

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства (ТИИМСХ)

Инженер

СЕЛЯМЕТОВ М. Б.

ИССЛЕДОВАНИЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ
РАСЧЕТ БЫСТРОТОКОВ
ТРАПЕЦОИДАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ
УСИЛЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ТАШКЕНТ — 1956

Диссертация выполнена в Среднеазиатском научно-исследовательском институте ирригации (САНИИРИ) под руководством доктора технических наук, профессора Вызго М. С.

Реферируемая работа состоит из шести глав, написанных на 122 страницах, иллюстрирована 60 чертежами, графиками и фотографиями.

102855

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А.Н. Киргизской ССР

В современной гидротехнической практике одним из основных типов сопрягающих сооружений являются быстротоки.

Постановлением Совета Министров СССР и ЦК КПСС „О дальнейшем развитии хлопководства в Узбекской ССР в 1954—1958 годах“ предусматривается увеличение орошаемых площадей в республике на 600 тыс. гектаров. Директивами XX съезда КПСС по шестому пятилетнему плану предусматривается увеличение орошаемых площадей в стране на 2,1 млн. гектаров. Выполнение этой грандиозной программы связано со строительством десятков тысяч гидротехнических сооружений и в том числе нескольких тысяч быстротоков.

Важным вопросом расчета быстротоков является вопрос гашения энергии, приобретаемой потоком в результате разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов. Гашение энергии в быстротоках может осуществляться двумя методами:

1. Методом сосредоточенного гашения, при котором на лотке быстротока развиваются допустимые для материала сооружения скорости с погашением энергии ниже лотка в специально устраиваемом гасителе.

2. Методом непрерывного гашения, при котором гашение энергии производится по длине лотка.

Гашение энергии в пределах лотка значительно облегчает конструкцию гасителя за лотком, а в некоторых случаях устройство специального гасителя может оказаться даже излишним.

До последнего времени наиболее распространенным являлся метод сосредоточенного гашения, метод же непрерывного гашения находил ограниченное применение ввиду неясности расчета усиленной шероховатости в целом ряде случаев. Тем не менее, благодаря бесспорным преимуществам сооружений, основанных на принципе непрерывного гашения, за последние десятилетия наблюдается заметный рост числа построенных быстротоков усиленной шероховатости. Как правило, эти сооружения строились со сравнительно малыми уклонами, так как не имелось необходимых научно обоснованных рекомендаций для больших уклонов, имеющих преимущество в экономическом отношении.

Настоящая работа имеет своей целью дать метод гидравлического расчета быстротоков трапециoidalного сечения усиленной шероховатости при больших уклонах дна и, кроме того,

рассматривает всю конструкцию в целом, тогда как до сего времени изучались отдельные элементы ее.

Общезвестный метод гидравлического расчета быстротоков усиленной шероховатости, вошедший во все учебно-методические пособия и справочники по гидравлике и гидротехнике,¹ разработан на основании обширных модельных исследований в лотках прямоугольного сечения с малыми уклонами.

Проф. Ф. И. Пикалов² для шести типов повысителей шероховатости (нормальные ребра с острыми гранями, нормальные ребра со скошенными гранями, нормальные ребра в разбежку, одиночный зигзаг, двойной зигзаг и шашки) дает расчетную формулу для определения коэффициента сопротивления $K = \frac{1}{C}$, где C — коэффициент Шези. Приведем одну из этих формул (для нормальных ребер с острыми гранями):

$$K = s (0,04748 + 0,000075\beta - 0,00117\alpha) \dots (1),$$

$$\text{где } \beta = \frac{b}{h}, \quad \alpha = \frac{h}{\sigma}$$

b — ширина лотка,

h — глубина воды над повысителями шероховатости,

σ — высота повысителей шероховатости,

s — поправочный коэффициент на уклон.

Формула применима, если: $1 \leq \beta \leq 12$, $2,5 \leq \alpha \leq 8$ при сравнительно малых уклонах дна лотка, не превышающих 0,15. Для других типов повысителей шероховатости Ф. И. Пикаловым даются аналогичные формулы.³

При всех типах повысителей шероховатости проф. Ф. И. Пикалов рекомендует расстояние между осями повысителей шероховатости принимать равным восьми высотам повысителей $\lambda = 8\sigma$ (2), так как считает, что как увеличение, так и уменьшение этого расстояния снижает коэффициент сопротивления K .

Сечение повысителей шероховатости принято квадратным.

Распространение рекомендаций Ф. И. Пикалова и других авторов на быстротоки не прямоугольного сечения с уклонами дна более 0,15 не рекомендуется.

Поэтому мы выполнили исследования быстротоков усиленной шероховатости, проводя их в лотках трапециoidalного сечения и с уклонами более 0,15 (до 0,35).

¹ Киселев. Справочник по гидравлическим расчетам, Гидроэнергоиздат, 1950 г.; Е. А. Замарин, В. В. Фандсев, „Гидротехнические сооружения“, Сельхозгиз, 1954; г. Рябушев. „Проектирование гидротехнических сооружений“, Сельхозгиз, 1955 г.; Справочник по гидротехнике, издатель ВодГЕО, Москва, 1955 г. и т. д.

² Ф. И. Пикалов. Быстротоки с искусственной шероховатостью, Труды ВНИИГИМ, т. XIII, 1935 г.

³ Е. А. Замарин в курсе „Гидротехнические сооружения“ приводит формулы для вычисления коэффициента сопротивления K при некоторых других типах донной шероховатости (ступени по течению, ступени против течения и т. д.), а также при бортовой и комбинированной шероховатости (по данным А. Я. Фалькович).

Предыдущие исследователи считали, что усиленная шероховатость является только средством гашения энергии в лотках. Не учитывались влияние повысителей шероховатости на структуру потока в лотке и условия сопряжения сооружения с руслом канала в нижнем бьефе. Такое рассмотрение усиленной шероховатости является неверным.

Мы поставили перед собой задачу разработать гидравлический расчет быстротоков усиленной шероховатости, исходя из того, что повысители шероховатости являются элементом всей конструкции в целом и рассматривая поток, сооружение и участки канала, примыкающие к нему, в их взаимодействии.

Кроме специальных лабораторных исследований моделей быстротоков, нами были проведены наблюдения в натуре за работой построенных быстротоков усиленной шероховатости.

