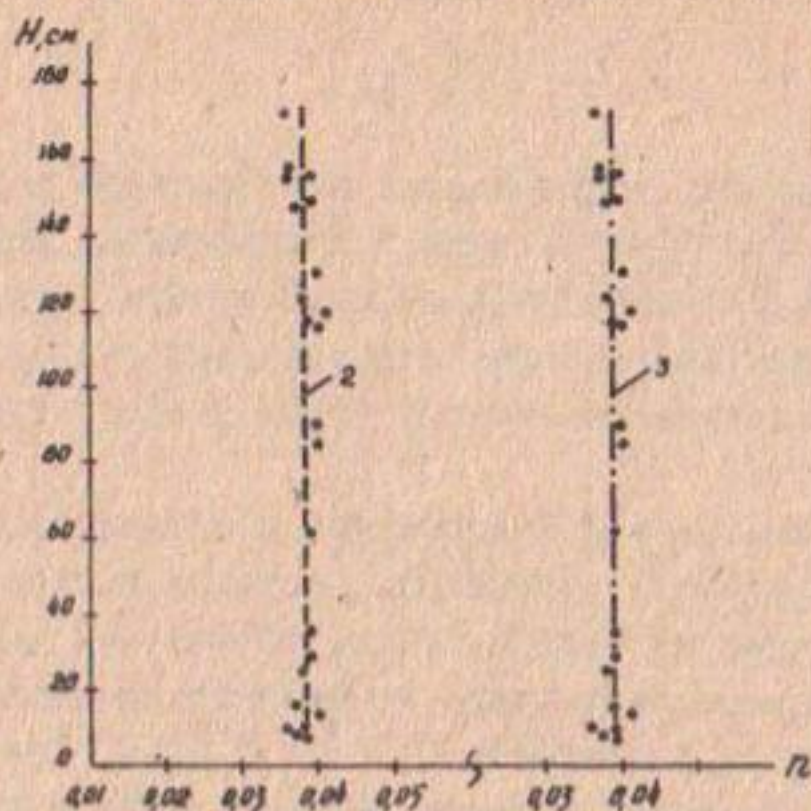
Коэффициенты шероховатости деформирующихся русел рек, рассчитанных по уравнению типа Агроскина и показательного вида, так же в большинстве случаев не зависят от внутригодовых изменений горизонта воды. Однако в отдельных случаях внутригодовые изменения коэффициента λ , рассчитанного по уравнению показательного вида, были велики и аналогичны внутригодовому ходу λ , рассчитанному из уравнения линейного вида. При этом зависимость $\lambda = f(H)$ в верхней части (при высоких уровнях) была прямой, при низких же уровнях — обратной (рис. 2, б).

Из проведенных расчетов выяснилось, что уравнение показательного вида обнаружило неоправданно завышенные значения только при низких уровнях воды, для русел рек малой глубины, подверженных притом значительной деформации. Выяснить причину последнего и рекомендовать наиболее пригодный вид зависимости (типа И.И.Агроскина или показательный) для рек с деформирующимися руслами и малыми глубинами пока не удалось.

Таким образом, результаты исследования вида зависимости коэффициента C в формуле Шези наилучшего в смысле соответствия натурным условиям сопротивления русел показали, что для расчета устойчивых створов может быть применена формула показательного вида (I)

$$C = \frac{1}{h} h_{cp}^x,$$

а) р. Чаткал ст. Чарвак, 1952г.



б) р. Карабузай ст. Самарчук, 1952г.

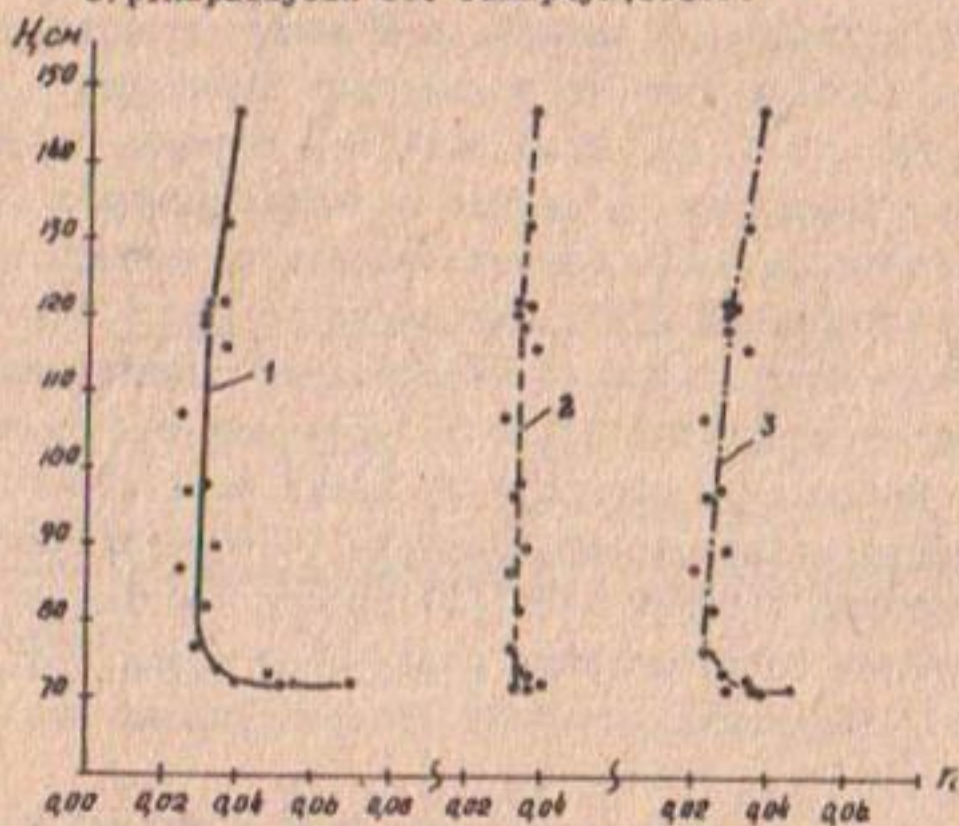


Рис. 2. (а, б) Графики зависимости $\pi = f_v(H)$:
1-по уравнению (5); 2-по уравнению (7);
3-по уравнению (1).

и зависимость типа И.И.Агроскина в общем виде

$$C = A + B \lg h_{cp} \quad (7)$$

Для створов, подверженных значительной деформации, наиболее пригодна формула типа И.И.Агроскина; применимость же формулы показательного вида требует дальнейшего уточнения на большем материале с параллельным изучением вопроса об изменении абсолютной шероховатости русел внутри года.

Уравнения типа И.И.Агроскина и показательного вида для всей совокупности измеренных расходов приведены в табл.2. Как видно из этой таблицы, показатели степени x в формуле показательного вида испытывают значительные колебания, находясь в пределах $0,34 < x < 1,33$. Значения показателя x такого же порядка были получены для горно-предгорных рек Средней Азии в работах /8, 12/.

Для выявления зависимости между коэффициентами A и B и соответствия их уравнениям Агроскина и Агроскина-Талмазы (2, 3, 4) на рис.3 нанесены кривые, соответствующие этим уравнениям, и данные по исследуемым в работе створам, а также заимствованные из работы О.П.Щегловой и А.А.Чирковой /12/. Как видно из рис.3, точки для створов Чирчик-Ахангаранского бассейна не соответствуют ни одному из видов уравнений (2,3,4), указывая тем самым на необходимость введения в эту формулу новых параметров. Поскольку проведенные исследования показали, что структура формулы И.И.Агроскина в общем виде (7) хорошо соответствует реальным условиям сопротивления горно-предгорных рек, то она, очевидно, применима для всех створов Чирчик-Ахангаранского бассейна.

Уравнения показательного вида и типа И.И.Агроскина, полученные для каждого из исследованных створов Чирчик-Ахангаранского бассейна (табл.2), не могут быть обобщены и тем более экстраполированы на другие реки горно-предгорной зоны Узбекистана; поскольку остались не выявленными харак-

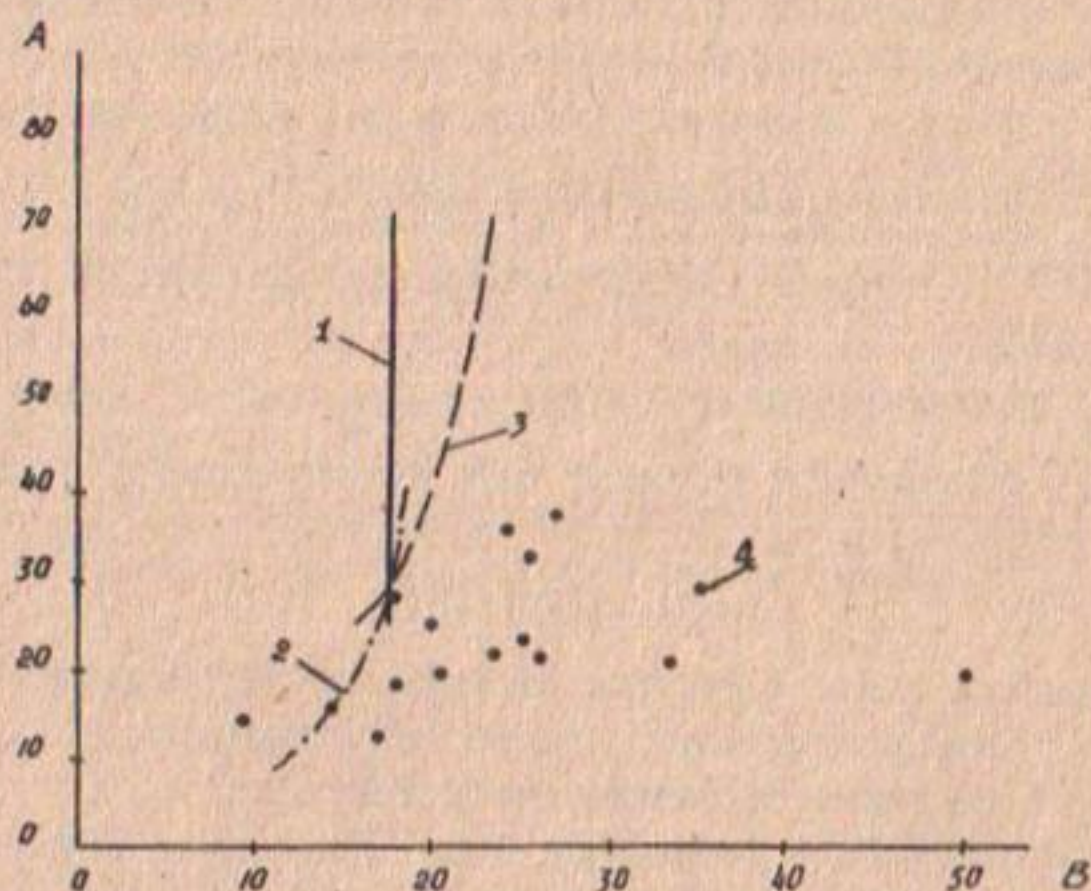


Рис. 3. График зависимости $A = f_5(B)$:
 1—по формуле (2); 2—по формуле (3); 3—по формуле (4);
 4—данные статистической обработки гидрометрических
 материалов.

тер изменения показателя степени в степенной формуле (1) и характер изменения параметров A и B в формуле (7).

В ы в о д ы

Исследование вида зависимости между переменными и h_{sp} на примере рек горно-предгорной зоны Чирчик-Ахангаранского бассейна показало, что уравнение И.И.Агроскина $C = \frac{1}{\pi} + B \rho g h_{sp}$ удовлетворяет требованию, высказанному М.Ф.Срибиним [7], соответствует реальным условиям сопротивления в русле и применимо для русел рек любой устойчивости.

Уравнение показательного вида $C = \frac{1}{\pi} h_{sp}^{\lambda}$ удовлетворяет тем же требованиям только для устойчивых участков русел рек.

Формула линейного вида $C = \frac{1}{\pi} h_{sp} + B$ имеет неправильную структуру и не может быть использована в расчетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроскин И.И. Расчетная формула для коэффициента Шези при квадратичном законе сопротивления, "Гидротехническое строительство", № 2, 1949.
2. Агроскин И.И. и Штеренлихт Д.В. Уточненная формула для коэффициента Шези C , "Гидротехника и мелиорация", № 9, 1965.
3. Железняков Г.В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии, Изд-во АН СССР, М.-Л., 1950.
4. Загиров Э.Г. Соотношение между гидравлическим радиусом и средней глубиной естественных водотоков, Тр.САНИГМИ, вып.32 (47), 1968.
5. Каталог селеопасных рек на территории УзССР, Ташкент, вып.1, Гидрометфонд, инв.№ 1214, кн.42.
6. Сабанеев А.А. Универсальная формула для коэффициента Шези. Изв.ВНИИГ им.В.Е.Веденеева, т.32, 1947.

7. Срибинь М.Ф. Формула средней скорости течения рек и их гидравлическая классификация по сопротивлению движению, Сб. "Исследование и комплексное использование водных ресурсов", Изд-во АН СССР, М., 1960.
8. Талмаза В.Ф. О коэффициентах групповой шероховатости и Шези для горных рек Киргизии, Изв. АН КиргССР, серия естеств. и техн. наук, том 4, вып. 5, Фрунзе, 1962.
9. Талмаза В.Ф. Расчетная формула для коэффициента Шези, Сб. "Вопросы гидротехники", Изд-во ИНТИ, Фрунзе, 1963.
10. Талмаза В.Ф. Гидравлические характеристики горных потоков, Сб. докладов на X Всесоюзной селевой конференции, Изд-во АрмССР, Ереван, 1968.
11. Щеглова О.П. и Чиркова А.А. Коэффициенты шероховатости рек Чирчикского бассейна, Тр. САНИГМИ, вып. 7 (22), 1961.
12. Щеглова О.П. и Чиркова А.А. Шероховатость речных русел бассейна Чирчика, Научные труды ТашГУ, вып. 237, 1964.

РАЗМЫВ ПАДАЮЩИХ СТРУЙ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ
РАЗМЫВАЕМОГО ГРУНТА

При эксплуатации гидротехнических сооружений в их нижних бьефах возникает опасность размыва русла за ними. Во избежание разрушения сооружения от подмыва требуется установить область, подверженную размыву и максимально возможную глубину воронки размыва.

Для ведения таких расчетов в производственных условиях часто пользуются методами Е.А.Замарина, А.Н.Патрашева, М.С.Внзго, в редких случаях Б.Н.Мацмана и др.

Профессор И.И.Левин /7/, очень кратко останавливаясь на вопросе расчета консольных перепадов, отмечает, что "Основная задача гидравлического расчета консоли должна сводиться к определению глубины воронки размыва. К сожалению, предложенные до сего времени способы расчета воронки размыва нельзя признать вполне удовлетворительными".

Вопрос о глубине размыва дна нижнего бьефа падающей струей до сих пор не доведен до теоретически правильного и практически приемлемого решения, несмотря на большое количество работ, проведенных в этой области в нашей стране и за рубежом.

Существующие формулы, предложенные рядом авторов, имеют различную структуру с наличием своих опытных коэффициентов, результаты расчета по ним часто имеют большие расхождения /12, 13/. Все способы расчета так или иначе учитывают свойства размываемого грунта. Большая часть исследователей имела дело с размывом несвязного грунта, поэтому оценку свойства размываемого грунта производили по крупности его частиц. Таковы способы профессора А.Шоклича, А.М.Патрашева, М.А.Чертоусова, Б.И.Студеничникова, Н.Т.Смольянинова, А.Г.Соловьевой, М.А.Михалева и др.

Несколько обособлены работы по исследованиям размыва связных и скальных пород, что вызывается недостаточной изученностью процесса и механизма разрушения падающей струей таких прочных грунтов. В этом отношении различных точек зрения придерживались на координационном совещании в г.Тбилиси М.С.Вызго, *Höusset*, Т.Х.Ахмедов /2/, Г.А.Юдицкий /27/ и Г.П.Рубинштейн /21/.

В литературе чаще всего приводятся результаты лабораторных опытов, но этого недостаточно для правильного решения проблемы, поскольку методы моделирования свойства грунта в условиях местного размыва пока еще мало разработаны. Кроме того, в лабораторных условиях невозможно точно воспроизвести некоторые параметры и факторы, в том числе аэрацию и свойства грунта.

В литературе также часто указывается, что именно натурные исследования должны помочь правильному решению задачи. Из известных способов расчета наиболее полно опираются на натурные исследования, предложенные М.С.Вызго. Данные о размыве различных грунтов на 13 объектах /4/ отразились при подсчете расчетных значений коэффициента в его формуле (табл. I).

Таблица I

Грунт	: Угол α наклона падающей струи к горизонту в месте падения						
	: 0	: 12	: 25	: 40	: 50	: 70	: 90
Все обычные прочные и скала после длительного размыва чистой водой, содержащей мелкие наносы	1,3	1,7	2,10	2,50	2,80	3,20	3,40
Слабые грунты (и плывун) в тех же условиях	1,40	1,90	2,40	2,80	3,30	4,10	4,50
Очень слабые грунты (легко взмучиваемые частицы песчаной пыли и ила)	1,50	2,20	3,00	3,80	4,70	5,60	6,00

Однако в исследованиях М.С.Вызго свойство размываемых грунтов учитывается недостаточно, на что неоднократно указывал сам автор и другие исследователи.

Под общим руководством проф. М.С.Вызго мы исследовали в 1961-1965 гг. размывы за консольными перепадами "Задиян", "Ташхона", "Гирван" № 1 и № 3 и "Иттифак" в ирригационной сети Ферганской долины.

В этой статье приводим результаты исследований.

Главная задача данной работы — изучение размывов связанных (лессовидных суглинков), а также несвязных (песок, гравий, гальки и т.д.) грунтов за построенными сооружениями.

Часть результатов исследований воронки размыва приведена на рис. 1. (а, б).

При обработке материалов мы использовали общеизвестную формулу (1), теоретически обоснованную А.Н.Патрашевым и Б.А.Мацманом [8, 18]

$$t = K \sqrt{q} \sqrt{\frac{z}{g}}, \quad (1)$$

где $K = K_{\alpha} K_A K_{гр} K_K$ — универсальный коэффициент размыва [5, 6],

K_{α} — корректив на влияние угла наклона струи,
 K_A — корректив на влияние аэрации потока,
 $K_{гр}$ — корректив на влияние свойств грунта,
 K_K — корректив на влияние конструкции сооружения (в наших опытах $K_K = 1$).

В формуле (1) до сих пор свойства грунта оставались все же недостаточно установленными, аэрацию струи в какой то мере изучила Е.В.Плетнева [19, 20] (на основе материалов М.С.Вызго)

$$K_A = \left(\frac{V_0}{\sqrt{g \delta}} \right)^{-0.20} \quad (2)$$

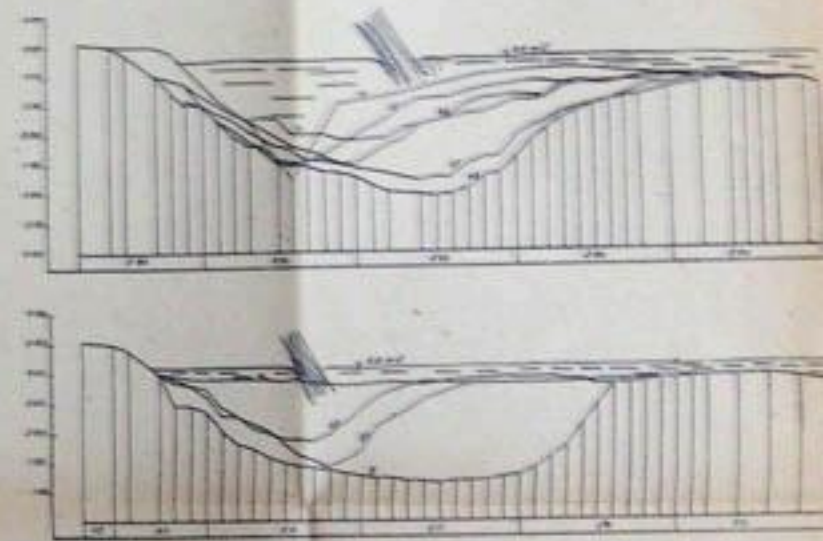
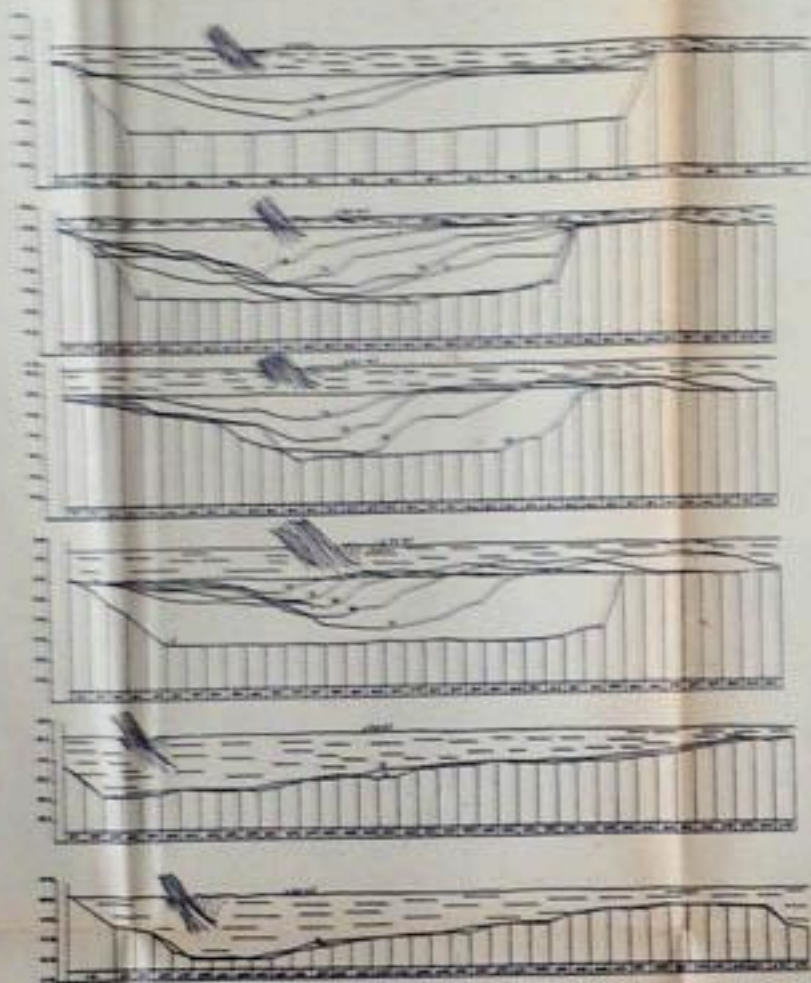
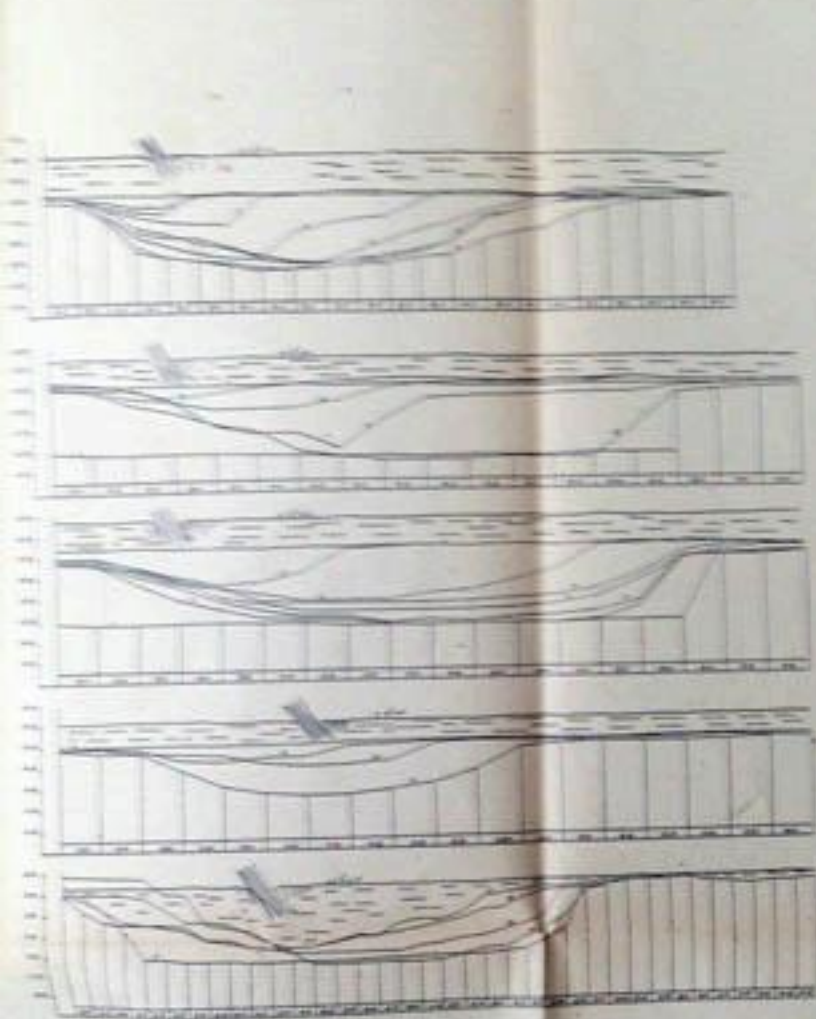


