

РГБ ОД
16 ДЕК 1976

На правах рукописи

Аддис Хайлемикаэль Гинаво

Гидравлические характеристики водослива с широким порогом на
оросительной сети.

05.23.16 - гидравлика и инженерная гидрология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1996

Работа выполнена на кафедре гидравлики и гидротехнических
сооружений инженерного факультета
Российского Университета дружбы народов

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Е.К.Рабкова

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Д.В.Штеренлихт,
кандидат технических наук, ст.научн.сотр. Ю.Л.Пейч

Ведущая организация:

ИКК "Совинтервод"

Защита диссертации состоится "26" ноября 1996 г.
в 15 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета
К 053.22.21 в Российском Университете дружбы народов
по адресу: 117223, ГСП-1, Москва, ул.Орджоникидзе, 3.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке
Российского Университета дружбы народов по адресу: 117923,
Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

Автореферат разослан "11" ноября 1996 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



В.К.Румянцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Постановка вопроса и актуальность исследований. Для развития народного хозяйства в странах мира гидротехническое строительство играет одну из ключевых ролей при использовании водных ресурсов для выработки дешевой электроэнергии и развития орошаемого земледелия.

- Последнее особенно важно в связи с тем, что по климатическим условиям в 120 странах мира невозможно развитие сельскохозяйственного производства без орошения. По данным ООН (1996 г.) в мире 216 млн. человек живут в условиях близких к нищете; в 58 странах экономическое состояние ухудшилось в связи с ростом населения.

Необходимость в развитии гидротехнического строительства в настоящее время особенно я, ко проявляется в таких странах, как Эфиопия.

Эфиопия является одной из богатых стран Африки по гидро-ресурсу (второе место после Заира). Тем не менее, до недавнего времени показатель использования водного ресурса страны, в частности, для целей орошения оставался на очень низком уровне, что привело страну к необходимости в ежегодной продовольственной помощи развитых стран.

Последние годы в Эфиопии видны тенденции к увеличению использования водных ресурсов страны как для гидроэнергетики, так и для орошения.

При проектировании оросительных систем для регулирования уровней и расходов воды в каналах самыми распространенными гидротехническим сооружениями на них являются водосливы с широким порогом, которые работают в виде водовыпусков-регуляторов, водомеров и сопрягающих сооружений.

Водосливы с широким порогом с прямым входным ребром являются достаточно простыми по конструкции, что очень важно при их проектировании в виде массовых сооружений на мелiorативной сети.

Несмотря на то, что изучение водослива с широким порогом началось в первой половине прошлого столетия теория движения воды через водослив с широким порогом, даже в простейшем случае плоской задачи до сих пор не выяснена в достаточной мере. Имеющиеся в литературе зависимости, необходимые для гидравлических расчетов, неоднозначны и часто противоречивы. Эта проблема еще более усложняется, когда движение воды через водослив необходимо рассматривать как пространственную задачу, то есть при наличии боковых сужений потока при

входе на водослив. Еще менее удовлетворительно обстоят дела с изучением движения воды через водослив с широким порогом с боковым сжатием потока в условиях затопления со стороны нижнего бьефа.

С другой стороны, несмотря на то, что в практическом отношении наибольшее значение имеют водосливы с низким порогом $P/H < 0,5$, эти типы водослива изучены недостаточно широко. Отмечая важность этих типов водосливов, ряд исследователей подчеркнули необходимость глубокого их изучения. Так проф. Березинский отмечал, что необходима постановка опытов с целью изучения таких вопросов, как пропускная способность водослива малой высоты порога ($P/H < 0,5$), пропускная способность водослива с устоями и бычками.

В настоящее время необходимо обратить внимание не только на научный аспект движения потока через водослив, но и на более широкий взгляд этого процесса с охватом всех факторов, влияющих на работу сооружения, как в условиях их отдельного влияния так и при взаимном воздействии на пропускную способность водосливов с широким порогом. Необходимость в таком подходе исследований диктуется требованиями практики при проектировании сооружений на мелиоративной сети для обеспечения их пропускной способности при работе в различных эксплуатационных условиях. Этими обстоятельствами определялась актуальность темы диссертационной работы.

Цель работы. Целью диссертационной работы является:

а) Изучение существующих теоретических методов по расчету пропускной способности (коэффициентов расхода) водосливов с широким порогом.

б) Анализ выполненных ранее исследователями экспериментов по изучению гидравлических характеристик потока на водосливе с широким порогом.