Натурные наблюдения, проведенные на пяти сооружениях (быстроток в голове сброса Бувайды Ферганской области, быстроток в голове Риштанская Ферганской области, быстроток в голове канала Кош-Тегермен Ферганской области, быстротоки на пикете 30 и пикете 60+88 канала Янги Южно Казахстанской области), позволили выяснить основные недостатки в их работе:

1. За сооружениями наблюдается сбойное течение, вследствие чего требуется устройство длинного крепления.

2. Установка повысителей шероховатости начинается не с начала лотка, а на некотором расстоянии от него, что приводит к значительному взлету потока и выплескиванию его из лотка.

3. Вследствие значительного расстояния между повысителями шероховатости (при данной высоте повысителей) в лотке возникают перепадные, брызжущие формы движения, и поток выплескивается через стенки сооружения. На некоторых сооружениях за стенками наблюдались струи воды, стекающие по обеим сторонам лотка.

Эти струи, возникающие вследствие указанных причин, вымывают грунт за стенками сооружений. Даже в условиях галечниковых грунтов, вымыв грунта за стенками быстротоков оказывается значительным.

4. Вследствие перепадных форм движения потока в лотке в нижнем бьефе наблюдается значительное волнение. Даже в небольших сооружениях (при расходе 3 м³/сек) колебания горизонтов в нижнем бьефе достигают одного метра. Столь значительное волнение вызывает необходимость крепления откосов за сооружением на большой длине.

Лабораторные исследования производились в САНИИРИ по заданию института Среднегидроводхлопок и соответственное финансирование этих работ придало исследованиям конкретную форму.

При исследованиях была принята методика оценки гашения энергии в лотках усиленной шероховатости, отличающаяся от методики предыдущих исследований. Полагаем, что эта новая методика лишена ряда недостатков, присущих применявшейся ранее методике.

Большинство исследователей в качестве основы гидравлических исследований использовало формулу равномерного движения и опытным путем определяло коэффициент шероховатости n (или γ) и коэффициент Шези C (или $K = \frac{1}{C}$). Для этого в

лотке измерялась глубина потока, а исследования велись в длинных лотках, хотя и в этих условиях движение в них не является равномерным. Фактически режим движения в лотках усиленной шероховатости не отвечает условиям равномерного. Площади живых сечений и скорости изменяются вдоль потока, а при большой относительной высоте повысителей шероховатости и значительном расстоянии между ними имеют место пульсация и волны, т. е. изменение расхода во времени (неустановившаяся форма движения).

Тем не менее, для небольших повысителей шероховатости при незначительном расстоянии между ними с применением формулы Шези для расчета быстротоков достаточной длины можно согласиться.

Но ввиду того, что в лотках усиленной шероховатости глубины над повысителями шероховатости и между ними оказываются отличными друг от друга, возникает вопрос: какую же глубину следует принимать за расчетную при вычислении коэффициента C ?

В литературе упоминаются три способа определения расчетной глубины в лотке:

1. За расчетную глубину принимают глубину над повысителями шероховатости.
2. За расчетную глубину принимают глубину в середине между повысителями шероховатости.
3. За расчетную глубину принимают среднюю глубину на участке между двумя повысителями шероховатости, вычисляемую делением площади профиля потока между повысителями шероховатости на расстояние между ними.

Оказывается, что величина коэффициента шероховатости в значительной мере зависит от метода измерения расчетной глубины.

Так, по данным С. В. Каплинского¹, значение коэффициента шероховатости, вычисленного по средней глубине, в 1,5 раза превышает его значения, вычисленные при измерении глубины над повысителями шероховатости.

Если даже установлено сечение, в котором необходимо измерять глубину, ввиду имеющих место колебаний глубин (из-за пульсации потока и волнообразования), неизвестно, какую из них следует принимать за расчетную. Часто рекомендуется измерять максимальную глубину и за расчетную принимать их полусумму.

¹ С. В. Каплинский.— Лесосплавные лотки усиленной шероховатости, 1934 г.

Вопрос о расчетной глубине становится еще менее ясным при исследовании лотков с повысителями шероховатости, имеющими излом в плане (например, „одиночный зигзаг“, „двойной зигзаг“), так как при этом глубины в сечении, нормальном к оси лотка, значительно отличаются друг от друга.

В реферируемой диссертации показано, что применявшаяся методика определения расчетной глубины, основанная на измерениях глубин в характерных точках и вычислении средней арифметической глубины, приводит к занижению коэффициентов Шези до 30%.

Для чего же нужен коэффициент шероховатости, вычисляемый на основании данных о глубине в лотке, измеряемой с такими затруднениями и столь неопределенно?

Коэффициент шероховатости нужен для того, чтобы можно было вычислить глубину воды в конце лотка, а затем глубину, сопряженную в прыжке с ней, так как в конечном итоге проектировщика для расчета сопряжения сооружения в нижнем бьефе интересует именно эта глубина.

Конечно, проектировщику глубина в лотке нужна также для назначения запаса в стенках, но в первую очередь и с наибольшей точностью глубина в конце лотка нужна для расчета нижнего бьефа.

При определении глубины в лотке, необходимой для назначения высоты стенок, бесспорно следует принимать максимальные глубины, в то время как для расчета нижнего бьефа должна приниматься глубина в лотке, характеризующая энергию потока.

Ввиду изложенного нами была принята иная методика оценки влияния усиленной шероховатости на гашение энергии потока, исключая отмеченную неопределенность и заключающаяся в том, что эффект гашения энергии потока на быстротоке определялся путем измерения глубины потока за прыжком, т. е. именно той величины, которая является основной для расчета сопряжения в нижнем бьефе.

При лабораторных опытах нами создавалось сопряжение по типу надвинутого прыжка.

Это дало возможность считать глубину за лотком второй сопряженной глубиной и вычислить глубину в конце лотка, как первую сопряженную глубину по уравнению прыжка.

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{\alpha Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2 \dots (3)$$

ω_1, ω_2 — площади живых сечений до прыжка и за прыжком;
 y_1, y_2 — глубины погружения центров тяжести соответствующих живых сечений.

