

6
А-60

КИЕВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

А. М. ТУГАЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ
УСЛОВИЙ ПРОТЕКАНИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ
ТРУБЧАТЫЕ ПЕРЕПАДЫ И
ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗА НИМИ

05.278—гидравлика и инженерная гидрология

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев—1971

+

КИЕВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

А.М.ТУГАН

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОТЕКАНИЯ ВОДЫ
ЧЕРЕЗ ТРУБЧАТЫЕ ПЕРЕПАДЫ И ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗА НИМИ**

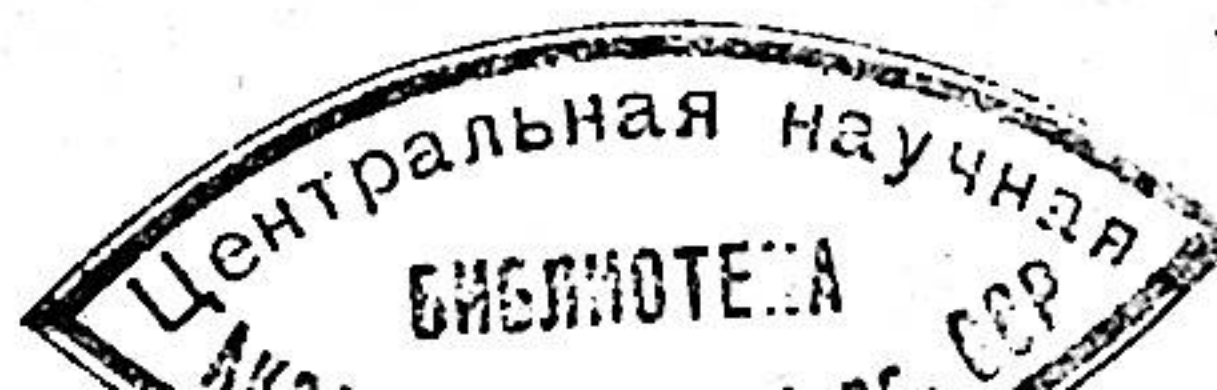
05.278 - гидравлика и инженерная гидрология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Киев - 1971



В В Е Д Е Н И Е

Главным направлением гидротехнического строительства в настоящее время является разработка и внедрение в производство наиболее экономичных, простых и надежных в эксплуатации сооружений, состоящих из минимального количества типоразмеров наиболее эффективных конструкций, позволяющих максимально индустриализировать строительство, обеспечивающих минимальные сроки их возведения. Особо важное значение приобретают эти требования в свете принятого ЦК КПСС постановления "О проекте Директив XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 годы".

Выполнение этих требований имеет огромное значение при строительстве многочисленных малых гидротехнических сооружений, в частности трубчатых перепадов, широко распространенных в дорожном строительстве, различного рода водовыпусков и особенно при сооружении оросительно-осушительных систем. Преимущества этих сооружений перед сооружениями открытого типа - отсутствие необходимости устройства мостов при переездах и переходах, возможность широкого использования сборного железобетона, простая технология монтажа, небольшое количество типоразмеров конструкций - создают основу для их широкого применения в гидротехническом строительстве.

Трубчатые сооружения относительно давно применяются в дорожном строительстве и сравнительно недавно - в мелиоративном. Поэтому большая часть исследований этих сооружений посвящена изучению условий работы водопропускных дорожных труб. Особенности работы трубчатых сооружений на мелиоративных системах отражены в исследованиях Е.А.Замарина, М.М.Скибы, А.И.Костина, Т.Н.Севастьянова, А.Ф.Киенчука, Л.А.Машковича, В.С.Мисенева, В.Я.Половой.

Однако вопросам работы трубчатых перепадов и гашения избыточной кинетической энергии за ними в условиях, когда нельзя создать устойчивый напорный режим, не уделялось должного внимания. Опыт же строительства и эксплуатации трубчатых перепадов на оросительных системах Украины показывает, что они еще не всегда надежны в работе. В особо неблагоприятных условиях находятся отводящие каналы за трубчатыми перепадами. А надежных и простых по своему конструктивному решению гасителей энергии для

этих условий практики строительства оросительных систем не имеет.

В настоящей работе приведены результаты исследований условий протекания воды через трубчатые перепады высотой до 2 м и гашения энергии за ними. Реферируемая работа состоит из введения, четырех глав, результатов исследований и практических рекомендаций.

Глава I

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой главе произведен анализ конструкций трубчатых перепадов, применяемых в строительстве оросительных систем, особенностей их работы и пропускной способности. Рассмотрены схемы гашения энергии за трубчатыми сооружениями и конструкции гасящих устройств. Поставлены задачи исследования.

Отмечено, что первые предложения (Н.Ю.Казиева) по применению трубчатых перепадов в мелиоративном строительстве содержали ряд существенных недостатков в самой конструкции сооружений: сложность выходной части, чрезмерное заглубление начального участка отводящего канала, необходимость применения монолитного железобетона, что делало их малоэффективными. Дальнейшие исследования этих сооружений А.А.Егоршиловым, М.М.Скибой, Е.А.Замариным, А.Ф.Кисенчуком, В.Я.Поповой привели к заметному их упрощению. Перепады конструкции Южгипроводхоза, хорошо исследованные М.М.Скибой, А.И.Костиним, Т.Н.Севастьяновым, уже не имеют углубления на выходе, легко выполнимы из сборного железобетона. Но наличие изломов трубы и расширений на выходе с целью эффективного гашения энергии несколько усложняет эту конструкцию. Излом на выходном участке трубы имеет и трубчатые перепады, разработанные Ростгипроводхозом. Попытка установить диафрагму в месте излома трубы с целью гашения энергии еще более усложняет конструкцию.

Наиболее простой является конструкция трубчатого перепада, не содержащая ни изломов, ни расширений трубы (рис. I). Эта конструкция легко выполнима из сборного железобетона, не содержит сложных стыков, не имеет углублений дна отводящего канала и не подвержена заилению. Однако работа перепадов этой конструкции изучена недостаточно и поэтому явилась объектом исследований, проведенных в реферируемой работе.