в) Исследование факторов, определяющих пропускную способность водослива с широким порогом при различных гидравлических условиях их работы.

г) Разработка рекомендаций по оценке гидравлических характеристик и расчету пропускной способности водосливов с широким порогом в зависимости от возможных реальных условий воздействия различных факторов на пропускную способность.

Основные задачи исследования определены необходимостью решения поставленной цели.

1) Выполнить экспериментальные исследования по пропускной способности водослива с широким порогом в условиях плоской задачи; установить для этого случая основную расчетную зависимость для коэффициента расхода и его изменения при различной относительной высоте порога (условия вертикального сжатия потока).

2) Провести серию опытов при различных условиях подхода потока на водослив и числа отверстий (числа бычков) для оценки роли бокового (горизонтального) сжатия в значении гидравлических характеристик потока и основной расчетной зависимости коэффициента расхода.

3) Экспериментально установить расчетную зависимость для коэффициента расхода при совместном воздействии на условия протекания потока через водослив вертикального и горизонтального сжатий.

4) Провести опыты и установить на их основе факторы, влияющие на условия подтопления, и в зависимости от различных факторов значения коэффициентов подтопления.

5) Выполнить анализ результатов сопоставления теоретических и экспериментальных данных, имеющих в современной литературе, с данными экспериментов автора.

6) На основе полученных автором результатов экспериментов и данных литературных источников разработать зависимости для определения гидравлических характеристик и пропускной способности водосливов с широким порогом с учетом влияния различных факторов в целях практического использования при проектировании аналогичных сооружений на мелиоративных системах.

Научная новизна работы. В диссертации впервые проведены обобщающие экспериментальные исследования по оценке пропускной способности водосливов с широким порогом с учетом влияния как отдельных, так и при совокупности воздействия различных факторов. Получены новые расчетные зависимости для коэффициента расхода, коэффициентов сжатия и подтопления с учетом различных факторов, влияющих на условия протекания потока. Предложена новая зависимость для установления подтопленного истечения через водослив. С использованием данных экспериментов установлена степень достоверности некоторых теоретических методов расчета и аналитических зави-

симостей, имеющихся в литературе. В частности было показано, что зависимости, разработанные исследователями в условиях плоской задачи, не могут быть использованы в условиях различной формы подводящего русла и высоты порога и при наличии нескольких отверстий входа на водослив.

Достоверность результатов экспериментальных исследований и рекомендуемых расчетных зависимостей обуславливается значительным объемом полученных экспериментальных данных (проведено 433 опыта) для различных условий работы водослива с широким порогом, а также сопоставлением с экспериментальными данными Кумина Д.И. с отклонением от +1,3% до -2,7% и расчетными зависимостями Смыслова В.В. с отклонениями от -1,8% до +3,8% для опытов в плоской задаче водослива. Достоверность так же подтверждается использованием современной измерительной аппаратуры с высокой точностью измерения изучаемых гидравлических характеристик (до 3,6%).

Практическая ценность работы и результатов исследования заключается в том, что полученные зависимости впервые дают возможность с высокой достоверностью определить значения гидравлических характеристик и коэффициентов, определяющих пропускную способность водосливов с широким порогом, при их проектировании с учетом различных факторов, практически влияющих на процесс протекания потока в реальных условиях проектирования и эксплуатации этих сооружений на мелиоративной сети. Полученные данные имеют особую практическую ценность для Эфиопии в связи с развитием в стране вопросов по использованию водных ресурсов для орошения.

Апробация работы. Результаты экспериментальных исследований диссертационной работы докладывались на XXX и XXXI конференциях профессорско-преподавательского состава инженерного факультета РУДН (Москва 1994 г., 1995 г.).

Публикация. По теме диссертационной работы опубликовано две статьи.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, насчитывающего 82

наименования, в том числе 17 иностранных авторов. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, в том числе 17 таблиц, 55 рисунков и 4 фотографии. В конце диссертации имеется приложение на 11 страницах, в котором имеются опытные данные автора по всем сериям опытов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, ее основная цель и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая ценность работы, дана информация об объеме работы.