Получив глубину в конце лотка $h_{пл}$ и считая ее расчетной глубиной равномерного режима, можно несколько условно оценить эффект гашения энергии в лотке при данной шероховатости с помощью коэффициента Шези C или коэффициента шероховатости n .

Преимущество принятой методики заключается в том, что, во-первых, измерение глубины за прыжком не вызывает никаких затруднений и исключает описанную выше неопределенность и, во-вторых, гарантирует получение проектировщиком той самой глубины за прыжком, которая была измерена в условиях опыта, независимо от метода определения расчетной глубины потока в лотке. Для этого необходимо только, чтобы при проектировании вычисление глубин выполнялось по тем же самым формулам, по которым по измеренной глубине за прыжком был вычислен коэффициент шероховатости n .

Исследованию подверглись быстротоки с уклонами дна $i_1 = 0,15$, $i_2 = 0,25$, $i_3 = 0,35$ с полуторными откосами.

Ширина модели по дну была принята равной $b = 0,2$ м, коэффициент откосов боковых стенок $m = 1,5$, длина лотка $3,1$ м. За лотком было выполнено русло длиной 3 м, того же сечения, что и лоток.

Исследования проводились при трех значениях относительной ширины $\beta_{кр} = \frac{b}{h_{кр}}$ ($3,0$, $4,5$ и $6,0$), где $h_{кр}$ — критическая глубина. Указанные относительные ширины создавались на одной и той же модели за счет изменения расхода модели.

Полученные на модели результаты могут быть экстраполированы на сооружения, подобные исследованным моделям.

Как известно из теории подобия, необходимо геометрическое, кинематическое и динамическое подобие.

Ввиду того, что на быстротоках усиленной шероховатости явления происходят под действием, главным образом, инерционных и гравитационных сил, а силами вязкости, вследствие больших значений чисел Рейнольдса и турбулизующего влияния повысителей шероховатости, можно пренебречь, для динамического подобия двух систем необходимо равенство критерия гравитационного подобия, т. е. чисел Фруда для модели и природы $Fr_m = Fr_n$. Для рассматриваемого нами случая динамическое подобие модели и природы обеспечивается геометрическим подобием. Это может быть легко доказано совместным решением следующих уравнений:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{\omega_{кр}^3}{V_{кр}} \dots \dots \dots (5)$$

$$\omega_{кр} = (\beta_{кр} + m) h_{кр}^2 \dots \dots \dots (6)$$

$$V_{кр} = (\beta_{кр} + 2m) h_{кр} \dots \dots \dots (7)$$

$$Q = qb \dots \dots \dots (8)$$

$$Fr_{кр} = \frac{\alpha Q^2}{g h_{кр} \omega_{кр}^2} \dots \dots \dots (9)$$

Действительно, из выражений (5), (6), (7), (8), (9) следует, что

$$Fr_{кр} = \frac{\beta_{кр} + m}{\beta_{кр} + 2m} \dots \dots \dots (10)$$

Но так как при геометрическом подобии модели и природы $\beta_{крм} = \beta_{крн}$ и $m_m = m_n$, то из выражения (10) ясно, что при геометрическом подобии модели и природы одновременно имеет место динамическое подобие двух систем ($Fr_m = Fr_n$).

Для вычисления расходов модели, при которых будут иметь место исследуемые нами относительные ширины, была использована формула

$$Q_m = \sqrt{\frac{g}{\alpha}} b^{5/2} \frac{(\beta_{кр} + m)^{3/2}}{(\beta_{кр} + 2m)^{1/2} \beta_{кр}^{5/2}} \dots \dots \dots (11),$$

полученная решением (5), (6), (7) и (8).

Испытывались повысители шероховатости типа „нормальные ребра“, которые в дальнейшем для краткости мы будем называть планками, высотой от $0,1 h_{кр}$ до $0,4 h_{кр}$ ¹.

Гашение энергии потока в лотках оценивалось по изложенной методике (измерялась глубина за лотком и глубина в конце лотка определялась по формуле 3). Планки высотой от $0,1 h_{кр}$ до $0,4 h_{кр}$ устанавливались на различном расстоянии друг от друга и при этих расстояниях измерялась вторая сопряженная глубина h'' (глубина за лотком).

По результатам опытов для каждой высоты планок были построены графики $h'' = f\left(\frac{1}{\Delta}\right)$, где h'' — глубина за лотком при сопряжении в нижнем бьефе по типу надвинутого прыжка. Для примера на рис. 1 приводится такой график при $\Delta = 7$ мм и $\beta_{кр} = 3$. Максимальные вторые глубины имели место в случае гладких лотков. Установка на дне лотка планок влечет за собой уменьшение глубины h'' . Увеличение расстояния между планками вначале приводит к увеличению гашения энергии потока в лотке.

При некотором относительном расстоянии между планками (различном для каждой высоты Δ) достигается максимальное гашение энергии потока в лотке; дальнейшее увеличение расстояния между планками снижает эффект гашения энергии (h'' возрастает). Совершенно ясно, что при дальнейшем увеличении расстояния между планками мы в конце концов получим ту же глубину, что и при отсутствии шероховатости.

Одновременно с измерениями глубины за лотком (h'') оценивался режим потока в лотке. При малом расстоянии между планками влияние ребер внешне совершенно незаметно, с уве-

¹ Ширина повысителей шероховатости во всех случаях принималась равной полутора высотам ($\frac{d}{\Delta} = 1,5$). Такое соотношение ширины и высоты повысителей шероховатости мы наблюдали на целом ряде построенных сооружений; это же отношение $\frac{d}{\Delta} = 1,5$ принимается институтом Средазгипроводхлопок при проектировании сооружений для обеспечения прочности повысителей шероховатости и надежной связи их с дном лотка.

личением этого расстояния свободная поверхность становится волнистой, поток насыщается воздухом, появляются брызги. Дальнейшее увеличение расстояния между планками приводит к тому, что внешне спокойные быстроточные формы движения потока сменяются брызжущими, перепадными.

Таким образом, расстояние между планками влияет как на режим потока, так и на гашение энергии в нем. При данной относительной ширине лотка β_p и высоте планок Δ может быть найдено расстояние, при котором достигается максимальное гашение энергии, и расстояние, при котором происходит смена форм движения. При исследованных нами высотах планок смена форм движения (переход от быстроточных форм к перепадным) наступала раньше, чем достигалось максимальное гашение энергии потока. Ввиду того, что перепадные формы движения потока в лотке, вследствие большого количества брызг и значительного волнения в нижнем бьефе, являются нежелательными, мы не можем достигнуть максимального гашения энергии потока на быстротоке и вынуждены ограничиваться тем гашением, при котором в лотке сохраняются быстроточные формы движения.