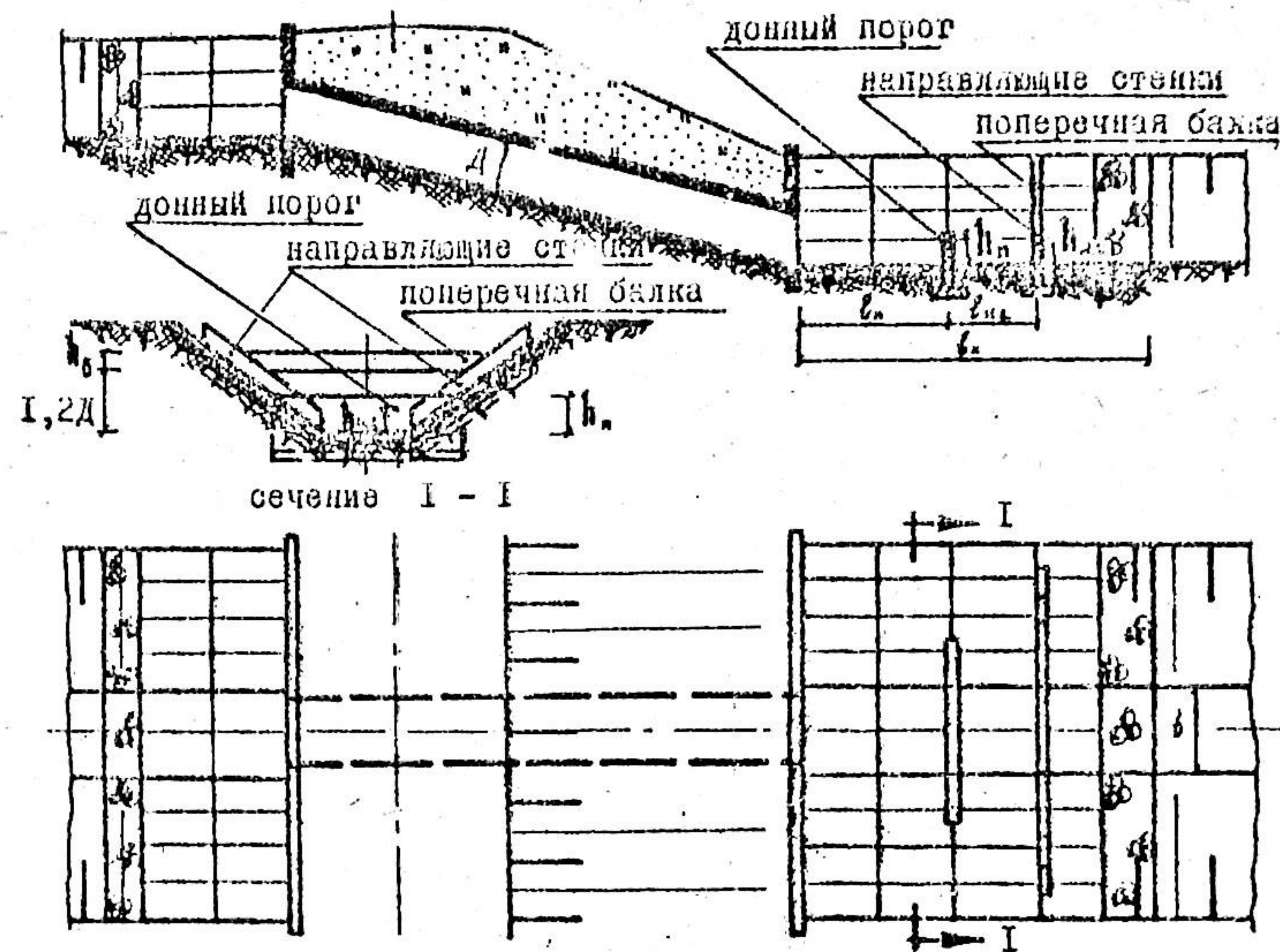


Рис. I. Трубчатый перепад упрощенной конструкции с предлагаемыми гасителями энергии.

По особенностям протекания воды через трубчатые сооружения различают три режима: **б е з н а п о р н ы й**, когда поток на всем протяжении трубы имеет свободную поверхность, **п о л у н а п о р н ы й**, когда поток соприкасается с верхом трубы только во входном сечении, и **н а п о р н ы й**, когда труба работает полным сечением. Переход от безнапорного режима работы трубы к полунаторному происходит без существенных количественных и качественных изменений. Переход от безнапорного и полунаторного режимов к напорному ведет к резким изменениям расходов через сооружение, колебаниям уровней воды как в подводящем, так и в отводящем каналах. Существование различных режимов характеризуется особенностями конструкций сооружений, величинами наполнения верхнего и нижнего бьефов, а поэтому в каждом случае требует уточнения.

Пропускная способность трубчатых сооружений зависит от режи-

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОТЕКАНИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ТРУБЧАТЫЕ ПЕРЕПАДЫ

мов, в которых они работают и от конструкции входных оголовков. Для трубчатых перепадов рассматриваемой конструкции с входными оголовками, выполненными по типу обратных стенок, и при установке на входе в трубу трапецеидальных ныряющих стенок имеющиеся расчетные зависимости, предложенные Н.П.Розановым и О.В.Андреевым, по определению расходов через трубчатые сооружения (в особенности значения коэффициентов расхода) необходимо уточнить, так как они получены для других конструкций входных оголовков. Для трубчатых перепадов, работающих в напорном режиме при наполнениях отводящего канала больших, чем диаметр трубы, эти зависимости нуждаются в корректировке, так как не учитывают величины подтопления выходного сечения трубы со стороны нижнего бьефа.

Основной вопрос расчета трубчатых перепадов — гашение избыточной кинетической энергии в нижнем бьефе в условиях их работы на сросительных системах до настоящего времени полностью не решен. Если для трубчатых перепадов конструкции Южгипроводхоза предложены гасители энергии, то для других конструкций гасители или слишком сложны, или отсутствуют совсем. Не существует и обоснованной методики расчета длины укрепленного начального участка отводящего канала за трубчатыми сооружениями.

