

РГБ ОА

14 СЭГ 20

На правах рукописи

Юрченко Александр Николаевич



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГАСЯЩИХ
УСТРОЙСТВ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА
КИНЕМАТИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ПОТОКА ЗА
МНОГОПРОЛЁТНОЙ ВОДОСБРОСНОЙ ПЛОТИНОЙ**

Специальность 05.23.07- Гидротехническое и мелиоративное строительство

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 2000

Работа выполнена на кафедре Гидротехнические сооружения Московского
государственного университета природообустройства

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Кавешников А.Т.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Правдивец Ю.П.

- кандидат технических наук,
профессор Беглярова Э.С.

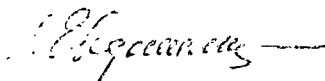
Ведущая организация : Инженерный научно-производственный центр по
водному хозяйству и экологии " Союзводпроект"

Защита состоится " 19 " июня 2000 г. в 12⁰⁰ часов на
заседании диссертационного совета К 120.16.01 в Московском
государственном университете природообустройства по адресу:
127550, Москва, ул. Прянишникова, 19, ауд. 201/1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГУП.

Автореферат разослан " 19 " мая 2000 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



И.М. Евдокимова

H 773 - 046.6 , 0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Пропуск паводковых, а чаще даже обычных эксплуатационных расходов до сих пор представляет существенные проблемы. В реальных условиях пропуска сбросных расходов имеет место пространственный характер движения потока в нижнем бьефе, что вызывает, в свою очередь, неравномерность распределения гидродинамических нагрузок на плиты крепления и, следовательно, ухудшение условий его работы. На сходе с водосливного порога и в пределах крепления поток имеет ещё достаточно большую избыточную кинетическую энергию, значительная часть которой тратится на переформирование дна русла и берегов за пределами крепления. Несмотря на многочисленные исследования различных типов гасящих устройств, а также оценку их влияния на структуру потока и на возможности управления сбойными течениями, на снижение их нежелательного воздействия на крепление и естественное русло, многие из отмеченных выше вопросов изучены пока недостаточно полно, полученные в этих исследованиях результаты зачастую противоречивы, а иногда носят взаимоисключающий характер. Отмеченное позволяет нам считать, что результаты, полученные в рамках настоящего исследования, дадут возможность ответить на ряд поставленных выше вопросов, что свидетельствует об актуальности рассматриваемой проблемы.

Цель работы. Цель нашей работы состоит в том, чтобы на основании полученных результатов экспериментальных гидравлических исследований разработать конструкцию крепления применительно к многопролётному водопропускному сооружению (водосбросной плотине) и предложить методику расчётного обоснования этой конструкции и прогноза основных характеристик движения потока в нижнем бьефе.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить эволюцию и произвести анализ кинематических характеристик потока и гидравлических режимов течения, возникающих при различных схемах открытия отверстий водосбросного сооружения, применительно к исследуемым типам конструкций крепления и оценить влияние этих конструкций на динамику изменения как скоростей потока, так и удельных расходов по ширине и длине нижнего бьефа;

- осуществить сравнительную оценку эффективности исследуемых конструкций крепления и выявить необходимость применения дополнительных конструктивных мероприятий для борьбы со сбиваемостью потока, а также установить экспериментально рациональное местоположение гасящих устройств для некоторых из исследуемых конструкций;

- определить границы диапазона эффективной работы крепления для рассматриваемого типа конструкции и произвести оценку влияния предлагаемых конструкций крепления на динамику изменения скоростей при различных схемах маневрирования затворами;

- осуществить сравнительную оценку влияния параметров гасящих устройств (высоты уступа совместно с установленными в пределах водобоя растекателями) на кинематическую структуру потока на сходе его с крепления;

- провести сравнительный анализ воздействия гасителей, при донном режиме сопряжения бьефов на водобое, на плановое распределение скоростей и удельных расходов, а также оценить влияние рассмотренных конструкций на перестроение вертикальных и плановых скоростных эпюр в пределах участка крепления;

- установить тенденцию изменения удельной энергии потока и влияние на динамику её изменения исследуемых конструкций.

Научная новизна. На основании выполненных экспериментальных исследований и анализа полученных результатов в настоящей работе:

- изучен процесс трансформации кинематической структуры потока при работе многопролётного водосбросного сооружения с различными схемами открытия отверстий (применительно к новому, чередующемуся через пролёт, положению носка уступа на водосливе) и выполнен анализ гидравлических режимов работы исследуемых конструкций;

- предложены новые графические зависимости, позволяющие определить значения максимальных придонных и поверхностных скоростей, а также величины удельных расходов как в конце водобоя, так и на сходе потока с крепления рассмотренных конструкций;

- исследована кинематическая структура потока и гидравлические режимы работы нижнего бьефа многопролётной плотины, получены новые графические зависимости для прогноза характеристик течения применительно к рассмотренной конструкции крепления с растекателями на водобое;

- произведена сравнительная оценка влияния высоты носка-уступа, устроенного на низовой грани водосливного порога, на кинематические характеристики потока на сходе с крепления;

- осуществлены сравнительные исследования эффективности работы гасителей энергии различных типов при донном режиме сопряжения, а также изучено их влияние на кинематическую структуру потока в нижнем бьефе;

- получены новые зависимости позволяющие прогнозировать изменение удельной энергии потока для исследованных в работе конструкций крепления нижнего бьефа многопролётного водосбросного сооружения.

Практическая ценность. В работе исследована новая конструкция крепления, с носком-уступом на низовой грани водосливного порога, расположенным через пролёт (в дальнейшем именуемая К1), а также воздействие последней на гидравлическую структуру и характеристики потока в нижнем бьефе сооружения. Предложенная конструкция позволит повысить надёжность работы сооружений подобного типа в процессе их эксплуатации, улучшить условия сопряжения бьефов и, как следствие, уменьшить размывы и

снизить ущерб при их возникновении. Получены графические зависимости для исследуемых конструкций крепления, которые могут быть использованы при проектировании и эксплуатации аналогичных устройств, применительно к многопрелётным водосбросным сооружениям.