Сравнивая графики $h'' = f\left(\frac{1}{\Delta}\right)$ при различных высотах повысителей шероховатости, видим, что с помощью более высоких повысителей шероховатости удается достигнуть несколько большего эффекта гашения энергии в лотке. Однако это не дает основания для вывода о желательности увеличения высоты планок, так как преимущество планок большой высоты сказывается только в зоне перепадного режима движения. В зоне же быстроточного режима эффект гашения, достигаемый планками различной высоты (при высоте их в пределах от $0,1 h_{кр}$ до $0,4 h_{кр}$), оказывается одинаковым.

Это объясняется тем, что при высоких планках изменение форм движения происходит при меньших относительных расстояниях, и поэтому не удается достигнуть максимального эффекта гашения энергии.

Таким образом, приходим к выводу о том, что с помощью планок различной высоты (в пределах от $0,1 h_{кр}$ до $0,4 h_{кр}$) при правильно выбранном расстоянии между ними может быть достигнуто одно и то же гашение энергии потока в лотке. Для этого расстояние между планками должно быть максимальным при обязательном условии сохранения быстроточного режима. Это расстояние в дальнейшем будем называть оптимальным.

Из сказанного ясно, насколько важно правильно назначить расстояние между повысителями шероховатости. Если расстояние между планками будет принято больше оптимального, в лотке создается перепадный режим движения, при расстоянии между планками меньше оптимального условия гашения потока ухудшаются.

На основании опытных данных для трех уклонов $i = 0,15$, $i = 0,25$ и $i = 0,35$ построены графики $\frac{l_{опт}}{\Delta} = f\left(\beta_{кр}, \frac{\Delta}{h_{кр}}\right)$ (рис. 2).

Из графиков $\frac{l_{опт}}{\Delta} = f\left(i, \beta_{кр}, \frac{\Delta}{h_{кр}}\right)$ видно, что:

- 1) с увеличением относительной высоты планок оптимальное расстояние между ними уменьшается;
- 2) с увеличением относительной ширины $\beta_{кр}$ оптимальное расстояние между планками увеличивается;
- 3) при одной и той же высоте повысителей шероховатости и одной и той же относительной ширине оптимальное расстояние между планками с увеличением уклона уменьшается.

Оценивая полученную нами зависимость для назначения относительного расстояния между повысителями шероховатости $\frac{l_{опт}}{\Delta} = f\left(i, \beta_{кр}, \frac{\Delta}{h_{кр}}\right)$ и сравнивая ее с зависимостями, рекомендованными другими авторами, приходим к выводу, что предлагаемая зависимость, учитывающая влияние уклона дна, относительной ширины лотка и высоты повысителей шероховатости, является принципиально правильной и ей должно быть отдано предпочтение перед другими зависимостями.

Натурные исследования, проведенные нами на четырех находящихся в эксплуатации быстротоках, показали, что во всех случаях, когда расстояние между повысителями шероховатости l оказывалось больше оптимального, определяемого по предлагаемому графику, на сооружениях наблюдался перепадный режим движения.

На всех исследованных сооружениях, кроме быстротока на пикете 60+88 канала Янги, коэффициент $\alpha = \frac{H}{\sigma}$ в формуле (1) был меньше 2,5, поэтому лишь на этом сооружении удалось проверить справедливость формулы (2) для назначения расстояния между планками $\lambda = 8\sigma$ при больших уклонах дна в сооружениях трапециoidalного сечения.

Быстроток на пикете 60+88 имеет ширину по дну $b = 1,05$, коэффициент откоса боковых стенок $m = 1,5$, уклон дна лотка $i = 0,25$, по дну установлены повысители шероховатости типа „нормальные ребра“, высотой $\Delta = 0,15$ м, при расстоянии между осями планок $\lambda = 0,95$ м. Расход во время натурных исследований $Q = 2,8$ м³/сек.

По данным замеров, глубина в лотке над планками $H = 0,35$ м, тогда $\alpha = \frac{H}{\sigma} = \frac{0,35}{0,13} \approx 2,5$; $\beta = \frac{b}{H} = \frac{1,05}{0,35} = 3$.

При этих значениях α и β , по данным Ф. И. Пикалова, при $\lambda = 8\sigma = 8 \cdot 0,15 = 1,2$ м в лотках должны иметь место быстроточ-

ные формы движения. В действительности же, даже при $\lambda = 0,95 < 1,20$ м, в исследуемом сооружении имел место ярко выраженный перепадный режим движения.

Таким образом, модельные и натурные исследования убеждают в том, что рекомендации, полученные при исследовании прямоугольных быстротоков с малым уклоном дна, не могут быть распространены на быстротоки трапециoidalного сечения с более значительными уклонами.

Г. А. Петров¹, исследовавший лотки прямоугольного сечения с донной и бортовой шероховатостью при уклонах от 0,06 до 0,5, пришел к совершенно правильному выводу о том, что расстояние между повысителями шероховатости зависит от уклона дна лотка. Г. А. Петров дает следующую таблицу для назначения относительного расстояния между повысителями шероховатости для исследованного им типа комбинированной шероховатости:

i	0,6	0,20	0,25	0,5
$\frac{\lambda}{\sigma}$	8	6	5	4

Предлагаемая зависимость для назначения расстояния между повысителями шероховатости (рис. 2), учитывающая влияние уклона, относительной ширины и относительной высоты повысителей шероховатости, является наиболее правильной.

Как уже сказано, мы учитываем эффект гашения энергии в лотке коэффициентом Шези С. На рис. 3 представлен график $S = f(\beta_{кр})$ для трех значений уклонов.

Натурные исследования, проведенные на четырех построенных сооружениях, подтвердили справедливость предлагаемой зависимости $S = f(i, \beta_p)$. Значения коэффициентов, полученных на основании натуральных измерений, отличаются от вычисленных на 3–14%.