В первой главе отмечены широкое применение водослива с широким порогом в практике гидротехнического строительства, в частности на мелноративной сети. В связи с этим подчеркивается важность четкого представления о водосливе с широким порогом. Приводится обзор литературы по вопросу, связанному с термином "водослив с широким порогом" и теми характеристиками, которые обуславливают гидравлический режим движения потока на пороге водослива. В этой связи рассмотрены работы Павловского Н.Н., Смыслова В.В., Березинского А.Р., Шварца А.И., Сухомела Г.И., Вильсона Э.Х., Боса М.Г., Рядовой З.И. и др., в результате выявлены основные факторы, влияющие на пределы применения понятия "водослива с широким порогом".

Отмечается, что кривая свободной поверхности на пороге водослива выражает влияние различных факторов на работу водослива с широким порогом. При этом форма свободной поверхности зависит от ширины порога S , геометрической конфигурации входа на водослив (кромки порога и боковых стенок), степени стеснения потока при входе на водослив и шероховатости порога и боковых стенок водослива. Выясняется, что плавновозменяющееся движение на пороге водослива появляется при относительной ширине порога $S/H=4+5,5$ до $8+13$ в зависимости от условий входа потока на водослив и степени шероховатости

Другой отличительной чертой водослива с широким порогом является то, что при прочих равных условиях отсутствует заметное влияние относительной ширины порога S/H на пропускную способность. Известно, что при одинаковых формах входной части, относительной высоты порога P/H , шероховатости порога и т.д. водослив с отношением $S/H=2+3$ имеет практически такой же коэффициент расхода, как и

водослив с $S/H=4\pm 10$. Поскольку в гидравлическом расчете наиболее важной характеристикой является коэффициент расхода, было установлено, что водосливы могут рассчитываться по схеме водослива с широким порогом при относительной ширине порога от $S/H=2\ldots 3$ до $S/H=10\ldots 13$ (S - ширина порога водослива), в зависимости от формы входной кромки, степени бокового стеснения потока на подходе к порогу и непосредственно на пороге водослива.

Во второй главе рассматриваются изложенные в мировой литературе теоретические и экспериментальные работы по водосливу с широким порогом. Отмечается, что в исследовании работы водослива с широким порогом были использованы различные теории и гидравлические законы, постулаты, принципы и уравнения. К ним относятся: принцип наибольшего расхода, принцип остановившейся волны перемещения, принцип энергетической предпосылки, закон изменения количества движения, уравнения Бернулли, метод "давление-количество движения", закон сохранения энергии, уравнение прыжка волны, постулат минимума удельной энергии сечения, уравнения энергии и неразрывности, теория пограничного слоя, уравнение неравномерного медленнотемперирующегося движения, принцип "негидростатичности" давлений.

Рассмотрены работы Беланже, Буссинеска, Бахметева Б.А., Базена, Евневича И.А., Павловского Н.Н., Шварца А.И., Абрамова М.Э., Айвазяна В.Г., Чертаусова М.Д., Кумина Д.Н., Угинчуса А.А., Муранова В.С., Коберника С.Г., Пикалова Ф.И., Березинского А.Р., Смыслова В.В., Сухомела Г.И., Розовского И.Л., Дидковского М.М., Силицына Н.В., Киселова П.Т., Замакина Е.А., Мамедова И.М., Агроскина И.И., Чугаева Р.Р., Дерингсфельда и Баркера К.Л., Харисона А.Дж.М., Холла Г.-В., Энгела Ф.В.А., Боса М.Г., Вильсона Э.А. и ряда других. Отмечается, что такой значительный интерес исследователей к данному вопросу говорит не только о распространенности водослива с широким порогом на практике гидротехнического строительства, но и о сложности гидравлического явления истечения через этот водослив. При этом большинство из работ посвящены незаоплеченному водосливу без боковых сжатий потока при входе на водосливы и на пороге водослива, то есть при условии плоской постановки задачи исследования.

По сравнению с работой водослива в плоских условиях, водосливы, имеющие боковые сжатия еще более сложны для теоретического описания их работ. Поэтому водосливы с широким порогом, работаю-

нице в пространственной постановке задачи, теоретически изучены очень мало. В частности, подчеркиваются работы Чертаусова М.Д. (закон изменения количества движения и уравнение Бернулли), и Смылова В.В. (уравнения энергии и неразрывности), где авторы учет бокового сжатия рассматривают в общем решении вопроса о водосливе с широким порогом. Практически все предложения для незатопленного и затопленного без бокового сжатия и с боковым сжатием подвергались сомнению и той или иной взаимной критике. Были рассмотрены также экспериментальные работы Кумина Д.И. (1939-40 гг.) и Березинского А.Р. (1948-50 гг.), в которых коэффициент расхода водослива с широким порогом определялся в зависимости от высоты порога и сжатия потока при входе на водослив для однопролетного водослива. Отмечается, что главный и очень важный результат более чем 150-летних теоретических и экспериментальных исследований заключается в том, что определено то многообразие факторов, которое влияет на пропускную способность водослива с широким порогом. Однако до сих пор, как в теоретических, так и в экспериментальных исследованиях не раскрыто влияние некоторых из этих факторов, особенно в условиях их совместного взаимодействия.