Апробация полученных результатов. Результаты и основные положения настоящей диссертационной работы регулярно докладывались на научных конференциях профессорско-преподавательского состава МГУП в период с 1993 по 2000 годы. Основные выводы опубликованы в материалах этих конференций.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы из 158 наименований, в том числе 10 иностранных источников. Материалы работы изложены на 111 страницах машинописного текста и имеют 2 таблицы и 144 рисунка, а также 10 фотоснимков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе произведён краткий анализ условий работы креплений нижних бьефов водопропускных сооружений, а также обсуждён ряд существенных проблем, возникающих в процессе эксплуатации водосбросов, например, при несимметричном распределении сбросных расходов по ширине водосливного фронта при пропуске паводка. Рассмотрены существующие типы гасящих устройств, расположенных в пределах крепления нижнего бьефа и проанализирован характер их воздействия на процесс переформирования структуры потока. Выявлены основные причины возникновения сбойности потока, её негативное влияние на крепление. Перечислены мероприятия, позволяющие снизить это воздействие, а иногда и полностью предотвратить его. Представлены основные методики, положенные в основу расчёта гасителей энергии известных типов и некоторые графические зависимости,

позволяющие определять параметры гасящих устройств. Приведены и проанализированы гидравлические режимы, возникающие как за водосбросными плотинами с носком-уступом на водосливной грави, так и при различных конструкциях крепления нижнего бьефа.

Значительный вклад в изучение вопросов гидравлики нижнего бьефа внесли: Андреев А.Е., Антонников А.Ф., Беглярова Э.С., Беляшевский Н.Н., Варывдин А.В., Гуцько Ф.Г., Кавешников А.Т., Кавешников Н.Т., Кузьмин С.А., Кумин Д.И., Куприянов В.П., Леви И.И., Лятхер В.М., Михалёв М.А., Мошков Л.В., Николаенко Ю.И., Образовский А.С., Павловский Н.Н., Правдивец Ю.П., Проворова Т.П., Прудовский А.М., Рахманов А.Н., Родионов В.Б., Розанов Н.П., Россинский К.И., Румянцев И.С., Слисский С.М., Смирнов Л.В., Черных О.Н., Штеренлихт Д.В., Юдицкий Г.А. и многие другие.

Отмечено, что теоретические расчеты крепления нижнего бьефа и его элементов, а также вопросы прогнозирования воздействия потока на него и перестроение русла изучены недостаточно полно, особенно для пространственных условий работы сооружения, то есть встречающихся в реальных условиях эксплуатации. Большинство работ, посвященных исследованию вопросов гидравлики нижнего бьефа водопропускных сооружений, выполнено применительно к плоским условиям, то есть двумерному движению потока. Установлено, что в пространственных условиях эксплуатации сооружения вторая сопряженная глубина меньше, чем в плоских и, поэтому, расчет крепления без учета пространственных условий, безусловно, ведет к удорожанию конструкции. В результате анализа и проработки вышеизложенных вопросов была определена цель настоящих исследований и поставлены задачи, изложенные во введении диссертационной работы.

Во второй главе приведена методика модельных гидравлических исследований применительно к условиям нижнего бьефа многопролетного

водосбросного сооружения. Моделирование производилось по закону гравитационного подобия:

$$Fr_{\text{нат.}} = Fr_{\text{мод.}} = \text{idem}$$

с соблюдением автомодельности по числу Рейнольдса (здесь $Fr=v^2/gh$). Исходя из поставленных задач и параметров экспериментальной установки, был выбран минимальный масштаб модели, который в наших условиях равнялся 1:70. С учётом этого были определены основные масштабные коэффициенты пересчета модельных величин в натурные. Исследование изложенных в работе вопросов производилось на русловой модели лаборатории гидравлики водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений МГУП.

Экспериментальная установка (рис.1) представляла собой модель семипролетной водосбросной плотины с элементами крепления за ней. В пределах лотка были смоделированы также подводящие и отводящие участки. Модель водосбросной плотины представляла собой водослив практического профиля с установленными на гребне плоскими затворами, которые крепились к шпитценмасштабам. Затворы перемещались в пазах быков, выполненных из оргстекла с последующей заливкой их внутренних полостей цементным раствором. Водобой, рисберма, а также верховой откос ковша были сделаны из оргстекла. Конструкция модели позволяла устанавливать на водобое в ходе проведения опытов различные типы гасителей.

В процессе опытов расход, подаваемый на модель, измерялся при помощи треугольного мерного водослива, тарировочная кривая которого приемлемо аппроксимировалась кривой, построенной по формуле Кинга. В ходе наших исследований производились измерения осредненных скоростей и глубин потока. Измерения скоростей производились при помощи микровертушки с выводением данных на регистрирующий прибор. Последняя была неоднократно тщательно тарирована в специальном конфузоре тарировочного стенда гидравлической лаборатории НИИЭС. В тексте главы

приведены тарировочные кривые, а также подробное описание конструкции прибора, принципа его действия и результаты оценки погрешностей, производившихся в наших экспериментах измерений. Так относительная ошибка в определении глубин потока в исследуемом диапазоне составляла менее 1,5%, при измерении расходов - менее 0,5% и максимальная относительная ошибка при определении малых величин скоростей была менее 4%.

В третьей главе обсуждены результаты сравнительного анализа кинематической структуры потока применительно к двум конструкциям водосбросной плотины. Для интенсификации процесса гашения энергии потока нами предложена конструкция водосброса с носками-уступами, размещёнными через пролёт (в пролётах № 2, 4, 6) на низовой грани водослива, а в остальных пролётах (№ 1, 3, 5, 7) было выполнено гладкое сопряжение водослива с поверхностью плиты водобоя (рис.2). Относительная высота носка-уступа в наших опытах составляла $c/h_{кр}=0,67$ (или $c/P=0,31$), где c - высота носка-уступа, $h_{кр}$ и P - критическая глубина и высота водосливного порога со стороны нижнего бьефа соответственно. В дальнейшем эта конструкция именуется нами - К1. Также была исследована кинематическая структура потока применительно к конструкции водосброса с носком-уступом той же высоты в каждом пролёте (рис.2) и в дальнейшем эта конструкция именовалась - К2.

В ходе двух серий, состоящих из десяти опытов каждая, производились зарисовки плановых течений (рис.3), а также измерения осреднённых скоростей и глубин потока. Основные параметры, изменявшиеся в этой серии опытов, представлены в таблице (рис.2). Основные схемы открытий отверстий выбирались на основании анализа данных о маневрировании затворами на натуральных сооружениях, сделанного в первой главе диссертации. На основании полученных данных было построено большое количество эпюр скоростей как

по глубине потока, так и по ширине нижнего бьефа и удельных расходов в пределах крепления.

Анализ этих эпюры: $V_d/V_{сж.}$, $V_{пов.}/V_{сж.}$, $V_{ср.}/V_{сж.}$, q_1/q_p . (рис.4) позволил проанализировать характер изменения перечисленных параметров в пределах крепления. Были выявлены и проанализированы гидравлические режимы, возникающие в нижнем бьефе водосброса устроенного как по типу K1, так и по типу K2 при пропуске расходов исследуемого диапазона при различных открытиях водосливного фронта (рис.3...4). Установлено, что по мере увеличения сбросного расхода и коэффициента использования водосливного фронта характер распределения скоростей как по ширине, так и по глубине потока, а также удельных расходов в условиях симметричного пропуска расходов улучшаются, причём при варианте водосброса с расположением носков- уступов через пролёт, то есть K1, (рис.2) величины максимальных придонных скоростей были на 5...48% меньше, чем при использовании конструкции K2. Анализ различных схем маневрирования затворами показал, что крайне нежелательными являются схемы, в которых осуществлялось открытие крайних отверстий водосброса (№ 1 и 7) на полную величину, так как при подобных схемах маневрирования наблюдалось существенное увеличение скоростей вдоль береговых устоев. Наши исследования показали, что в этом случае целесообразно ограничивать открытие крайних к устью отверстий величиной $a=0,5H$.