Необходимо дать следующие указания о конструировании повысителей шероховатости:

1. Длину повысителей шероховатости рекомендуется принимать равной ширине лотка по дну (планки не должны заходить на откосы). Это вызывается двумя соображениями:

а) во-первых, при такой конструкции возрастают скорости у бортов лотка, а это улучшает условия сопряжения с нижним бьефом;

б) во-вторых, облегчаются условия производства работ, так как в случае планок, распространяющихся на откосы, потребовалось бы устройство двух строительных швов.

¹ Г. А. Петров. Некоторые данные для проектирования лотков повышенной шероховатости. Труды Укрводгео, 1940 г.

2. Планки надо устанавливать на всей длине быстротока, причем первая планка ставится на начальной части лотка быстротока. Установка повысителей шероховатости на некотором расстоянии от начала лотка, где скорости превысят предельные допустимые значения, в лотках с большими уклонами дна является недопустимой. Планки, установленные в той части лотка, где скорости достигают значительной величины (6–8 м/сек), вызывают сильный взлет струи, которая перелетает через несколько планок, ударяется о нижележащие планки взлетает вновь и т. д. В результате снижается эффект усиленной шероховатости и возникают нежелательные брызги и выплескивание из лотка, а также волнение в нижнем бьефе и размывы откосов каналов.

Как уже сказано, повышенная шероховатость рассматривалась нами, как элемент всей конструкции, во взаимодействии потока, сооружения и русла.

Опыт эксплуатации сооружений по сопряжению бьефов, в том числе быстротоков, показывает, что одним из существенных недостатков в их работе является размыв нижнего бьефа.

Основной причиной размыва за быстротоками является сбойное течение в нижнем бьефе — искривление динамической оси потока. Даже в тех случаях, когда средняя скорость за быстротоком не превышает допускаемой скорости на разрыв для данного грунта, происходит размыв вследствие сбойного течения.

Предложенные за последнее время формулы для определения глубины размыва дают приближенную количественную оценку влияния сбойного течения.

В формуле М. С. Вызго¹ $t = AK\sqrt{\sigma q\sqrt{\alpha_0}} \dots$ (11) коэффициент

σ, называемый коэффициентом сбойности, учитывает влияние сбойного течения на глубину размыва за сооружением (детальных рекомендаций для выбора проф. С. Вызго не дает).

Сбойное течение, если не принимать специальных мер для его устранения, за лотками трапециoidalного сечения является неизбежным. Образование сбойного течения объясняется тем, что в быстротоках трапециoidalного сечения бурный и спокойный потоки имеют в значительной степени отличающуюся друг от друга ширину. Вследствие большой разницы ширины не может произойти плавного растекания бурного потока, при котором его ширина, увеличиваясь монотонно, стала бы равной ширине спокойного потока. При этом с обеих сторон от струи образуются макроструктурные вихреобразования, водоворотные зоны, вращающиеся вальцы. Движение струи между двумя симметричными вальцами не является устойчивым вследствие пульсации. В одном из вальцов горизонты в некоторый момент оказываются выше, чем в другом, вследствие чего струя отжимается к одному из бортов и создается движение с искривленной динамической осью

¹ М. С. Вызго. Процесс размыва грунта и предохранение плотин, Известия АН УзССР, № 6, 1952 г.

и вальцами разных размеров. Из-за того, что при этом часть сечения оказывается занятой развившимся вальцом (источник дополнительного расхода всасывания — эжекции),¹ действительные погонные расходы и количество движения осевой части потока увеличиваются, что означает увеличение фактической размывающей способности потока. Вследствие образования сбойного течения удлиняется участок становления нормальной эпюры распределения скоростей, следовательно, значительно возрастает необходимая длина крепления за лотком.

Исходя из сущности описанного явления, для устранения сбойного течения, необходимо воздействовать на бурный поток таким образом, чтобы плавно расширить его до ширины, близкой к ширине спокойного потока, или же направить в боковые застойные зоны дополнительную кинетическую энергию с тем, чтобы исключить возможность образования боковых водоворотов.

Лабораторные исследования были выполнены с целью устранения сбойного течения в типовых быстротоках и перепадах — быстротоках с расходом $0,1 - 10 \text{ м}^3/\text{сек}$, запроектированных институтом Средазгипроводхлопок. Сооружения при проектировании были разбиты на 16 групп, в каждой из которых крайние значения расходов отличаются друг от друга не больше чем на 30%. Уклон дна сооружений $0,25$. Длина лотка является переменной и может изменяться в весьма широких пределах — от двух метров до длин, при которых в пределах лотка размещается кривая спада.

Вход запроектирован прямоугольным, все остальные элементы — трапециoidalного сечения с коэффициентом откоса $m=15$.

В проекте принято, что грунт, на котором будут возводиться эти сооружения, — суглинок, средней плотности. Исследуемые сооружения запроектированы двух типов — сборными и монолитными.

На дне монолитных сооружений устанавливаются повысители шероховатости типа „нормальные ребра“ в соответствии с рекомендациями, данными выше. В сборных сооружениях усиленная шероховатость создается вутами, выполненными по периметру плит-блоков.

В описываемых сооружениях сбойность удалось устранить с помощью нескольких конструкций. Опишем две из них:

1. В нижней части лотков, на дне их, устанавливалась горизонтальная плоскость. Эта плоскость в плане имела форму трапеции: ширина верхнего основания равна ширине лотка по дну, ширина низового основания принималась равной $0,7B^*$, где B — ширина спокойного потока по верху. Бурный поток растекался

на горизонтальной плоскости, ширина его увеличивалась до ширины, необходимой для бессбойного сопряжения со спокойным потоком в нижнем бьефе.

2. В нижней части лотка, на откосах его, устанавливаются два ряда горизонтальных направляющих ребер. С помощью направляющих ребер в боковые застойные зоны подается дополнительная кинетическая энергия, что исключает возможность образования боковых водоворотов, следовательно, и возникновения сбойного течения.

Эта конструкция, так же как и предыдущая, обеспечивала вполне удовлетворительные условия сопряжения в нижнем бьефе.

Исходя главным образом из простоты конструкции, нами рекомендуется для устранения сбойного течения в нижнем бьефе типовых сооружений конструкция из двух рядов бортовых направляющих ребер (рис. 4).

