

6
А-1
АКАДЕМИЯ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР

Институт энергетики

На правах рукописи

Аспирант ПОНЕР П. А.

БОРЬБА С НАНОСАМИ НА ГОРНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ УЗЛАХ ГЭС

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент Р. Ж. ЖУЛАЕВ

АЛМА-АТА — 1954

ВВЕДЕНИЕ

Почти все горные реки характеризуются рядом природных особенностей, к основным из которых следует отнести:

- 1) значительные продольные уклоны, обуславливающие большие скорости движения потока при сравнительно малой глубине его;
- 2) значительное колебание расхода и уровня воды, как в течение года, так и в течение летних суток;
- 3) транспортирование в период весенне-летнего половодья большого количества наносов как мелких, так и крупных фракций, насыщенность потока которыми иногда достигает консистенции грязе-каменной массы (например: рр. Большая и Малая Алматинки, Талгар, Тургенъ и др.);
- 4) быстрое наступление паводков;
- 5) узкие долины рек;
- 6) наличие в зимний период ледошуговых явлений.

В этих условиях обеспечение бесперебойного водозабора в деривационный канал ГЭС представляет собой достаточно трудную и вместе с тем весьма важную задачу. Как показывает опыт эксплуатации, из всех типов водозаборных сооружений условиям горных рек наиболее полно отвечает горный решетчатый водозабор. Этим и объясняется широкое распространение горного решетчатого водозабора при строительстве ГЭС на горных реках нашей страны. Распространению этого типа водозабора в значительной мере способствовала большая работа советских учёных по усовершенствованию конструкции сооружения и по разработке методики его гидравлического расчета. Уместно здесь прежде всего отметить работы заслуженного деятеля науки и техники, акад. Е. А. Замарина, положившие начало всей дальнейшей работе по изучению и усовершенствованию горных водозаборов. Следует отметить также работы д. т. н., проф. М. А. Мосткова, к. т. н. В. В. Фандеева, к. т. н. Т. Г. Гегелия, к. т. н. С. Г. Мелик-Нубарова и работы лаборатории гидротехнических сооружений Института энергетики АН КазССР (к. т. н. Р. Ж. Жулаев, к. т. н. А. И. Арыкова).

72430.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А.Н. Киргизской ССР

Однако, рассматриваемый тип водозабора имеет еще целый ряд более или менее существенных недостатков, к основным из которых относятся:

- 1) неудовлетворительная очистка воды от наносов;
- 2) большой удельный расход воды на удаление наносов за пределы узла;
- 3) значительная засоряемость решётки водоприёмника наносами.

В связи с этим, работы по дальнейшему усовершенствованию горного решетчатого водозабора приобретают большое научное и практическое значение.

Настоящая работа посвящена решению вопросов, связанных с устранением отмеченных выше недостатков горного решетчатого водозабора.

I. Существующие типы горных решетчатых водозаборов и схемы борьбы на них с наносами.

Исходя из схем борьбы с наносами, решетчатые водозаборы можно разделить на следующие типы:

- 1) горный решетчатый водозабор с песколовкой;
- 2) горный решетчатый водозабор с промывным шлюзом;
- 3) горный решетчатый водозабор с наносоперехватывающей галереей;
- 4) горный решетчатый водозабор с совмещенным отстойником;
- 5) горный решетчатый водозабор со сбросными межсекционными лотками.

Рассматривая эти типы водозаборов, прежде всего, нужно отметить, что все горные водозаборы решетчатого типа, за исключением водозабора с наносоперехватывающей галереей, имеют неприемлемую, в условиях горных рек, схему расположения наносозахватных устройств. Как известно, во всех этих водозаборах наносозахватные устройства располагаются в конце водоприёмной галереи. Такое размещение наносозахватных устройств в составе водозаборного узла является основной причиной существенных эксплуатационных затруднений, к основным из которых следует отнести: 1) завал водоприёмной галереи наносами, 2) интенсивное засорение решётки наносами. В последнее время для ликвидации завала галереи наносами уклон дна её назначают чрезмерно большим (до 0,30). Это приводит к значительной потере напора в пределах водозаборного узла и увеличению стоимости сооружения. Все это позволяет считать, что в условиях горных решетчатых водозаборов данная схема является непригодной. Наиболее рациональной в этих условиях является схема, в которой наносозахватные сооружения располагаются выше водоприёмника. Такая схема была впервые предложена к. т. н. Т. Г. Гегелия. В предложенной им конструкции решетчатого водозабора наносозахватное сооружение представлено галереей прямоугольного сечения. Галерея располагалась на 0,5—0,70 м. выше водоприёмной галереи, параллельно ей. Длина наносоперехватывающей галереи при-