По результатам экспериментов были построены графические зависимости: $V_{д.макс.}/V_{сж.}$, $V_{пов.макс.}/V_{сж.}$, $V_{ср.}/V_{сж.}$, $q_{макс.}/q_{г.в.}$, $q_{макс.}/q_p$, $h_{ср.}/h_{кр.}$, $h_{ос.}/h_{кр.}=f(K_Q, \beta, K1, K2)$ (рис.5...8). Здесь $K_Q=Q_i/Q_p$ - относительный расход пропускаемый через сооружение, а $\beta=b/B$ - степень использования водосливного фронта (где Q_i и Q_p - пропускаемый через сооружение и расчётный расходы, а b и B - ширины работающих отверстий и нижнего бьефа на водобое соответственно). Анализ этих зависимостей и эпюр распределения скоростей по глубине потока позволил установить, что при пропуске расходов

расчётного диапазона возникает либо донный, либо поверхностно-донный режимы сопряжения, но при использовании конструкции типа К1 (рис.2) наблюдалась трансформация вертикальных эпюр скорости адекватная поверхностному режиму.

При использовании конструкций водосброса обоих типов наблюдалось снижение величин придонных скоростей для варианта К1 на 7...76%, а при К2 - на 5...83%. При менее благоприятных условиях работы сооружения, то есть в диапазоне $K_Q=0,06...0,8$ и $\beta=0,35...0,7$ лучшие гидравлические характеристики были у конструкции с расположением носков уступов через пролёт, то есть как у варианта К1 (рис.2).

В четвёртой главе обсуждаются результаты выполненных исследований и анализ кинематической структуры потока, а также даётся оценка влияния на последнюю растекателей, расположенных в пределах водобоя, и высоты носка-уступа на водосливной грани.

В ходе анализа экспериментальных данных описанных в главе три был сделан вывод о необходимости разработки дополнительных конструктивных мероприятий для улучшения кинематической структуры потока и гашения энергии. На водобое в нижнем бьефе исследуемого многопролетного водосброса были установлены растекатели треугольной как в плане так и в вертикальной плоскости формы, имеющие следующие размеры: $l/h_{кр.}=1,17$; $b/h_{кр.}=1,3$; $c/h_{кр.}=0,67$, где l , b и c - длина, ширина и высота растекателя соответственно, а $h_{кр.}$ - критическая глубина. По результатам предварительной серии опытов было выяснено, что максимальный отлет струи с носка-уступа наблюдался, как правило, при максимальном расходе водосброса и величина этого отлета в осевом пролете составляла $3,3h_{кр.}$ ($0,44L_{в.б.}$) и, следовательно, для эффективной работы растекателей целесообразно устанавливать их на расстоянии не менее чем $3,3h_{кр.}$ от начала горизонтального участка водобоя. В остальных пролетах, где осуществлялось гладкое сопряжение низовой грани водослива с поверхностью плиты водобоя, растекатели устанавливались в

соответствии с известными рекомендациями на расстоянии $1,3h_{кр.}$ ($0,17L_{в.в.}$) (рис.9).

По данным проведенных опытов и визуальных исследований за состоянием потока было установлено, что при пропуске расходов через сооружение конструкция крепления с подобным расположением растекателей не оказывает существенного влияния на плановое распределение потока и режимы, наблюдаемые в нижнем бьефе водосброса, в целом похожи на описанные в главе три для конструкции К1. Поэтому, для увеличения распределительного действия и интенсификации процесса гашения энергии были установлены дополнительные растекатели, размещенные по оси быков на расстоянии $2,3h_{кр.}$ от начала горизонтального участка водобоя. По результатам исследований были построены эпюры распределения придонных скоростей и удельных расходов по ширине нижнего бьефа на сходе с крепления, а также графические зависимости: $V_{max.д.}/V_{сж.}$, $V_{max.пов.}/V_{сж.}$, $V_{ср.}/V_{сж.}$, $q_{max.}/q_{р.}$, $h_i/h_{кр.} = f(K_Q, \beta)$ (рис.10...11). Анализ перечисленных зависимостей позволил установить, что распределительное воздействие растекателей исследуемого типа наблюдалось при работе водосброса тремя и более отверстиями, но они оказывались малоэффективными в случае пропуска расхода через одно отверстие. Отмечено, что при использовании этой конструкции гасящих устройств величины придонных скоростей уменьшались на 9% при пропуске расхода через три отверстия, на 19% - через пять и на 7% - при работе всего водосливного фронта. Также из анализа приведенных в главе четыре настоящей работы зависимостей можно заключить, что растекатели оказывают позитивное воздействие на поток при $K_Q \geq 0,4$ и $\beta \geq 0,6$.

Для оценки влияния на структуру потока при установленных на водобое растекателях была выполнена серия опытов для различных по высоте носков-уступов. В наших опытах величины относительных высот носков-уступов составляли: $c/h_{кр.} = 0; 0,3; 0,67; 0,83; 1$. По результатам опытов были построены эпюры распределения максимальных придонных скоростей на сходе с

крепления, а также графические зависимости $V_{\max.д.}/V_{сж.}, V_{ср.д.}/V_{сж.} = f(K_Q, \beta, c/P)$ (рис.12...13), которые позволили проследить влияние высоты уступа на кинематические характеристики потока для исследуемого типа крепления и сделать вывод о том, что в исследуемом диапазоне расходов кинематические характеристики потока были лучше у конструкции с относительной высотой уступа $c/P=0,47$.

В пятой главе настоящей работы обсуждаются результаты, полученные в ходе опытов по сравнительной оценке кинематической структуры потока для двух вариантов крепления нижнего бьефа применительно к конструкции водосброса с гладким сопряжением низовой грани водослива с поверхностью плиты водобоя.

В начале главы рассмотрены результаты исследований для конструкций гасящих устройств, представляющих собой в первом случае один ряд растекателей потока, установленных на расстоянии $1,3h_{кр.}$ (их вид и основные параметры были изложены в тексте четвертой главы) и прорезную водобойную стенку, расположенную на расстоянии $6,6h_{кр.}$ от начала горизонтального участка водобоя (в дальнейшем конструкция - К3) (рис. 14А); во втором случае - прорезную водобойную стенку, установленную на расстоянии $2,3h_{кр.}$ и в дальнейшем именуемую К4 (рис.14 Б).