Верхний ряд бортовых направляющих ребер устанавливается на высоте $a_v = (0,85 \div 1,1) h_{сл}$, нижний ряд — на высоте $a_n = (0,6 \div 0,75) h_{сл}$, где $h_{сл}$ — глубина воды на сливе.

На монолитных сооружениях с расходом от $0,1 \text{ м}^3/\text{сек}$ до $2 \text{ м}^3/\text{сек}$ бессбойное сопряжение в нижнем бьефе достигается при высоте бортовых направляющих ребер $0,27 h_{кр}$.

Монолитные сооружения с расходом от $2 \text{ м}^3/\text{сек}$ до $10 \text{ м}^3/\text{сек}$ выполняются расширяющимися в плане. Вследствие этого высоту бортовых направляющих ребер следует принимать несколько большей и равной, в зависимости от угла расширения, от $0,28 h_{кр}$ до $0,32 h_{кр}$.

Сборные сооружения запроектированы из плит-блоков инж. Н. А. Алиева. Ввиду того, что блоки инж. Алиева имеют по периметру вуты, сборные сооружения с гидравлической стороны представляют собой быстротоки с комбинированной шероховатостью.

Бортовая шероховатость вызывает уменьшение бортовых скоростей в створе установки конструкции для борьбы со сбойностью, вследствие чего не удастся предотвратить образование боковых водоворотов, следовательно, и ликвидировать сбойное течение в нижнем бьефе. Таким образом, бортовая шероховатость оказывает отрицательное влияние на условия сопряжения с нижним бьефом. Для получения удовлетворительных условий сопряжения в нижнем бьефе на сборных сооружениях оказалось необходимым в низовой части сооружения шероховатые плиты на откосах заменить гладкими.

Следует указать, что принятая конструкция устраняет сбойное течение при установке на дне лотка только рациональной усиленной шероховатости. При установке нерациональной усиленной шероховатости (например, бортовой или комбинированной), или при отсутствии шероховатости сбойное течение в исследуемых сооружениях не устраняется. Это объясняется тем, что повысители шероховатости типа „нормальные ребра“ (особенно

¹ Н. И. Теперин. Движение струн в массе жидкости. САОГИЗ, 1933 г. Ташкент, Выпуск 10 трудов САНИИРИ. Г. В. Востржел. О расчетных зависимостях для свободной струи. Известия НИИГ, том 53, 1954 г.

* По данным Л. А. Машковича („Трапециoidalный перепад-быстроток с ромбовидным водоскатом“, Гидротехника и мелиорация № 1, 1954 г.), бессбойное сопряжение возникает, если ширина бурного и спокойного потоков отличается не более чем на 20%.

при длине ребер, равной ширине лотка по дну) создают в лотке эпюру распределения скоростей, характеризующуюся увеличенными скоростями у бортов лотка. Кроме того, повысители шероховатости в рассматриваемых сооружениях выполняют еще одну задачу. Вследствие прямоугольного входа в трапециoidalные лотки в лотках наблюдаются косые прыжки, при которых резко изменяются глубина и ширина потока вдоль лотка.

Так, в сооружении ПБ-8 с расходом $1,4 \text{ м}^3/\text{сек}$ без шероховатости (гладкий лоток) колебания глубин в лотке, измеренных по оси потока, и ширины потока по верху могут быть представлены следующей таблицей:

Расстояние от начала лотка, м	0	2	6	12	16	20
Глубина потока по оси, м	0,67	0,14	0,42	0,12	0,26	0,16
Ширина потока по верху, м	1,0	2,55	1,10	2,0	1,25	1,25

Как видно из приведенных данных, колебания затухают, но в конце лотка, при длине его 20 м, еще остаются заметными. Поскольку работа предлагаемой конструкции для устранения сбойности зависит от структуры потока, мы не можем допустить в лотке таких колебаний, так как длина типовых сооружений может быть различной, а сбойное течение в нижнем бьефе должно быть устранено при помощи одной и той же конструкции.

Модельные исследования и натурные наблюдения показывают, что повысители шероховатости в значительной степени устраняют колебания глубин в лотке, и благодаря этому рекомендуемая конструкция надежно устраняет сбойное течение при любой длине сооружений.

Таким образом, в исследуемых сооружениях усиленная шероховатость является средством гашения энергии в лотке, средством уменьшения косых прыжков и средством преобразования структуры потока — средством создания необходимой для устранения сбойного течения в нижнем бьефе эпюры распределения скоростей.

Эффект, достигаемый рекомендуемой конструкцией для устранения сбойного течения, оценивался следующими методами:

- 1) измерением скоростей в нескольких створах ниже лотка при помощи трубки Пито;
- 2) измерением турбулентности потока при помощи прибора И. К. Никитина;¹
- 3) наблюдением за размывами в нижнем бьефе.

Произведенные замеры и наблюдения приводят нас к выводу о том, что рекомендуемая конструкция из двух рядов бортовых

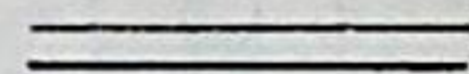
¹ И. К. Никитин. Криволинейный отстойник с непрерывным промывом; диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, САНИИРИ, 1954 г. (машинопись).

направляющих ребер, полностью устраняя сбойное течение, значительно сокращает длину крепления в нижнем бьефе.

Исследования, проведенные на размываемой модели сооружения (рассчитанного на расход равный $10 \text{ м}^3/\text{сек}$), показывают, что рекомендуемая конструкция для устранения сбойности позволяет вдвое сократить длину крепления: вместо 23 м длина крепления (водобой и рисберема) на этих сооружениях может быть принята 14 м, и при этой длине размыв за сооружением не наблюдается.

Описанная конструкция для устранения сбойности принята институтом Средазгипроводхлопок и применена при проектировании типовых быстротоков и перепадо-быстротоков с расходом от $0,1 \text{ м}^3/\text{сек}$ до $10 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Нет никаких сомнений в том, что рекомендуемая конструкция, дающая возможность вдвое сократить длину крепления в нижнем бьефе, благодаря своей простоте и экономичности найдет себе широкое применение в производстве, особенно после выполнения необходимого следующего этапа изучения контрольно-опытных сооружений в производственных условиях, а это является ближайшей задачей последующих исследований.