В связи с этим в настоящей работе ставится задача выполнить гидравлические исследования трубчатых перепадов упрощенной конструкции, представленных на рис.1, в условиях, когда наполнения подводящего канала не превышают 1,5Д, а отводящий канал имеет трапецеидальное сечение и устраивается в размываемых грунтах. Целью исследований являлось: определение возможных режимов протекания воды через трубчатые перепады и установление критериев возникновения этих режимов; уточнение пропускной способности трубчатых перепадов при различных режимах; определение скорости и энергии потока, выходящего из трубы в отводящее русло; установление режимов сопряжения бьефов; изучение условий гашения энергии за перепадами и выбор типа гасителей; изучение кинематической структуры потока за различными гасителями с целью выработки рекомендаций по расчету необходимой длины крепления отводящего канала; изучение влияния длины участка с повышенной шероховатостью на скоростную структуру потока.

Глава посвящена исследованиям условий протекания воды через трубчатые перепады упрощенной конструкции с оголовками, выполненными по типу обратных стенок (рис.1) и при устройстве на входе в трубу трапецеидальных ныряющих стенок.

Объектом изучения были трубчатые перепады высотой 0,5; 1,0 и 2,0 м. Исследования моделей этих перепадов, выполненных в масштабах 1:3,5–1:15,0, позволили установить режимы протекания воды через трубчатые перепады, критерии их существования, пропускную способность при этих режимах и выяснить некоторые конструктивные особенности работы этих сооружений.

В опытах расходы через сооружения измерялись треугольным мерным водосливом, уровни воды — мерными иглами. Диапазон изменения расходов, при принятых масштабах моделирования составлял: $Q = 0,14–3,6 \text{ м}^3/\text{сек}$; наполнение подводящего канала — $H = (0,4–3,4)Д$ и отводящего $t = (0,8–2,0)Д$.

Автомодельность исследуемых явлений по числу Re сохранялась во всех опытах, что дает возможность переноса полученных результатов в натуру по правилам гравитационного подобия.

Проведенные опыты показали, что безнапорный режим в упрощенной конструкции трубчатого перепада устанавливается при $H_{\text{н.г.}} \leq 1,1Д$ при устройстве входного оголовка по типу обратных стенок и при $H_{\text{н.г.}} \leq 1,3Д$ при установке на входе в трубу трапецеидальных ныряющих стенок. Выходное сечение при этом режиме может быть как свободным, так и подтопленным.

Полунапорный режим устанавливается при $H_{\text{н.г.}} \geq 1,1Д$ и $H_{\text{н.г.}} \geq 1,3Д$ и не зависит от высоты перепада. При этом выходное сечение трубы должно быть свободным, в противном случае в начале трубы необходимо устраивать воздухоподводящее отверстие.

Напорный режим устанавливается при $H_{\text{н.г.}} \geq 1,1Д$ и $H_{\text{н.г.}} \geq 1,3Д$ и затопленном выходном сечении трубы. При наполнениях подводящего канала $H_{\text{н.г.}} = (1,1–1,3)Д$ и $H_{\text{н.г.}} = (1,3–1,5)Д$ напорный режим крайне неустойчивый, что объясняется наличием вакуума в начале трубы, в результате чего происходит засасывание воздуха в трубу со стороны верхнего бьефа и уменьшение ее пропускной способности.

Поэтому переход от безнапорного или полунпорного режима к напорному происходит со значительными колебаниями расходов, уровней бьефов, скоростей в подводящем и отводящем каналах. При выполнении подводящего канала $H_{\text{в.г.}} \geq 1,3D$ и $H_{\text{в.г.}} \geq 1,5D$, для вышеуказанных конструкций входа в трубу и затопленном выходном сечении, напорный режим становится устойчивым. Наполнение трапецеидального отводящего канала t , при котором выходное сечение трубы затопливается (выполняется второе условие существования напорного режима), может быть определено по следующей зависимости, полученной из уравнения изменения количества движения:

$$\frac{Q}{g} \left(\frac{4,27}{D^5} - \frac{1}{\omega_1} \right) = \frac{m}{3} (t^3 - h_1^3) - \frac{b}{2} (t^2 - h_1^2), \quad (1)$$

где Q - расход через сооружение;

D - диаметр трубы;

m - коэффициент заложения откосов;

b - ширина отводящего канала по дну;

h_1 - глубина потока у выходного сечения трубы^{*)};

ω_1 - площадь живого сечения потока с бытовой глубиной t ;

g - ускорение силы тяжести.

Указанные критерии существования различных режимов по наполнению подводящего канала при устройстве на входе в трубу трапецеидальных наклонных стенок получены для условий, когда расстояния между стенками $b_1 = D$. При других значениях b_1 эти критерии изменяются. В этом случае критерии существования различных режимов могут быть определены путем сравнения глубины потока H_1 , устанавливаемой между наклонными стенками перед входным отверстием в трубу и значений $H_{\text{в.г.}}$, приведенных выше. Глубину потока можно определить по приведенной в работе, полученной на основании анализа движения воды на входном участке и применении закона изменения количества движения, зависимости:

$$\frac{Q}{g} \left(\frac{1}{\omega} - \frac{1}{\omega_1} \right) = \frac{b_1}{2} (H_1^2 - H^2), \quad (2)$$

^{*)} Для обеспечения устойчивого напорного режима величину h_1 следует принимать равной $(1,03-1,05)D$, так как при $h_1 = D$ еще наблюдается прорыв воздуха в трубу со стороны нижнего бьефа.

где ω - площадь живого сечения потока в подводящем канале;
 ω_1 - площадь живого сечения потока перед входом в трубу между наклонными стенками;
 H - глубина воды в подводящем трапецеидальном канале.

Проведенные на моделях трубчатых перепадов опыты подтверждают возможность использования зависимостей 1 и 2 для установления критериев существования различных режимов.

Пропускную способность трубчатых перепадов упрощенной конструкции при безнапорном и полунпорном режимах предлагается определять по следующей зависимости:

$$Q = \mu^* \omega \sqrt{2g H_0}, \quad (3)$$

где μ^* - коэффициент расхода, учитывающий неполное заполнение расчетного сечения трубы, конструкцию входа, относительное наполнение подводящего канала,

$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g} \approx H$ - напор в верхнем бьефе;

ω - площадь сечения трубы.

При напорном режиме - по зависимости:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g (H_0 + iL - h_1)}, \quad (4)$$

где i - уклон трубы;

L - длина трубы;

h_1 - глубина потока в отводящем канале на выходе из трубы

В работе приведены значения коэффициентов расхода μ^* и μ в зависимости от относительного наполнения подводящего канала H/D .