По результатам проведенных исследований конструкций К3 и К4 были построены эпюры распределения придонных скоростей и удельных расходов по длине и ширине нижнего бьефа, а также графические зависимости $V_{\max.д.}/V_{сж.}, V_{\max.пов.}/V_{сж.}, V_{ср.}/V_{сж.}, q_{\max.}/q_p = f(K_Q, \beta, x/h_{кр.}, K3, K4)$, где $x/h_{кр.}$ - удаление створа от конца водобойного участка (рис.15...16)

Анализ построенных зависимостей позволил установить, что при пропуске расходов исследуемого диапазона через сооружение имеет место симметричное растекание потока по ширине нижнего бьефа, а также отмечена устойчивая тенденция снижения максимальных придонных скоростей по длине нижнего бьефа при применении конструкции типа К3. Преобладание величин

поверхностных скоростей над донными, отмеченное у обеих конструкций, свидетельствует о позитивном влиянии гасящих устройств на переформирование скоростных эпюр в вертикальной плоскости. В заключительной части этой главы приведены графические зависимости для удельной энергии потока $\mathcal{E}_{\text{ср.}}/\mathcal{E}_{\text{сж.}}=f(K_Q, \beta, x/h_{\text{ср}}, K_1, K_2, K_3, K_4)$ (рис.17...18), которые позволили проследить характер изменения энергии потока по длине нижнего бьефа. При большой пространственности потока $\beta=0,11...0,3$ меньшие значения удельной энергии потока объясняются хорошим диссипирующим воздействием прорезной водобойной стенки (конструкция типа K4). В остальной же части диапазона β достаточно хорошо проявила себя рекомендуемая нами конструкция с одним рядом растекателей и прорезной стенкой на водобое (K3).

Заключение

Анализ и обобщение как данных других исследователей, опубликованных в научно-технической литературе, так и результатов наших экспериментальных исследований, выполненных в рамках настоящей диссертационной работы, позволяет сформулировать нижеследующие выводы:

1. Исследования кинематической структуры и режимов потока при использовании различных схем пропуска расходов через многопролетное водосбросное сооружение показало, что:

- при увеличении коэффициента использования водосливного фронта и величины сбросного расхода, условия распределения как скоростей по глубине и по ширине потока, так и удельных расходов, при осуществлении симметричных сбросов, улучшаются;

- при сравнении качественных характеристик работы обеих исследуемых конструкций крепления с чередующимся, через пролёт, расположением носка-уступа (тип K1) и с расположенным в каждом пролёте уступом (тип K2) установлено, что сосредоточение пропуска сбросных расходов через смежные

пролёты, для обеих конструкций, приводит к значительному увеличению скоростей транзитного потока на участке крепления, а при рассредоточенных схемах сброса - к улучшению общей картины течения и структуры потока на послепрыжковом участке при пропуске тех же по величине расходов;

- при схеме эксплуатации с полным открытием одного или обоих крайних к береговому устью отверстий, наблюдается резкое увеличение скоростей вдоль береговых течений и формирование большого водоворота, сжимающего транзитный поток. Поэтому, при применении подобной схемы необходимо ограничить максимальное открытие крайних отверстий величиной 0,5H;

- при пропуске максимального расхода всем водосбросным фронтом ($\beta \rightarrow 1$) имеют место наиболее благоприятные условия распределения скоростей и удельных расходов по ширине нижнего бьефа, как на водобое, так и в пределах рисбермы, равно как и при пропуске расхода через пять центральных отверстий водосброса. При схеме пропуска сбросного расхода через три и меньшее число отверстий необходимо предусматривать дополнительные конструктивные мероприятия, предотвращающие возникновение сбойности потока.

2. В ходе сравнительных исследований конструкций по типу K1 и K2 (рис.2) было установлено, что конструкции подобного типа способствуют уменьшению скоростей и перераспределению удельных расходов в пределах крепления. Так в пределах рассматриваемого диапазона расходов было отмечено снижение величин максимальных придонных скоростей при устройстве водосливной грани по типу K1 на 7-76%, а K2 на 5-83%.

3. Анализ гидравлических режимов, существующих в нижнем бьефе исследуемых конструкций (рис.2) показал существование во всём диапазоне пропускаемых расходов либо донного, либо поверхностно-донного режима, но при использовании конструкции типа K1 в большинстве случаев происходит трансформация вертикальных эпюр в эпюры поверхностного типа, а при

варианте К2 - лишь некоторое незначительное уменьшение величин придонных скоростей.

4. Выполненный анализ экспериментальных данных позволил установить, что вариант конструкции водосброса К1 (с носками-уступами расположенными через пролёт, то есть в пролетах № 2, 4, 6) имеет гидравлические характеристики более предпочтительные, чем при варианте К2 практически во всём диапазоне пропускаемых расходов. Скорости при использовании варианта конструкции К1 в некоторых случаях были на 48% меньше чем для аналогичных условий у К2, что позволяет отдать предпочтение варианту конструкции К1 и сделать вывод о лучшем влиянии его на структуру потока.

5. В ходе опытов было установлено, что максимальная величина отлёта струи от края носка-уступа, имеющего относительную высоту $c/h_{кр}=0,67$, наблюдалась при максимальном расходе по оси центрального пролёта и, для достаточно эффективной работы растекателя, следует размещать его на расстоянии $l_{отл.}=3,3h_{кр}$ от начала горизонтального участка водобоя напротив пролёта с носком-уступом на водосливе.

6. Анализ эпюр распределения скоростей и удельных расходов, а также плановых картин течения потока позволил установить, что распределительное воздействие рассматриваемых растекателей (рис.9) наблюдалось при $K_Q \geq 0,4$ и $\beta \geq 0,6$, но как реактивное, так и распределительное воздействие растекателей на поток мало эффективны при работе сооружения одним отверстием ($\beta=0,117$).

7. Сравнительная оценка эпюр распределения придонных скоростей для варианта с одним "зигзагообразным" рядом растекателей (рис.9 Б) и без него показала, что устройство последних позволило уменьшить величины придонных скоростей: на 9% при пропуске расхода через три отверстия, на 19% - через пять и на 7% при работе сооружения всем водосливным фронтом.

8. Анализ влияния высоты уступа позволил отметить позитивное влияние последнего на кинематическую структуру потока на послепрыжковом участке

при пропуске расходов более чем через три отверстия ($\beta=0,35$). Кинематические характеристики потока при пропуске расходов $K_Q \geq 0,3$ были лучше при применении конструкции с высотой уступа $s/h_{кр}=1,0$.