Рис.1.Продольный разрез по оси воронки развала на консольных перепадах Иттидак I, Гинхона, Гирван XI
и X3, Задний Анджанской, Ферганской областей УзССР:
а-отметки поверхности земли до пуска опыта;
б-отметки поверхности котлована до засыпки грунта (шары показывают номера опытов).

В работе /24/ на основе изучения влияния угла наклона струи установлена зависимость

$$\begin{aligned} \text{при } \alpha \leq 15^\circ & \quad - \quad K_\alpha = \frac{1,69}{1-0,304 \operatorname{tg} \alpha}; \\ \text{при } 15^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ & \quad - \quad K_\alpha = \frac{7,08}{1+0,758 \operatorname{tg} \alpha}; \quad (3) \\ \text{при } \alpha \geq 35^\circ & \quad - \quad K_\alpha = \frac{4,25}{1+0,167 \operatorname{ctg} \alpha}. \end{aligned}$$

Решая формулу (1) с учетом (2) и (3) автор пришел к следующему:

$$t = 0,455 K_\alpha \cdot K_{rp} \cdot K_\mu \cdot Q^{0,60} \cdot Z^{0,10} \quad (4)$$

Таким образом, анализируя недостатки в работах /12 - 16/, автор при консультации проф. Вызго пришел к выводу, что теперь появилась возможность по формуле (4) на основе результатов прямых наблюдений (известными в таком случае являются t, Q, Z, α) определять значение K_{rp} для различных грунтов, т.е. выявлять влияние свойства грунта на размыв.

Результаты обработки опытных и литературных материалов приводим в табл. 2-4.

На основе наших опытных данных и данных /3, 9, 10/ (табл. 2, 3) для предварительных расчетов рекомендуем следующие значения K_{rp} для связного грунта: $K_{rp} = 1,54$ для плотного, а $K_{rp} = 2,05$ для слабого суглинка.

Имеющиеся фактические материалы (табл. 2, 3) хорошо отражают правильность наших рекомендаций, а более достаточное решение сейчас не представляется возможным.

Наша попытка по имеющимся данным построить график $K_{rp} = f(c)$, где c - силы сцепления, пока не дала желаемых результатов. Вероятно, в будущем, по мере на-

Таблица 2

Удель- ный расход воды q m^2/sec	Пере- пад z_0 m	Угол на- клона струн: α^0	Глу- бина ворон- ки раз- мыва t, m	Коэф- фици- ент грун- та K_p	
1	2	3	4	5	6

Более плотные грунты

1,28	6,54	45	2,50	1,08	Джартегерманская консоль в г.Ташкенте.Плотный лесс
0,0208	0,49	51	0,17	1,10	Консольный перепад "Итти- фак" в Наманганском р-не Андижанской обл.УзССР (при $z = 0,60 m$). Иссле- дования 1964 г. Естественный суглинистый
0,0461	0,47	44	0,34	1,41	
0,0781	0,50	41	0,56	1,71	
0,1079	0,53	39	0,72	1,82	
0,1419	0,56	37	0,88	2,24	
0,205	0,53	34	0,98	1,77	
0,261	0,59	30	1,06	1,80	
0,306	0,57	25	1,12	1,96	
0,0208	1,09	66	0,23	1,29	То же при $z = 1,20 m$
0,0461	1,12	60	0,32	1,13	
0,205	1,30	47	0,70	1,06	

Более слабые грунты

2,50	6,30	56	5	1,41	Консольный перепад "Садо- вый" на канале Джун Таш- кентской обл., слабый просадочный лесс.
0,060	1,29	68	0,56	1,64	Опытный лоток САНИИРИ. По исследованиям 1929 г. Насыпной лесс
0,090	1,21	67	0,68	1,57	
0,120	1,30	67	0,81	1,57	
0,015	1,14	77	0,29	1,90	

Продолжение

I	2	3	4	5	6
0,0208	0,44	51	0,24	1,56	Консольный перепад "Итти- фак". Исследования 1964 г. Насыпной суглинистый
0,0461	0,46	44	0,38	1,57	
0,0781	0,52	41	0,62	1,89	
0,1419	0,59	37	0,96	2,42	
0,0208	0,46	51	0,38	2,48	
0,0461	0,49	44	0,55	2,26	
0,0781	0,47	41	0,69	2,14	Исследования 1965 г.
0,1076	0,51	39	0,79	2,00	
0,1419	0,58	37	0,91	2,30	
0,205	0,57	34	1,03	1,85	
0,0208	1,14	66	0,49	2,74	
0,0461	1,17	60	0,65	2,27	
0,0781	1,20	58	0,79	1,60	Консольный перепад "Гиш- хона" в Наманганской обл. УзССР. Исследования 1962 г. Насыпной суглинистый
0,0208	1,13	66	0,58	3,26	
0,0461	1,17	60	0,59	2,06	
0,0781	1,22	58	0,80	1,95	
0,054	1,22	58	0,66	2,00	
0,027	1,20	67	0,56	2,66	
0,035	1,24	66	0,59	2,40	
0,088	1,30	56	0,78	1,91	

Таблица 3

Объект	Q , м ² /сек	z , м	α°	t , м	K_{rp}
Опытная установка ГрузиниГМА - суглинок малоразрушенной струк- туры ($C=0,20$)	0,15	1,25	70	0,65	1,09
Бакурция, третий консольный сброс, суглинок ($C=0,10$)	4,66	13	82	11,20	2,82
Там же другая консоль ($C=0,12$)	4,66	4	76	9,80	1,83
Консольный сброс "Жаратачи" глина ($C=0,09$)	2,32	6,20	78	6,05	1,63
Цорский быстроек, глина ($C=0,10$)	2,40	4,50	76	5,30	1,47

Таблица 4

$\frac{Q}{M^2/\text{сек}}$	Z_0	α°	$t_{\text{(опыт)}}$	$K_{\text{гр}}''$	Автор
1	2	3	4	5	6
0,0060	0,20	90	0,168	1,24	А.Шоклич /26/
0,0112	0,20	90	0,25	2,25	
0,0231	0,20	90	0,36	2,10	
0,0087	0,20	90	0,16	1,66	
0,035	0,20	90	0,35	1,59	
0,0071	0,20	90	0,125	1,48	
0,0071	0,30	90	0,135	1,53	
0,0126	0,20	90	0,183	1,54	
0,0126	0,30	90	0,20	1,62	
0,0375	0,20	90	0,345	1,50	
0,0375	0,30	90	0,375	1,57	
0,0254	0,10	90	0,20	1,19	
0,0254	0,20	90	0,235	1,30	
0,0568	0,20	90	0,375	1,28	
0,0847	0,20	90	0,47	1,25	
0,0166	0,20	90	0,205	1,46	
0,0263	0,20	90	0,265	1,43	
0,019	0,30	90	0,19	1,20	
0,070	0,30	90	0,41	1,18	
0,044	0,20	90	0,27	1,05	
0,064	0,20	90	0,33	1,01	
18,10	32,55	90	40,60	2,60	А.Н.Патрашев /17/
18,10	19,55	90	34,80	3,07	
18,10	32,55	90	29,80	1,91	
18,10	19,55	90	25,50	2,24	
18,10	32,55	90	24	1,54	
18,10	19,55	90	21,20	1,87	

Продолжение

I	2	3	4	5	6
0,00488	0,303	40	0,161	2,74	Е.Я.Фроликова /25/
0,00478	0,290	50	0,15	2,48	
0,00456	0,265	60	0,139	2,30	
0,00457	0,267	70	0,135	2,13	
0,00426	0,232	90	0,14	1,10	
0,00422	0,236	90	0,15	2,37	
0,00398	0,202	90	0,14	2,34	
0,00461	0,27	90	0,17	2,52	
0,00456	0,275	90	0,14	2,10	
0,00521	0,356	90	0,17	2,26	
0,00676	0,596	90	0,21	2,28	
0,0054	0,345	90	0,16	2,12	
0,026	0,54	35	0,24	1,46	А.Г.Соловьева /22/
0,005	0,63	90	0,30	3,90	Е.В.Плетнева /19/
0,005	0,48	90	0,28	3,72	
0,005	0,33	90	0,27	3,74	
0,005	0,13	90	0,29	2,78	
0,008	0,62	90	0,384	3,72	
0,008	0,47	90	0,36	3,61	
0,008	0,32	90	0,34	3,50	
0,008	0,12	90	0,37	4,23	
0,0135	0,59	90	0,54	3,90	
0,0135	0,44	90	0,52	3,86	
0,018	0,59	90	0,67	4,10	
0,018	0,43	90	0,64	4,05	
0,018	0,29	90	0,60	3,94	
0,018	0,09	90	0,64	4,76	
0,005	0,64	90	0,19	2,46	
0,005	0,49	90	0,19	2,53	
0,005	0,34	90	0,18	2,48	
0,005	0,14	90	0,18	2,72	
0,008	0,63	90	0,26	2,52	
0,008	0,47	90	0,25	2,48	

Продолжение таблицы 4

I	2	3	4	5	6
0,008	0,32	90	0,25	2,58	Е.В.Плетнева /18/
0,008	0,13	90	0,30	3,40	
0,0135	0,61	90	0,36	2,60	
0,0135	0,46	90	0,33	2,44	
0,0101	0,45	33	0,25	2,88	А.Е.Тлеукабылов /23/
0,00524	0,149	67	0,380	6,05	
0,00524	0,231	67	0,360	5,40	
0,00261	0,141	74	0,112	2,70	
0,00261	0,172	76	0,125	9,95	
0,00261	0,266	77	0,122	2,66	
0,00261	0,234	75	0,130	2,90	
0,00261	0,312	80	0,138	2,92	
0,00524	0,101	57	0,291	4,80	
0,0113	0,119	65	0,450	4,58	
0,00385	0,122	70	0,151	2,82	
0,00385	0,269	79	0,140	2,34	
0,00385	0,198	70	0,129	2,29	
0,0326	0,195	59	0,506	2,62	
0,0326	0,121	46	0,552	3,18	
0,0326	0,114	57	0,544	2,96	
0,0326	0,128	57	0,580	3,11	
0,01215	0,101	64	0,320	3,18	
0,0113	0,122	59	0,385	3,21	
0,01215	0,101	65	0,285	2,82	
0,0077	0,124	69	0,169	2,14	
0,0077	0,183	70	0,203	2,45	
0,01215	0,102	60	0,241	2,42	
0,01215	0,101	68	0,265	2,58	
0,01215	0,101	58	0,265	2,53	
0,01215	0,102	59	0,225	2,28	
0,01215	0,193	66	0,175	1,61	
0,00513	0,17	70	0,083	1,31	
0,0205	0,178	60	0,285	1,96	

Продолжение

I	:	2	:	3	:	4	:	5	:	6
0,0205		0,171		62		0,243		1,68		А.Е.Тлеукабылов /23/
0,0205		0,34		69		0,173		1,16		
0,0205		0,27		67		0,173		1,12		
0,01215		0,169		65		0,109		1,02		
0,0375		0,20		58		0,181		0,82		
0,0375		0,31		66		0,213		0,95		
0,01215		0,174		65		0,104		0,98		
0,01215		0,178		74		0,080		0,72		
0,0208		1,08		66		0,49		2,74		А.Набиев
0,0268		1,19		67		0,60		2,86		
0,0203		1,18		79		0,50		2,75		
0,035		1,21		66		0,65		2,64		
0,054		1,20		58		0,73		2,21		
0,088		1,21		56		0,84		2,08		
0,0461		1,12		60		0,66		2,32		
0,1079		1,25		56		0,85		1,85		
0,0461		1,17		60		0,53		1,86		
0,0781		1,20		58		0,68		1,66		
0,0208		1,13		66		0,391		2,19		
0,852		5,30		74		1,20		0,61		
0,92		5,26		73		1,62		0,78		
0,0208		1,14		66		0,33		1,86		
0,0781		1,20		58		0,57		1,39		
0,0461		1,17		60		0,45		1,57		
0,205		1,28		47		0,98		1,47		
0,1079		1,25		56		0,70		1,52		
0,1419		1,30		51		0,78		1,50		
0,0461		1,16		60		0,31		1,09		
0,0781		1,20		58		0,40		0,98		
0,261		1,25		47		0,90		1,19		
0,1419		1,26		51		0,64		1,40		
0,205		1,29		49		0,86		1,29		
0,054		1,20		58		0,19		0,58		
0,088		1,25		56		0,31		0,76		

Продолжение

1	2	3	4	5	6
0,138	1,22	54	0,44	0,82	А.Набиев
0,212	1,27	52	0,59	0,85	
0,298	1,34	50	0,82	0,98	
0,222	5,18	76	1,26	1,44	
0,424	1,72	68	1,43	1,12	
0,0515	1,25	58	0,33	1,02	
0,136	1,27	55	0,64	1,21	
0,212	1,25	51	0,81	1,18	
0,308	1,30	49	0,91	1,05	
0,665	5,43	75	1,49	0,84	
0,82	5,33	74	1,56	0,81	
2,00	6,75	62	1,99	0,61	
2,50	7,85	62	2,32	0,62	

копления опытного материала, появится возможность установить достоверные зависимости для таких грунтов, как суглинков, глина и др., а пока еще для этой цели не накоплен достаточный экспериментальный материал (рис.2). Поэтому исследования размыва связных грунтов должны быть продолжены.

Для несвязных грунтов (песок, гравий, галька) исследователями накоплен более обширный материал. На основе табл. 4 мы построили график $K_{rp} = f(d)$, выбрали (5) зависимость и рекомендуем для практического использования

$$K_{rp} = f(d) = \frac{3,15}{(d_{90\%} + a_1)^{0,32}}, \quad (5)$$

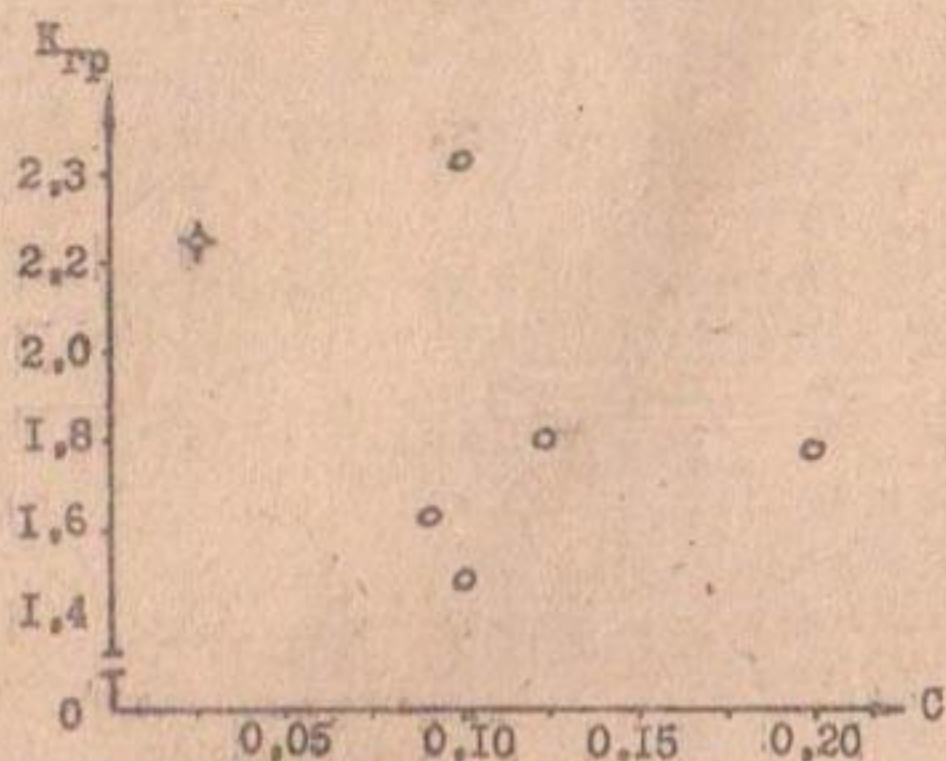


Рис.2. Характер зависимости коэффициента размыва от силы сцепления связного грунта, $K_{гр} = f(C)$:
 ○ - опыты Ц.Е. Мирцхулава;
 ◇ - опыты А.Н. Набиева (более слабые грунты).

где $d_{90\%}$, мм — диаметр зерен грунта, мельче которого в грунте имеется 90% по весу (берется по кривой гранулометрического состава на основе механического анализа),
 $\alpha = 0,204$ мм — предельный диаметр размываемого грунта для условий, когда струя вступает в чистую воду, в неограниченный по размерам водоем, т.е. когда нет размываемого грунта.

В ы в о д ы

1. Основные факторы, определяющие глубину максимального размыва русла — удельный расход воды, перепад крупности размываемого материала и конструкция сооружений.

2. Угол входа струи в нижний бьеф и аэрации потока оказывает большое влияние на величину глубины воронки размыва.

3. Для связных грунтов (предварительно) можно принимать: при плотных суглинках $K_{гр} = 1,54$, при слабо уплотненных суглинках $K_{гр} = 2,05$, а для несвязных грунтов $K_{гр}$ рекомендуем определять по формуле (5).

4. Необходимо усилить исследования по определению влияния свойств связных грунтов, их сопротивляемости размыву.

5. Необходимо продолжить исследования по разработке конструкций, способствующих уменьшению глубины местных размывов (гребенчатые трамплины, рассеивающие вираж и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов К.И. Математика для техникумов. М., Изд-во "Высшая школа", 1965.
2. Ахмедов Т.Х. Лабораторные исследования местного размыва скальных пород. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып.7, М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.
3. Вязго М.С. Формулы для расчета местных размывов бурным потоком. Сб. статей по ирригации и гидротехнике, вып.73, Ташкент, Госиздат УзССР, 1948.
4. Вязго М.С. Процесс размыва грунтов и предохранение плотин, Ташкент, Изв.АН УзССР, № 6, 1952.
5. Вязго М.С. Зависимость глубины размыва наклонно падающей струей от свойств грунта. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями, Ташкент, Изд-во "Наука" УзССР, 1966.
6. Вязго М.С. Влияние аэраций падающей струи на глубину размыва за гидротехническими сооружениями, "Водное хозяйство", вып.3, Киев, Изд-во "Урожай", 1965.
7. Леви И.И. Гидротехнические сооружения, ч.1, вып.2, Л., 1935.
8. Мацман Б.А. К вопросу расчета перепадов консольного типа, "Вестник ирригации", № 3, 1927.
9. Мирцхулава Ц.Б. О глубине воронки размыва связных грунтов падающей струей и о методике их исследования. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып.ХУ, М.-Л., Изд-во "Энергия", 1964.
10. Мирцхулава Ц.Б. Прогнозирование наибольшей глубины местного размыва связных грунтов свободнопадающей струей. Гидротехническое строительство, М., 1965, № 8.