Более удобно пропускную способность трубчатых перепадов при различных режимах определять по приведенному на рис.2 сводному графику пропускной способности в безразмерных координатах.

Как видно из графика (рис.2), пропускная способность труб при напорном режиме резко возрастает по сравнению с безнапорным и полунпорным режимами. Однако необходимо иметь в виду крайне неустойчивый характер работы трубы при наполнениях подводящего канала $H_{\text{в.г.}} = (1,1-1,3)D$ при устройстве входного оголовка по типу обратных стенок и $H_{\text{в.г.}} = (1,3-1,5)D$ при установке на входе в трубу наклонных стенок. Поэтому напорный режим не может быть рекомендован для условий наполнения подводящего канала не превышающего $1,5D$.

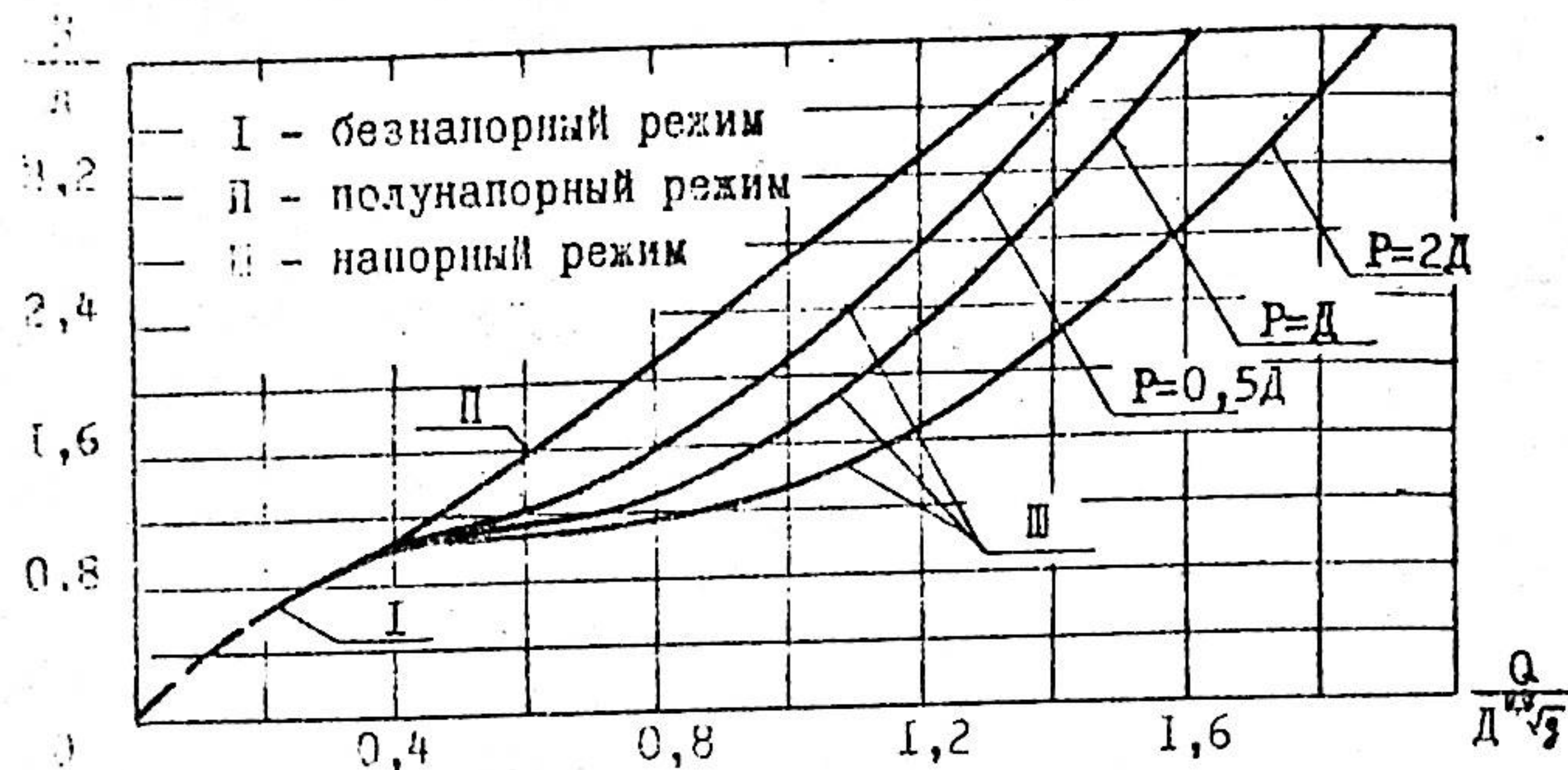


Рис.2. Безразмерный график пропускной способности трубчатых перепадов при различных режимах (при устройстве входа по типу обратных стенок).

Определение условий сопряжения потока, выходящего из трубы в нижний бьеф, и рациональное решение задачи гашения избыточной кинетической энергии требуют знания глубины и скорости потока на выходе из трубы. Исследование трубчатых перепадов на оросительных системах при безнапорном и полунанпорном режимах показало, что они работают как короткие быстотоки, где глубина потока на выходе из трубы больше нормальной и может быть определена путем построения кривой свободной поверхности по начальным глубинам, устанавливающимся на входе в трубу. Анализ возможных глубин на входе в трубу, расчет по ним глубин на выходе из трубы и сравнение полученных результатов с опытными данными позволили установить, что:

- при безнапорном режиме за начальную глубину на входе в трубу, также как и на быстотоке, может быть принята критическая глубина;
- при полунанпорном режиме за начальную глубину на входе в трубу следует принимать сжатую глубину, которая устанавливается ниже входного отверстия на расстоянии, примерно равном $0,5D$,

и может быть выражена через диаметр трубы и коэффициент вертикального сжатия. Глубину потока на выходе из бетонных труб рекомендуется определять по специальной номограмме. Скорости и энергия потока на выходе из трубы при известной глубине могут быть определены по известным расчетным зависимостям.