нималась равной длине водоприёмника. Однако, как показывает опыт эксплуатации, все построенные, с такой схемой наносозахватных устройств, сооружения работают неудовлетворительно. Основной причиной плохой работы устройства является совершенно неудовлетворительная система его промывки, основанная на не вполне оправдавшей себя здесь идее использования для транспорта наносов в галерее продольно-винтового потока. Тем не менее, как показывает теоретическое и лабораторное исследование, при правильном проектировании галереи и системы её промывки, при такой схеме компоновки наносозахватных устройств, можно избежать рассмотренных выше затруднений. Следует отметить, что эта схема имеет еще и то преимущество, что при этом улучшаются условия промывки самого наносозахватного сооружения, за счет более полного использования имеющегося на узле перепада. Немаловажным положительным качеством галереи, как наносозахватного сооружения, является простота её конструкции, надежность и удобство эксплуатации и незначительная стоимость, что позволяет считать её перспективным сооружением для борьбы с наносами в условиях горных рек.

В связи с изложенным, перед автором ставилась задача разработать методику расчёта наносоперехватывающей галереи, а также рациональную систему её промывки.

II. Борьба с захватом наносов в водоприёмник горного решетчатого водозабора

Для решения поставленной выше задачи нами были выполнены значительные работы по лабораторному исследованию гидравлического и наносного режима галереи и системы её промывки. Исследование было проведено на модели, представляющей собою водоприёмную часть горного решетчатого водозабора с наносоперехватывающей галереей прямоугольного поперечного сечения (Рис. 11).