11. Михалев М.А. Определение глубины размыва нескального основания падающей струей. Гидротехническое строительство, М., 1960, № 9.
12. Набиев А.Н. Исследование размыва за консольным перепадом "Гишхона", Ташкент, Изв.АН УзССР, серия технических наук, 1963, № 5.
13. Набиев А.Н. Результаты исследований различных грунтов за консольным перепадом в натуральных условиях. Вопросы гидротехники, вып.23, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1965.
14. Набиев А.Н., Вызго М.С. Влияние аэрации потока на глубину местного размыва, Изв.АН УзССР, серия технических наук, Ташкент, 1965, № 4.
15. Набиев А.Н. Глубина размыва падающей струей. Доклады АН УзССР, Ташкент, Изд-во "Фан", 1966, № 4.
16. Набиев А.Н., Вызго М.С. Натурные коррективы к формуле расчета местного размыва падающей струей. "Гидротехническое строительство", М., Изд-во "Энергия", 1966, № 9.
17. Патрашев А.Н. Определение максимальной глубины размыва грунта, производимого ниспадающей струей. Изв. ВНИИГ, т.ХХI, 1937.
18. Патрашев А.Н. Теория растекания струи в водной подушке. Труды Ленинградского индустриального института, Л., 1937, № 9.
19. Плетнева Е.В. Канд.дисс., Институт энергетики АН КазССР, Алма-Ата, 1962.
20. Плетнева Б.В. Местный размыв в несвязном грунте при воздействии свободно падающей вертикальной струи. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып.УП, М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.
21. Рубинштейн Г.Л. Лабораторные исследования местного разрушения скалы в нижних бьефах высоких водосплавных плотин. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып.УП, М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.

22. Соловьева А.Г. О размыве русла струей отбрасываемой трамплином, Л., Изв. Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники, т.68, 1961.
23. Тлеукабылов А.Е. Применение теории размерностей для вывода расчетной формулы глубины размыва в несвязных грунтах. Сб. "Вопросы гидротехники", Ташкент, 1961, № 2.
24. Тлеукабылов А.Е. Вопросы верификации при изучении местных размывов за гидротехническими сооружениями. Вестник АН КазССР, Алма-Ата, 1960, № 8.
25. Фроликова Е.Я. Поверхностный и донный режимы сопряжения и размыв грунта падающей струей. Гидротехническое строительство, М., 1957, № 2.
26. Шоклич А. *Kolkbildung unter über - Schan-litsch & fallstrahlen, wasserwirtschaft, nat, 24, 1932.*
27. Юдицкий Г.А. Исследования актуальных нагрузок на отдельности скального основания за высокими плотинами с коском-трамплином. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. УП, М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕВЫХ ВЫНОСОВ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Селевые паводки состоят из жидкой и твердой среды; они образуют потоки огромной разрушительной силы. Твердая фаза, или сток наносов селевых паводков, почти не изучена, хотя исследование ее представляет немалый практический и научный интерес.

Используя большой фактический материал, мы попытались в известной мере восполнить этот пробел.

Продукты переноса твердой фазы селевых потоков, названные нами селевыми выносами, состоят из влекомых и взвешенных наносов, которые откладываются в долинах саев (логов), а также на прилегающей территории.

Выносы саев, даже небольшие, значительно затрудняют эксплуатацию каналов, заносят их, и значительные массивы культурных земель, чем причиняют большой ущерб народному хозяйству. Так, селевые наносы не раз заносили полностью каналы в ирригационных системах Гавасая, Чартаксая, СФК и др.

До настоящего времени точных методов расчета селевых выносов не имеется. Часто твердый сток определяют в процентном соотношении от взвешенных наносов. Такая методика недостаточно обоснована и часто приводит к большим погрешностям.

С целью выявления режима отложения выносов и закономерности их формирования, мы в период с 1961 по 1967 год обследовали саи в северной и северо-западных частях Ферганской долины (ориентировочно по периметру Наманган-Учкурган-Андижан-Фергана; рис. I). Общее количество обследованных саев более 200. Все эти саи, за исключением действующих постоянно, имеют истоки на высотах, не превышающих 1500-1800 м.

Истоки их приурочены к предгорьям и адырам, а условия формирования для большинства саев идентичны.

Все обследованные водотоки по размерам водосборной площади и степени разработанности русла, а также по количеству селевых выносов могут быть разделены на три характерные группы.

К первой относятся постоянно действующие водотоки с площадью водосбора более 100 км^2 ; ко второй — сая, действующие периодически, с площадью водосбора $10-100 \text{ км}^2$.

Третья группа самая многочисленная. Это периодически действующие сая с площадью водосбора до 10 км^2 . Нами обследовано около 110 таких саев и логов.

Водосборные бассейны этих саев представляют собой адыры с мягко выраженными формами рельефа, покрытые лессовыми почвами с включениями галечника и гравия. Растительный покров весьма беден. Отметки истоков этих саев не превышают $1000-1500 \text{ м}$, поэтому эти водотоки характеризуются как ливневые. Средние максимальные расходы их не превышают $50 \text{ м}^3/\text{сек}$, глубина их $1-2 \text{ м}$. Для мелких водотоков характерны следующие особенности: большие уклоны (от $0,01$ до $0,1$), очень быстрая концентрация стока при выходе на равнину (из-за изменения режима уклонов и расходов). Выносы откладываются почти полностью.

Мы детально обследовали отложения непосредственно после прохождения селевых паводков (определяли объемы отложений, их уклоны, фракционный состав, диаметры наибольших булыг, уклоны участков русла до отложений и т.д.). Максимальные расходы устанавливали по свежим замочкам горизонтов высоких вод (ГВВ) в нескольких створах (расходы подсчитывались различными методами). Материалы полевых изучений приведены в таблице.

Большинство исследователей считает, что при прочих равных условиях твердый сток пропорционален уклону водотока

Таблица

Номер: п/п	$F, \text{км}^2$	i	$\chi, \text{км}$	Q $\text{м}^3/\text{сек}$	$W, \text{м}^3$	$d_{\text{ср}}, \text{мм}$
1	2	3	4	5	6	7
1	4,2	0,019	7,3	17	100	46
2	2,1	0,017	3,8	9,6	40	52
3	6,0	0,022	9,6	13,8	80	73
4	1,1	0,031	1,9	6,5	80	60
5	3,5	0,043	4,7	11,6	250	65
6	2,1	0,021	5,2	11,0	180	65
7	4,2	0,027	7,8	18,0	210	65
8	2,1	0,037	5,0	9,3	50	93
9	6,5	0,012	9,5	21,3	30	45
10	0,7	0,058	1,1	5,8	90	73
11	1,3	0,041	3,1	8,0	190	80
12	3,2	0,035	6,0	14,3	360	80
13	2,6	0,037	4,8	10,8	170	80
14	0,6	0,029	1,9	5,6	40	63
15	5,5	0,030	11	14,3	198	48
16	6,0	0,031	5,0	21,0	520	43
17	0,53	0,044	1,4	4,3	110	45
18	0,21	0,048	0,9	2,6	46	48
19	0,53	0,051	2,0	3,8	32	75
20	0,51	0,051	1,8	2,7	26	77
21	0,95	0,059	2,6	7,3	190	68
22	0,60	0,065	2,2	5,1	110	83
23	1,95	0,025	4,7	9,5	70	48
24	0,49	0,041	1,6	4,2	50	47
25	2,14	0,023	5,5	10,0	30	55
26	4,40	0,030	6,0	19,3	440	60
27	6,05	0,023	6,0	17,0	250	63
28	1,5	0,019	3,2	7,0	30	64

1	2	3	4	5	6	7
29	0,7	0,011	1,1	5,0	35	38
30	0,3	0,019	0,7	3,0	10	37
31	2,1	0,027	4,8	13,0	26	41
32	1,1	0,030	2,8	11,0	45	48
33	3,0	0,021	7,1	9,5	180	50
34	0,9	0,020	1,9	6,3	80	54
35	0,5	0,022	1,8	5,0	45	52
36	0,8	0,036	2,1	5,0	32	52
37	0,7	0,033	1,6	5,0	48	50
38	1,39	0,044	1,6	36,4	1600	83
39	6,58	0,061	1,08	11,2	150	91
40	1,20	0,056	1,40	26,4	900	72
41	0,61	0,024	0,30	3,2	6	78
42	3,56	0,039	2,50	40,0	1260	48
43	0,61	0,033	0,96	9,6	70	63
44	0,53	0,072	0,75	15,7	470	37
45	0,28	0,054	0,33	3,30	50	42
46	6,25	0,037	0,40	5,43	97	50
47	0,48	0,068	0,54	20,0	830	35
48	0,18	0,045	0,20	1,0	3	28
49	0,47	0,065	0,78	5,50	180	47
50	0,96	0,054	2,05	20,0	800	55
51	5,15	0,032	3,3	29,0	800	85
52	0,34	0,044	0,93	2,5	20	75
53	0,38	0,040	0,78	2,0	20	37
54	0,64	0,065	0,56	21	600	72
55	3,50	0,032	3,5	20,0	200	65
56	1,16	0,037	2,8	36,0	1000	68
57	0,38	0,037	0,80	1	7	45
58	1,30	0,038	1,46	5,0	46	61
59	1,13	0,042	1,76	27,0	970	83
60	1,15	0,039	2,3	5,0	20	77

1	2	3	4	5	6	7
61	0,20	0,045	0,045	1,0	5	45
62	1,62	0,056	2,02	6,0	15	57
63	1,13	0,053	2,30	21,0	1000	52
64	0,75	0,046	1,70	14,0	650	49
65	1,30	0,043	2,10	26,0	200	37
66	1,08	0,041	1,50	40,0	1340	39
67	1,52	0,040	2,90	4,0	60	35
68	0,21	0,169	0,84	2,5	40	33
69	0,44	0,123	1,74	1,5	110	38
70	0,26	0,120	1,14	10	850	90
71	0,19	0,081	0,99	7,0	280	36
72	0,24	0,069	1,10	5,5	105	38
73	0,36	0,063	1,56	5,0	70	75
74	0,24	0,60	1,68	7,0	280	76
75	0,46	0,057	1,53	12,0	210	82
76	0,32	0,061	1,65	2,5	15	65
77	1,47	0,067	2,19	6,0	210	39
78	0,22	0,067	1,65	3,5	12	81
79	0,47	0,068	2,01	3,0	40	63
80	0,30	0,048	1,77	14,0	440	38
81	0,77	0,046	1,62	12,0	580	35
82	0,58	0,037	1,0	15,0	360	48
83	1,05	0,046	1,5	14,6	466	93
84	0,75	0,047	1,7	8,0	166	45
85	0,73	0,053	1,35	11	620	37
86	0,83	0,024	1,40	14	80	53
87	1,18	0,034	2,28	12	140	81
88	0,36	0,025	1,0	4,5	15	86
89	2,11	0,031	2,42	17	240	72
90	0,14	0,081	0,54	4	51	85
91	0,14	0,043	0,66	4	20	88

I	2	3	4	5	6	7
92	0,30	0,069	1,0	3,0	20	69
93	0,64	0,065	2,07	6	40	45
94	0,43	0,061	1,48	4,5	180	35
95	1,32	0,038	2,55	15,0	100	63
96	1,06	0,033	2,34	8,0	115	83
97	3,46	0,015	3,60	30	80	90
98	3,4	0,065	2,5	7,0	45	84
99	3,4	0,040	2,5	4,3	20	86
100	1,03	0,039	3,2	3,1	7	85
101	3,3	0,022	3,5	9,5	30	30
102	5,3	0,030	5,5	11	290	37
103	7,1	0,032	7,0	13	370	33
104	2,7	0,029	5,0	22	220	49
105	2,98	0,032	3,7	6,5	220	35
106	6,5	0,027	5,5	38	270	85
107	7,8	0,021	9,5	45	306	77
108	3,6	0,026	4,0	11	80	32
109	1,0	0,036	2,5	4,5	120	30
110	9,1	0,036	8,0	1,5	70	38
111	1,70	0,041	2,5	5,0	130	41
112	3,12	0,033	3,7	8,5	90	39
113	3,4	0,023	3,5	9,5	45	46
114	1,9	0,027	2,8	10,0	200	53
115	0,9	0,020	1,6	3,0	30	52

в первой степени. Анализ материалов наших экспериментов показал, что такое положение также верно и для неструктурных селевых потоков.

Нами выявлена зависимость количества выносов от максимальных расходов воды. Поэтому в качестве показателя количества выносов нами принято произведение уклона на максимальный расход: $J \cdot Q_m = K$ (J — средневзвешенный уклон; Q_m — максимальный расход). Поскольку уклон характеризует удельное падение русла водотока в м, а расход воды оценивается в м³/сек или т/сек, то физический смысл коэффициента K будет представлять собой удельную энергию потока в т · м/сек.

Связь коэффициента K с общим количеством выноса (W , м³) показана на рис. 2. Из графика видна общая тенденция увеличения количества отложений с возрастанием коэффициента K .

Установлено, что помимо основных факторов (уклоны, максимальные расходы) количество выносов зависит от диаметра отложений; как третий показатель отложений нами принят средний диаметр выносов (d_{cp}).

Средний диаметр выносов определялся из нескольких измерений по формуле $d_{cp} = \frac{\sum d_i P_i}{100}$,

где P_i — количество наносов каждой фракции в процентах;
 d_i — средняя крупность отдельных фракций.

Связь $W = f(J \cdot Q_m)$ построена для следующих групп d_{cp} : $d_{cp} < 40$ мм; $d_{cp} = 40-60$ мм; $d_{cp} = 60-80$ мм и $d_{cp} > 80$ мм (рис. 2).

Кривые связи и их характер имеют степенную форму, которая постепенно принимает параболическую.

По графикам связи определены значения K , при которых начинается формирование стока влекомых наносов:

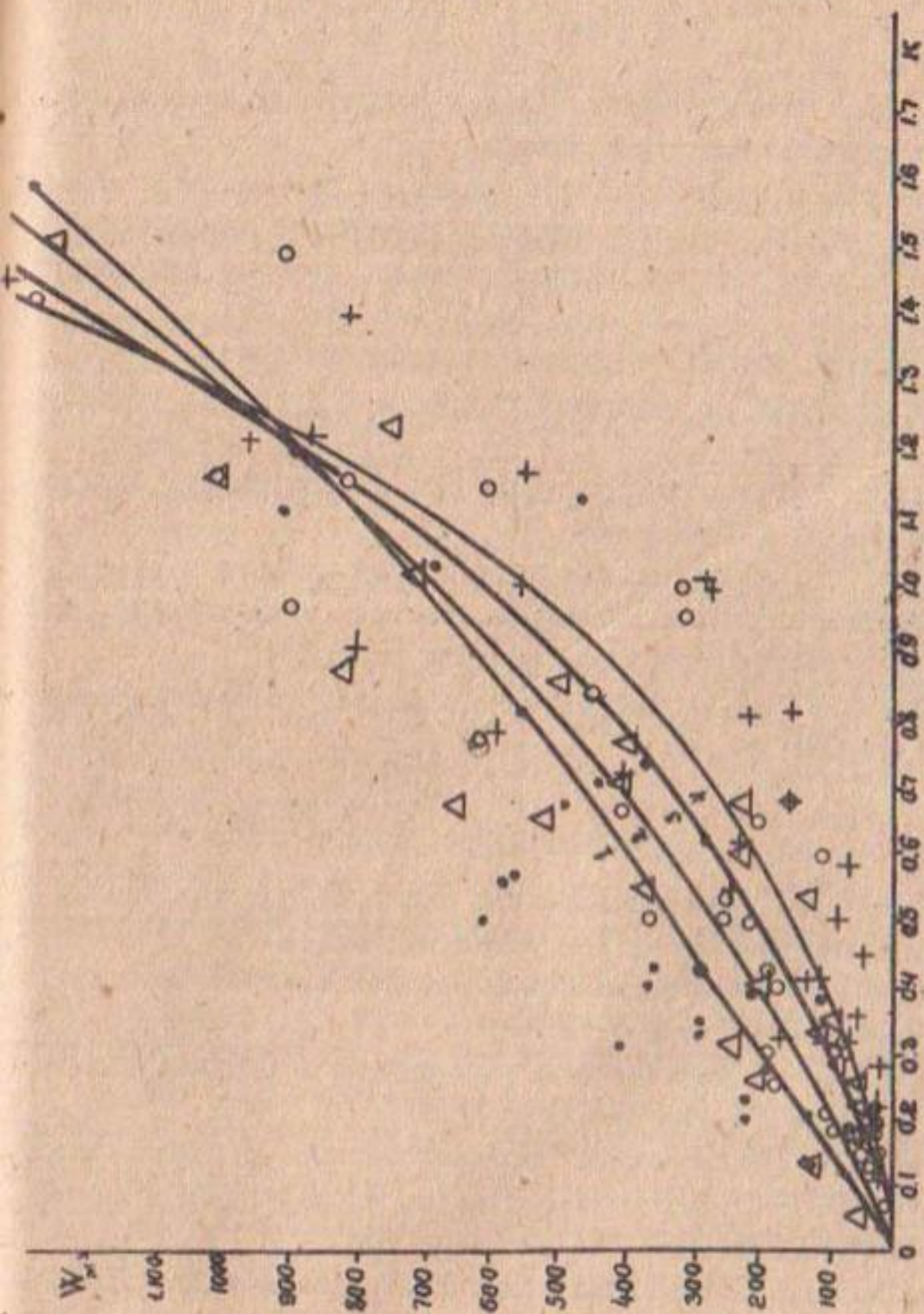


Рис. 2. График зависимости $W = f(K, d)$:
 Δ - $d_{cp} < 40 \text{ мм}$; $\circ$ - $d_{cp} = 60 \text{ мм}$; $+$ - $d_{cp} > 80 \text{ мм}$.

для	$d_{cp} < 40$	$K = 0,01-0,02;$
	$d_{cp} = 40-60$	$K = 0,03-0,04;$
	$d_{cp} = 60-80$	$K = 0,05-0,06;$
	$d_{cp} > 80$	$K = 0,07-0,09.$

Полевые исследования и анализ полученных материалов позволяют сделать некоторые выводы.

Для малых водосборов с площадью, не превышающей 10 км^2 , формирование стока влекомых наносов зависит от максимальных расходов, уклонов и фракционного состава, поэтому как показатель количества выносов нами принят коэффициент $K = JQ$, характеризующий транспортирующую способность потока.

Форма связи K зависит от среднего диаметра отложений.

Наносы переносятся, а также откладываются при определенных значениях коэффициента K .

В случае, когда фракционный состав не выявляется, его следует принимать равным 40–60 мм, так как этот диаметр характерен для большинства сев данного района.

Указанная форма связи дает удовлетворительные результаты при уклонах не менее 0,01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбова И.В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР, Гидрометеиздат, 1957.
2. Егiazаров И.В. Расход влекомых потоком наносов, Изв.АН. АрмССР, т. II, № 5, 1949.
3. Кочерга Ф.К. Горномелиоративные работы в Средней Азии и Южном Казахстане, М., 1965.
4. Рабкова Е.К. Исследования селевых потоков в районе предгорий Северной Ферганы, Труды Института сооружений, вып. 7, 1955.
5. Херхеулидзе И.И. Сборные защитные и регулирующие сооружения из сборного железобетона на горных реках, Гидрометеиздат, 1967.

РАСЧЕТ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛОТНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ВОДОХРАНИЛИЩУ

При расчете характеристик плотного потока и их изменений по длине водохранилища по зависимостям И.И.Леви /1/ выполняются довольно трудоемкие вычисления, в результате которых в условиях плоской задачи определяется положение граничной поверхности плотного потока. При этом не учитывается влияние местных сопротивлений, обусловленных рельефом и естественной конфигурацией водохранилища (влияние сужений, расширений поворотов). Кроме того, из полученного результата, в подавляющем большинстве случаев, нас интересует положение граничной поверхности лишь вблизи гидроузла. Учитывая эти обстоятельства, мы предложили два способа, лишенные этих недостатков.

Первый способ основывается на уравнении количества движения, в основе второго лежит известный метод Чарномского /8/. Ниже приводится решение по этому способу^х. В этом случае водохранилище необходимо разбить на отдельные морфометрические однородные участки и оценить положение граничной поверхности каждого участка. Последнее можно сделать с помощью уравнения Бернулли /8/.

Для составления расчетной схемы в случае плотного потока воспользуемся общей схемой движения плотного потока по водохранилищу (рис. I).

При рассмотрении движения плотного потока следует иметь в виду, что движение его в водохранилище по своему характеру можно отнести к движению, близкому к параллельно-струйному. Это плавноизменяющееся и неравномерное движение /2,3,4,5,6,7/.

х) Первый способ был рассмотрен в статье автора, помещенной в данном сборнике.

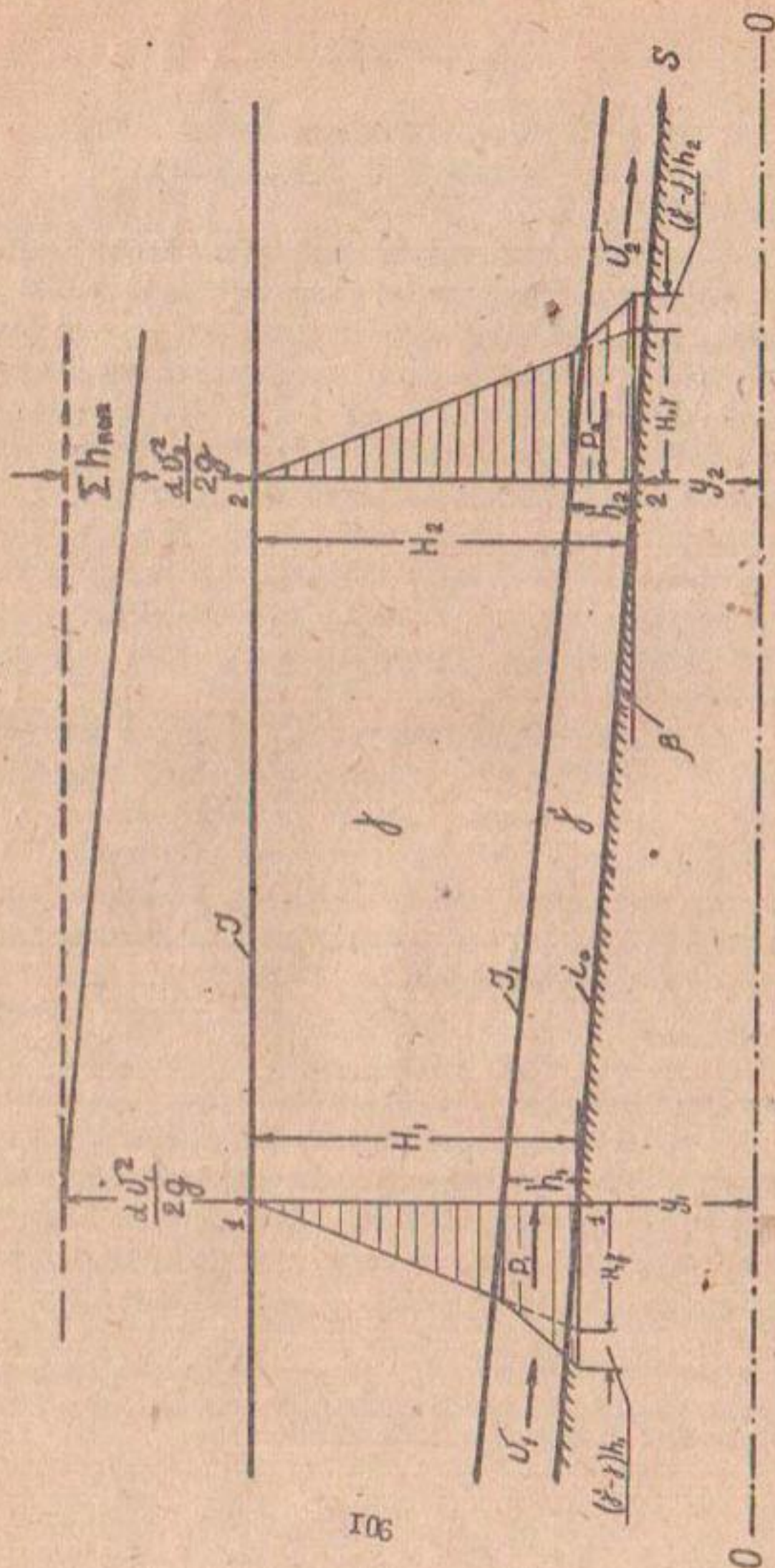


Рис. I. Общая расчетная схема движения плотного потока по водохранилищу.