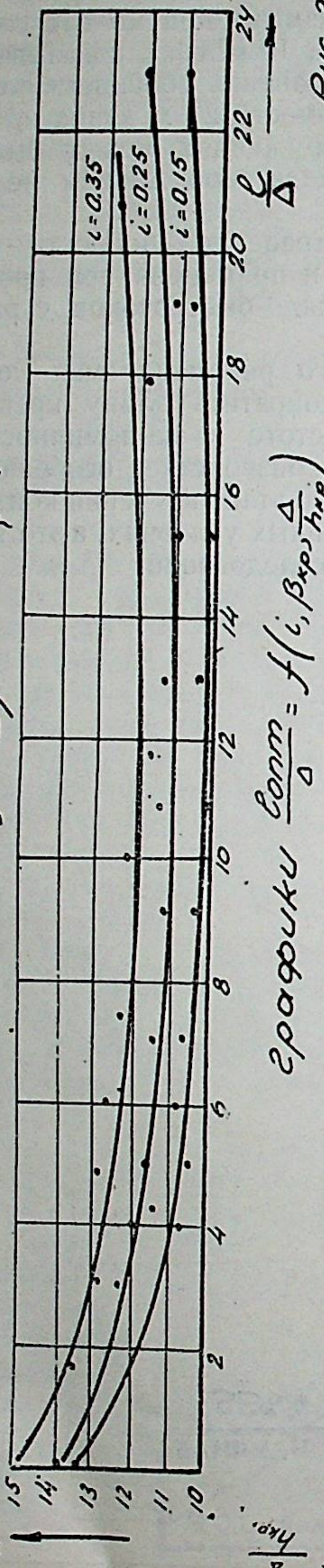


102255

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

Рис 1

Графики $h'' = f\left(\frac{L}{\Delta}\right); \Delta = 7mm, \beta_{кр} = 3$



Графики $\frac{v_{ном}}{\Delta} = f(i, \beta_{кр}, \frac{\Delta}{r_{кр}})$

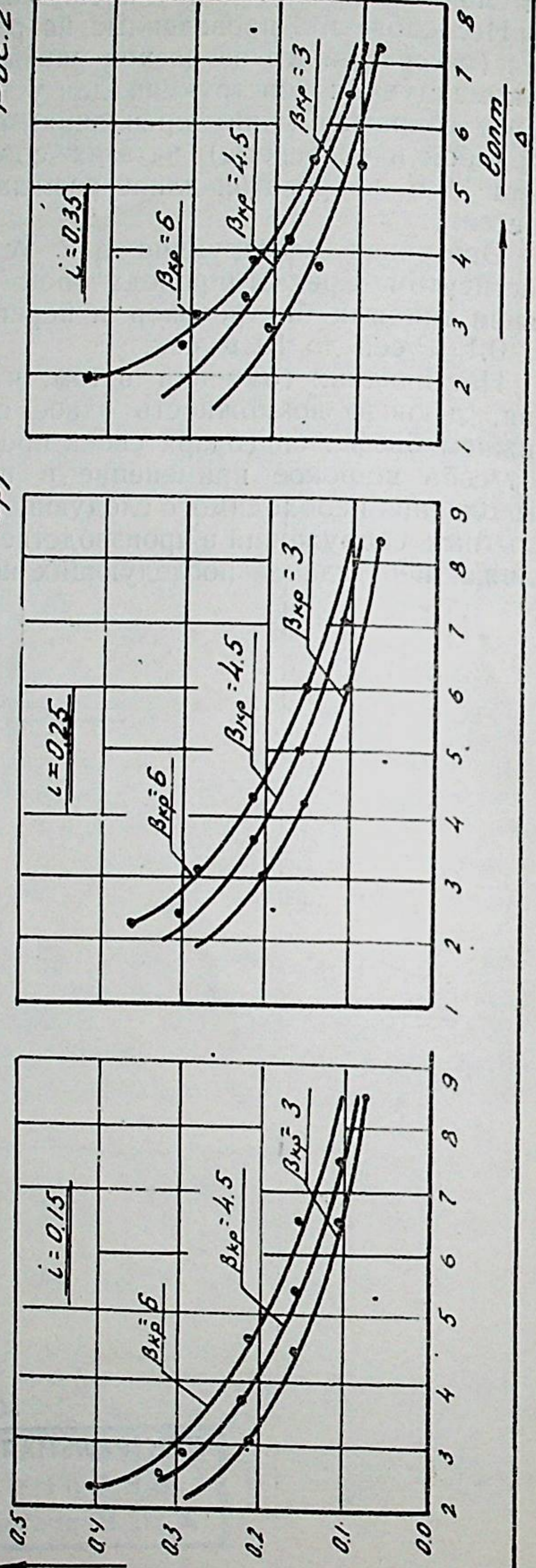


График $C = f(i, \beta_{кр})$