Глава III

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СОПРЯЖЕНИЯ БЬЕФОВ И ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗА ТРУБЧАТЫМИ ПЕРЕПАДАМИ

В этой главе рассмотрены вопросы сопряжения бьефов и распределения придонных скоростей потока на участке сопряжения. Изучалось влияние длины участка повышенной шероховатости и коэффициента заложения откосов на кинематическую структуру потока. В результате этих исследований выбран тип гасителей энергии в виде донного порога и направляющих стенок на откосах и разработана методика их расчета и определения необходимой длины крепления отводящего канала. Основными режимами работы сооружения при этом были безнапорный и полунанпорный.

Исследования проводились на моделях трубчатых перепадов, отвечающих основным схемам, применяемым в практике строительства. Модели подводящего и отводящего каналов имели ширину по дну $b = 1,2D$, коэффициенты заложения откосов — 1,0; 1,5 и 2,0, выполнялись из дерева с последующей окраской. Водопропускная труба была принята винипластовой. В процессе проведения опытов длина участка отводящего канала с повышенной шероховатостью изменялась от 0 до $7,5D$. Размеры и форма гасителей энергии — донных трапециевидальных порогов, направляющих стенок на откосах и поперечной балки (сечение I—I, рис. I) также изменялись в процессе исследований. В опытах продолжные составляющие мгновенной скорости измерялись электротензометрическим однокомпонентным датчиком с приемным элементом в виде пластинки диаметром 5 мм и записью колебаний приемного элемента датчика на кинолентку осциллографа МНО-2; продолжные составляющие осредненной скорости — трубкой Пито. Измерения скоростей проводились в пяти створах и на пяти вертикалях по ширине отводящего русла. Особое внимание уделялось придонной области потока, на расстоянии 3-5 мм от дна и откосов канала. За расчетную величину максимальных мгновенных скоростей принималась величина, определяемая по формуле:

$$u^* = \bar{u} + 3\sigma, \quad (5)$$

где $\bar{u}$ — осредненная по времени местная скорость;
 $\sigma = \sqrt{u'^2}$ — среднеквадратическая пульсационная составляющая скорости.

Для каждой точки, в которой производились измерения, определено соотношение максимальной мгновенной придонной скорости к осредненному значению скорости в той же точке, а также среднее значение скорости потока. Измерения и вычисления указанных величин производились при наполнениях отводящего канала, равных 0,8Д, 1,1Д и 1,5Д, и относительных расходах $u/\sqrt{2g} = 0,25, 0,45$ и 0,61, что соответствует наполнениям подводящего канала в пределах до 1,5Д.

Оценка работы гасителей энергии производилась на основании анализа распределения продольных составляющих максимальных мгновенных скоростей у дна и у откосов канала как по ширине, так и по длине потока с учетом скорости затухания изоточной турбулентности.

Характер протекания потока в отводящем канале за трубчатой перепадом определялся визуально, а границы смены режимов устанавливались путем замера глубины потока в отводящем канале. В проведенных опытах числа Рейнольдса для отводящего канала составляли величины порядка 12000–24000, что удовлетворяет условию автомодельности исследуемых явлений.

Исследования моделей позволили установить, что за сооружением в зависимости от величины энергии вытекающего из трубы потока и глубины в отводящем канале при отсутствии гасителей энергии наблюдаются два режима сопряжения бьефов: донный с отогнанным прыжком и донный с затопленным прыжком. Первый режим сопряжения (донный с отогнанным прыжком) при очень малых наполнениях отводящего русла характеризуется достаточно большим участком бурного течения, переходящего в спокойное без сбоя. При этом с обеих стороны транзитного потока, имеющего листовидную форму, образуются косые прыжки, которые начинаются у откосов канала в месте наибольшего растекания струи и сходятся на оси потока. С увеличением глубины потока в отводящем русле наблюдается образование сбойности при отогнанном прыжке. Симметричность косых прыжков нарушается. Транзитный поток отклоняется от оси канала к

одному из откосов. У другого откоса появляется обратное течение. В местах искривления оси транзитного потока наблюдается образование водоворотных зон. При дальнейших наполнениях нижнего бьефа гидравлический прыжок приближается к выходному сечению трубы, но сбойность в это время получает наибольшее развитие. Отклонение транзитного потока к одному из откосов становится наибольшим. Обратное течение у другого откоса увеличивается. Водоворотные зоны распространяются на значительное расстояние вниз по течению.

При значительных увеличениях глубины нижнего бьефа прыжок перемещается в трубу и сбойность начинает уменьшаться. Только при очень больших (соответствующих безразмерному параметру $t/3_0 > 0,6$, где $3_0 = h_0 + v^2/2g$ — энергия вытекающего из трубы потока) наполнениях отводящего канала сбойность исчезает.

Для практических расчетов сопряжения бьефов за трубчатыми перепадами в работе приводится график смены режимов, на котором нанесены также границы появления сбойности.

Описанные выше формы движения потока в нижнем бьефе трубчатых перепадов являются опасными даже для закрепленного русла, а поэтому должны быть предотвращены специальными устройствами по гашению энергии. Однако специфические особенности устройства и работы исследуемых сооружений не позволяют использовать в данном случае такие высокоэффективные гасители, как решетки и прорезные стенки. Учитывая это, в работе предложено использовать в качестве гасителя простейшие по своему конструктивному решению устройства в виде донного порога и направляющих стенок на откосах.

Устройство основного гасителя в виде донного порога перед направляющими стенками на откосах позволяет производить его гидравлический расчет на основе расчетных соотношений сопряжения бьефов, так как направляющие стенки на откосах не оказывают влияния на поток перед порогом. В этом случае представляется возможным для расчета высоты порога использовать закон изменения количества движения с допущениями, что высота порога достаточно большая, сжатая глубина равна глубине потока на выходе из трубы, движение в рассматриваемых сечениях плавно изменяющееся с распределением давления по гидростатическому закону, а силы трения и проекции сил тяжести на линию дна можно не учитывать. Уравнение количества движения, записанное для сечения у выходного отвер-

ствия трубы и сечения перед порогом с глубиной t после преобразований имеет вид:

$$\frac{q^2}{g\omega_b} + \frac{bh_n^2}{2} + \frac{mh_n^3}{3} = \frac{q^2}{g(b+mt+mh_n)(t-h_n)} + \frac{bt^2}{2} + \frac{mt^3}{3}, \quad (6)$$

где h_n — глубина потока у выходного сечения трубы;
 ω_b — площадь живого сечения потока, вытекающего из трубы;
 h_n — высота порога.