В заключении рассмотрения состояния вопроса о водосливе с широким порогом сформулированы основные цели и задачи исследования, приведенные выше в общей характеристике работы.

В третьей главе представлены описание экспериментальной установки, измерительных приборов, условия проведения опытов, задачи и состав лабораторных исследований, методика проведения опытов, условия моделирования и точности измерений.

Экспериментальные исследования выполнялись в гидравлической лаборатории РУДН. Модель изучаемого сооружения была установлена в русловом лотке длиной 22 м, шириной 1,40 м и высотой 0,45 м. В лотке опытный участок составлял 6,0 м. Все модели водослива имели незакругленную входную кромку. Исследованы однопролетный водослив с шириной отверстия $b=0,36$ м, двухпролетный водослив с шириной каждого отверстия $b=0,15$ м и трехпролетный с шириной каждого отверстия $b=0,093$. Подводящий канал имел поперечное сечение прямоугольной и трапециoidalной формы с шириной по дну $b_k=0,36, 0,54, 0,72$ м. При этом, сопряжение канала с водосливым отверстием производилось

с использованием косой стенки с углами расположения $\Theta=90^\circ, 45^\circ, 26^\circ, 0^\circ$. Схема модели водослива показана на рис. 1.

На основе поставленной в работе цели исследования сформулированы задачи лабораторных опытов, для решения которой было выполнено 433 опыта.

В зависимости от условий работы водослива под воздействием различных факторов, влияющих на гидравлические характеристики, опыты объединены в 10 серий.

При проведении опытов изменялись следующие относительные параметры: высоты порога P/H (от 0 до 3), ширины водосливного отверстия b/B_K (от 0,387 до 1,0), ширины порога S/H (от 3 до 10,12). Опыты проводились при расходах воды Q_M (от 6,39 до 57,0 л/с) и напорах H_M (от 0,06 до 0,20 м).

Отмечается, что в исследовании особое внимание уделено водосливам с широким порогом малой высоты порога ($S/H < 0,5$), как наиболее часто встречающихся на мелиоративных системах и дорожных сооружениях.

Останавливаясь на условиях моделирования, говорится о том, что при моделировании водослива с широким порогом применяются критерии гравитационного подобия по числу Фруда ($Fr_M < 1,0$) и подобия сил сопротивления по критерию Рейнольдса ($Re_M > Re_{кр}$). Отмечается, что модельные потоки с принятыми напорами и расходами характеризуются по числу $Fr=0,015...0,433$, по числу $Re=(20...130) 10^3$, что говорит о возможном переносе результатов экспериментов на натуре.

Точность измеренных на модели характеристик: напора 0,21...0,67%, глубин 0,03...0,06%, ширины отверстия 0,14...1,61%, скорости потока 2,05...4,03%, расходов 0,28...0,96%, числа Рейнольдса 1,76...3,92%, коэффициента расхода, бокового сжатия и подтопления 0,76...3,58%.

В четвертой главе даются результаты экспериментальных исследований. Изучены изменения кинематической структуры потока на пороге водослива путем наблюдения за поведением поверхностных струек потока с помощью поплавков и измерения местных осредненных скоростей в точках по глубине в разных сечениях по длине порога водослива, анализируя результаты которых делаются следующие выводы: 1) после обтекания потоком боковых устоев глубина на пороге водослива изменяется не только по направлению потока, но и в попереч-

ном сечении потока; 2) с увеличением высоты порога (Р/Н) глубины в поперечном сечении выравниваются, что показывает на уменьшение влияния на сжатие потока боковых устоев с увеличением Р/Н; 3) для незатопленного водослива влияние бокового сжатия устоями выражается в резком изменении ширины и глубины потока по ширине отверстия непосредственно на входе; 4) для затопленного водослива влияние бокового сжатия устоями выражается образованием вблизи боковых стенок зоны, в которой поток имеет практически нулевую скорость, а с увеличением Р/Н наблюдается незначительное увеличение скорости; 5) при затоплении водослива со стороны НБ из-за увеличения высоты подтопления Δ в НБ глубина на пороге увеличивается и начинает выравниваться как по длине, так и по поперечному сечению потока.