Таким образом, имеются все условия для использования уравнения Бернулли^{х)} /8/.

Донный поток — поток жидкости плотностью γ' , ограниченный с боков стенками русла, а сверху — жидкостью, имеющей плотность γ . Считаем, что через ограничивающие донный поток поверхности жидкость не проникает.

Считая 0-0 плоскостью сравнения, составим уравнение Бернулли для двух сечений: I-I и 2-2. В этом случае уравнение баланса энергии (уравнение Бернулли для целого потока) можно представить в виде:

$$\gamma_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \gamma_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f + h_i, \quad (I)$$

где γ_1 и γ_2 — превышение над плоскостью 0-0 точек соответствующих сечений;

$\rho g = \gamma'_{1,2}$ — объемный вес плотного потока (насыщение плотного потока), который принимается одинаковым в соответствующих живых сечениях;

p_1 и p_2 — гидродинамическое давление в соответствующих сечениях;

v_1 и v_2 — средние скорости течения плотного потока в соответствующих сечениях;

h_f — полная энергия, теряемая в среднем единицей веса на пути от сечения I-I до 2-2.

$$h_i = \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{du}{dt} ds = \frac{1}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{d\omega} \quad - \text{изменение}$$

по времени кинетической энергии в объеме между соответствующими сечениями (инерционный напор, обусловленный изменением

^{х)} Бернулли составил уравнение лишь для элементарной струйки идеальной жидкости. Данное же уравнение, относящееся к случаю целого потока реальной жидкости, составлено на основании работ Бернулли, Эйлера, Кориолиса, Бусинеска и др.

скоростей в расчетных сечениях во времени);

$$\frac{P}{\rho g} = \frac{P}{\gamma_{1,2}} \quad - \text{представляет собой пьезометрическую высоту, отвечающую гидродинамическому давлению;}$$

$$\frac{\alpha V^2}{2g} \quad - \text{скоростной напор.}$$

Величина гидравлического давления в первом сечении определяется как $P_1 = (H_1 - h_1)\gamma + h_1\gamma_1' = H_1\gamma + \Delta\gamma h_1$, аналогично во втором сечении $P_2 = (H_2 - h_2)\gamma + h_2\gamma_2' = H_2\gamma + \Delta\gamma h_2$.

Подставляя значение P в уравнение (1), получим:

$$y_1 + \frac{\delta H_1 + \Delta\gamma h_1}{\gamma_1'} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{\delta H_2 + \Delta\gamma h_2}{\gamma_2'} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f + h_i. \quad (2)$$

Учитывая, что в водохранилище обычно движение донного потока изменяется во времени достаточно медленно, величина h_i уравнения (2) незначительна и ее можно пренебречь. Тогда уравнение (2) примет вид:

$$y_1 + \frac{\delta H_1 + \Delta\gamma h_1}{\gamma_1'} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{\delta H_2 + \Delta\gamma h_2}{\gamma_2'} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f. \quad (3)$$

Если принять, что величина насыщения плотного потока в первом створе равна насыщению во втором, то уравнение (3) примет следующий вид:

$$\Delta y + \frac{\delta H_1 + \Delta\gamma h_1}{\gamma_1'} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = \frac{\delta H_2 + \Delta\gamma h_2}{\gamma_2'} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f, \quad (4)$$

где $\Delta y = y_1 - y_2$.

Будем считать, что распределение скоростей V в сечениях I-I и 2-2 примерно одинаково, тогда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 1$, учитывая, что $H_2 = H_1 + \Delta y$, после нескольких преобразований получим:

$$\frac{\Delta y}{\gamma} (\gamma_1 - \gamma_2 + \Delta y) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} = h_f, \quad (5)$$

где h_1 и h_2 — глубина плотного потока в соответствующих живых сечениях.

Уравнение 5 позволяет определить глубину (скорость) плотного потока в сечении 2-2, если известны его характеристики в сечении 1-1 и величина потерь h_f .

$$h_f = h_e + h_m, \quad (6)$$

движения. h_f можно подразделить на две категории, где h_e — потери напора по длине и h_m — местные потери от сопротивления, вызываемого изменением направления потока при прохождении участков постепенного и резкого сужения, расширения и поворотов.

Для оценки величины потерь напора из-за сопротивления в ходе постепенного изменения режима потока по длине (от трения) обычно используется расчетный метод.

1. Для расчета необходимо знать расход (Q), среднюю ширину B_{cp} и глубину плотного потока h_g . При определении h_e при турбулентном установившемся и плавноизменяющемся неравномерном движении плотного потока используем допущение, что потери напора выражаются теми же зависимостями, что и в случае равномерного движения, когда эпюра определенных скоростей по длине потока не изменяется.

Тогда

$$h_e = \lambda_g \cdot \frac{l}{4R} \cdot \frac{v_g^2}{2g}, \quad (7)$$

или

$$h_e = \frac{v_g^2}{c^2 R} \cdot l,$$

где l — расстояние между рассматриваемыми сечениями 1-1 и 2-2;

R — гидравлический радиус $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{B_{cp} \cdot h_g}{2h_g + B_{cp}};$

ω и χ — соответственно площадь и смоченный периметр рассматриваемого живого сечения;

λ_d — коэффициент сопротивления (гидравлического трения) по дну.

Величину коэффициента Шези $\mathcal{C}$ в практике обычно принято определять (8) по формулам или же по специальным графикам. Так, для определяемого коэффициента $\mathcal{C}$ можно использовать формулу Павловского:

$$\mathcal{C} = \frac{1}{n} R^y, \quad (8)$$

где $y = f(n, R)$ определяется по эмпирической формуле. В формулу (8) входит коэффициент шероховатости n , который назначается по шкале Гангиле-Куттера /8/. Зная величину n и R , можно по графикам /8/ определить $\mathcal{C}$.

При оценке коэффициента сопротивления по дну λ_d плотного потока можно воспользоваться зависимостью (для квадратичной области сопротивлений) $\lambda_d = \frac{8g}{\mathcal{C}^2}$. (9)

Таким образом, для определения параметров плотного потока остается оценить величину потерь на местные сопротивления. Соответствующие рекомендации по этому вопросу, приведенные в курсах гидравлики /8/, неприемлемы, так как получены в условиях движения однородного по плотности потока. В связи с этим нами были проведены экспериментальные исследования с целью определения этих потерь и зависимости их от определяющих факторов в условиях стратифицированного характера движения. В исследовании были рассмотрены следующие виды местных сопротивлений: 1) сужение в горизонтальной плоскости; 2) расширение в вертикальной плоскости; 3) изменения направления течения (поворот).

Опыты были проведены в лаборатории отдела русел САНИИРИ в остекленном лотке общей длиной $L = 15,0$ м, шириной $B = 40$ см, высотой $h = 60$ см.

Насосная установка обеспечивала подачу расходов от 3 до 10 л/сек. Насыщение изменялось в пределах от 1,3 до 11,3 кг/м³. В качестве наносов, образующих донный поток

(пульпу), использовался таджикский лесс. Всего было проведено 163 опыта.

Этим исследованием предшествовал предварительный цикл опытов, который имел целью оценку основных характеристик донного потока при различных величинах расхода и насыщения в условиях отсутствия местных сопротивлений, что позволило экспериментально оценить потери напора на трение по длине. В этом цикле всего был проведен 21 опыт при изменении расхода от 3 до 10 л/сек и насыщения от 1,3 до 11,3 кг/м³.

Проведенные опыты характеризовались изменением параметра кинетичности (число Фруда) в пределах $0,3 < Fr < 1,40$ и числом Рейнольдса в пределах $6220 < Re < 21500$.

В этом цикле опытов так же, как и во всех остальных, донный поток в экспериментальном лотке образовался сразу же с поступлением пульпы в лоток, заполненный заранее чистой водой. Поток двигался непосредственно по дну, а плотный поток, набирая определенную скорость (глубину), — вдоль лотка. Иногда пульпа в начале лотка попадала в поверхностные слои, но затем сразу же наблюдалось погружение ее в придонные слои, и последующее движение происходило по дну вдоль лотка в виде плотного потока. В створе погружения глубина была наибольшая, затем она уменьшалась и стабилизировалась. Визуальные наблюдения свидетельствуют, что головная часть (фронт) плотного потока имеет несколько большую толщину.

В течение короткого времени (30–60 сек) после прохождения фронта плотный поток сохраняет определенную толщину, а затем граничная поверхность поднимается вверх до определенной высоты. Высота и определяет устойчивую для данного расхода и мутности толщину (глубину) плотного потока, который в продольном направлении уменьшается, что свидетельствует о неравномерном ускоренном характере движения.

Опыты первой серии имели целью оценку потерь, обусловленных уменьшением поперечного сечения (сужением). В экспериментах этой серии в 4 створах измерялась толщина (высота) плотного потока и насыщенность его наносами. Расстояние между крайними измерительными створами составляло $l = 2,40$ м (рис. 2).

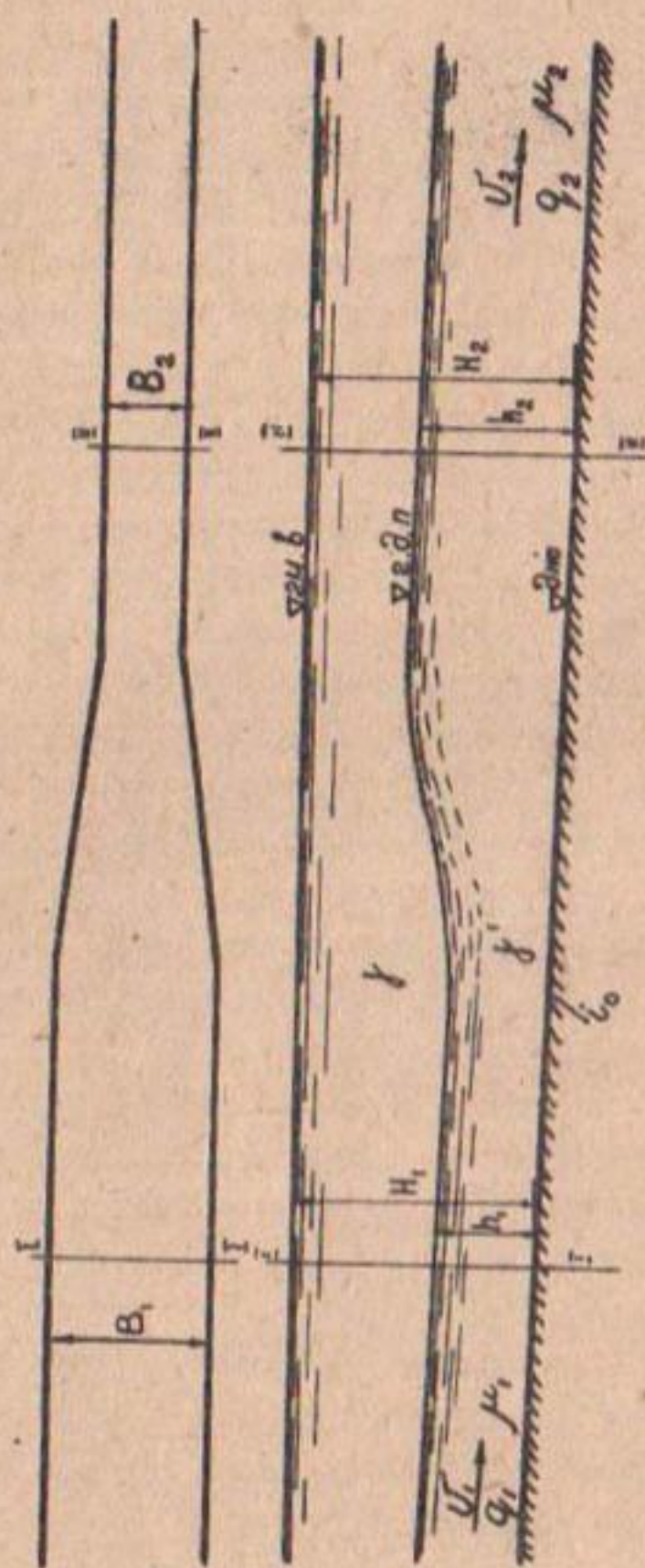


Рис. 2. Движение плотного донного потока в случае сужения в горизонтальной плоскости.

В этом цикле всего было проведено 60 опытов при изменении расхода от 3 до 10 м/сек и насыщения от 1,3 до 8,4 кг/м³. При этом степень сужения изменялась от 0,25 до 1,0. Опыты характеризовались изменением числа Рейнольдса в пределах 13000-85000.

Опыты показали, что насыщения плотного потока в начальном и конечном измерительных створах оказались практически одинаковыми (разность между ними составляла $\pm 5-8\%$, т.е. разница находилась в пределах точности измерений). Это свидетельствует о том, что при движении плотного потока осадения не было и наносы полностью транспортировались в нижний бьеф. В связи с этим в последующих расчетах величина местного сопротивления насыщения плотного потока принималась постоянной по длине и равной величине ее в первом створе. Экспериментальные исследования и визуальные наблюдения показали, что скорость движения и глубина плотного потока на участке сужения увеличивается.

В большинстве опытов этой серии наблюдалось плавное сужение; в одной серии изучалось влияние резкого сужения, причем отношение ширины составляло $\frac{B_2}{B_1} = 0,25$.

Опытами установлено, что скорость движения и глубина плотного потока на участке резкого сужения увеличивается. Вначале при движении плотного потока образуются боковые водоворотные зоны, в результате чего устойчивость легко нарушается малейшими возмущениями за счет отражения и вследствие увеличения глубины потока, что приводит к уменьшению относительного насыщения его в створах. При изучении влияния расширения в вертикальной плоскости были проведены опыты с углом расширения $\alpha = 6^\circ; 8^\circ; 11^\circ; 18^\circ; 45^\circ$; т.е. с откосом $m = 1:1; 1:3; 1:5; 1:7$ и $1:10$ (рис.3).

Всего было проведено 69 опытов при изменении расхода от 3 до 8 л/сек, насыщении от 1,4 до 9,2 кг/м³.

Уклон дна лотка выше и ниже участка расширения составлял $i_0 = 0,01$. Из визуальных наблюдений видно, что глубина потока за расширением уменьшается до определенного значения и скорость продвижения увеличивается.

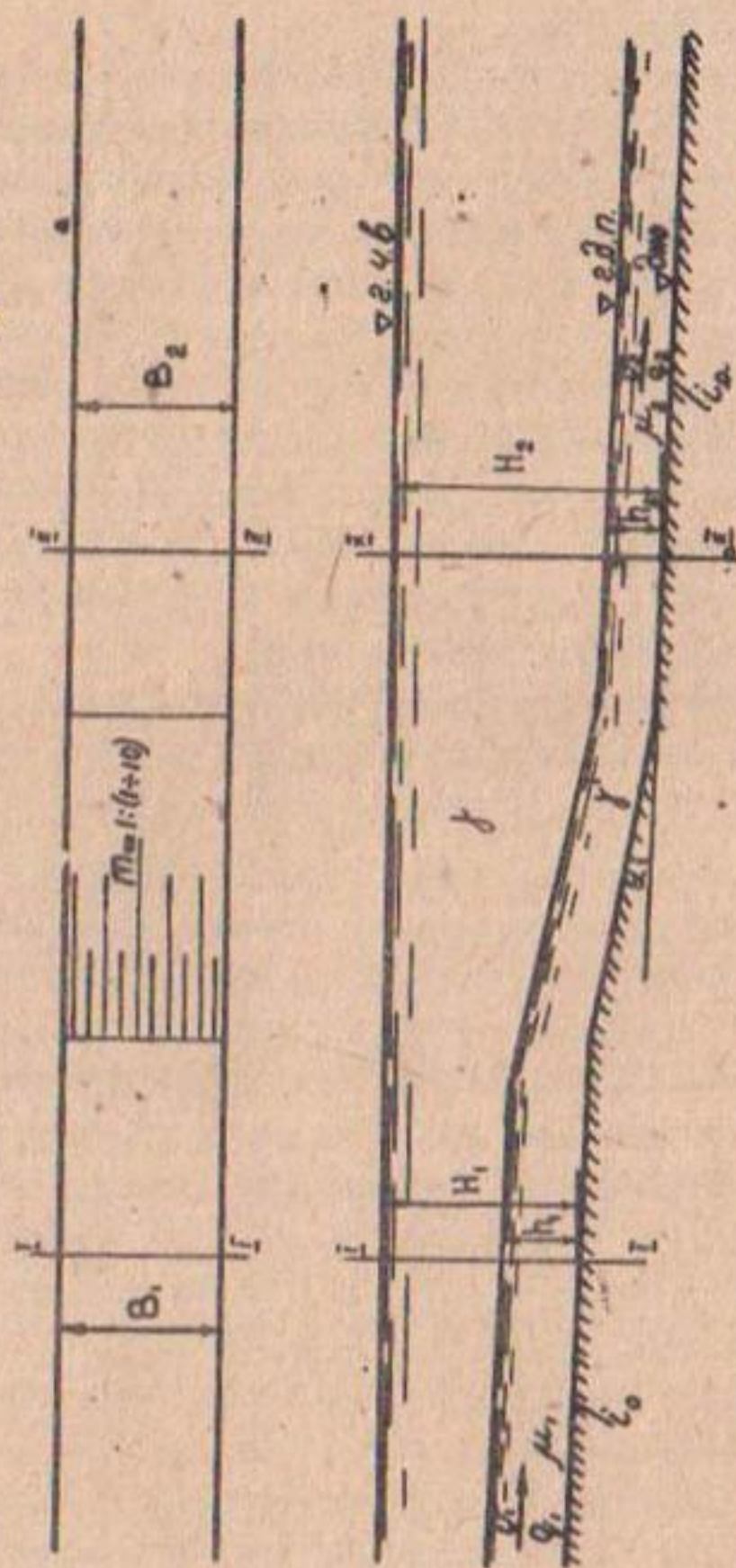


Рис.3. Движение плотного (донного) потока в случае расширения в вертикальной плоскости.

Глубина плотного потока в начале расширения близка к его критической глубине. Насыщение плотного потока в первом створе приблизительно равно насыщению в конечном, поэтому при последующих расчетах величины потерь на местные сопротивления от концентрации принимались по насыщению в первом створе.

Полученные результаты в условиях изменения ширины в вертикальной плоскости позволяют констатировать следующее. Граничная поверхность потока в верхнем участке створа расширения характеризуется убывающими значениями глубины: за створом расширения глубина плотного потока достигает минимума, а затем иногда наблюдается резкий скачок, называемый гидравлическим прыжком.

Так, гидравлический прыжок наблюдался в условиях расширения донного потока в вертикальной плоскости при наклоне дна лотка $\alpha = 45^\circ$.

Движение плотного потока ниже створа расширения имеет непрерывный характер. После расширения скорость его увеличивается. Влияние изменения направления течения проводилось при углах поворота 30° и 60° в том же экспериментальном лотке, что и предшествующие опыты. Однако в средней части лотка была сделана вставка, так что последующая его часть составляла с начальной угол в 120° или 150° . В конце прямолинейного участка лотка, в его правом борту, было сделано стеклянное окно для визуальных наблюдений (рис. 4).

Скорость продвижения плотного потока изучалась в 5-ти створах, а насыщение — в двух (в первом и четвертом). Всего было проведено 34 опыта при изменении расхода от 3 до 8 л/сек и насыщения от 2,6 до 9 кг/м³.

Визуальные наблюдения и измерения показали, что движение плотного потока вначале (до поворота) происходит так же, как и в первой серии при $\frac{\delta_e}{\delta_i} = 1$, затем на участке поворота наблюдается увеличение глубины с выпуклой стороны, после поворота уровни сравниваются. Сказывается, что глубина плотного потока в конце поворота больше, а скорость меньше, чем на участке до поворота.