Глубина потока из этого уравнения определяется подбором при принятой высоте порога, а затем проверяется на пропуск расчетного расхода.

Правильность приведенной методики определения высоты донного порога подтверждена опытами. Место установки порога, высота и место установки направляющих стенок определены опытным путем. С этой целью была проведена серия опытов при максимальных наполнениях подводящего канала $H = 1,5D$ и минимальных отводящего $t = 0,8D$, что отвечает предельным значениям этих величин и самым тяжелым условиям эксплуатации трубчатых перепадов на оросительных системах. Основной гаситель энергии — донный порог был принят сплошным трапецеидальным (рис.1) и с прорезью посредине. Направляющие стенки — треугольные и в виде параллелограмма с большей гранью, параллельной откосу. В процессе опытов проверялась высота порога, полученная по вышеприведенной зависимости, и определялось место ее установки. Для этого проводились опыты с порогами различной высоты, устанавливаемыми на различных расстояниях от выходного сечения трубы. Оценка работы гасителей проводилась по распределению максимальных мгновенных придонных скоростей у дна и у откосов канала. В результате проведенных опытов установлено, что оптимальной высотой донных порогов для рассматриваемых условий является: при перепаде $P = 0,5D$ высота $h_n = 0,65D$; при $P = D$ высота $h_n = 0,7D$ и при $P = 2D$ высота $h_n = 0,8D$, а место установки донных порогов соответственно равно $3,3D$; $3,4D$ и $3,5D$ от выходного сечения трубы.

Таким же методом были установлены оптимальные размеры направляющих стенок на откосах, предложенных для уменьшения скоростей потока у откосов канала и выравнивания их по живому сечению, так как установка одного донного порога не обеспечивает равно-

мерного распределения скоростей по живому сечению. Критерием оценки работы направляющих стенок было сравнение величин осредненных и актуальных придонных скоростей у дна и у откосов канала. Установлено, что высота направляющих стенок $h_{н.с.}$ у дна канала должна быть равной $(0,25-0,35)D$: при высоте перепада $P = 0,5D$ — $h_{н.с.} = 0,25D$; при $P = D$ — $h_{н.с.} = 0,3D$ и при $P = 2D$ — $h_{н.с.} = 0,35D$. Место их установки соответственно равно $2,2D$; $2,3D$ и $2,5D$ от донного порога.

Для получения данных о распределении максимальных мгновенных придонных скоростей и интенсивности турбулентности по длине и ширине отводящего канала за предложенными гасителями с целью установления необходимой длины крепления были проведены опыты с гасителями в виде донного порога, направляющих стенок и откосах, поперечной балки, а также их сочетания (рис.1). В результате обработки данных опытов получены графики изменения актуальных придонных скоростей и интенсивности турбулентности по длине потока в зависимости от величины параметра кинетичности (числа Фруда) на выходе из трубы и наполнений отводящего канала (рис.3).

Характер расположения опытных точек на этих графиках показывает, что значение числа Фруда на выходе из трубы оказывает влияние на величины относительных актуальных скоростей за предлагаемыми гасителями на участке длиной $l = (7-14)D$, а величина наполнения отводящего канала оказывает существенное влияние только на скорости у откосов канала. При относительном наполнении $1,3 < t/D < 2,4$ величина актуальных придонных скоростей у откосов резко возрастает и убывает по длине потока крайне медленно. Таким образом, наполнение отводящего канала $1,3 < t/D < 2,4$ нежелательно, так как требует дополнительных гасящих устройств. В этих условиях с успехом может быть использована поперечная балка высотой $0,3D$, устанавливаемая на высоте $1,2D$ от дна канала над направляющими стенками на откосах (рис.1).

При отсутствии гасящих устройств в отводящем канале за трубчатым перепадом придонные максимальные скорости как у дна, так и у откосов резко возрастают и убывают по длине потока очень медленно (рис.3).

Надежная работа земляных каналов без облицовки и значительное сокращение длины закрепленного участка возможны только при устройстве предлагаемых гасителей энергии. Для этих условий продольные составляющие максимальной мгновенной придонной скорости