9. Размещение в пределах водобоя гасителей энергии, при донном режиме сопряжения бьефов, позволило обеспечить симметричное по ширине растекание потока практически во всём диапазоне пропускаемых расходов. Также было отмечено интенсивное убывание величин максимальных придонных скоростей по длине нижнего бьефа при использовании варианта крепления К3 (рис.14А), а переформирование вертикальных эпюр скоростей носит в большинстве случаев позитивный характер, связанный с уменьшением величин придонных скоростей.

10. Анализ экспериментальных данных показал уменьшение удельной энергии потока по длине нижнего бьефа, а также было отмечено, что при значительной пространственности ($\beta=0,11...0,3$) его энергия меньше при использовании конструкции водобоя по варианту К4 (рис.14Б), что объясняется хорошим диссипирующим эффектом прорезной стенки.

11. Сравнительно неплохие кинематические характеристики были отмечены у вариантов: конструкции с чередующимся положением носков-уступов через пролёт (тип К1) с одним "зигзагообразным" рядом растекателей на водобое (рис.9Б), и у конструкции с одним рядом растекателей и прорезной стенкой в пределах водобоя (тип К3) (рис.14А), которые и рекомендуются нами для дальнейшего практического использования. Также считаем целесообразным сформулировать возможные направления дальнейших исследований:

- исследование кинематической структуры потока и его гидродинамического воздействия на крепление для различных типов гасящих устройств при пространственных условиях работы сооружения;

- исследования коэффициентов лобового сопротивления и скоростей набегания потока на гасители различных типов, применительно к

пространственным условиям эксплуатации, а также совершенствование методов расчета крепления;

- исследования перестроения русла за пределами крепления при использовании различных типов гасящих устройств и разных схем эксплуатации сооружения.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах ее автора:

1. Кинематическая структура потока за водосливной плотиной. Материалы научно-технической конференции МГУП. М., 1996 г.

2. Кинематическая структура потока в нижнем бьефе семипролетной водосбросной плотины. Материалы научно-технической конференции МГУП. М., 1997 г., стр. 113.

3. Сравнительная оценка гидравлических режимов для двух конструкций сопряжения водосливной поверхности с водоемом. Материалы научно-технической конференции МГУП. М., 1998 г., стр.134.

4. Сравнительная оценка кинематической структуры потока для двух систем гасителей энергии при донном режиме в нижнем бьефе. Материалы научно-технической конференции МГУП. М., 2000 г., стр.112.

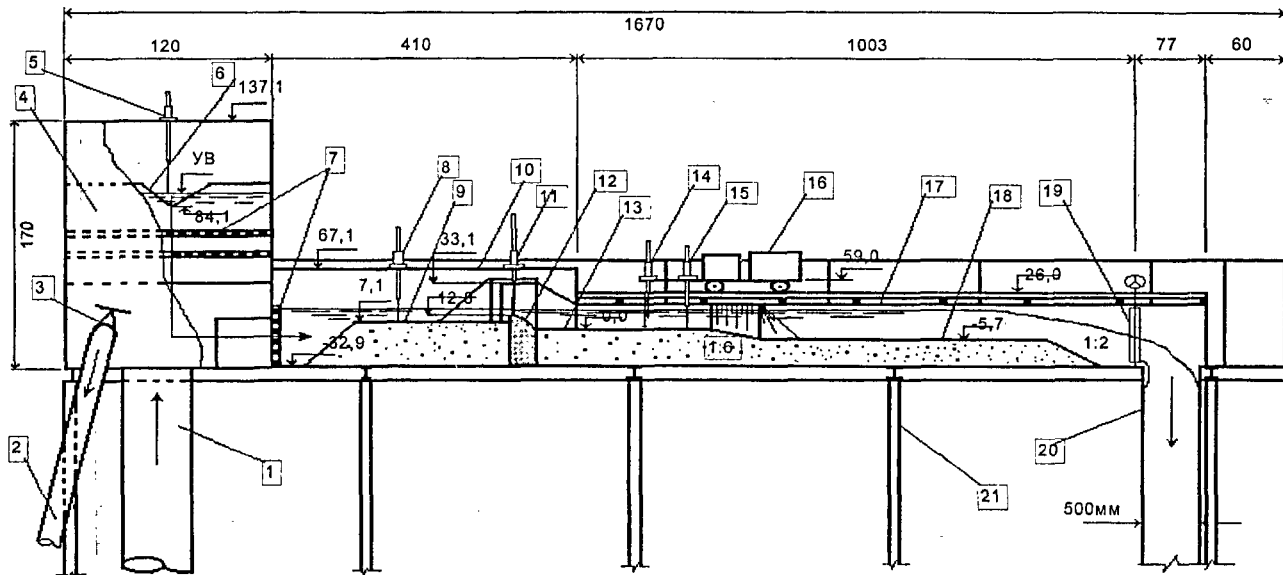


Рис.1 Схема экспериментальной установки:

1- трубопровод от напорного бака ($D=350\text{мм}$); 2- сливная труба ($D=100\text{мм}$); 3- задвижка на трубе слива; 4- безнапорный бак; 5, 8, 11, 15- шпигельмасштабы; 6- мерный треугольный водослив; 7- успокоительные решётки; 9- подводящий участок; 10, 17- стенки лотка; 12- модель водосброса; 13- крепление нижнего бьефа за водосбросной плотиной; 14- микровертушка закреплённая к шпигельмасштабу; 16- передвижная тележка для размещения измерительной и регистрирующей аппаратуры; 18- отводящий участок; 19- жалюзийный затвор; 20- сбросная шахта в нижний бассейн ($b=500\text{мм}$); 21- опоры лотка (размеры в см.)

	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	K_Q	β	a/H	n	№№ открытых пролетов
1	196,3	0,06	0,35	0,1	3	2, 4, 6
2	598,4	0,185	0,35	0,3	3	3, 4, 5
3	955,8	0,296	0,47	0,4	4	1, 3, 5, 7
4	1367,3	0,42	0,47	0,5	4	2, 3, 5, 6
5	1716,2	0,53	0,583	0,5	5	2 - 6
6	2164,3	0,67	0,583	0,5; 1	5	2 - 6
7	2403,2	0,74	0,817	0,5; 1	7	1 - 7
8	2834,8	0,878	0,7	1	6	1 - 6
9	2996,6	0,93	0,817	0,5; 1	7	1 - 7
10	4091,4	1,26	0,817	1	7	1 - 7