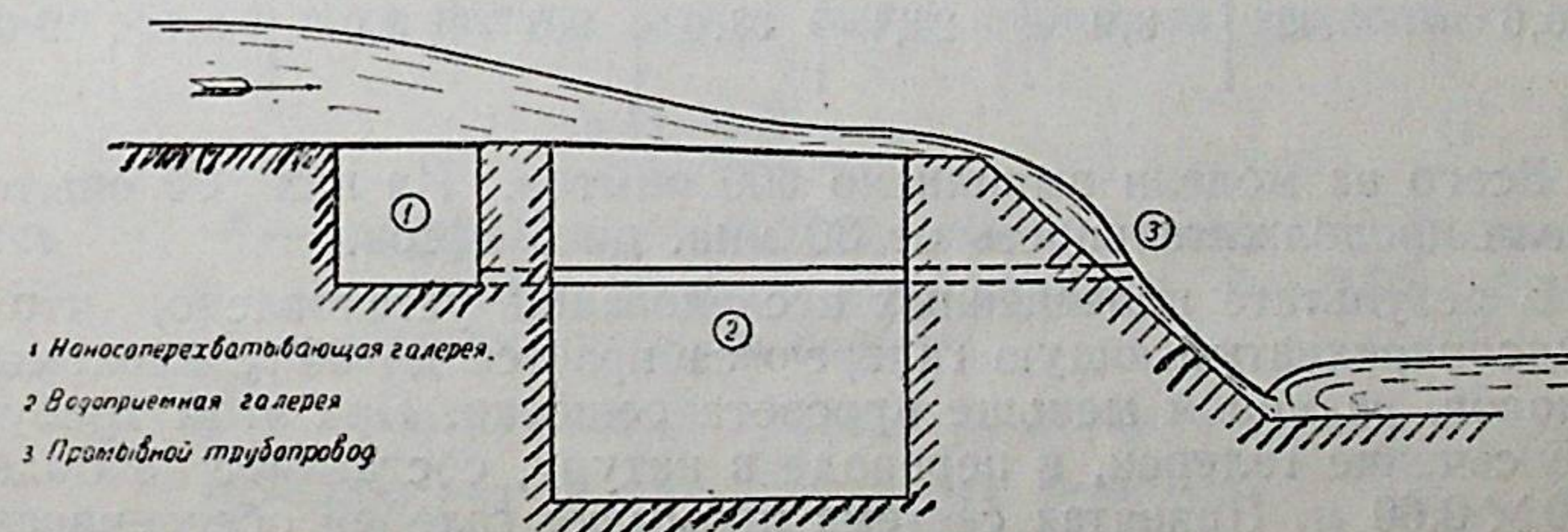


Рис 11

Модель имела понур длиной около $5 h_1$. Одна серия опытов выполнена на модели, подводный участок которой был сложен из гравийно-галечниковых наносов.

Система промывки галереи была представлена трубчатыми промывниками, расположенными по всей длине галереи и выходящими через водоприёмную галерею в нижний бьеф узла.

Из условия обеспечения требуемой точности измерений и удобства производства опытов были выбраны следующие размеры модели:

- длина галереи — 50 см;
- ширина галереи — от 3 до 9 см;
- просвет решётки наносоперехватывающей галереи — от 2 до 17,5 мм;
- толщина стержней решётки — 4 мм;
- диаметр промывных трубопроводов — от 16 до 35 мм;
- высота нижнего порога плотины — 18 см;
- расстояние между промывниками — от $1,1h_2$ до $2,2h_2$, где h_2 — высота галереи.

Исходя из размеров выстроенных сооружений, масштаб модели может быть оценен, примерно, как 1:10.

Опыты проводились при общем расходе модели от 2 до 31 л/сек, при коэффициенте водозабора от 0,10 до 0,95. Гидравлические характеристики потока на сооружении изменялись в следующих пределах:

- глубина воды на модели — 1—10 см;
- средняя скорость потока — 0,30—1,16 м/сек;
- параметр кинетичности потока — 0,70—3,70.

В пересчете на натуру получим соответственно: 0,10—1,0 м, 0,90—3,5 м/сек, 0,70—3,70.

Исследование наносного режима модели сооружения проводилось с наносами, характеризующими примерно состав наносов р. Большой Алматинки (таблица 4).

Таблица 4

Содержание фракций в %

<0,1	01—025	025—050	050—1,0	1—2	2—3	3—5	5—7	7—10
0,6	5,42	8,9	29,1	33,0	9,3	8,0	3,7	2,0

Всего на модели выполнено 600 опытов. Из них 80 опытов имели продолжительность от 30 мин. до 3 часов.

В результате проведенных исследований установлено, что в наносоперехватывающую галерею забирается до 98% влекомых наносов, размером меньше просвета решётки. При этом требуемое сечение галереи, в переводе в натуру, составляет не более $0,60 \times 0,60$ м. Принятая система промывки галереи обеспечивает бесперебойный отвод всех поступающих в галерею наносов при минимальном сбросе воды, составляющем 5—10% общего рас-

¹ Номера таблиц, уравнений и рисунков взяты по диссертации.

хода источника, при насыщенности промывного расхода до 200 г/л. Все данные лабораторных исследований показывают, что рассматриваемый тип наносозахватного устройства является наиболее эффективным из всех известных типов подобных устройств, применительно к условиям горных рек.

Ниже рассмотрим методику расчёта наносоперехватывающей галереи и системы её промывки.

Как показывают лабораторные исследования, в пределах галереи глубина потока и распределение скоростей по вертикали существенно изменяются. Изменение глубины потока на сооружении при этом происходит в основном в зависимости от параметра кинетичности потока в подводящем русле (Π_k). Для определения глубины потока на пороге наносоперехватывающей галереи и перед водоприёмной галереей в работе приведены графики $\eta_1 = \frac{h_1}{h^1_k} = f(\Pi_k)$

и $\eta_2 = \frac{h_2}{h''_k} = f(\Pi_k)$, построенные на основании экспериментальных данных. Здесь h_1 и h_2 — глубины воды на верхнем пороге наносоперехватывающей и водоприёмной галерей, а h^1_k и h''_k — соответственные критические глубины. Эпюра скорости в пределах галереи имеет почти прямоугольную форму. При этом скорость потока у дна составляет примерно 0,80—0,85 от поверхностной.