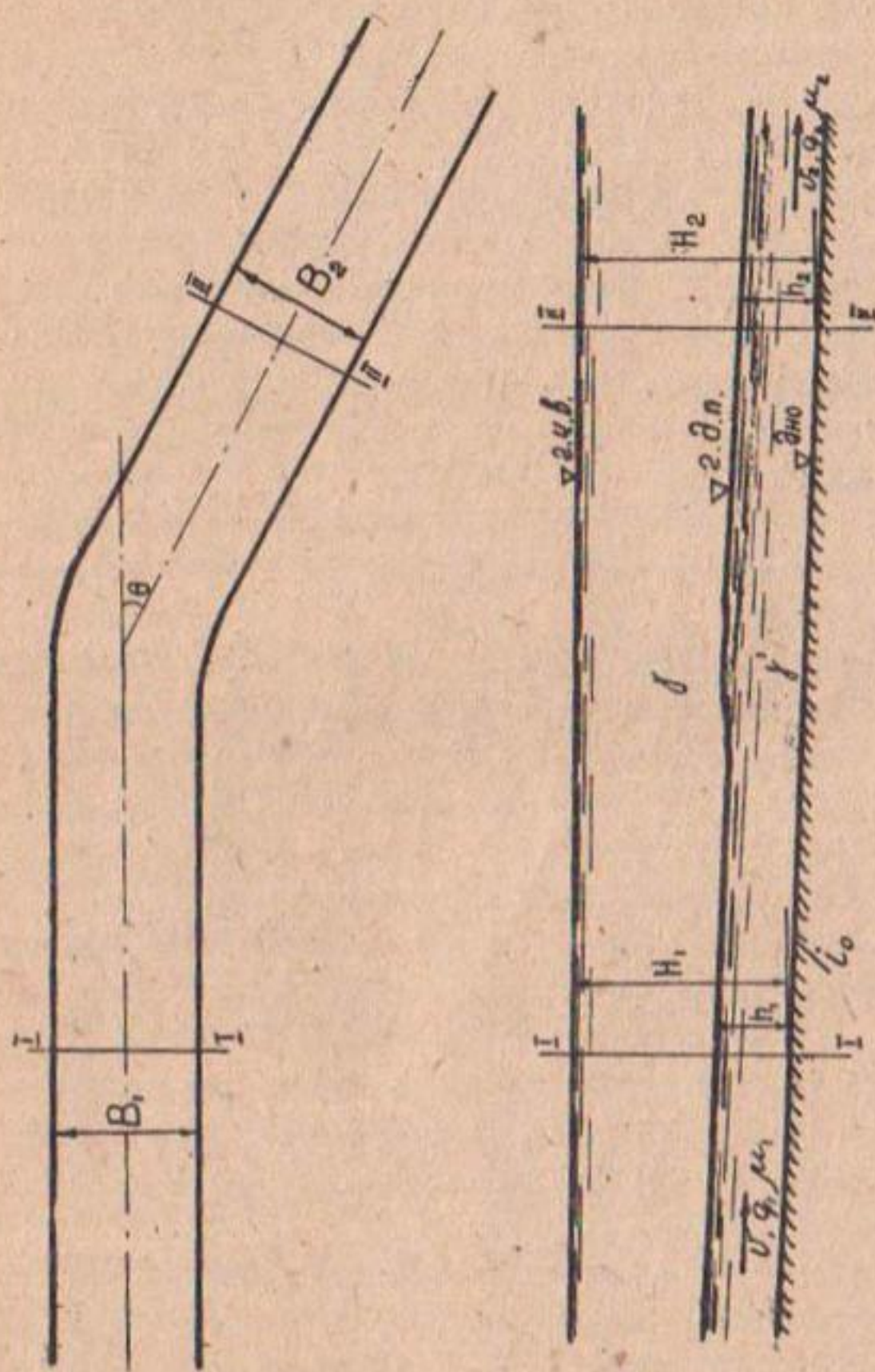


Рис. 4. Движение плотного (донного) потока в сужении направления течения в плане.

При проведении каждой серии опытов производились измерения глубины (толщины) плотного потока и ее изменения во времени (через каждые $t = 10$ сек.) и насыщения плотного потока в начальном и конечном створах.

Полученные во время опытов данные позволили

1) построить график $h = f(t)$, который дал возможность определить h_{ϕ} . Зная расчетную глубину, можно определить для каждого расхода среднюю скорость течения

$$V = \frac{Q}{h\rho};$$

2) вычислить скорость продвижения фронта $V_{\phi} = \frac{L}{t};$

3) построить график зависимости средней скорости течения плотного потока $V = \frac{Q}{h\rho}$ от скорости фронта плотного потока $V_{\phi};$

4) вычислить среднюю плотность потока, которая определялась по эпюре распределения по вертикали $\rho = f(y)$. По средним значениям плотности и скорости течения был построен график $\rho = f(V)$. Точность проведенных опытов оценивалась графиками зависимости $\rho = f(V)$ и $V = f(V_{\phi})$. Обработывались опыты, удовлетворяющие этим двум условиям;

5) вычислить параметр кинетичности (число Фруда)

$$F_r = \frac{V^2}{4f g h_1};$$

6) вычислить потери энергии на трение h_f . Для этой цели (для условий $\frac{B_2}{B_1} = 1$) пользовались уравнением (5). Нужно отметить, что полученные в первой серии величины потери энергии на трение использовались затем как аналог для трех опытов (при стеснении в горизонтальной плоскости, расширении в вертикальной и при измерении направления в плане).

Для условий опытов подбирали аналог (опыт с близким расходом Q и насыщением ρ) из первой серии (т.е. при $\frac{B_2}{B_1} = 1,0$), для которого величина потерь h_f была подсчитана.

Полученная величина потерь энергии h_e умножалась на корректирующий коэффициент K , т.е. $h_e = h_{e_{оп}} \cdot K$,

где K — корректирующий коэффициент, учитывающий изменение сечения (или длины) по сравнению с соответствующим опытом первой серии (при $B = const$).

Величина определялась в случае сужения $K = \frac{F_2}{F_1}$, в случае расширения в вертикальной плоскости и изменения направления течения в плане

$$K = \frac{L_1}{L_2},$$

где F и L — соответственно площадь поперечного сечения в створе и длина участка между створами I-I и 2-2;

7) вычислить потери энергии на местное сопротивление $(h_N)_{суж}$, $(h_N)_{рас}$ и $(h_N)_{пов}$ по уравнению (5);

8) вычислить коэффициент местного сопротивления по выражению $\xi_N = \frac{2g}{V_2^2} h_N$

Результаты этих опытов позволили дать расчетные графики для оценки коэффициентов сопротивления местных потерь

напора при сужении: $\xi_N = f\left(\frac{B_2}{B_1}, F_2' = const\right)$ (рис.5);

при расширении $\xi_N = f(\alpha, F_2' = const)$ (рис.6);

при повороте $\xi_N = f(\theta, F_2' = const)$ (рис.7).

Эти экспериментальные исследования, проведенные при измерении критерия F_2' в сравнительно большом диапазоне $0,6 < F_2' < 2,3$, позволили констатировать, что в отличие от однородного потока при сужении русла в плане (при $l = const$) характер течения остается неизменным, но глубина плотного потока увеличивается. Лишь в случае резкого сужения первоначальное устойчивое параллельноструйное движение плотного потока нарушается, однако, затем поток сразу же принимает устойчивый характер. Мутность на участке за сужением уменьшается за счет рассеивания ее в толще потока. Соответственно

из графика связи $\xi_{N_{суж}} = f\left(\frac{B_2}{B_1}, F_2' = const\right)$ можно видеть,

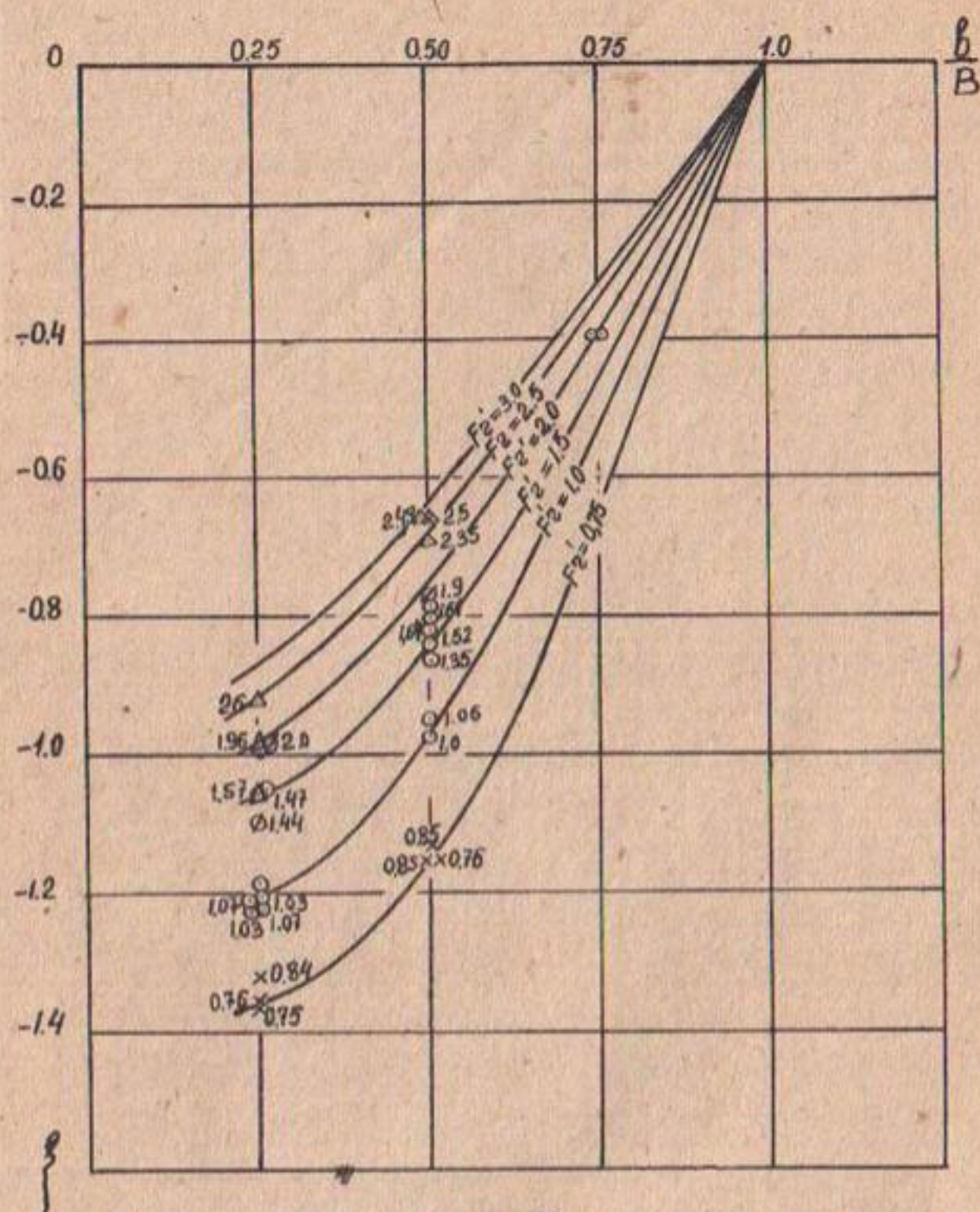


Рис. 5. Графики связи $\{u/u_0 = f(b/B), F_2' = const\}$ в случае сужения в горизонтальной плоскости.

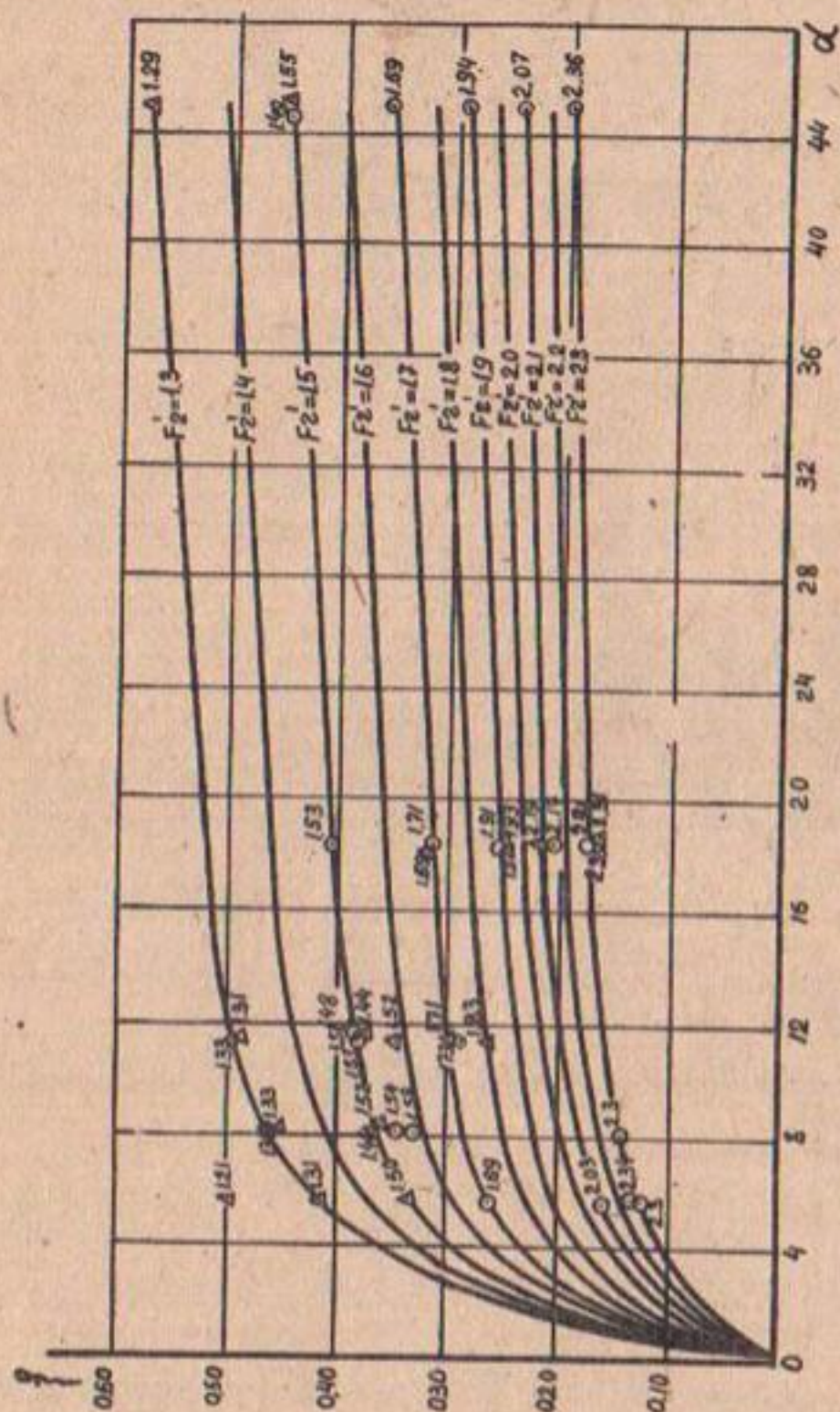


Рис. 6. График связи $f_{рас} = f(\alpha, F_2'/F_1' = const)$ в случае расширения в вертикальной плоскости.

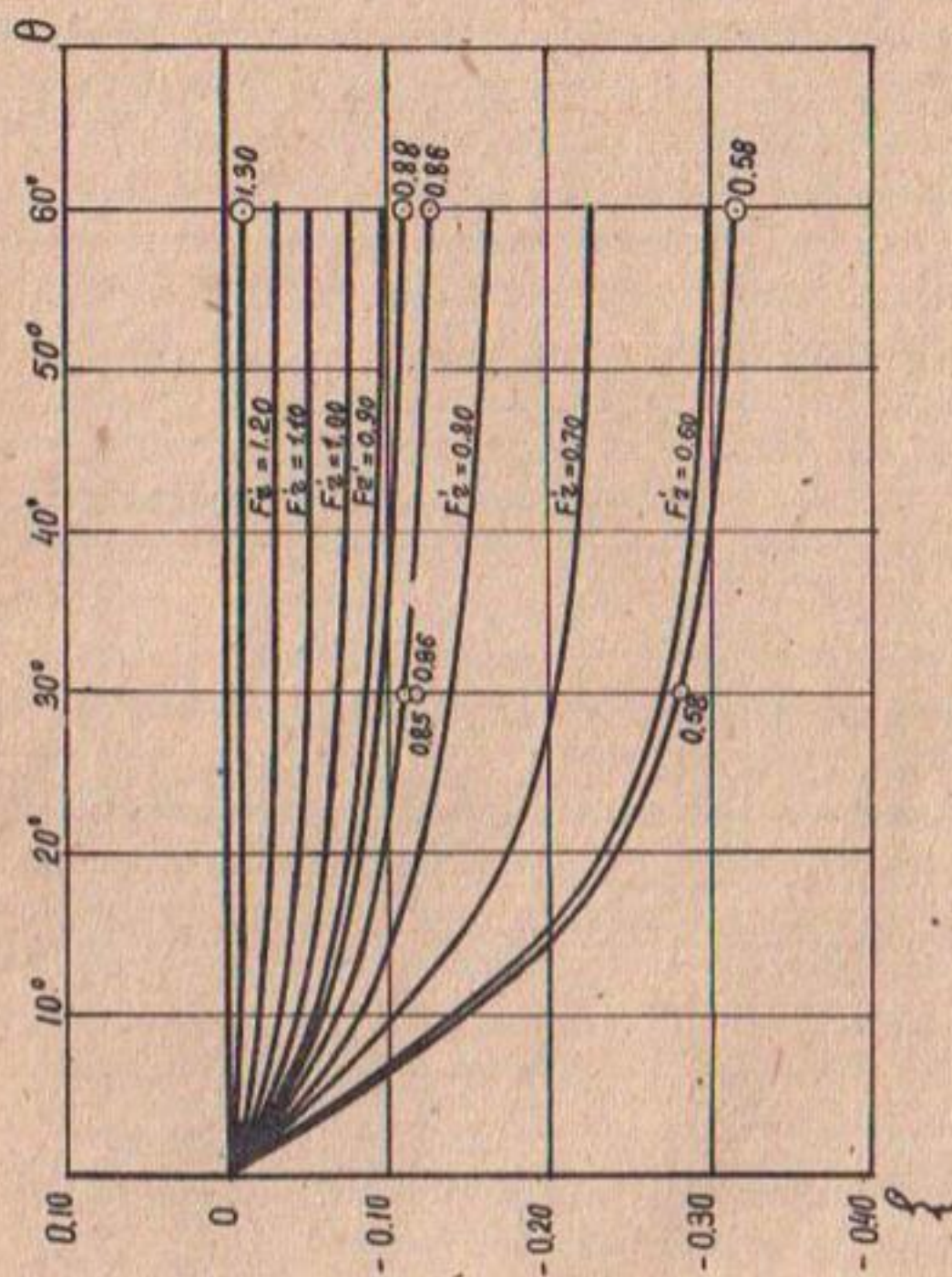


Рис. 7. График связи $\zeta_{\text{поп}} = f(\theta, F_z = \text{const})$ в случае изменения направления течения в плане.

что с возрастанием горизонтального стеснения значение коэффициента сопротивления ξ_N увеличивается (по абсолютной величине).

Наоборот, при уменьшении степени горизонтального стеснения величина коэффициента сопротивления уменьшается. При одной и той же степени стеснения величины коэффициента местного сопротивления тем больше, чем больше число F_r .

При увеличении уклона дна наблюдается уменьшение глубины плотного потока. В начале участка расширения в вертикальной плоскости глубина потока близка к критической. При этом в ряде случаев (при $\alpha = 45^\circ$, $m = 1:1$) наблюдалось явление, аналогичное гидравлическому прыжку. Из графика связи $\xi_{\text{м.пов}} = f(\alpha, F_r' = \text{const})$ можно установить, что большому значению F_r' соответствует меньшее значение коэффициента местного сопротивления, который при увеличении уклона дна увеличивается. И, наоборот, чем меньше величина уклона дна, тем меньше коэффициент сопротивления. При одной и той же величине уклона дна величина коэффициента сопротивления тем больше, чем меньше число Фруда.

При изменении направления движения плотного потока (поворот) глубина плотного потока у вогнутого берега была больше, чем у выпуклого. Однако в отличие от однородного потока глубина плотного потока в конце участка поворота увеличивается, в связи с чем уменьшается скорость течения плотного потока. Из полученных результатов и графиков связи

$\xi_{\text{м.пов}} = f(\theta, F_r' = \text{const})$ видно, что величина коэффициента местного сопротивления для рассматриваемого случая уменьшается при уменьшении угла поворота (угол θ).

Значение коэффициента местного сопротивления при одном и том же угле поворота тем больше, чем больше число Фруда.

С целью проверки полученных расчетных графиков были использованы данные наблюдений, проведенных на модели Нурекского водохранилища длиной $L = 90$ м, шириной от 0,40 до 8,0 м при глубинах от 0,6 до 2,5 м. На модели воссоздавались паводки среднего по водности и наносам года. При

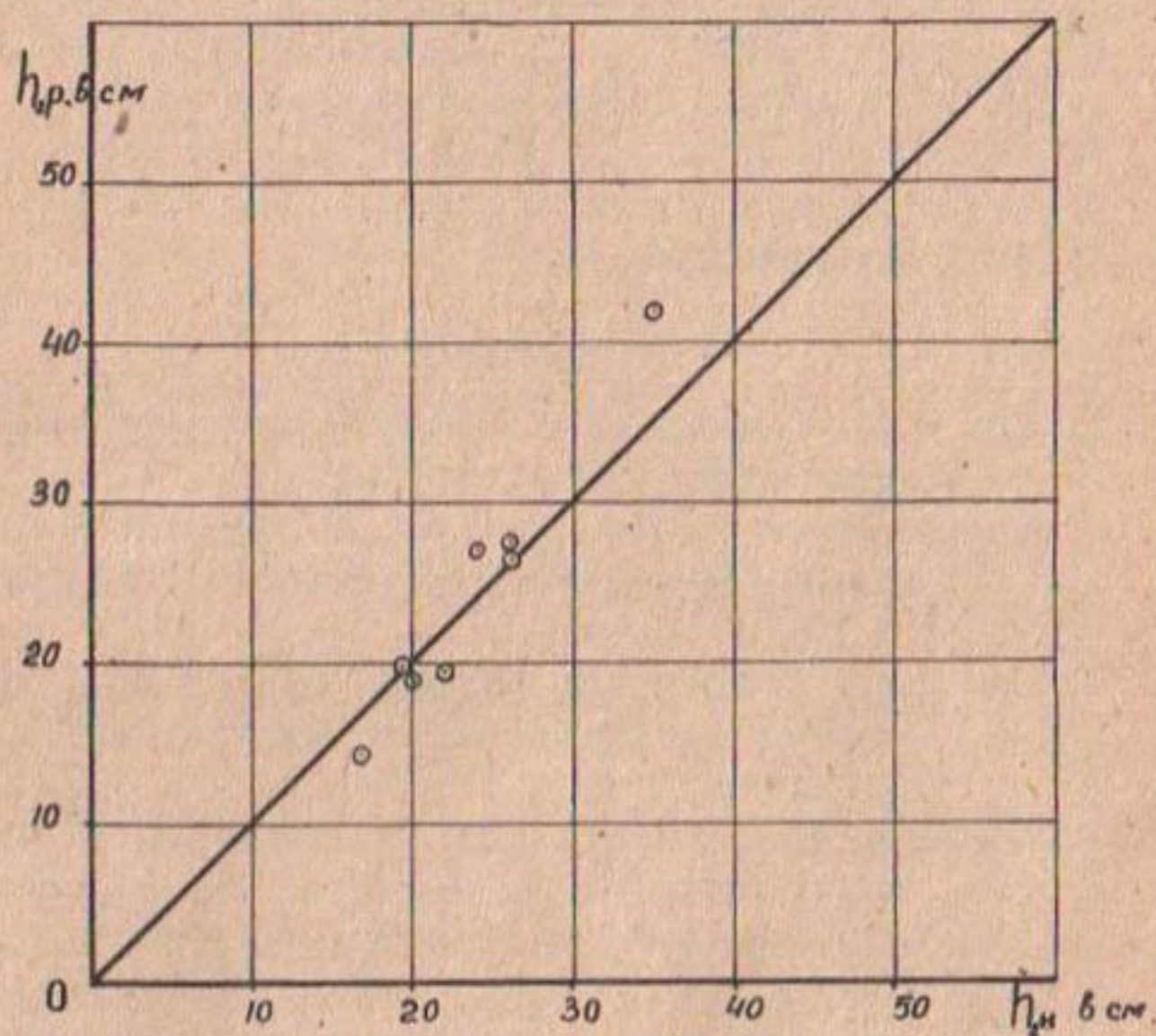


Рис.8.График сопоставления $h_{гн} = f(h_{рас})$ глубин
плотного потока.