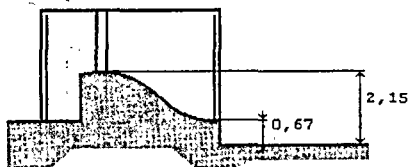
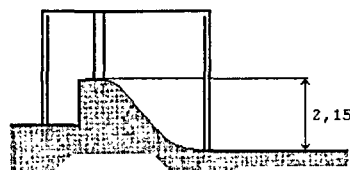
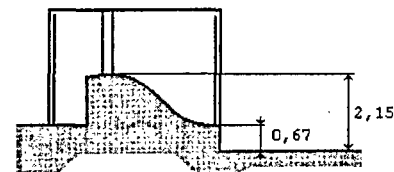
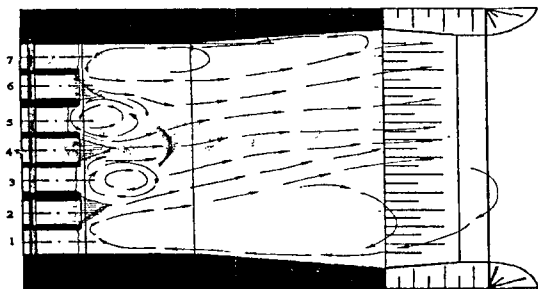
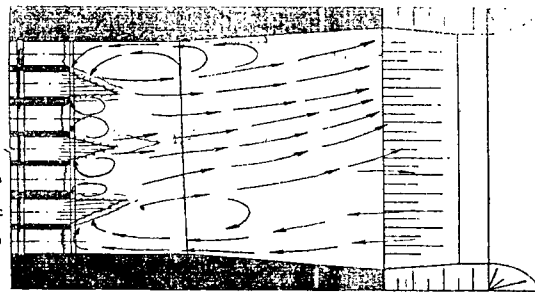
К1**пролёты-2, 4, 6****К2****пролёты-1, 3, 5, 7****пролёты-1-7**

Рис.2 Таблица изменения опытных параметров и схемы размещения пролётов с уступом и без него



Конструкция водосброса по варианту К1



Конструкция водосброса по варианту К2

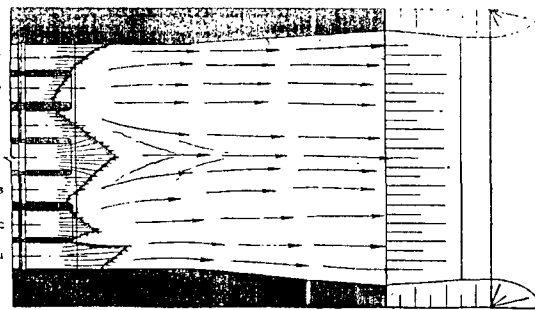
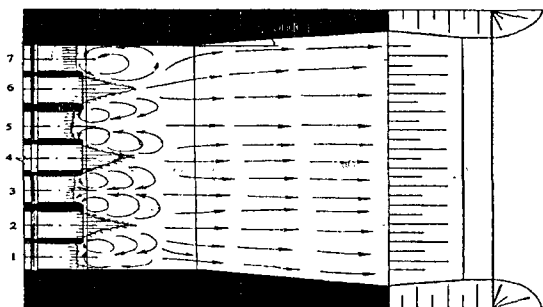
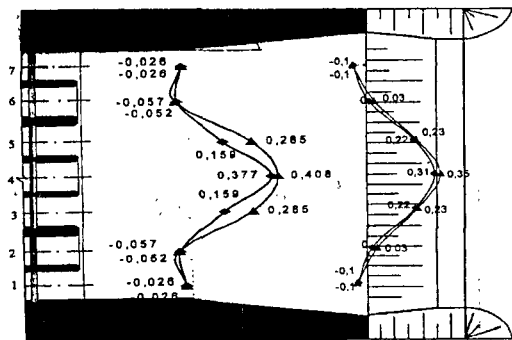
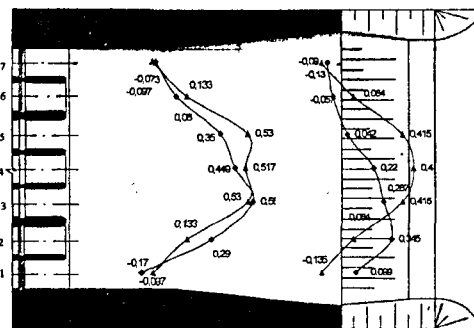


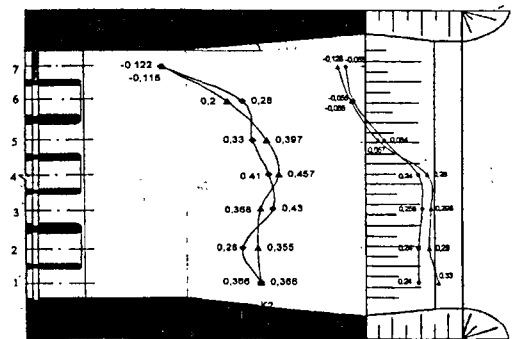
Рис.3 Плановые картины течения потока на водобое и рисберме при пропуске через сооружение расходов $Q=196,3 \text{ м}^3/\text{с}$ через отверстия № 2, 4, 6 (вверху) и $Q=2403,2 \text{ м}^3/\text{с}$ через отверстия № 1-7 (внизу)



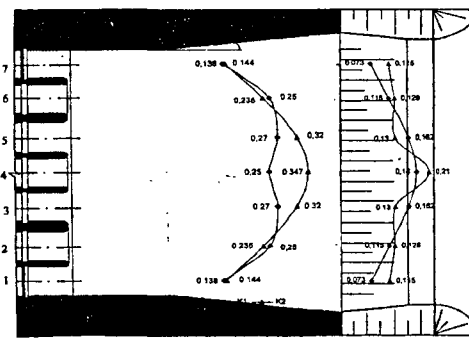
Пропуск $Q=598,4 \text{ m}^3/\text{c}$ через отверстия № 3, 4, 5



Пропуск $Q=2164,3 \text{ m}^3/\text{c}$ через отверстия № 2-6



Пропуск $Q=2834,8 \text{ m}^3/\text{c}$ через отверстия № 1-6



Пропуск $Q=2996,6 \text{ m}^3/\text{c}$ через отверстия № 1-7

◆ — K1 ▲ — K2

Рис.4 Эпюры распределения относительных придонных скоростей ($V_d/V_{сж}$) в концевой части водобоя и рисбермы при пропуске различных расходов и разных схемах открытия отверстий (для исследуемых конструкций K1 и K2)

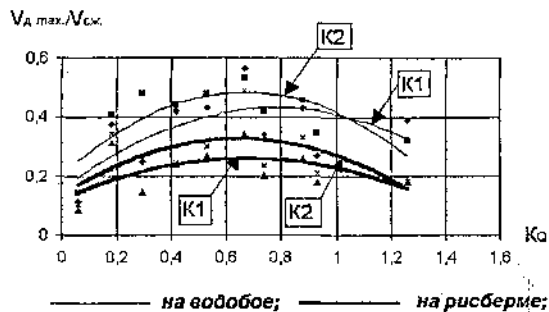


Рис.5 Графики зависимости относительных максимальных придонных скоростей от величин относительных расходов, пропускаемых через сооружение для исследуемых конструкций водосброса