При прохождении потока над галереей масса жидкости, заключённая в последней, приобретает вращательное движение. Циркуляция воды здесь обусловлена в основном силами внутреннего трения, возникающими между основным потоком и массой жидкости, заключённой в галерее. Существенное влияние на образование циркуляции в галерее оказывает также неравномерное поступление воды по длине решётки. По опытным данным основная часть расхода поступает в галерею в пределах нижней части решётки, длиной $(1/2 \div 1/3) b_2$.

Окружная скорость по сечению вальца изменяется примерно по закону $\frac{u}{r} = \text{const}$. При этом окружная скорость на периферийной линии тока вальца может быть выражена зависимостью

$$U_0 = \delta v \frac{a_2}{a_2 + \delta_c}; \quad (\text{II}, 1)$$

Здесь δ — коэффициент для открытой галереи, по опытным данным к. т. н. А. И. Арыковой $\delta = 0,35 - 0,40$;
 v — средняя скорость потока;

$\frac{a_2}{a_2 + \delta_c}$ — относительный просвет решётки;
 a_2 — просвет между стержнями решётки;
 δ_c — толщина стержней решётки.

На основании теоретического анализа и опытных данных установлено, что удельный захват влекомых наносов в галерею (λ_0) является функцией

$$\lambda_0 = f(w, v_0, b_2, d, a_2, \delta_c, \kappa_1),$$

где w — гидравлическая крупность частиц;
 v_d — донная скорость потока;
 b_2 — ширина галереи;
 d — диаметр частиц;
 k_1 — величина удельного промывного расхода.

Как показывает исследование, процесс захвата отдельных частиц наносов в галерею, перекрытую решеткой, носит вероятностный характер. В этих условиях уравнение, описывающее процесс захвата наносов в галерею исходя из динамического равновесия частиц наносов, теряет всякий смысл. Тем не менее теоретическое рассмотрение вопроса позволяет наметить основные параметры, от которых зависит захват частиц наносов в галерею, перекрытую решёткой.

Пользуясь теорией размерностей, нами получена следующая общая зависимость удельного захвата наносов

$$\lambda_0 = f \left(\frac{gb_2}{v^2}, \frac{w}{v}, \frac{d}{a_2}, \frac{a_2}{a_2 + \delta_c}, k_1 \right); \quad (\text{II}, 15)$$

Эта зависимость показывает, что удельный захват частиц наносов в галерею зависит от величины целого ряда безразмерных отношений, из которых $\frac{gb_2}{v^2}$ выражает относительную ширину галереи, $\frac{w}{v}$ — относительную гидравлическую крупность частиц наносов, $\frac{d}{a_2}$ — удельную крупность частиц по отношению к просвету решетки, $\frac{a_2}{a_2 + \delta_c}$ — удельный просвет решётки и k_1 — удельный промывной расход галереи. Кроме того из этой зависимости вытекает, что для подобия процесса захвата наносов на модели и в натуре, кроме геометрического подобия и подобия гидравлических условий систем, необходимо подобие двух новых безразмерных величин $\frac{gb_2}{v^2}$ и $\frac{w}{v}$.

Исходя из этих предпосылок нами и были обработаны все лабораторные данные.

Опытные данные позволяют считать выбор основных безразмерных комплексов в уравнении захвата наносов в галерею правильным. Вместе с тем, опытные данные свидетельствуют о том, что величины k_1 и $\frac{a_2}{a_2 + \delta_c}$ оказывают несущественное влияние на захват наносов в галерею, при изменении их в практически возможных пределах. Так, при изменении k_1 от 0,80 до 0,05 и $\frac{a_2}{a_2 + \delta_c}$ от 0,50 до 0,70 удельный захват наносов в галерею изменяется всего лишь на (2 ÷ 3) %. Это позволяет пренебречь этими членами в зависимости (II, 15).