этом проводились наблюдения за характером движения плотного потока и производились измерения его основных параметров по длине водохранилища. Сопоставление (рис.8) наблюдаемых глубин плотного потока, выполненных с помощью уравнений (В,14) и графиков $\xi_{м.сух} = f(\frac{v_2}{v_1}, F_1' = const)$, $\xi_{м.пог} = f(\alpha, F_1' = const)$ и $\xi_{м.пов} = f(\theta, F_1' = const)$, свидетельствует об удовлетворительной сходимости (отклонение расчетных значений от наблюдаемых находятся в пределах 8-10%). Все это позволяет рекомендовать их при расчете положения поверхности плотного потока в водохранилище.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леви И.И. Теория донных течений в водохранилищах, Известия ВНИИГ, т.62, Ленинград, 1959.
2. Леви И.И., Кулеш Н.П. Закономерность движения потоков большой мутности в водохранилищах, Труды ЛПИ № 208, Ленинград, 1959.
3. Леви И.И. Заиление водохранилищ, сооружаемых на реках, переносящих мелкую взвесь, Известия ВНИИГ, т.65, Ленинград, 1960.
4. Мухамедов А.М., Бочарин А.В., Мухамедов Я.С. К вопросу осаждения наносов в донном потоке, Сб. "Вопросы гидротехники", вып.24, Ташкент, 1965.
5. Мухамедов А.М., Кулеш Н.П., Мухамедов Я.С. Изучение условий образования и движения донного (плотного) потока в водохранилище Нурекской ГЭС, Сб. докл. второй межвузовской конференции "Движение наносов и гидравлический транспорт", М., 1968 (в печати).
6. Мухамедов Я.С. Исследование коэффициента сопротивления при движении плотного (донного) потока в водохранилищах, Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых, САНИИРИ, март, 1970.

7. Мухамедов А.М., Кулеш Н.П., Мухамедов Я.С. Условия образования и движения донного плотного потока в водохранилище Нурекской ГЭС, Труды ВАСХНИЛ "Заилечение водохранилищ и борьба с ним", Изд-во "Колос", Москва, 1970.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика, "Энергия", Л., 1970, изд. второе.

З.И.РЯДОВА, Т.И.ГОЛУБЕВА

ЩЕЛЕВОЙ КОНСОЛЬНЫЙ ВОДОСБРОС

Консольные сбросы широко применяются на ирригационных системах. Простота и экономичность данных сооружений, обусловленные отсутствием части сооружения, обобщенно имеваемой конструкцией нижнего бьефа, привлекают внимание инженеров-проектировщиков и исследователей.

Основная задача при конструировании и расчете консольного сброса заключается в обеспечении отгона струи на такое расстояние, с учетом возникающей воронки размыва, при котором исключается опасность подмыва опоры лотка. Абсолютная глубина воронки размыва — не единственный критерий, которым можно оценить преимущества одной конструкции консольного сброса перед другой. Не менее важный показатель — удаленность фокуса (наибольшей глубины) размыва.

Сейчас для уменьшения глубины размыва применяют различные трамплины и носки-расщепители, которые, разбивая и аэрируя струю, являются активными гасителями кинетической энергии ее.

Однако все конструкции трамплинов и расщепителей оказывают тормозящее действие на поток, уменьшая дальность отлета струи, и таким образом, находятся в противоречии с самой идеей консольного сброса, заключающейся в обеспечении максимального "разгона" потока в пределах лотка. Достижимое уменьшение глубины размыва сопровождается обычно приближением фокуса размыва к опоре.

При динамическом взаимодействии быстротекущей воды с элементами трамплинов сооружение может испытывать значительные вибрационные нагрузки. Существует также реальная возможность повреждения трамплинов и развития кавитационных явлений /1, 2/.

Вторжение струи в массу жидкости, движущейся со значительно меньшей скоростью, можно уподобить явлению удара /3/.

При этом процесс растекания струи обусловлен всасыванием ее поверхностью окружающей неподвижной массы жидкости, т.е. при движении струи на поверхности ее вследствие трения о неподвижную массу жидкости образуются вихревые кольца, которые и создают скорость всасывания. Таким образом растекающаяся струя рассеивает свою кинетическую энергию.

В потоке, ограниченном стенками, полный цикл движения складывается из засасывания жидкости струей и последующей отдачи жидкости в окружающее пространство вследствие появления градиента давления на свободной поверхности. При этом должен образоваться общий вихрь с постоянной циркуляцией.

В отводящем русле консольных сбросов наблюдаются встречные движения, выражающиеся в образовании водоворотов, направленных от периферии к опоре и далее — к месту падения струи. Эти вальцы являются главной причиной бокового размыва, оползания откосов и, в конечном итоге, — нарушения устойчивости опорной части сооружения. Нейтрализация вредного действия вальцов — неременное условие успешной борьбы с местным размывом вблизи опоры консоли.

Предлагаемая конструкция — щелевой консольный водосброс основывается на использовании свойств потока, позволяющих без создания торможения, т.е. без уменьшения дальности отлета основной струи, отщепить часть ее, погасить кинетическую энергию отщепленной части струи и направить ее в зону водоворота.

Воздействие тех или иных элементов конструкции для изменения направления или отбора части расхода затруднено из-за высокой кинетичности потока. Поэтому в предлагаемом типе консольного сброса отбор части расхода (для подачи его в зону вальца и создания гидравлической защиты опоры) производится из придонного слоя, где скорость потока меньше. Основная поверхностная часть потока — свободная от тормозящего действия выступающих частей какого-либо гасителя или расщепителя, с максимальной скоростью сходит с носка консоли.

Концевую часть лотка консольного сброса снабжают трамплинной плоскостью с щелевыми прорезями. Между щелевым

полом и дном лотка сохраняется полость, заполняемая водой, проникающей через прорези-щели. Эта полость ограничена с торца глухой стенкой, а с боков — стенками с отверстиями (рис. I, 2).

Угол подъема трамплинной плоскости невелик и должен назначаться из гидравлических условий так, чтобы не образовывался гидравлический прыжок; при этом наличие поднимающейся плоскости обеспечивает даже увеличение дальности отлета струи.

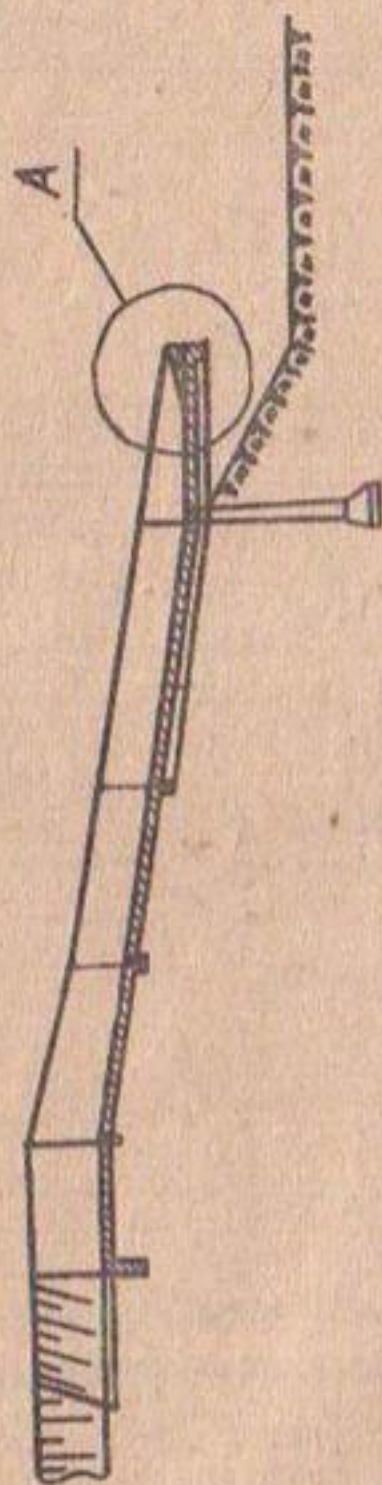
Количество и размеры щелевых прорезей трамплинной плоскости (верхний пол консоли) должны быть такими, чтобы через них проникала определенная часть воды (около 8-10% от общего расхода). Вода, поступившая в пространство между щелевым верхним полом и глухим полом консоли, полностью теряет кинетическую энергию и вытекает из отверстий в боковых стенках консольного сброса, образуя по обе стороны легкие водяные завесы.

Вследствие того, что живая сила воды, вытекающей с боков консоли, невелика, она не участвует в образовании воронки размыва; в то же время ниспадающие водяные завесы препятствуют размывающему действию боковых вальцов, преграждая им путь к опоре и, таким образом, играют роль своеобразной гидравлической защиты опоры консоли.

В гидротехнической лаборатории САНИИРИ проведены испытания одной из конструкций щелевого консольного водосброса на модели масштаба 1:30. Для сопоставления различных конструкций консоли и оценки размывающей способности потока в различных конструкциях определялись (при заданном расходе $Q_{\text{нот.}} = 50 \text{ м}^3/\text{сек}$ или $Q_{\text{н}} = 10 \text{ л/сек}$ и заданном фракционном составе размываемого материала) максимальная глубина и плановые очертания воронки размыва, удаление фокуса размыва от конца консоли.

В качестве размываемого материала использован чиназский песок со следующим фракционным составом и физико-техническими свойствами (табл. I).

Продольный разрез



План

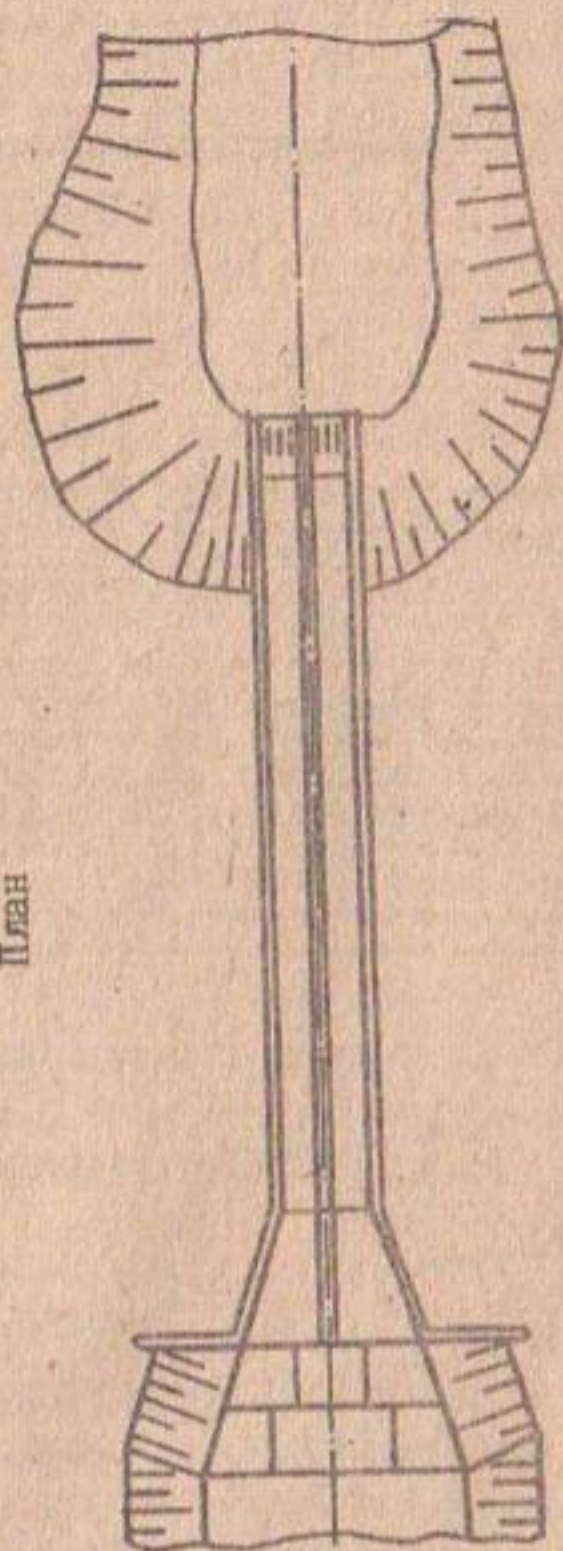
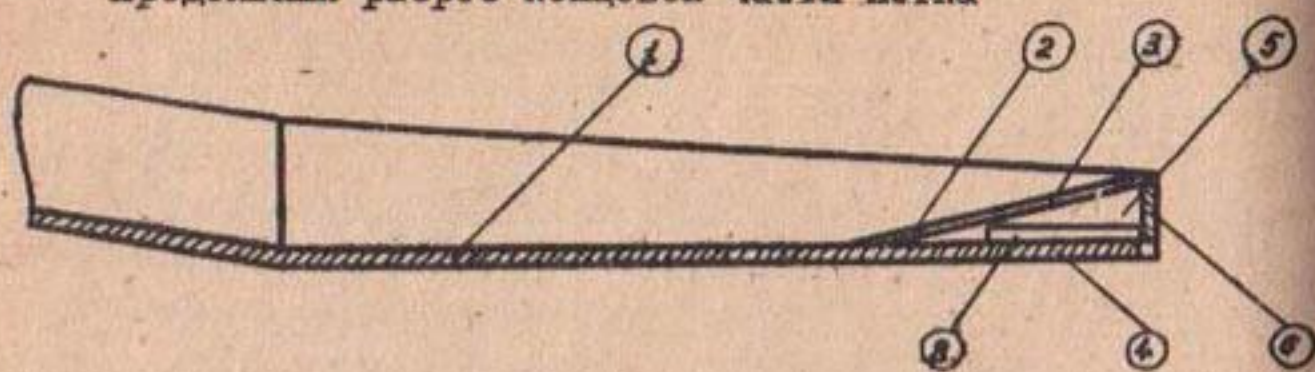
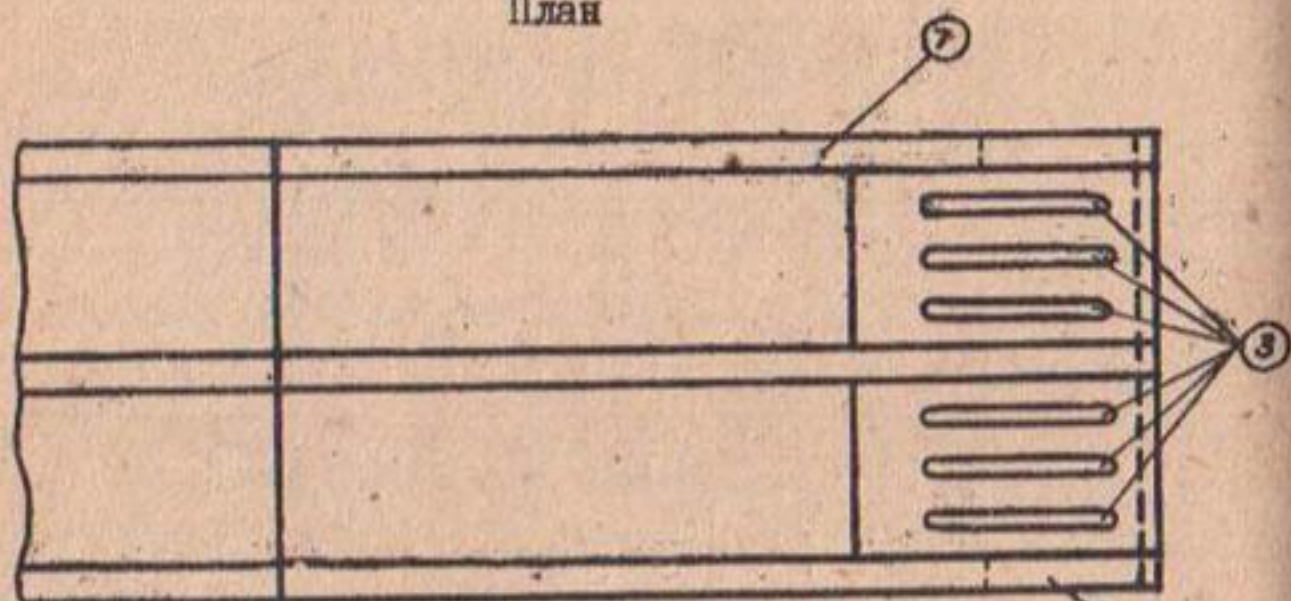


Рис. I. Общий вид сооружения.

Продольный разрез концевой части лотка



План



Боковая стенка лотка

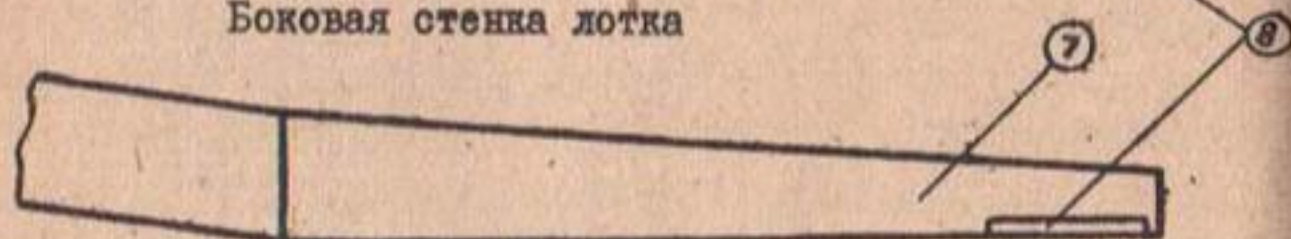


Рис.2. Элемент А.

1-концевая часть лотка; 2-трамплинная плоскость;
3-щелевые прорези; 4-глухое дно лотка; 5-полость;
6-глухая торцевая стенка; 7-боковые стенки;
8-отверстия в боковых стенках.

Таблица I

Размеры фракций, мм								Объемный вес, т/м ³	Удель- ный вес, т/м ³
0,25	0,25	0,50	1	2	3	5	7	рых- лого	уплот- нен- ного
62,30	35,06	1,60	0,36	0,15	0,27	0,22	0,04	1,33	1,54

Нижний бьеф модели имел достаточную протяженность (более $25h$, где h — глубина воды в отводящем канале) и был разбит на 5 поперечников через 50 см. По продольной оси воронки размыва замеры производились через 20 см. Опыты по размыву грунта для каждой из сопоставляемых конструкций продолжались не менее 8 часов.

Кроме того были произведены два опыта для оценки стабилизации воронки размыва во времени продолжительностью 12 часов. Опыты сгруппированы по сериям в зависимости от условий эксперимента. Результаты отражены в табл.2 и графическом материале (продольные профили воронки размыва, поперечники и т.д.) (рис.3).

Проведены четыре серии опытов, отвечающих четырем типам лотка консольного сброса:

- 1) щелевой лоток с продольным расположением щелевых прорезей;
- 2) гладкий лоток без специальных гасителей или расщепителей;
- 3) лоток с расширением концевой части и установкой трамплинов полигонального сечения;
- 4) щелевой лоток, с поперечными щелевыми прорезями.

Первая серия опытов проводилась для конструкции щелевого консольного сброса с продольными щелями. Выяснилось, что для стабилизации воронки размыва достаточно 7–8 час. (общая продолжительность опытов — 12 часов). Наиболее интенсивно процесс размыва протекал в первые 3–4 час., затем углубление и расширение воронки значительно замедлялись.