Анализируя встречающиеся в литературе формулы для водослива с широким порогом, было принято в качестве основной формула в виде:

$$Q = m_{\text{общ}} b \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (1)$$

где $m_{\text{общ}}$ - общий коэффициент расхода, учитывающий роль факторов, влияющих на пропускную способность водослива (вертикальное и горизонтальное сжатие и подтопление со стороны НБ).

$$m_{\text{общ}} \text{ можно выразить в виде: } m_{\text{общ}} = m_p \epsilon_{\text{обоб}} \sigma_n, \quad (2)$$

где m_p - коэффициент расхода, учитывающий влияние только высоты порога, $m_p = f(P/H)$; $\epsilon_{\text{обоб}}$ - обобщенный коэффициент бокового сжатия, учитывающий влияния сжатий потока, обусловленных боковыми стенками (устоями) и центральными бычками, $\epsilon_{\text{обоб}} = f_1(P/H, b/B_k, \text{ctg} \Theta, n)$; n - число сжатий потока $n = 2N$, где N - число центральных бычков, σ_n - коэффициент подтопления, $\sigma_n = f_2(\Delta/H_0)$.

В формуле (1) полный напор $H_0 = H + \alpha_0 V_0^2/2g$. Непосредственные опытные определения коэффициента кинетической энергии α_0 подтвердили, что α_0 практически близко к единице. Поэтому в расчетах принимался $\alpha_0 = 1,0$. Обращается внимание на то, что влияние скоростного напора $\alpha_0 V_0^2/2g$ на полный напор H_0 очень велико для водосливов с малой высотой порога ($P/H < 0,5$). С увеличением Р/Н значение скоростного напора резко падает.

Анализ результатов экспериментальных исследований, подтвердил, что при работе водослива с широким порогом в плоской постановке задачи общий коэффициент расхода $m_{\text{общ}}$ зависит только от величины относительной высоты порога Р/Н, ($m_{\text{общ}} = m_p = f(P/H)$). Опыты показали (см. график на рис.2), что при малой высоте порога Р/Н до 0,02 влияние Р/Н на m_p незначительно, но при увеличении высоты порога его влияние на

значение m_p уменьшается до $\approx 0,34$, сохраняясь и при $P/H > 2,5 \dots 3,0$; таким образом сопротивление порога на величину коэффициента расхода остается неизменным.

Для получения аналитической зависимости $m_p - f(P/H)$ с использованием программ по определению аппроксимирующих зависимостей методом регрессионного анализа были рассмотрены 10 функций, из которых выделены две, которые дают максимальные значения (при $P=0$), $m_{p1}=0,403$ и $m_{p2}=0,377$.

Однако, начиная от Беланже, многие ученые как Бахметев Н.А., Буссинек, Чертоусов М.Д. и др., используя различные теории, показали, что максимально возможное значение коэффициента расхода $m_{\text{общ}}=0,385$; учитывая это обстоятельство, нами была получена зависимость в виде:

$$m_p = 0,385 - \frac{P/H}{9,8 + 18,95 P/H} \quad (3)$$

Рассматривая влияние боковых сжатий на общий коэффициент расхода, отмечается, что при обтекании потоком боковых стенок возникают центробежные силы, действующие в горизонтальной плоскости, которые вызывают неравномерное распределение глубин поперек потока. Под воздействием этих сил возникает явление горизонтального сжатия, что приводит к уменьшению действующего живого сечения и несколько снижает пропускную способность.

Опыты показали, что при пропуске воды через водослив, имеющий как боковые устои, так и центральные бычки, влияние этих двух условий отличаются друг от друга. Сжатие потока за счет устоев значительно больше, чем при обтекании бычков. Поэтому опыты проводились таким образом, чтобы оценить только влияние бычков (опыты серии 2 и 3), только влияние устоев (опыты серии 4, 5 и 6) и совместное влияние бычков и устоев (опыты серии 7 и 8). При этом допускалось, что значение коэффициента расхода, учитывающего только высоту порога m_p в этих опытах, соответствует значению m_p в опытах без боковых сжатий потока.