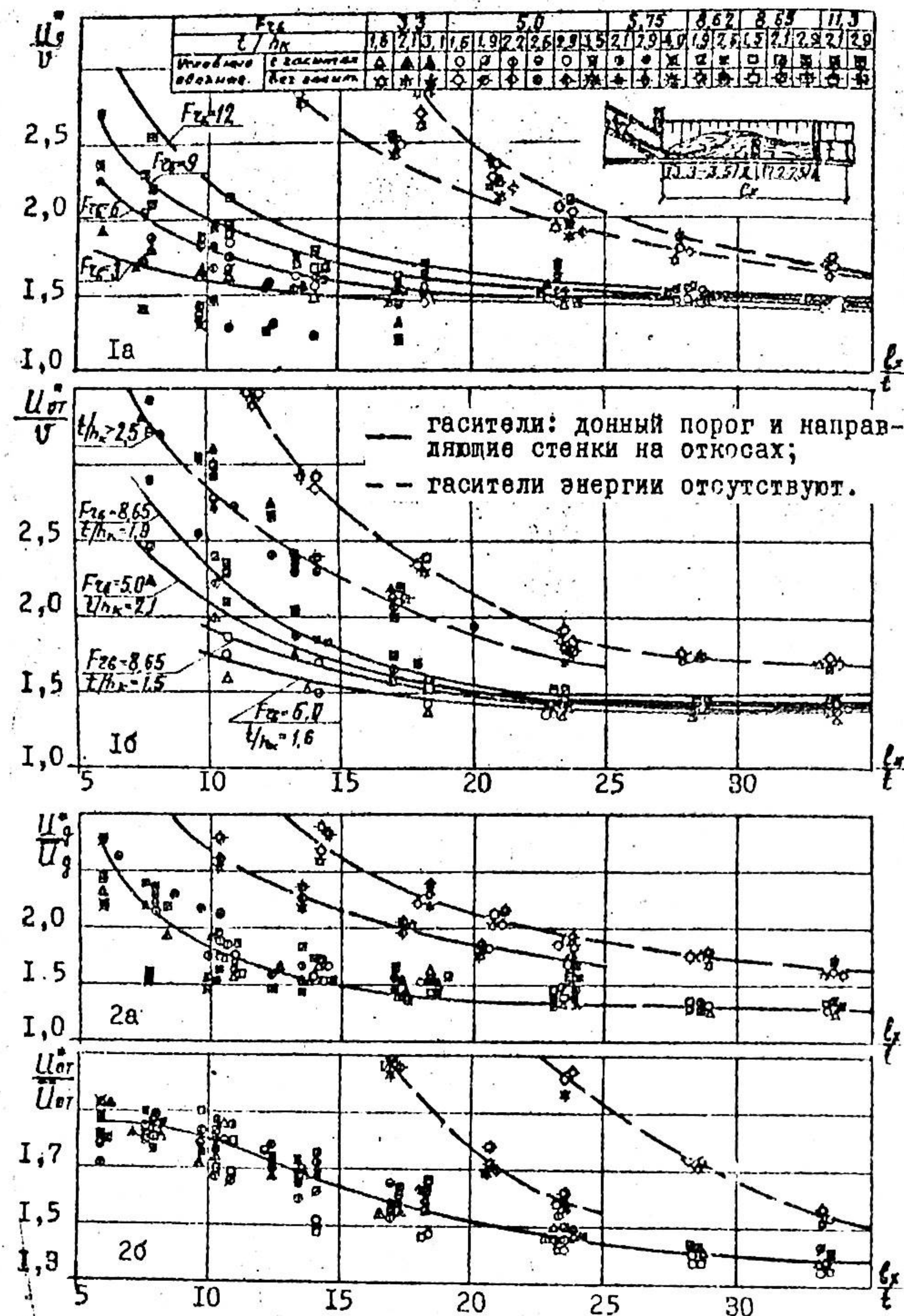


Рис. 8. Распределение относительных максимальных мгновенных придонных скоростей 1 и интенсивности турбулентности 2 по длине потока в отводящем русле трубчатого перепада: а - у дна; б - у откосов.

у дна и у откосов канала на участке сопряжения можно определить по представленным в работе в безразмерных координатах опытным данным или по зависимостям, полученным на основании обработки этих данных: а) у дна канала

$$\frac{U_{gr}}{U_g} = 1,36 + \frac{0,5 Fe_k}{1 + 0,055 (l/t)^n} \quad (7)$$

при изменениях числа Фруда в пределах: $3 \leq Fe_k \leq 12$ и относительного наполнения отводящего канала: $1,5 \leq t/h_k \leq 2,5$;

б) у откосов канала, при $m = 1,5$:

$$\frac{U_{gr}}{U_g} = 1,36 + \frac{0,335 \sqrt{Fe_k} (t/h_k)^2}{1 + 0,015 (l/t)^n} \quad (8)$$

где $n = 2,1 + 0,01 l/t$ при числах Фруда $3 \leq Fe_k \leq 12$ и относительном наполнении $1,5 \leq t/h_k \leq 2,5$.

Анализ опытных данных изменения интенсивности турбулентности по длине потока показывает, что отношение $U_{tr}/U_g = 2$ имеет место только в начале рисбермы на участке сравнительно небольшой длины при отсутствии направляющих стенок. При отсутствии гасящих устройств в отводящем канале интенсивность турбулентности как у дна, так и у откосов канала становится меньше двух только на участке длиной $l = (12-17)D$ и при этом сильно зависит от числа Фруда на выходе из трубы. Как видно из вышесказанного, предложенный гаситель энергии является весьма эффективным и отвечает требованиям индустриализации строительства.

Для удаления воды из начального участка канала между трубой и порогом последний следует устраивать с прорезью посередине или вертикальные швы между отдельными блоками при монтаже не монолитить.

Крепление начального участка отводящего канала, как правило, устраивается из ребристых железобетонных плит и заканчивается каменной наброской, что, естественно, повышает интенсивность турбулентности потока в придонных его слоях, а следовательно, увеличивает его размывающую способность. В работе обстоятельно исследовалось это положение. Установлены оптимальные размеры участка с повышенной шероховатостью отводящего канала, при которых максимальные мгновенные придонные скорости имеют минимальные значения. Отсутствие шероховатости на начальном участке также неудовлетворительно сказывается на придонных скоростях потока.

- наиболее увеличивает их осредненные и актуальные значения.

Значительные улучшения условий работы отводящего канала наблюдаются при создании повышенной шероховатости на участке до направляющих стенок на откосах. В работе приводятся графики распределения придонных скоростей и интенсивности турбулентности для этих условий.

Опытами на моделях отводящего канала с коэффициентами заложения откосов 1, 1,5 и 2 установлено, что при увеличении значений коэффициента заложения откоса продольные составляющие максимальных мгновенных придонных скоростей у откосов канала увеличиваются по мере увеличения коэффициента m , в то же время незначительно уменьшаются у дна. Достаточно надежным средством уменьшения скоростей у откосов канала при изменениях величины коэффициента m является устройство предложенных направляющих стенок на откосах.

Глава IV

ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗА ТРУБЧАТЫМИ ПЕРЕПАДАМИ НА РАЗМЫВАЕМОЙ МОДЕЛИ

Эта глава посвящена результатам исследований гашения энергии за трубчатыми перепадами на размываемой модели, что дало возможность качественно проверить работу предложенных гасителей энергии. Исследования проводились на модели трубчатого перепада высотой $P = D$ с размываемым отводящим каналом длиной 37,5D, отформованным из песка со средней крупностью зерен 0,72 мм. Начальный участок отводящего канала длиной 10D выполнялся бетонным с устройством в конце наброски из щебня. Гасители энергии принимались по данным опытов на жесткой модели и выполнялись деревянными с окраской. Основные опыты на модели проводились при относительных расходах $Q/\sqrt{g} = 0,30; 0,43$ и $0,56$ и наполнениях подводящего канала $H = 0,85D, 1,1D$ и $1,5D$. Глубина потока в отводящем канале устанавливалась таким образом, чтобы средние скорости потока не превышали допустимую неразмывающую среднюю скорость ($v \leq v_{\text{н}}$) равномерного потока для песка, из которого было отформовано стводящее русло. Степень потяшенности энергии оценивалась путем исследования и сопоставления размывов дна и откосов канала после стабилизации

глубин размыва отводящего русла. Расходы в опытах измерялись с помощью мерного треугольного водослива, а глубины потока и величины размывов - мерными иглами. Учитывая, что в задачу исследований на размываемой модели входило выяснение влияния повышенной турбулентности потока на его размывающую способность, геометрические размеры размываемой модели были приняты подобными жесткой модели, а значение чисел Рейнольдса в опытах составляло 15000-46000, что больше числа, необходимого для соблюдения условия автомодельности. Прежде всего исследовалась возможность работы трубчатых перепадов без устройства гасителей в отводящем русле. Опыты показали, что при малых наполнениях отводящего канала наблюдаются значительные размывы дна русла, а при больших - откосов, при этом размывы были настолько значительными, что работа сооружений в этих условиях становилась недопустимой. Желаемого результата не дала и повышенная шероховатость начального участка.