На основании анализа материалов лабораторного исследова-

ния установлено также, что захват в галерею фракций наносов, для которых отношение $\frac{w}{v}$ превышает 0,10 ÷ 0,12, практически не зависит от этой величины и захват этих фракций наносов в галерею определяется только величиной отношений $\frac{gb_2}{v^2}$ и $\frac{d}{a_2}$, т. е.

$$\lambda_0 = f \left(\frac{gb_2}{v^2}, \frac{d}{a_2} \right).$$

Это свидетельствует о том, что при наличии удовлетворительного понура, длиной около $5 h_1$, величина вертикальной составляющей скорости потока на пороге галереи не превышает $v_y = (0,1 - 0,15)v$. В случае отсутствия понура величина v_y существенно увеличивается, в силу чего удельный захват наносов в галерею уменьшается. Так, при гравелисто-галечниковом составе отложений в подводящем русле модели, величина удельного захвата наносов в галерею уменьшается в среднем на 10%.

Захват в галерею фракций наносов для которых $\frac{w}{v} < 0,10$ и $\frac{d}{a_2} < 0,20 \div 0,10$, в основном зависит от величины $\frac{gb_2}{v^2}$ и $\frac{w}{v}$, что позволяет определить величину удельного захвата наносов, этих фракций зависимостью $\lambda_0 = f \left(\frac{gb_2}{v^2}, \frac{w}{v} \right)$;

По опытным данным построены расчётные графики, устанавливающие характер зависимости между λ_0 и указанными безразмерными комплексами.

Эти графики представлены на рис. 21 и 22. На рисунке 21 представлен график для определения процента захвата в галерею влекомых наносов, относительная гидравлическая крупность которых $\frac{w}{v} < 0,10$ и $\frac{d}{a_2} < 0,2$. Здесь по оси ординат отложены значения $\Pi = \frac{gb_2}{v^2}$.

На рисунке 22 представлен график для определения удельного захвата в галерею наносов с $\frac{w}{v} > 0,10$ и $\frac{d}{a_2} > 0,1$. По оси абсцисс здесь отложена удельная величина размера частиц наносов по отношению к просвету решётки.

Пользуясь указанными графиками легко определить необходимую ширину галереи по заданной величине удельного захвата наносов.

Для определения параметров системы промывки галереи получены следующие зависимости:

1. Минимальный диаметр трубопровода, при котором исключается заклинивание его наносами, составляет:

$$d_{n \text{ мин}} = 3 a_2, \quad (\text{II}, 26)$$

где a_2 — просвет решётки.