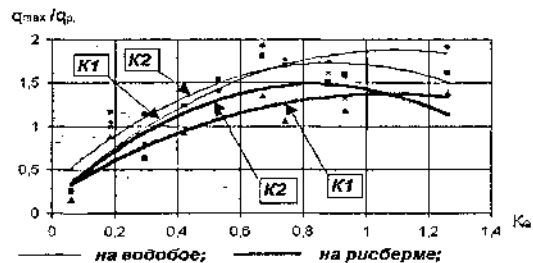


Рис.7 Графики зависимости относительных максимальных удельных расходов на водобое и рисберме от величин относительных расходов, пропускаемых через сооружение для исследуемых типов водосброса



Рис.6 Графики зависимости относительных максимальных поверхностных скоростей от величин относительного расхода, пропускаемого через сооружение для исследуемых конструкций водосброса

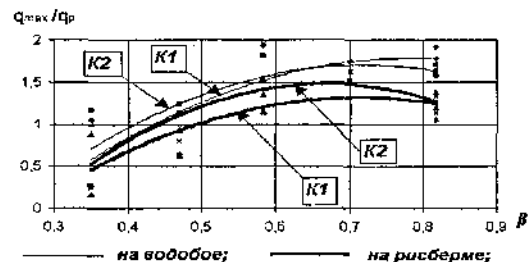


Рис.8 Графики зависимости относительных максимальных удельных расходов на водобое и рисберме от степени использования водосливного фронта

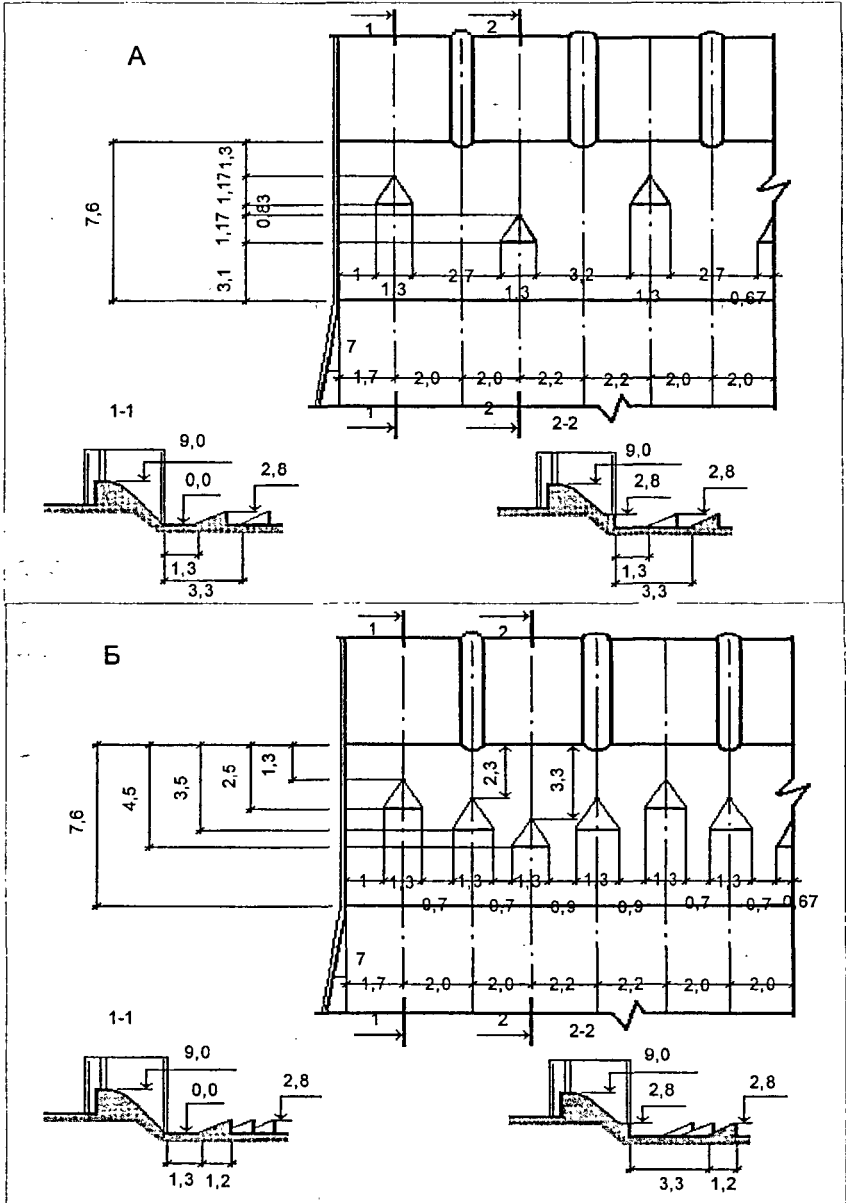


Рис.9 Схемы исследованных конструкций с растекателем в каждом пролёте (А) и с дополнительным растекателем, размещённым по оси быка (Б) (размеры в долях от критической глубины)

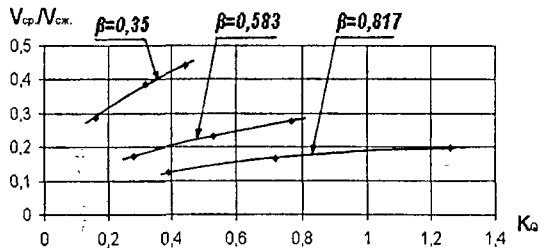


Рис.10 Графики зависимости относительных средних скоростей на сходе с крепления от величин относительного, пропускаемого через сооружение расхода применительно к исследуемой конструкции крепления нижнего бьефа за многопролётным водосбросом

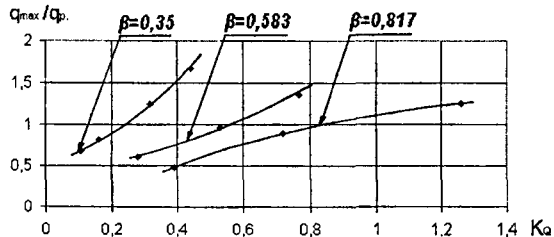


Рис.11 Графики зависимости относительных максимальных удельных расходов на сходе с крепления от величин относительного, пропускаемого через сооружение расхода применительно к исследуемой конструкции крепления нижнего бьефа за многопролётным водосбросом