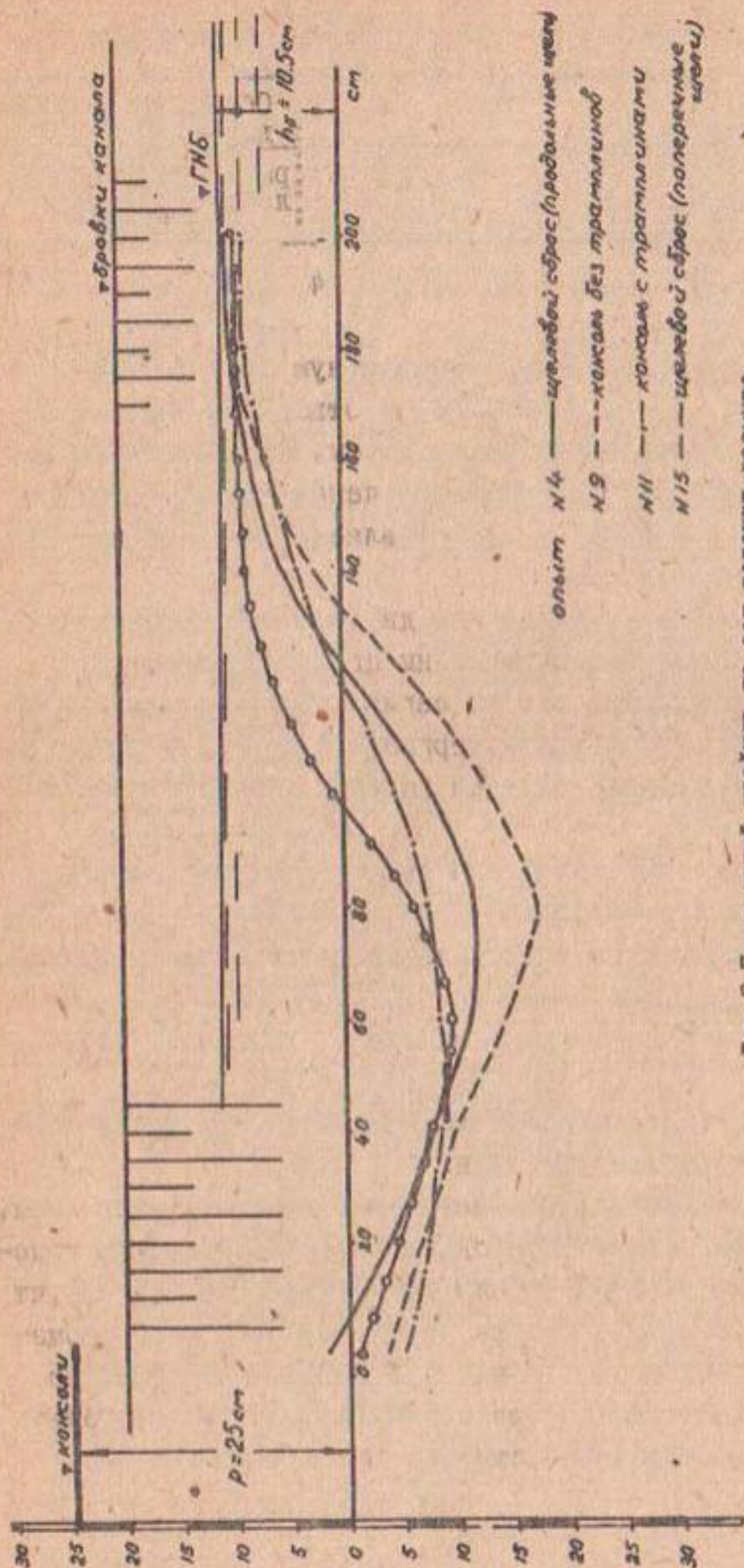


Рис. 3. Продольный профиль по оси воронки разрыва.

Серия	№ опыта	Время опыта, час.	Ширина лотка в конце консоли, см	Глубина размыва у конца консоли по оси сооружения, см	Максимальная глубина размыва у конца консоли, см	Максимальная глубина воронки размыва, см	Удаление фокуса размыва от конца консоли, см	Условия опыта
I	2	5	20	+2,3	+2,2	-13,7	70	Щелевой консольный сброс с продольными прорезями, ширина лотка в конце консоли $\delta = 20$ см, возвышение трамплинной плоскости $\sigma = 3,5$ см
	3	5	"	+1,4	-0,1	-11,1	50	
	4	8	"	+1,8	-0,8	-11,8	80	
	5	10	"	-1,8	-4,5	-12,4	80	
	6	12	"	-1,4	-4,0	-12,7	60	
	8	5	20	-2,9	-4,0	-12,5	60	Гладкая консоль без трамплинов, ширина лотка в конце консоли $\delta = 20$ см
	9	8	"	-3,5	-3,8	-17,1	80	
	10	5	24	-4,1	-6,2	-8,4	50	Консоль с полигональными трамплинами высотой $\sigma = 3,5$ см в конце консоли ширина лотка увеличена до $\delta = 24$ см
	11	8	"	-5,0	-8,3	-8,5	40	
	12	10	"	-5,5	-7,4	-9,7	40	
	13	12	"	-5,9	-9,3	-10,4	60	
IV	14	5	20	-1,8	-4,8	-7,4	30	Щелевой консольный сброс с поперечными прорезями, ширина лотка в конце консоли $\delta = 20$ см, возвышение трамплинной плоскости $\sigma = 3,5$ см
	15	7	"	-1,0	-2,8	-9,5	60	

Примечание. Все опыты произведены при постоянном расходе на модели $Q = 10$ л/сек и с постоянной глубиной нижнего бьефа $h = 10,5$ см

Характер воронки размыва подтверждает целесообразность преобразования структуры струи, достигаемого щелевым консольным сбросом. Глубина воронки размыва около конца консоли не превышает на модели 0,8 см (0,24 м для натур), максимальная глубина размыва — 11,8 см (3,54 м) удалена от конца консоли на расстояние 80 см (24 м).

Вторая серия опытов выполнялась для гладкой консоли без каких-либо специальных конструкций гасителей или расщепителей. Глубина размыва у конца консоли была 3,8 см (1,14 м), фокус размыва с максимальной глубиной — 17,1 см (5,13 м) удален от конца консоли на 80 см (24 м). Эта серия опытов подтверждает, что щелевой пол (трамплинная плоскость с прорезями) не оказывает тормозящего действия на струю, позволяя ей сохранить такую же дальность отлета, как при гладкой консоли, значительно уменьшая глубину размыва вблизи опоры консоли.

Третья серия опытов была проведена для консоли, расширенной на конце и оборудованной трамплинами полигональной формы. Характер воронки размыва в этой серии существенно отличается от предыдущих. Вблизи конца консоли глубина размыва достигает 8,3 см (2,49 м), максимальная глубина размыва сравнительно невелика — 8,5 см (2,55 м), но приближена к сооружению на расстояние 12 м.

Четвертая серия опытов проделана для щелевого сброса с поперечными отверстиями, которые, по нашему мнению, оказывают некоторое тормозящее действие на поток, уменьшая дальность отлета струи.

Проведение указанных экспериментов подтверждает перспективность применения конструкции щелевого консольного сброса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий Л.И. Основы теории управления бурными потоками, Изд-во Саратовского гос.ун-та, 1968.
2. Розанов Н.П. Вопросы проектирования водопропускных сооружений, работающих в условиях вакуума и при больших скоростях потока, Госэнергоиздат, М.-Л., 1959.
3. Теперин Н.И. Движение струи в массе жидкости, САОГИЗ, Ташкент, 1933.

ПОДБОР ОБРАТНЫХ ФИЛЬТРОВ,
ЗАЩИЩАЮЩИХ СИЛЬНОЗАПЫЛЕННЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ ПЕСКИ

С широким развитием мелиоративного строительства остро встал вопрос подбора обратных фильтров из естественных карьерных смесей без дополнительной их обработки.

В имеющихся рекомендациях /3,4/ обратные фильтры, защищающие несвязные грунты, подбирают из условия выполнения геометрических соотношений между частицами дренируемого грунта и диаметром пор фильтра.

Рассматривая сильнозапыленные мелкозернистые пески как слабосвязные, можно считать, что между частицами существует молекулярное сцепление. Разрушение связного грунта фильтрационным потоком произойдет в том случае, если нарушится молекулярное сцепление, в результате которого будет происходить отрыв частиц /4,6/.

Цель настоящей работы — определение характеристик, при которых не будет происходить отслаивания грунта около порн крупнозернистого материала при воздействии фильтрационного потока.

Исследования, проведенные в лаборатории фильтрации САНИИРИ, показали, что область применения карьерных грунтов, защищающих сильнозапыленные мелкозернистые пески, может быть значительно расширена.

Краткая характеристика
исследованных дренируемых грунтов

Грунты на глубине заложения закрытого горизонтального дренажа в Средней Азии (1,5-3 м от поверхности земли) представляют собой во многих случаях супеси и сильнозапыленные мелкозернистые пески. Встречаются также прослойки из глин и суглинков, но они довольно тонки и не играют решающей роли.

Пески резко отличаются по цвету (светло-оранжевые и темно-коричневые), по удельному весу, количеству пылеватых

частиц. По минералогическому составу зерен пески относятся к кварцево-пылевошпатовым. По весу 90-95% составляют фракции мельче 0,15 мм. Количество пылевой фракции колеблется от 1 до 60%. Форма зерен различна.

Свойства песчаных грунтов во многом зависят от присутствия на их поверхности оболочки из глинистых и коллоидных частиц /1,2,5/, благодаря которым меняется фильтрационная прочность песков.

Прибавление к песку пылеватых частиц, которые практически водонепроницаемы и с трудом отдают воду, значительно уменьшает пористость и может привести к появлению некоторой липкости /7/.

Гранулометрический состав исследованных дренированных грунтов (6 проб) представлен на рис.1.

Методика исследования деформации отслаивания

Опыты по отслаиванию слабосвязного грунта при напорном градиенте $J=0$ проводились в плексигласовых стаканах (рис.2).

Грунт загружался в стаканы с объемным весом $\gamma=1,4 \text{ т/м}^3$ при влажности 12%, пористость грунтов $m=0,31-0,33$.

В дне стакана сделаны отверстия, моделирующие диаметр поры крупнозернистого материала. Площадь отверстий составляла 20-25% от площади дна стакана, что соответствовало пористости крупнозернистого материала - фильтра. Перед началом загрузки в дно стакана вставляли поддон для избежания образования пузырьков воздуха в отверстиях, моделирующих поры крупнозернистого материала, который, поддерживая грунт, искажал бы картину отслаивания. Поддон имел выступы, диаметр которых точно соответствовал диаметру поры, а по высоте - толщине дна стакана. Стакан с грунтом и поддоном помещали в сосуд с теплой водой. Поддон вынимали обязательно в воде благодаря чему грунт в стакане соприкасался с водой через отверстия в дне. Диаметр отверстий в порах принимался равным 6, 5, 4, 3, 3 мм, т.е. с постепенным уменьшением его разме-

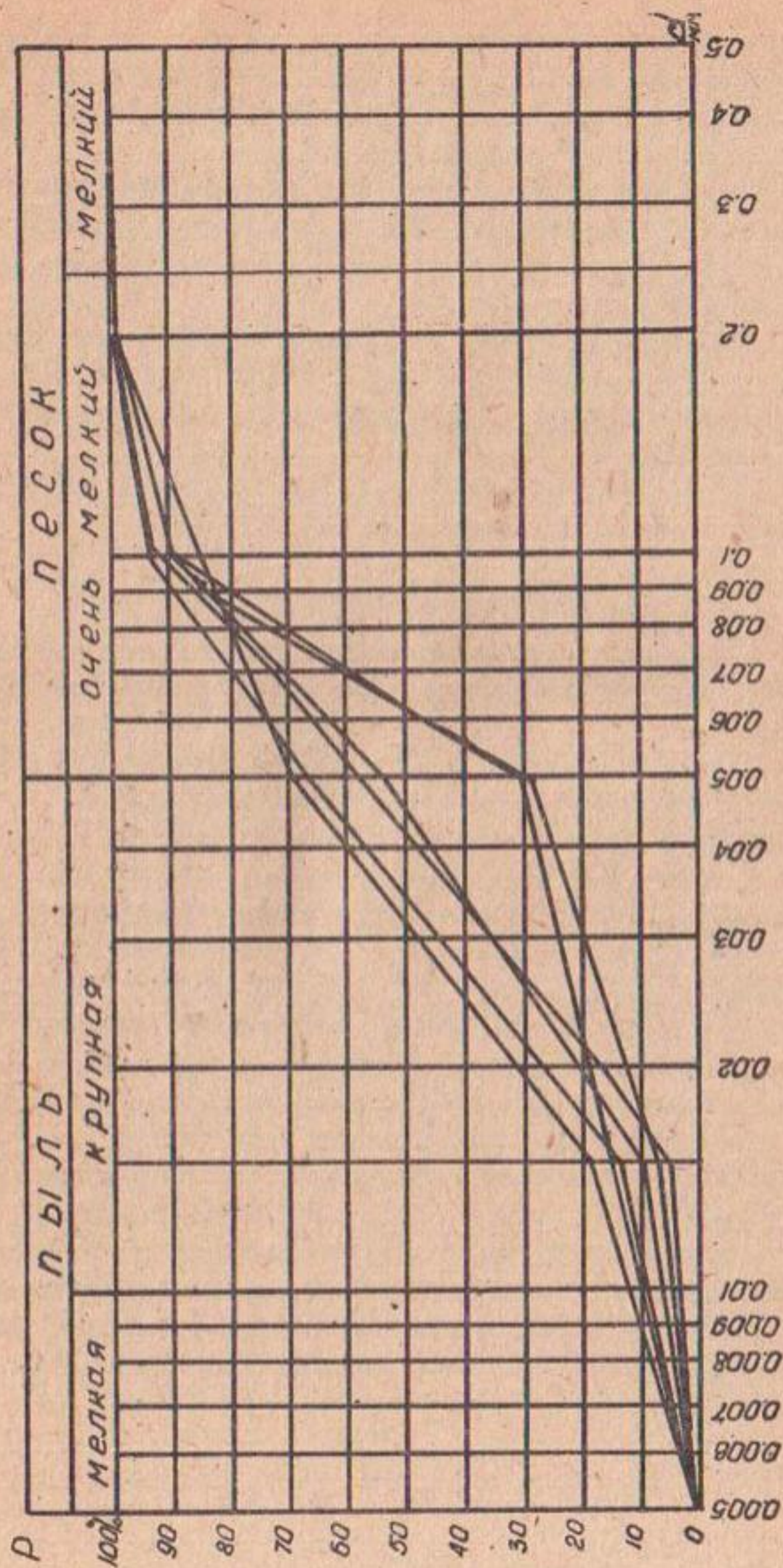


Рис. 1. Гранулометрический состав сильнозашпленных мелкозернистых песков.

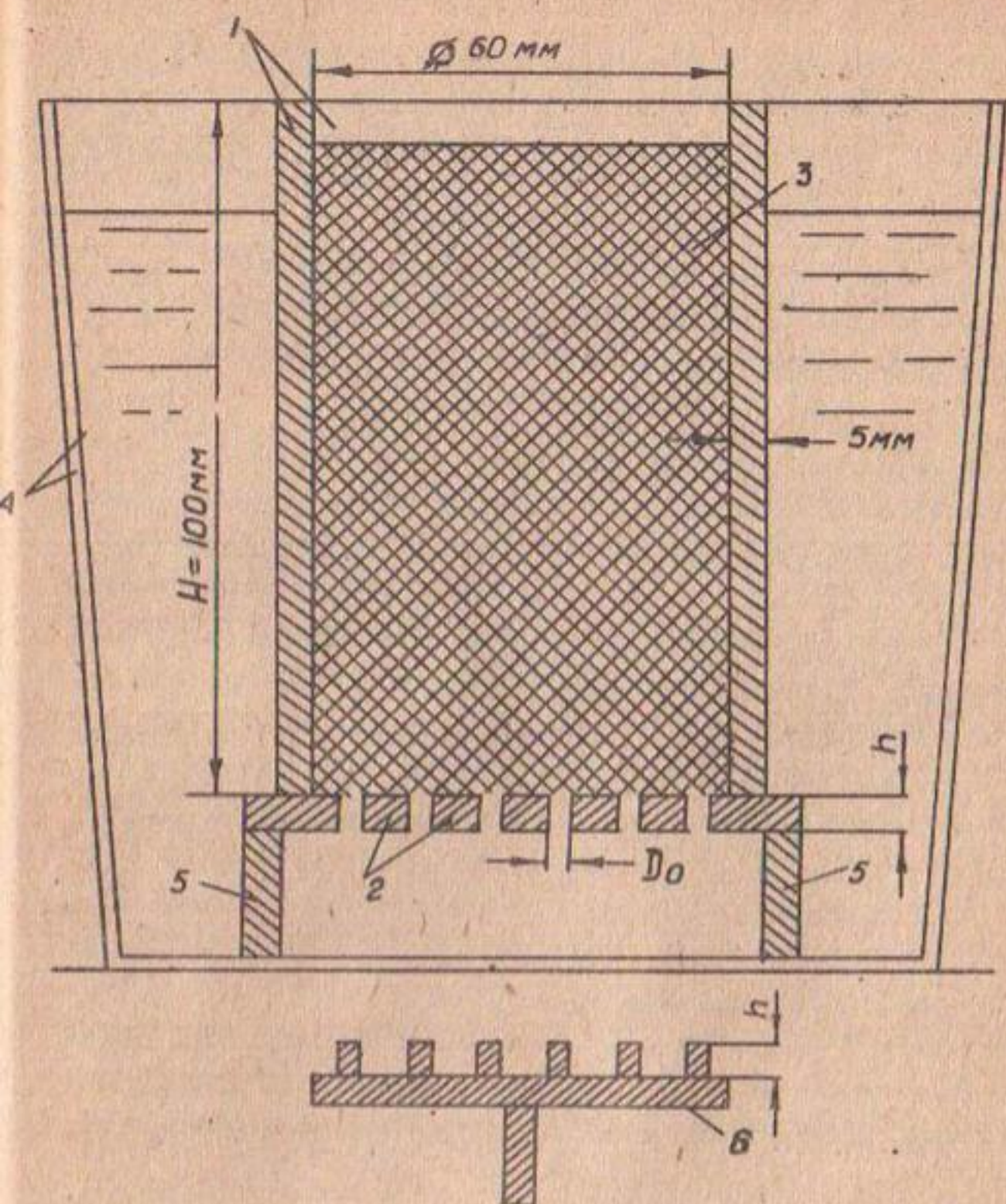


Рис. 2. Прибор для определения деформаций отслаивания связного грунта:
 1—цилиндр из плексигласа; 2—дно цилиндра с переменным размером D_0 ; 3—связный грунт; 4—сосуд с водой; 5—подставки; 6—поддон.

ров до величины D_0 , при котором отслаивания грунта не наблюдалось.

Исследование отслаивания слабосвязного грунта на контакте с крупнозернистым материалом — фильтром при напорном градиенте $J > 3$ проводили в фильтрационных плексигласовых трубах.

Экспериментальные исследования деформации
отслаивания связного грунта на контакте
с крупнозернистым материалом при отсутствии
фильтрационного потока

Опыты с мелкозернистыми пылеватыми песками, содержащими количество пылеватых частиц больше 20%, показали, что отслаивание происходит при диаметре моделируемой поры $D_0 > 2$ мм. В опытах с диаметром пор $D_0 = 3$ мм происходило вытекание образца. На поверхности образовывались провальные ямки. При диаметре пор $D_0 = 2$ мм наблюдалось частичное выпадение грунта в течение первых суток, затем образовывались устойчивые сводики и дальнейшего отслаивания не происходило. При диаметре пор $D_0 = 1$ мм отслаивания не наблюдалось (опыты 6I-77; табл. I).

Для определения условий прочности слабосвязного грунта (супесей с числом пластичности $W_p < 7$) в зоне контакта с крупнозернистым материалом была использована схема Г.Х.Праведного /6/. В результате была получена формула для определения расчетного диаметра пор крупнозернистого материала, при котором отслаивание слабосвязного грунта происходить не будет

$$D_0^{max} < D_{расч} = \sqrt{\frac{0,10}{J_p^{max} \delta_{об} \cos \theta}}, \text{ см}, \quad (I)$$

где D_0^{max} — максимальный размер пор фильтра, определяемый по одной из формул А.Н.Патрашева, М.П.Павчича, В.С.Истоминой /3,4/;

$\delta_{об}$ — объемный вес грунта в взвешенном состоянии;

J_p^{max} — максимальный расчетный градиент напора;

θ — угол между направлениями фильтрации и силы тяжести.

Таблица I

Результаты опытов по отслаиванию сильнозапыленных мелкозернистых песков
при отсутствии фильтрационного потока $J=0$, $w_p=0$

№ опыта	Продолжительность опыта	Наименование грунта	Модель :ручей :диаметр :пор	Глубина :отслаивания : Δz , мм	Примечание
61	1 месяц	Кирк-Кыз 6	2	2+3	Отслаивание в течение суток. В дальнейшем просыпание грунта не происходило
62	4 часа	"	3	10+15	Выпадение грунта с образованием провальной воронки на поверхности
63	2 месяца	"	1	Нет	Отслаивания не наблюдалось
64	1 день	Кирк-Кыз 7	3	10+15	Отслаивание. Выпадение грунта
65	1 месяц	"	2	I	Незначительное отслаивание в течение первых суток с образованием устойчивого свода
66	2 месяца	"	1	Нет	Отслаивания не наблюдалось
67	1 месяц	Кирк-Кыз 9	2	1+2	Отслаивание в течение суток. В дальнейшем просыпания грунта не наблюдалось
68	2 месяца	"	1	Нет	Отслаивания не наблюдалось
69	1 месяц	Кирк-Кыз 10	3	3+4	Частичное отслаивание
70	"	"	2	Нет	Отслаивания не наблюдалось
71	2 месяца	"	1	"	" " "
72	"	Кирк-Кыз 12	3	2+3	Частичное отслаивание
73	"	"	2	Нет	Отслаивания не наблюдалось
74	"	"	1	"	"
75	"	Кирк-Кыз 13	3	2+3	Отслаивание в течение первых суток
76	"	"	2	Нет	Отслаивания не наблюдалось
77	"	"	1	"	"

Лабораторные исследования показали, что отслаивание супесей не происходило при диаметре моделируемой поры $d_0 \leq 3$ мм.

Учитывая, что отслаивание сильнозапыленных мелкозернистых песков не происходило при диаметре моделируемой поры $d_0 < 2$ мм, то на основании экспериментов в формулу (1) вводится поправочный коэффициент $\alpha = 1/2$. В результате получаем зависимость для определения расчетного диаметра пор фильтра:

$$d_0^{max} = d_0^{расч} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,10}{j_{max}^p \cdot \cos \theta}} \quad \text{см.} \quad (2)$$

Лабораторные исследования
по проверке условия прочности слабосвязного грунта
на контакте с крупнозернистым материалом
при наличии фильтрационного потока

Максимальные возможные градиенты в придренной зоне гидротехнических и мелиоративных сооружений $j_{max}^p = 2,75 + 3,0$. Подставляя значение j_{max}^p в формулу (2)

$$d_0^{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,10}{j_{max}^p \cdot \cos \theta}} \approx 0,079 \text{ см.}$$

при перпендикулярном к фильтру направлении движения потока.

Для проверки условия прочности слабосвязного грунта на контакте с крупнозернистым материалом при напорном градиенте $J > 3$ были проведены опыты с естественными карьерными грунтами, приведенными с Голодной степи, Ахангарана, Южного Сурхана, поймы реки Ангрен, Каршинской степи. Гранулометрический состав и основные данные грунтов приведены на рис.3. Все грунты отличаются друг от друга по крупности входящих в его состав фракций, цвету, окатанности частиц, коэффициенту неоднородности, диаметру максимального хода частиц, процентному содержанию пылеватых фракций.