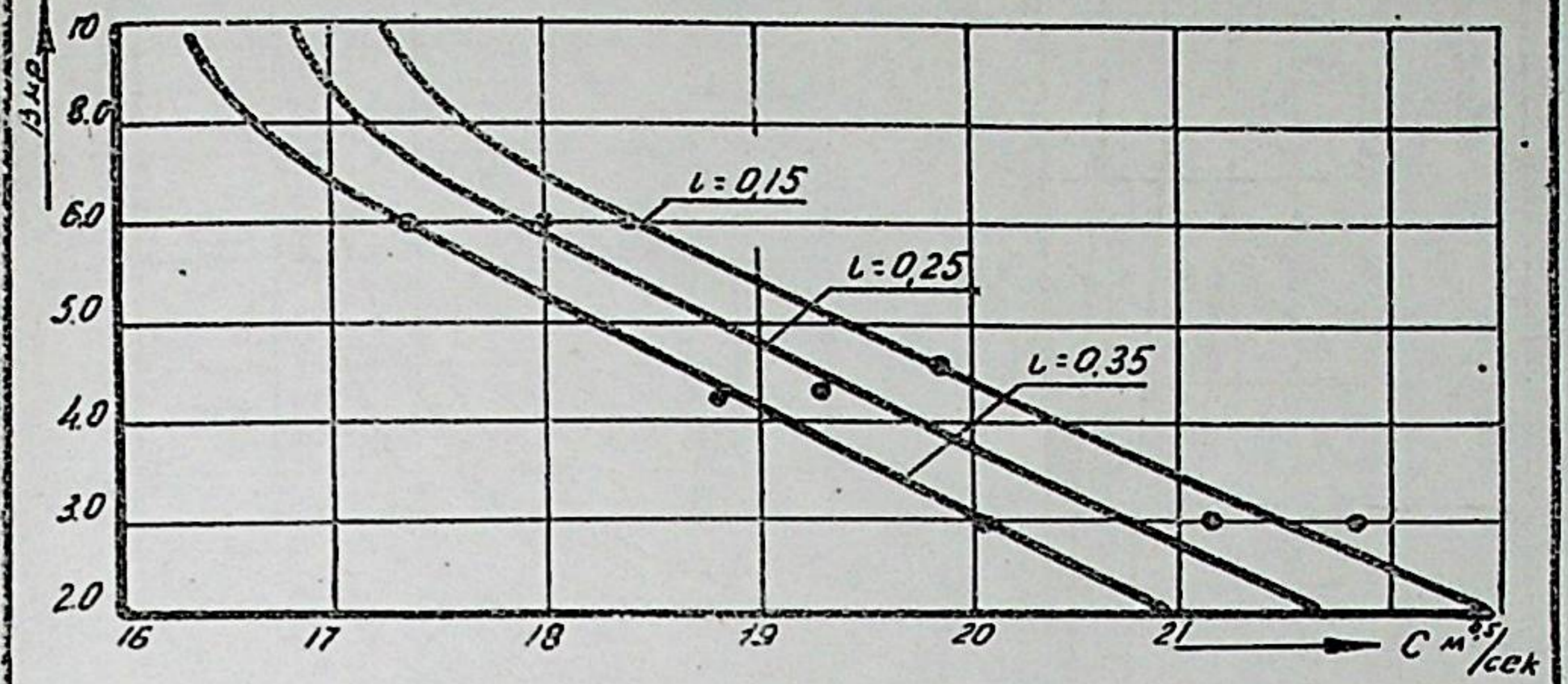


Рис 3

Конструкция для устранения сбойного течения в типовых перепадах-быстротоках и быстротоках.

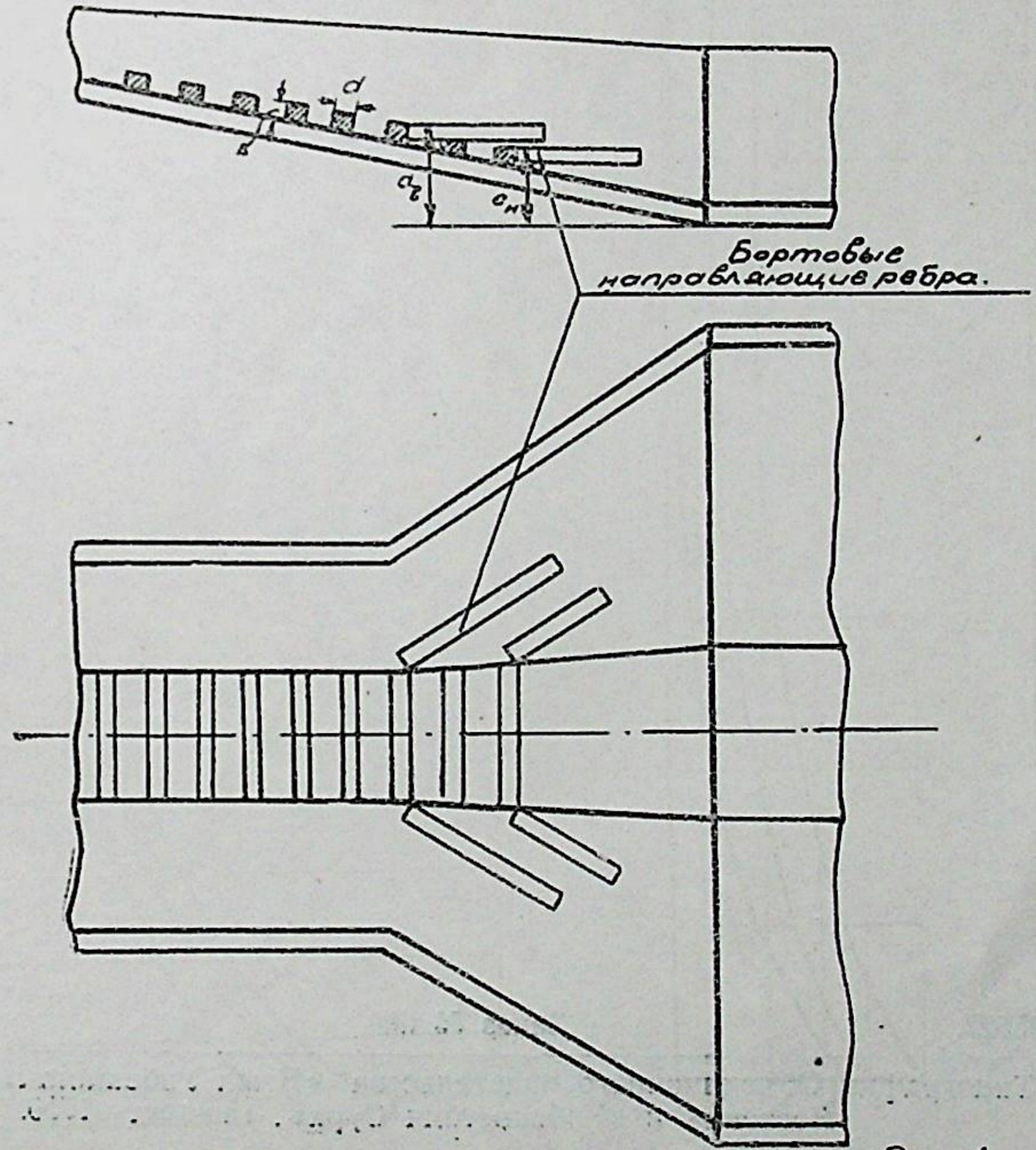


Рис 4.

Р 05627.

Заказ № 653.

Тираж 120.

Типография Объединенного издательства «Кзыл Узбекистан», «Правда Востока» и «Узбекистони Сурх». Гашкент—1956.