2. Количество трубопроводов, обеспечивающих отвод нано-

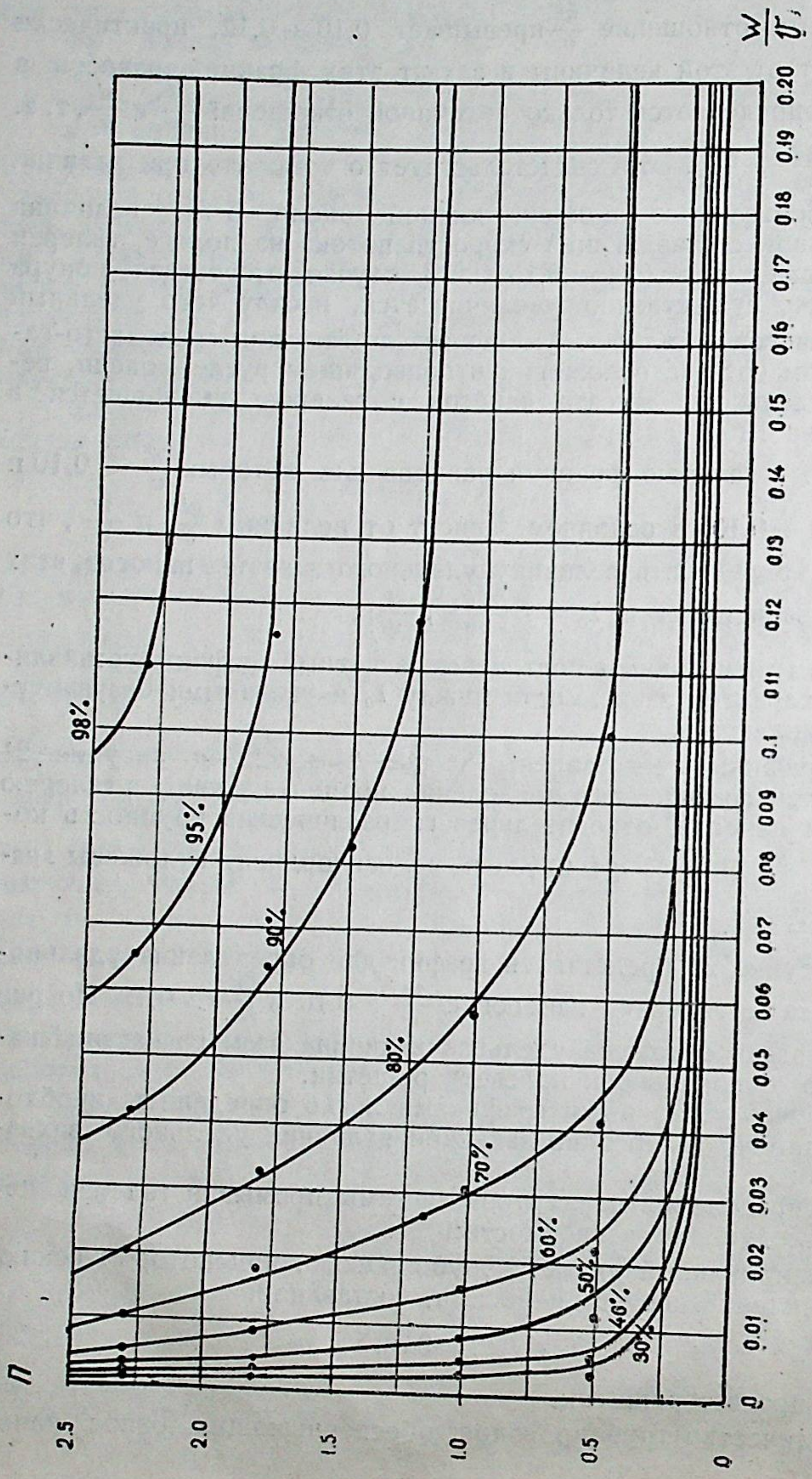


Рис. 21

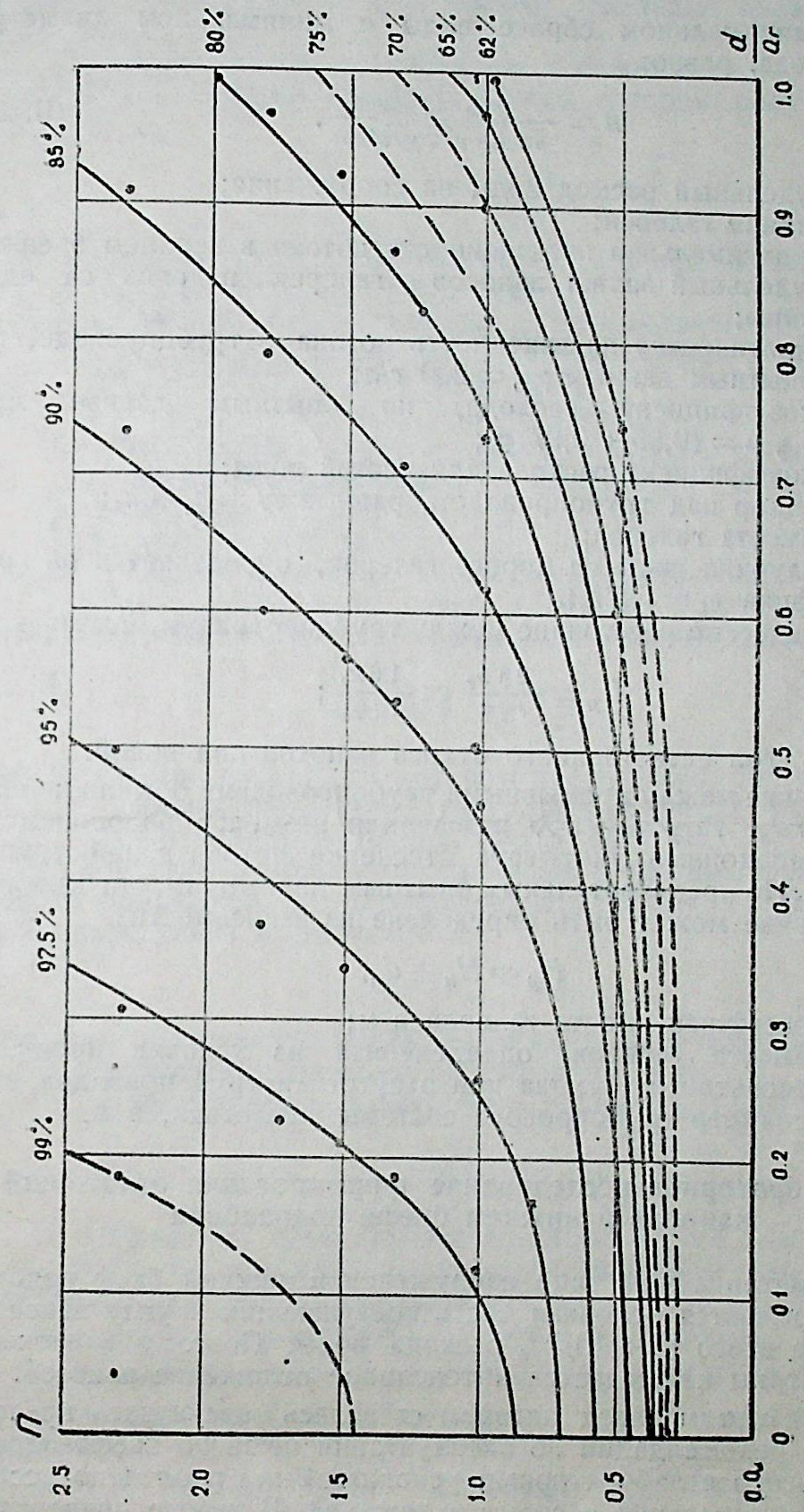


Рис. 22

сов при минимальном сбросе воды и минимальном диаметре трубопровода, равно:

$$n = \frac{4 q_0 \lambda l \rho_{\max}}{\mu \pi d_n^2 \sqrt{2 g H \rho_{кр}}}, \quad (\text{II}, 23)$$

где q_0 — удельный расход воды на сооружении;

l — длина галереи;

ρ_{\max} — максимальная насыщенность потока в верхнем бьефе;

λ — удельный захват наносов в галерею, в долях от единицы;

$\rho_{кр}$ — критическая насыщенность потока в трубопроводе, по опытным данным $\rho_{кр} = 200$ г/л;

μ — коэффициент расхода, по опытным данным при $\rho_{кр}$ $\mu = (0,95 \div 0,97) \mu_0$;

μ_0 — коэффициент расхода для чистой воды;

H — напор над трубопроводом, равный $H = h_2 + h_1$;

h_2 — высота галереи;

h_1 — глубина воды на пороге галереи, определяется из графика $\eta_1 = f(\Pi_k)$.

3. Критическое расстояние между трубопроводами, составляет:

$$l_{кр} = \frac{2 \beta h_2}{tg \varphi} \cong \frac{1,6 h_2}{tg \varphi}; \quad (\text{II}, 27)$$

Здесь φ — угол естественного откоса наносов под водой.

Расстояние между промывными трубопроводами обычно не превышает $10 d_n$. Поэтому при назначении размеров водоприёмной галереи необходимо учитывать стеснение потока в ней трубопроводами. По предварительным опытным данным высота галереи в этом случае может быть определена из зависимости:

$$H_p = H_n + d_n,$$

где H_p — расчётная высота галереи в м;

H_n — высота галереи, определённая из условия пропускания расчётного расхода при отсутствии трубопроводов, в м;

d_n — диаметр трубопровода системы промывки, в м.

III. Лабораторное исследование формирования отложений наносов в нижнем бьефе водозабора

В рассматриваемом типе сооружения в нижний бьеф водозабора сбрасывается основная часть поступающих к узлу наносов, при сбросе всего $(5 \div 10) \%$ расхода воды. Поэтому в нижнем бьефе плотины наблюдается интенсивное отложение наносов.