Подчеркивается, что особенностью водослива с широким порогом с малой высотой порога является то, что вне зависимости от значения B/B_k , $g\Theta$ и n наибольшее сжатие наблюдается при нулевом пороге. С увеличением относительной высоты порога влияние бычков или устоев на сжатие потока заметно уменьшается.

Имея в виду, что обобщенный коэффициент бокового сжатия $\epsilon_{\text{обоб}} = f_3(\epsilon_{\delta} \epsilon_{\text{уст}})$, где ϵ_{δ} и $\epsilon_{\text{уст}}$ - коэффициенты бокового сжатия соответственно бычка и устоя, отмечается, что ϵ_{δ} $f(P/\Pi, n)$, а $\epsilon_{\text{уст}} = f_1(P/\Pi, b/B_{\text{к}}, \text{ctg}\Theta)$, при этом, практически высота порога на величину ϵ_{δ} перестает влиять при $P/\Pi \geq 2,0$, а на $\epsilon_{\text{уст}}$ при $P/\Pi \geq 0,5 \dots 0,7$ (см. рис.3 и 4).

Результаты опытов серий 7 и 8 показали, что обобщенный коэффициент сжатия, определенный по зависимости $\epsilon_{\text{обоб}} = m_{\text{общ}} \cdot \tau_p$, заметно больше, чем соответствующее значение обобщенного коэффициента, полученного умножением двух коэффициентов сжатия ($\epsilon_{\delta} \epsilon_{\text{уст}}$), что иллюстрируется на рис.6 для опытов при $\Theta = 90^\circ$ и $b/B_{\text{к}} = 0,5$.

Изучая результаты опытов по исследованию условия затопляемости и влияние коэффициента подтопления на общий коэффициент расхода, отмечается, что критерий затопления, оцениваемый значением относительной граничной высотой подтопления $(\Delta/\Pi_0)_{\text{гр}}$ зависит от условий входа ($P/\Pi, b/B_{\text{к}}, \text{ctg}\Theta, n$) и условий выхода ($\epsilon_n = hb/\Omega_{\text{нб}} \approx \Delta b/\Omega_{\text{нб}}$) потока с водослива, где ϵ_n - степень расширения потока при выходе с водослива, $\Omega_{\text{нб}}$ - площадь живого сечения потока в ПБ, Δ - высота подтопления. При этом, выражая условия входа через общий коэффициент расхода $m_{\text{общ}}$ по данным опытных значений, получена зависимость для $(\Delta/\Pi_0)_{\text{гр}}$ в виде:

$$\left(\frac{\Delta}{\Pi_0}\right)_{\text{гр}} = \frac{1}{av_n^2 - bv_n + c}; \quad (4)$$

где a, b, c - параметры определяются по данным табл.1 в зависимости от общего коэффициента расхода $m_{\text{общ}}$ в незатопленном режиме работы водослива.

Табл.1

	$m_{\text{общ}}$				
	$\leq 0,330$	0,340	0,350	0,360	0,375
a	2,54	2,35	2,11	1,80	1,35
b	3,04	2,82	2,57	2,16	1,63
c	2,04	2,0	1,96	1,87	1,77

Опыты показали, что коэффициент подтопления σ_n кроме относительной высоты подтопления Δ/Π_0 , зависит также от условий входа и выхода потока с водослива (см. рис.5), то есть $\sigma_n = f(\Delta/\Pi_0, \epsilon_n, m_{\text{общ}})$.

В пятой главе приводятся результаты сопоставления опытных данных с существующими в литературе теоретическими и эмпирическими зависимостями и даются рекомендации к расчету гидравлических характеристик водослива с широким порогом.

Сравнение опытных данных выполнено с теоретическими зависимостями Чертоусова М.Д., Угирлуса А.А., Смылова В.В., Боса М.Г. Отмечается, что для водослива без боковых сжатий наименьшее отклонение от опытных данных дает формула Смылова, полученная с использованием уравнения энергии и неразрывности $\delta m_p = (-1,8 + 3,8)\%$.

Сравнение опытных данных выполнено с экспериментальными зависимостями Кумина Д.И., Сухомела и др., Березинского А.Р. и Павловского Н.И. Для плоской постановки задачи формула Кумина дает близкие к опытным значениям, отклонение не превышает 2,7%. Однако подчеркивается, что при пространственной постановке задачи, рассмотренные зависимости, дают погрешность до $\delta m_p = -11\%$ (при этом всегда в сторону уменьшения). Это вызвано тем, что зависимости для определения коэффициента расхода водослива не учитывают в достаточной мере условия, влияющие на него, что привело автора к необходимости разработать новые расчетные зависимости, более широко учитывающие факторы, влияющие на гидравлические характеристики водослива.