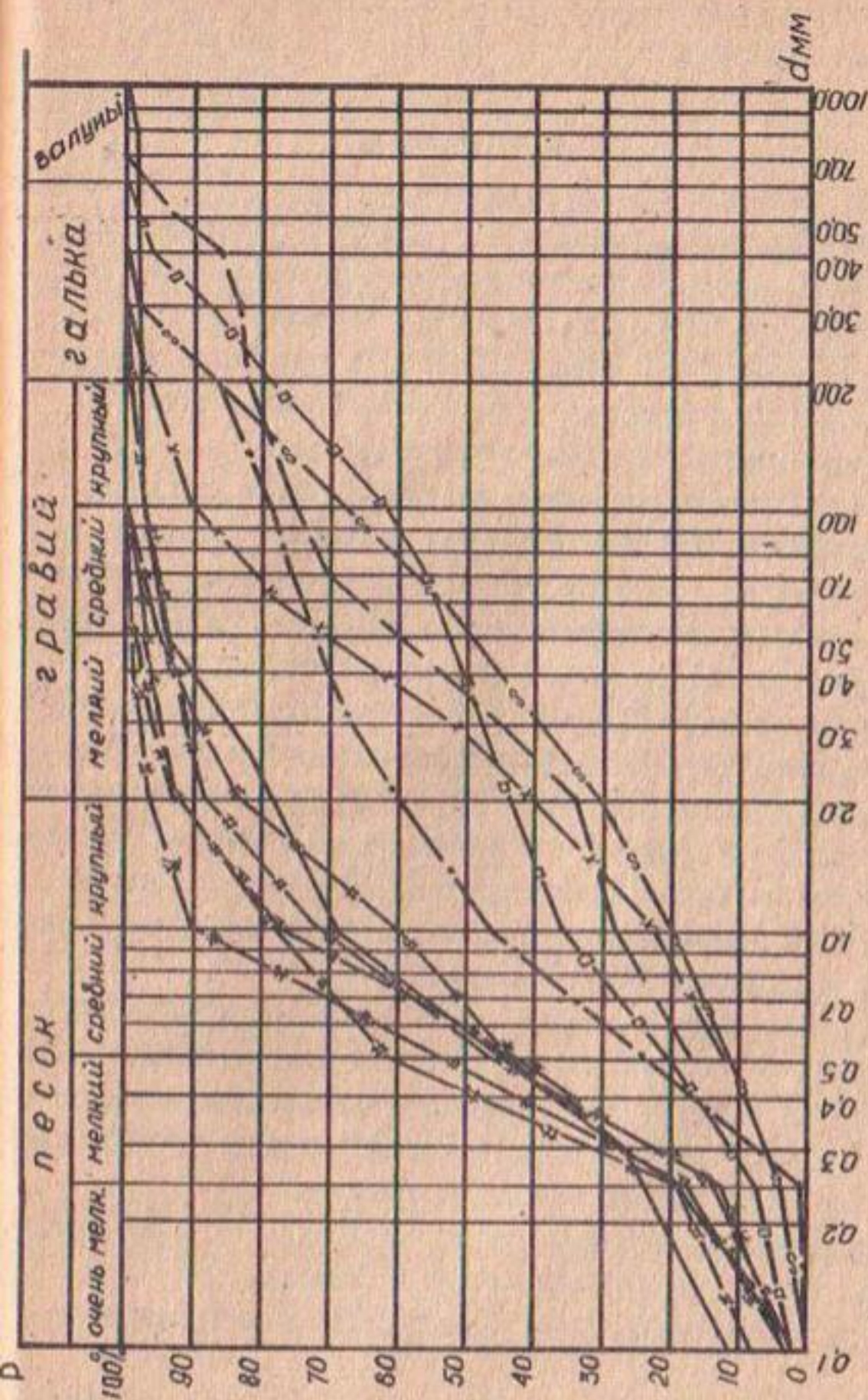


Рис. 3. Гранулометрический состав карьерных грунтов:

- # — левобережный № 6 } Ахангаран
 — • — Аблыкский (фальстр) }
 — ◻ — Ижний Сурхан № 11
 — * — Голодная степь № 5
 — — — Голодная степь № 3
 — — — Илансай № 3.

Карьерные грунты характеризуются следующими данными: коэффициент неоднородности $\gamma_p = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2,5 \pm 38$, количество частиц $D < 0,1$ мм 0,5–9,7%; $D_1 = 0,005 \pm 50$ мм, величина максимального диаметра поры $D_0 = 0,26 \pm 0,69$ мм.

Расчет, проведенный по инструкции ВНИИГ /3/, показал, что ни один карьерный грунт не может служить фильтром для несвязных грунтов либо по коэффициенту неоднородности, условию непросыпаемости, либо по количеству частиц $D < 0,1$ мм.

Следовательно, для того, чтобы исследованные карьерные грунты могли быть использованы в фильтрующую обсыпку, необходим отсев крупных и отмыв мелких фракций.

В случае, когда расчетные характеристики карьерных грунтов, предназначенных для обратных фильтров, выходят за пределы рекомендаций, предусмотренной инструкцией, следует запроектированные фильтры проверять в лаборатории /3/. Проведенные эксперименты доказали, что область применения обратных фильтров из естественных грунтов может быть значительно расширена. Мелкозернистый сильнозапыленный песок, привезенный из Каракалпакии (Кырк-Кыз 13), был исследован с карьерными грунтами из Ахангарана 8, Аблыкского карьера, а также с голодностепскими карьерными грунтами Илансая, Агалыксая, Айри (табл.2). С этими же карьерными материалами исследовался пылеватый и илистый песок Ахангарана.

Результаты опытов показали, что фильтрационная устойчивость дренируемого грунта увеличилась; максимальный напорный градиент был доведен до $J = 6,2$; суффозионных явлений не наблюдалось; в фильтре при этом градиент напора $J \approx 0$, следовательно, имеется большой запас прочности.

Коэффициент фильтрации сильнозапыленного песка остался таким же, как и при отдельном его изучении, что свидетельствует об отсутствии просыпания грунта и кольматации фильтра.

Пылеватая фракция $d < 0,05$ мм, находящаяся в количестве 20–60% в мелких песках, при определении гранулометрического состава методом сито-пипетки, вызывает сцепление, благода-

ря которому не наблюдается деформации отслаивания их от песчано-гравийного материала с $D_0 < 1$ мм при фильтрационном воздействии.

Таблица 2

Результаты совместного изучения
сильнозапыленных песков и фильтров

Грунты	$\delta_{т/м}^3$	Результаты исследования грунтов			Результаты совместного изуч. грунтов и фильтров		Диаметр пор, мм
		$J_{кр}$	K_{φ}	см/сек	$J_{кр}$	K_{φ}	
Кырк-Кыз I3 и Ахангаран 8	1,4	1,6	0,0001	> 6,2	0,0001	0,735	
Кырк-Кыз I3 и Аблык	1,4	1,6	0,0001	> 5,4	0,00012	0,35	
Кырк-Кыз I3 и Ахангаран 6	1,4	1,6	0,0001	> 6,8	0,0001	0,69	
Илистый песок Ахангарана (II) и Агальксая	1,4	0,57	0,0003	> 8,0	0,0003	0,115	
Пылеватый песок Ахангарана и Агальксая	1,4	1,1	0,003	> 7,0	0,003	0,115	
Кырк-Кыз I3 и грунт верхнего участка Айри	1,4	1,6	0,0001	> 9,0	0,0001	0,79	

Пример предлагаемого метода расчета

Для сравнения приведем расчет по "Инструкции" ВНИИГ /3/ по возможности использования Абыкского грунта в качестве обратного фильтра:

$$1) \frac{D_3}{D_{10}} > N \quad - \text{грунт суффозионный};$$

$$2) \eta_{\varphi} = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 18 > 15;$$

$$3) \text{условие непросыпаемости } \eta_M < \eta_M^{доп}$$

$$\eta_M = 21 > \eta_M^{доп} = 6,5 \text{ условие не выполняется};$$

$$4) \frac{\kappa_{\varphi}}{\kappa_r} \geq 2 + \sqrt{\eta_{\varphi}} \quad \text{условие водопроницаемости};$$

$$\kappa_{\varphi} = 0,1 \text{ см/сек}, \kappa_r = 0,0001 \text{ см/сек}, \text{условие выполняется.}$$

Следовательно, карьерный грунт Абыкского месторождения не является обратным фильтром к сильнозапыленному мелкозернистому грунту.

Проведем расчет по предлагаемому методу.

Гранулометрический состав грунтов, определенный методом сито-пипетки, следующий:

грунт Абыкского карьера содержит в своем составе частиц < 20 мм - 12,34%; < 5 мм - 38,68%; < 1 мм - 29,25%; < 0,1 мм - 17,37%; > 0,1 мм - 2,36%;

мелкозернистый песок - < 0,25 мм - 0,1%; < 0,1 - 9,41%; < 0,05 - 61,51%; < 0,01 - 21,81%; > 0,01 мм - 7,13%.

Коэффициент неоднородности карьерного грунта $\eta_{\varphi} = 18$.

Количество частиц $d_i < 0,1 \text{ мм}$; 2,36% < 10%.

Коэффициент неоднородности мелкозернистого песка

$$\eta_r = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,072}{0,018} = 4,0.$$

Количество пылеватых частиц $d_i < 0,05 \text{ мм}$ составляет 29,94%. Следовательно, мелкозернистый песок - сильнозапыленный.

Максимальный размер пор крупнозернистого материала (Аблыкского)

$$D_o^{max} = \chi \varrho \frac{m_\varphi}{1 - m_\varphi} D_n = 0,350 \text{ мм},$$

где $\chi = 1 + 0,05 \quad \eta = 1,91; \quad m_\varphi = 0,25; \quad D_n = 0,75 \text{ мм};$
 $\varrho = 0,455 \quad \sqrt[6]{\eta} = 0,74 \text{ мм}.$

Допустимый размер пор фильтра

$$D_o^{расч.} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Q_{10}}{J_{max}^p + \cos \theta}} = 0,79 \text{ мм. при } \theta = 90^\circ; \quad J_{max}^p = 3.$$

Следовательно, $D_o^{max} < D_o^{расч.}$

Условие водопроницаемости выполняется

$$\frac{\kappa_\varphi}{\kappa_r} > 2 + \sqrt{\eta}$$

Следовательно, карьерный грунт Аблыкского месторождения является обратным фильтром к сильнозапыленному мелкозернистому песку, что подтвердилось как лабораторными, так и натурными данными.

В ы в о д ы

Силы сцепления в слабосвязных и сильнозапыленных мелкозернистых грунтах обусловлены содержанием в них коллоидов и большого процента пылевой фракции $d < 0,05 \text{ мм}$ в количестве 20–60%, благодаря чему отслаивания исследованных грунтов не происходило при напорном градиенте $J = 0$, в случае, если максимальный диаметр пор фильтра $D_o < 3 \text{ мм}$ для супеси и $D_o < 2 \text{ мм}$ для сильнозапыленных песков. При $J > 3$ отслаивания не наблюдалось с диаметром поры фильтра $D_o < 1 \text{ мм}$.

Защита сильнозапыленного мелкозернистого грунта от воздействия фильтрационного потока с градиентом J будет обеспечена в том случае, если подобранный гранулометрический состав крупнозернистого грунта при самой невыгодной его раскладке (расслаиваемости) будет иметь максимальный размер пор D_o^{max} меньше расчетного значения $D_o^{расч.}$, определяемой по формуле (2).

Должно выполняться условие водопроницаемости

$$\frac{\kappa_{\phi}}{\kappa_r} > 2 + \sqrt{\eta_{\phi}}$$

Карьерные грунты, применяемые в качестве обратных фильтров к ним, могут быть как несуггезионными, так и суггезионными.

Допустимое количество фракций $\mathcal{D}_0 < 0,1$ мм может достигать 8-10%, коэффициент неоднородности фильтра

$$\eta = \frac{\mathcal{D}_{60}}{\mathcal{D}_{10}} \leq 35.$$

Возможность использования естественных карьерных смесей без дополнительной их обработки в качестве обратных фильтров, защищающих сильнозапыленные мелкозернистые пески, даст большой экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов Н.Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве, М., Госэнергоиздат, 1956.
2. Дерягин Б.В. Исследования по внешнему трению и прилипанию. Теория прилипания, "Журнал физической химии", т.6, вып.10, 1935.
3. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений, ВНИИГ, ВСН-02-65, ГИДРОСТРОИТЕЛЬ СССР.
4. Истомина В.С. Фильтрационная устойчивость грунтов, Гос.изд.лит.по стрит.и архит., М., 1957.
5. Малкина А.Д., Дерягин Б.Д. Прилипание кварцевых нитей в водных средах, Коллоидный журнал, т.12, № 6, 1950.
6. Праведный Г.Х. Проектирование и подбор гранулометрического состава фильтров переходных зон высоких плотин, Изд-во "Энергия", 1966.
7. Сергеев Е.М. Грунтоведение, Изд-во МГУ, 1959.

РЕФЕРАТЫ

к выпуску 134 Трудов САНИИРИ им.В.Д.Журина
(Русловые процессы, гидравлика сооружений,
гидротехнические сооружения)

УДК 624.01

УСКОРИТЕЛЬ ВКЛЮЧЕНИЯ СИФОНА

С.И.КЕБЕРЛЕ, В.В.ПЕРЕПЕЛКИНА

Труды САНИИРИ, вып.134, 1971

В статье приводятся причины, вызвавшие разработку нового ускорителя включения сифона, описание его устройства, принцип действия и техническая характеристика.

Даны результаты пусконаладочных работ по введению в эксплуатацию четырех построенных сифонных перегородивающих сооружений на левой ветке Шерабадского магистрального канала.

Таблица I. Рисунков 4.

УДК 627.81

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ АЗИИ

М.С.КОЖЕВНИКОВА, И.В.ОСАДЧАЯ

Труды САНИИРИ, вып.134, 1971

Статья содержит сведения по 56 водохранилищам Средней Азии, которые могут быть использованы проектировщиками в качестве аналога.

На основании проектных и эксплуатационных материалов собраны технико-экономические показатели водохранилищ Узбекской, Туркменской, Таджикской и Киргизской ССР.

УДК 626

НАТУРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ НИЖНИХ БЬЕФОВ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ НА ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

Ш.А.ИБРАГИМОВ

Труды САНИИРИ, вып.134, 1971

В статье приводятся результаты обследования работы нижних бьефов 88 типовых сооружений на ирригационной сети Голодной степи и Ташкентской области, причина разрушений рекомендации по пределам применения рассматриваемых типовых сооружений.

УДК 627.51

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА
ПЛОТНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ВОДОХРАНИЛИЩУ

Я.С.МУХАМЕДОВ

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

Для оценки характера движения плотного потока в водохранилище получены зависимости в непризматических руслах с применением уравнения количества движения.

Полученные зависимости позволяют вычислить положение поверхности раздела плотного потока, оценить величину насыщения его мельчайшими наносами на этом участке водохранилища. Однако в статье рассматривается положение поверхности раздела плотного потока в зависимости от одного вида сопротивления.

Рисунков 4.

УДК 626.01

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ШЕРОХОВАТОСТИ РУСЕЛ РЕК
ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ЧИРЧИК-АХАНГАРАНСКОГО БАССЕЙНА

Н.И.ЗУДИНА

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

Разработка норм для определения коэффициентов шероховатости русел рек Чирчик-Ахангаранского бассейна проводилась на основе статистической обработки гидрометрических данных с использованием логарифмической зависимости И.И.Агроскина. Вычисленные коэффициенты шероховатости принимались как наиболее надежные и сравнивались с результатами других формул и шкал коэффициентов шероховатости, получивших широкое применение в практике гидравлических расчетов.

Результаты сопоставления позволили рекомендовать при оценке коэффициентов шероховатости в створах неизученных рек горно-предгорной зоны ряд эмпирических формул, исходящих из учета размеров абсолютной шероховатости русел В.Н.Гончарова, А.М.Мухамедова, Бойера, Ласея.

Таблиц 2. Рисунков 2.

ВЫБОР ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ШЕЗИ ДЛЯ РЕК ЧИРЧИК-АХАНГАРАНСКОГО БАССЕЙНА

Н.И.ЗУДИНА

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

На основании использования гидрометрических данных по створам рек Чирчик-Ахангаранского бассейна рассчитывались скоростные коэффициенты C из формулы Шези и исследовались виды зависимостей:

$$C = f_1(h_{cp}), C = f_2(lg h_{cp}), lg C = f_3(lg h_{cp})$$

Критерием надежности формул для определения скоростного множителя Шези явились высокие коэффициенты корреляции между переменными C и h_{cp} и отсутствие обратного внутригодового хода, вычисленных из этих формул коэффициентов шероховатости от горизонта воды. Этим требованиям для русел любой устойчивости удовлетворяет уравнение И.И.Агроскина в общем виде:

$C = \frac{1}{n} + B lg h_{cp}$, как наиболее соответствующее структуре турбулентного потока.

Уравнение показательного вида $C = \frac{1}{n} \cdot h_{cp}^x$ удовлетворяет тем же требованиям только для устойчивых участков русел рек.

Уравнение линейного вида $C = \frac{1}{n} h_{cp} + b$ имеет неправильную структуру и не может быть использовано в расчетах.

Таблиц 2. Рисунков 3.

РАЗМЫВ ПАДАЮЩИХ СТРУЙ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ РАЗМЫВАЕМОГО ГРУНТА

А.НАБИЕВ

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

На основе общеизвестной формулы по определению глубины размыва падающих струй вводятся некоторые уточнения и используются результаты исследований о влиянии аэрации потока, учета наклона струи и комплексной характеристики грунта на глубину размыва.

Предлагается зависимость формулы для определения глубины размыва падающих струй

УДК 627.511 $t = 0.455 \cdot K_a \cdot K_{fp} \cdot K_k \cdot q^{0.60} \cdot Z^{0.10}$

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕВЫХ ВЫНОСОВ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Р.Г. ВАФИН

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

Продукты переноса твердой фазы селевых потоков нами названы селевыми выносами.

Выносы саев, даже небольшие, значительно затрудняют эксплуатацию каналов и гидротехнических сооружений.

На примере исследований выносов северной и северо-западной частей Ферганской долины нами сделана попытка установить некоторые закономерности формирования стока наносов указанных районов.

Найдена связь количества выносов от расходов воды и средневзвешенного уклона русла J . Произведение $JQ = K$ показывает работу потока. Определено также значение K , при котором начинается формирование стока влекомых наносов в зависимости от среднего диаметра отложений.

Таблица 1. Рисунков 2.

УДК 627.51

РАСЧЕТ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛОТНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ВОДОХРАНИЛИЩУ

Я.С. МУХАМЕДОВ

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

В статье дается оценка характера движения плотного потока в водохранилище в непризматических руслах с применением уравнения Бернулли для неравномерного установившегося плотного потока. Экспериментально получены коэффициенты местного сопротивления. Полученные зависимости и графики связи позволили последовательно по длине водохранилища вычислить глубину плотного потока и тем самым оценить его положение перед гидроузлом.

Рисунков 8.

ЩЕЛЕВОЙ КОНСОЛЬНЫЙ ВОДОСБРОС

З.И.РЯДОВА, Т.И.ГОЛУБЕВА

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

В статье описывается конструкция консольного сброса, позволяющая отдалить место падения сосредоточенной струи и создать гидравлическую защиту опоры консоли легкими водяными завесами.

Рассматривается физическая картина явления растекания струи в нижнем бьефе консольного сброса. Приводятся результаты нескольких серий экспериментов, позволяющие сделать вывод о целесообразности применения щелевого консольного сброса.

Таблиц 2. Рисунков 3.

ПОДБОР ОБРАТНЫХ ФИЛЬТРОВ,

ЗАЩИЩАЮЩИХ СИЛЬНОЗАПЫЛЕННЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ ПЕСКИ

С.И.СТОРОЖУК

Труды САНИИРИ, вып. 134, 1971

Рассматривается вопрос отслаивания сильнозапыленных песков при отсутствии и при наличии фильтрационного потока. На основе экспериментов предложена зависимость для подбора обратных фильтров, защищающих сильнозапыленные мелкозернистые пески, содержащие количество частиц с диаметром 0,05 мм больше 20% при определении гранулометрического состава грунтов методом сито-пипетки.

Таблиц 2. Рисунков 3.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

С.И.КЕБЕРЛЕ, В.В.ПЕРЕПЕЛКИНА. Ускоритель включения сифона.....	3
М.С.КОЖЕВНИКОВА, И.В.ОСАДЧАЯ. Основные параметры водохранилищ Средней Азии.....	14
Ш.А.ИБРАГИМОВ. Натурные обследования работы нижних бьефов гидросооружений на ирригационных каналах.....	26
Я.С.МУХАМЕДОВ. К вопросу о расчете положения поверхности раздела плотного потока при его движении по водохранилищу.....	30
Н.И.ЗУДИНА. О коэффициенте шероховатости рек горно-предгорной зоны Чирчик-Ахангаранского бассейна.....	47
Н.И.ЗУДИНА. Выбор формулы для расчета коэффициента Шези для рек Чирчик-Ахангаранского бассейна..	62
А.НАБИЕВ. Размыв падающих струй с учетом свойств размываемого грунта.....	78
Р.Г.ВАФИН. Исследование селевых выносов Ферганской долины.....	95
Я.С.МУХАМЕДОВ. Расчет положения поверхности плотного потока при его движении по водохранилищу	105
З.И.РЯДОВА, Т.И.ГОЛУБЕВА. Щелевой консольный водосброс.....	126
С.И.СТОРОЖУК. Подбор обратных фильтров, защищающих сильнозапыленные мелкозернистые пески.....	136
Рефераты к выпуску 134 Трудов САНИИРИ.....	149

Редакторы: И.И.Кондратьева, Б.Ф.Калягина

Корректор Яхьяева Р.П.

Р-10572 Подписано в печать 4.УІ.7Іг.Формат бумаги
50х60 1/8 Усл.п.л.10 Заказ 1577 Тираж 300 экз.
Цена 1 руб.

Картфабрика ин-та "Узгипрозем", Ташкент, мухими, 176