Вторым этапом исследований на размываемой модели было изучение условий работы и уточнение величин размывов отводящего канала при устройстве предложенных гасителей энергии в виде донных порогов и направляющих стенок, а при больших наполнениях - и поперечной балки. Эти исследования полностью подтвердили, что сочетание донного порога и направляющих стенок на откосах является надежным и эффективным гасителем энергии в исследуемых условиях.

На модели с размываемым руслом было проверено также влияние длины участка с повышенной шероховатостью на размывающую способность потока. С этой целью были проведены опыты при различной длине участка с шероховатостью высотой 15 мм, что при принятом масштабе моделирования 1:5 соответствует высоте ребер железобетонных плит в натуре и проведен сравнительный анализ величин размыва русла в этих условиях. Таким образом установлено, что уменьшение длины участка с повышенной шероховатостью, т.е. увеличения длины гладкого укрепленного участка перед размываемым руслом, ведет к уменьшению размывов за рубежом. Однако при отсутствии шероховатости размывы опять резко возрастают, что объясняется отсутствием гасящего эффекта шероховатости. При длине участка с повышенной шероховатостью, равной 6D, величины размывов становятся наименьшими. При этом результате

таты указывают, что повышенная шероховатость перед размываемым руслом не всегда полезна. В то же время шероховатость на участке отводящего русла непосредственно за выходным отверстием трубы является одним из средств по гашению энергии и выравниванию скоростей потока по живому сечению.

Эксплуатация сооружений, построенных с предложенными гасителями энергии на оросительных системах в зоне Северо-Крымского канала Джанкойского и Краснопереконского районов, показала, что конструкция гасителя в виде донного порога и направляющих стенок на откосах обеспечивает необходимую степень гашения энергии выходящего потока, является надежной и более эффективной по сравнению с ранее разработанными конструкциями, способствует промышленным методам ведения строительства и значительному сокращению сроков строительства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Трубчатые перепады упрощенной конструкции (наиболее простой и рациональной при высоте перепада до 2 м) могут работать в трех режимах: безнапорном, полунанпорном и напорном. В работе установлены критерии существования этих режимов со стороны как верхнего, так и нижнего бьефов. Получены обобщающие зависимости для определения критерия устойчивого напорного режима со стороны нижнего бьефа и для определения критериев всех трех режимов со стороны верхнего бьефа при установке на входе в трубу трапециевидных направляющих стенок. Установлены наиболее благоприятные режимы работы трубчатых перепадов при наполнениях подводящего канала, не превышающих 1,5Д.

2. Исследована пропускная способность трубчатых перепадов упрощенной конструкции. Построены безразмерные графики пропускной способности для различных режимов протекания воды через трубчатые перепады, высот перепада, степени наполнения подводящего канала и диаметра труб. Предложены удобные для практического использования расчетные зависимости по определению расходов через сооружения.

3. Разработан метод определения глубины потока на выходе из трубы.

4. Установлены режимы протекания воды в отводящем канале за трубчатыми перепадами и предложены графические критерии

смены этих режимов.

5. Разработан и исследован простой, легко выполнимый и экономичный гаситель энергии в виде донного порога и направляющих стенок на откосах. Предложена методика расчета основного гасителя — донного порога. Установлены размеры направляющих стенок и места установки гасителей для исследованных и аналогичных им условий. Предложена конструкция гасителя энергии при больших наполнениях отводящего канала.

6. Построены графики распределения максимальных мгновенных придонных скоростей и интенсивности турбулентности по длине потока, а также предложены зависимости для определения этих величин, по которым должна определяться длина крепления начального участка (за гасителями) отводящих каналов, устраиваемых как в несвязных, так и в связных грунтах.

7. Приведены данные о влиянии длины участка с повышенной шероховатостью, образованной ребрами плит крепления, на распределение максимальных мгновенных придонных скоростей, интенсивности турбулентности и размывающей способности потока.

8. Установлено влияние величины заложения откосов на распределение скоростей по живому сечению потока.

9. Проведенные исследования позволили усовершенствовать расчет трубчатых перепадов, получить обоснованное и эффективное решение по гашению избыточной кинетической энергии за трубчатыми перепадами. Полученные в работе рекомендации призывались при разработке типовых проектов. Сооружения, построенные с предложенными гасителями энергии, показали вполне удовлетворительную работу.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Тугай А.М. (в соавторстве со Смысловым В.В., Константиновым Ю.М., Краснитским М.С.). Исследование условий протекания воды через трубчатые перепады, Аннотации законченных в 1967 году научно-исследовательских работ по гидравлике, Изд-во "Энергия", 1968.

2. Тугай А.М., Исследование работы трубчатых перепадов на модели с размываемым руслом, Аннотации законченных в 1968 году научно-исследовательских работ по гидротехнике, Изд-во "Энергия", 1969.

3. Тугай А.М., Определение глубины на выходе из трубы большого уклона при безнапорном и полунанпорном режимах, Аннотации законченных в 1968 году научно-исследовательских работ по гидравлике, Изд-во "Энергия", 1969.

4. Тугай А.М. (в соавторстве с Константиновым Ю.М., Краснотским М.С., Смысловым В.В.). Режимы протекания воды через водопропускные трубы большого уклона, Труды второй Всесоюзной научно-технической конференции по гидравлике водопропускных дорожных сооружений, Изд-во Киевского университета, Киев, 1969.