Водосливы с широким порогом рекомендуется определять по формуле (1), где общий коэффициент расхода определяется по зависимости: $m_{\text{общ}} = m_p \epsilon_{\text{обоб}} \sigma_p$, здесь m_p определяется по (3). Обобщенный коэффициент сжатия $\epsilon_{\text{обоб}} = \epsilon_{\delta} \epsilon_{\text{уст}} \eta$ (5)

Для получения зависимости определения коэффициента бокового сжатия устоя $\epsilon_{\text{уст}}$ использовали графики (см. рис.4) зависимостей $\epsilon_{\text{уст}}$ от относительной ширины водосливного отверстия b/B_K и относительной высоты порога P/H для различных условий сопряжения (угла Θ). Из рисунка видно, что при $\Theta = \text{const}$, для каждого значения P/H имеется своя кривая зависимости $\epsilon_{\text{уст}}$ от b/B_K . На основе этих графиков, используя программы для определения аппроксимирующих зависимостей методом регрессионного анализа, получена зависимость для определения $\epsilon_{\text{уст}}$ в виде:

$$\epsilon_{\text{уст}} = 1/[A - B(b/B_K)] \quad (6)$$

где A и B параметры определяются по графикам на рис.7 в зависимости от P/H и Θ .

Коэффициент бокового сжатия бычка ϵ_{δ} рекомендуется определять по зависимости (7), полученной аналогичным методом, с использованием графиков на рис.3.

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{n-1}{n(10\sqrt{P/H} + 6,2)} \quad (7)$$

При совместной работе бычков и устоев их влияние на протекание потока снижается за счет своеобразного взаимодействия двух сжатий, описанных выше. При этом отношение $(\varepsilon_{обс}/\varepsilon_{уст}\varepsilon_{\delta})$ может изменяться от 1,1 (при $P/H=0$) до 1,01 (при $P/H=1,0$). Поэтому при определении $\varepsilon_{обс}$ необходимо учесть это увеличение путем внесения некоторого поправочного коэффициента η , определяемого по данным табл.2. Практически при $P/H > 0,5$ можно принимать η равным 1,0.

Табл.2

P/H	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
η	1,10	1,06	1,03	1,025	1,02	1,02	1,015	1,012	1,012	1,01

Граничное значение относительной высоты подтопления рекомендуется определять по зависимости (4). Для удобства дается график.

При $\Delta H_0 \leq (\Delta H_0)_{гр}$ - водослив незатоплен.

При $\Delta H_0 > (\Delta H_0)_{гр}$ - водослив затоплен.

При определении коэффициента подтопления $\sigma_{п}$ первоначально необходимо определить $(\Delta H_0)_{гр}$, с учетом конкретных условий входа и выхода ($m_{огц}$ и $\varepsilon_{п}$) данного водослива. Далее по полученной $(\Delta H_0)_{гр}$ на номограмме, представленной на рис.8, определяют кривую $\sigma_{п} = f(\Delta H_0)$. Дальнейшее определение $\sigma_{п}$ для различных значений относительной высоты подтопления данного водослива выполняется с использованием полученной кривой.

Следует отметить, что данная номограмма построена с использованием графика зависимости $\sigma_{п} = f(\Delta H_0)$ на рис.5

В заключении сформулированы следующие выводы:

1) При проверке того, работает ли водослив по схеме водослива с широким порогом или нет необходимо учитывать относительную ширину порога, форму входной кромки, степени стеснения потока с боков и шероховатости.

2) Водосливу с широким порогом посвящено много теоретических и экспериментальных работ. Однако ни один из теоретических подходов не включает то разнообразие условий работы водослива, встречающиеся на практике. С другой стороны, имеющиеся в литературе эмпирические зависимости для определения тех или иных гидравлических характеристик водослива часто не включают в себя всех факторов, влияющих на них.

3) Опыты еще раз подтвердили, что общий коэффициент расхода в формуле $Q = m_{\text{общ}} b \sqrt{2gH_0^3}$, складывается из коэффициента расхода, учитывающего только высоту порога m_p , коэффициента бокового сжатия бычка ε_δ , коэффициента бокового сжатия устоя $\varepsilon_{\text{уст}}$ и коэффициента подтопления $\sigma_{\text{п}}$.