В связи с этим перед автором ставилась задача дать предварительные рекомендации по эксплуатации нижнего бьефа плотины. Для этого в лабораторных условиях было проведено исследование формирования и смыва отложений. В работе приводятся основные результаты этих исследований. Здесь приводятся неко-

торые зависимости для определения отдельных параметров отложений.

1. Для определения уклона русла в нижнем бьефе плотины на основании обработки опытных данных автором получена зависимость:

$$J_\tau = J_0 + A \frac{\lambda \rho_0}{\gamma (1-k)} \tau^m, \quad (\text{III}, 1)$$

где J_τ — уклон русла в рассматриваемый период времени;

J_0 — первоначальный уклон русла;

A — коэффициент, по опытным данным величина его изменяется для рассмотренных в работе случаев в пределах от 0,15 до 0,20 и от 0,20 до 0,30;

λ — величина удельного сброса наносов;

ρ_0 — насыщенность потока наносами в верхнем бьефе узла;

γ — ~~объемный вес наносов~~ постоянный коэф. равный 1650;

k — коэффициент водозабора;

τ — время работы узла;

m — показатель степени τ , по опытным данным $m = 1/3$.

2. Критический уклон русла в нижнем бьефе по опытным данным удовлетворительно определяется зависимостью:

$$J_e = J_0 + \frac{\lambda \rho_0}{\gamma (1-k)^{2/3}}, \quad (\text{III}, 4)$$

где J_e — уклон русла, при котором все наносы, поступающие в нижний бьеф узла, транспортируются за пределы рассматриваемого участка русла ($l \cong 80$ м).

3. Допустимая мощность отложений у плотины горного решётчатого водозабора с наносоперехватывающей галереей может быть определена из зависимости:

$$h_n = h_{n.1} - \alpha h_2,$$

где h_n — допускаемая мощность отложений у плотины, в м;

$h_{n.1}$ — высота нижнего порога плотины, в м;

α — коэффициент, по опытным данным $\alpha = 1,10 \div 1,05$.

ВЫВОДЫ

1. Исходя из схем борьбы с наносами, все существующие виды горных решётчатых водозаборов представляется возможным разделить на 5 типов, а именно:

а) горный решётчатый водозабор с песколовкой,

б) горный решётчатый водозабор с промывным шлюзом,

в) горный решётчатый водозабор с наносоперехватывающей галереей,

г) горный решётчатый водозабор с совмещенным отстойником,

д) горный решетчатый водозабор со сбросными межсекционными лотками.

2. Наиболее рациональной схемой борьбы с наносами на горном решетчатом водозаборе является схема, в которой наносозахватные устройства располагаются до водоприёмника.

3. В условиях горных рек наиболее приемлемым сооружением по борьбе с наносами на водозаборе является наносоперехватывающая галерея. Это сооружение имеет простую конструкцию, надёжно в эксплуатации и обеспечивает хорошую очистку воды от наносов.

4. Наиболее рациональной системой промывки галереи, обеспечивающей отвод всех поступающих в галерею наносов при малом сбросе воды, является рекомендуемая автором система, состоящая из трубчатых промывников, расположенных по всей длине галереи.

5. Как показывают многочисленные лабораторные опыты, наносоперехватывающая галерея с системой трубчатых промывников обеспечивает захват и отвод в нижний бьеф узла до 98% всего количества поступающих к узлу влекомых наносов, размером меньше чем просвет решётки, при сбросе всего лишь 5—10% расхода воды.

6. На основании обширных лабораторных и теоретических исследований впервые разработана методика расчёта наносоперехватывающей галереи с решёткой и системы её промывки. Разработанная методика позволяет с достаточной для практических расчётов точностью определить размеры галереи, а также промывных устройств, исходя из заданного процента захвата влекомых наносов.

7. Применительно к условиям горных рек разработаны основные схемы компоновки решетчатого водозаборного узла с наносоперехватывающей галереей.

8. В работе приведены основные результаты первого этапа лабораторного исследования режима формирования отложений в нижнем бьефе плотины водозабора и гидравлического способа их удаления. Считаем необходимым проведение в дальнейшем специальных, более обширных, исследований по изучению явления отложения наносов в нижнем бьефе водозаборного узла на горных реках, которые позволят разработать рациональные меры борьбы с ними.

72430
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Ниргизской ССР