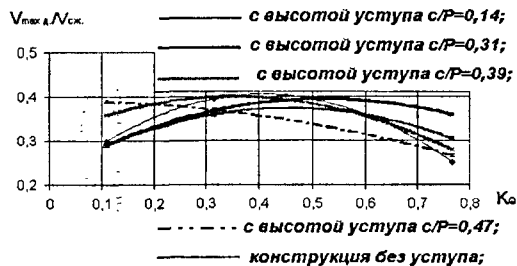


Рис.12 Графики зависимости относительных максимальных придонных скоростей на сходе с крепления в зависимости от величин относительного, пропускаемого через сооружение расхода и высоты носка-уступа

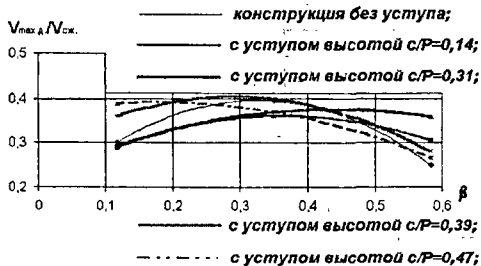


Рис.13 Графики зависимости относительных максимальных придонных скоростей на сходе с крепления в зависимости от степени использования водосливного фронта и высоты носка-уступа

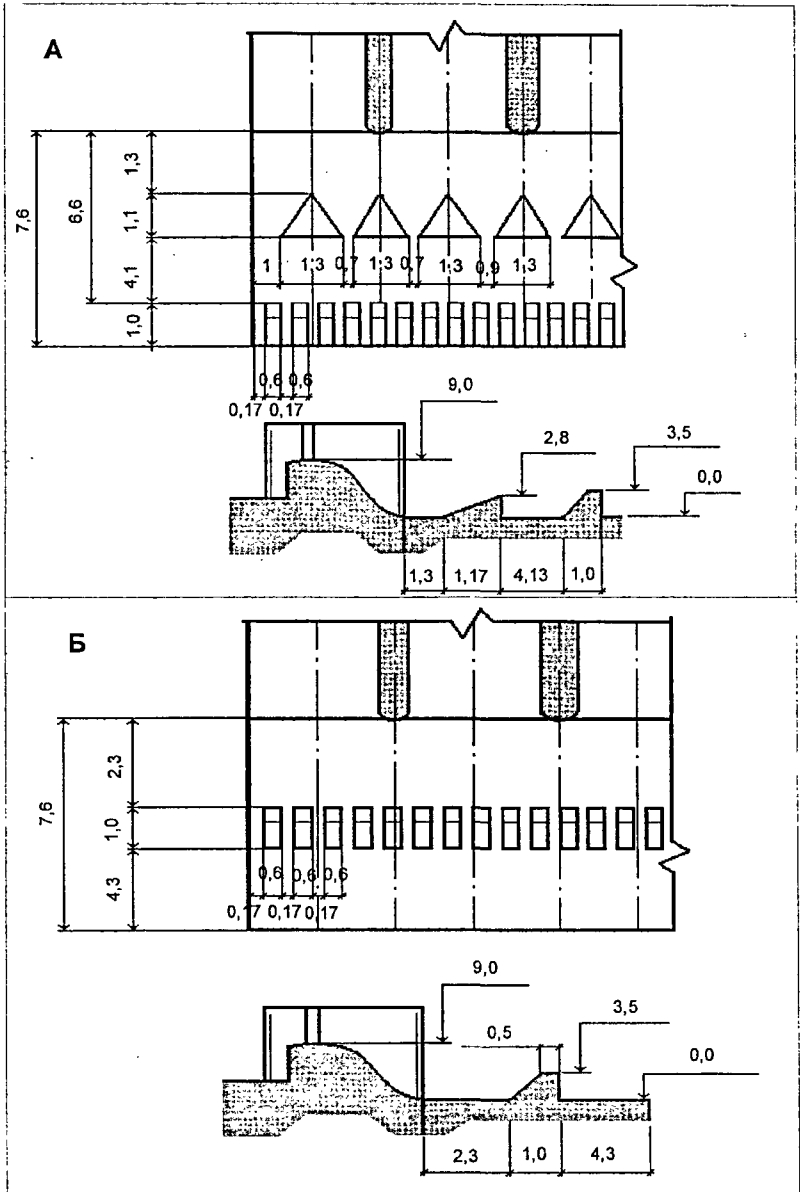


Рис.14 Схемы и основные параметры гасящих устройств расположенных на водобое многопролётной водосборной плотины выполненных по вариантам К3 (А) и К4 (Б)

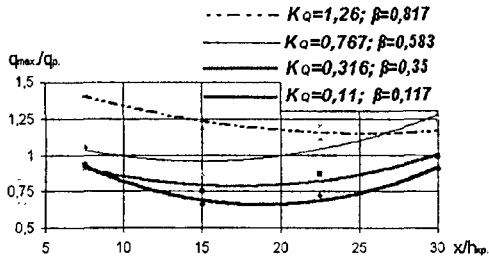


Рис.15 Графики изменения относительных максимальных удельных расходов по длине нижнего бьефа в зависимости от величин пропускаемых через сооружение расходов и относительной ширины работающих отверстий для конструкции

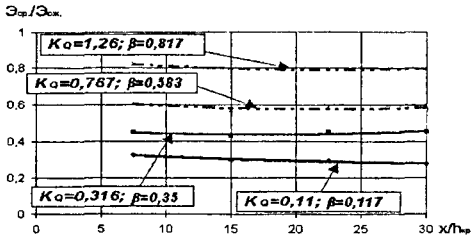


Рис.17 Графики изменения удельной энергии потока по длине нижнего бьефа в зависимости от пропускаемого через сооружение расхода и относительной ширины работающих отверстий для конструкции водобоя по типу К3

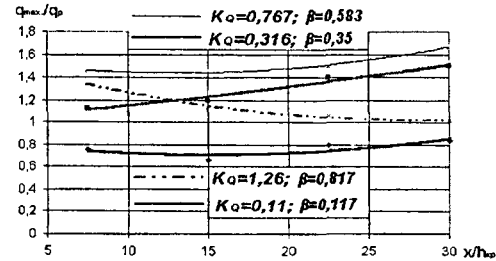


Рис.16 Графики изменения относительных максимальных удельных расходов по длине нижнего бьефа в зависимости от величин пропускаемых через сооружение расходов и относительной ширины работающих отверстий для конструкции

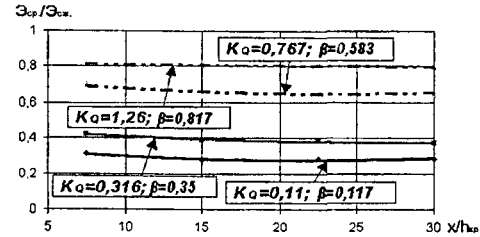


Рис.18 Графики изменения удельной энергии потока по длине нижнего бьефа в зависимости от пропускаемого через сооружение расхода и относительной ширины работающих отверстий для конструкции водобоя по типу К4