4) Особенностью взаимного влияния различных факторов, влияющих на пропускную способность, является то, что при совместном влиянии двух или более факторов, их влияние на протекание потока несколько уменьшается по сравнению с тем, что если бы они воздействовали на поток в отдельности.

5) Изучение кинематической структуры сжатий потока на пороге подтвердили наличие боковых сжатий потока при обтекании им боковых устоев или бычков, независимо от степени затопления водослива.

6) Начало затопления сжатой глубины на пороге не может считаться началом затопления водослива.

7) Сопоставление опытных данных с имеющимися в литературе зависимостями показали, что для плоской задачи наилучшие значения дают теоретическая зависимость Смыслова В.В. и эмпирическая зависимость Кумина Д.И.

8) Исходя из полученных автором опытных данных, которые проведены на моделях с различными условиями работы водослива, рекомендуется определить следующие гидравлические характеристики водослива в зависимости от различных факторов: $m_p = f(P/H)$; $\varepsilon_\delta = f_1(P/H, n)$; $\varepsilon_{\text{уст}} = f_2(P/H, b/B_k, \Theta)$; $(\Delta H_0)_p = f_3(\varepsilon_{\text{п}}, n_{\text{общ}})$; $\sigma_{\text{п}} = f_4(\Delta H_0, \varepsilon_{\text{п}}, m_{\text{общ}})$.

9) Проведенные расчеты точности оценки общего коэффициента расхода $m_{\text{общ}}$ и достоверность полученных результатов показали погрешность в пределах 3,5%.

10) Рекомендуемые расчетные зависимости, полученные в результате выполненных исследований, в данной работе относятся к водосливам с незакругленной входной кромки порога и бычков. При других формах входных кромок необходим учет этих форм при определении тех или иных гидравлических характеристик.

Основные выводы по диссертационной работе опубликованы в статьях:

Рабова Е.К., Аджис Хайлемьякаэль. Пропускная способность неза-
топленного водослива с широким порогом. - М., 1996. 14 с. - Деп. в
ВИНИТИ РАН 30.10.96, №3167-В96;

Аджис Хайлемьякаэль. Исследование условий затопляемости водо-
слива с широким порогом и оценка коэффициента подтопления. -
М., 1996. - 8 с. - Деп. в ВИНИТИ РАН 30.10.96, №3168-В96.

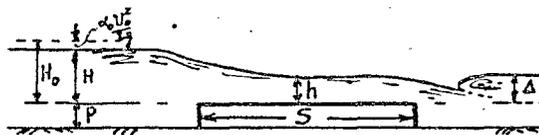


Рис.1. Схема водослива с широким порогом

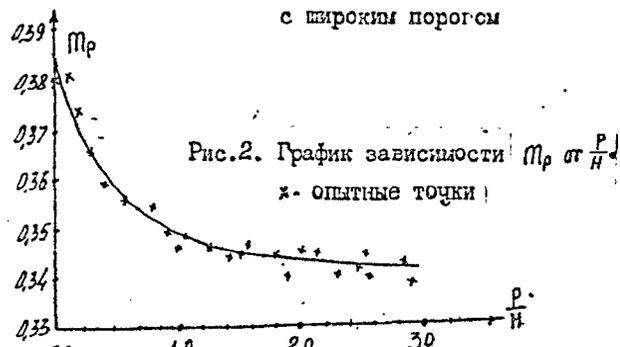


Рис.2. График зависимости M_p от $\frac{P}{H}$
* - опытные точки!

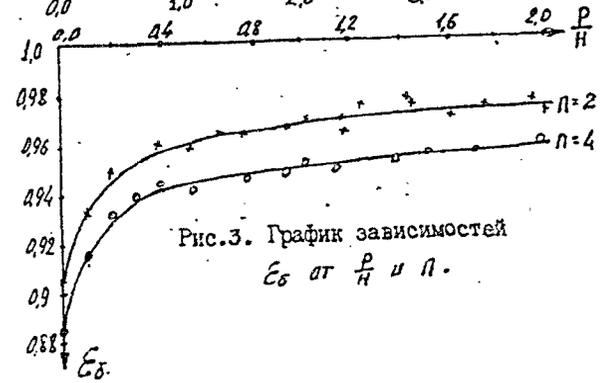
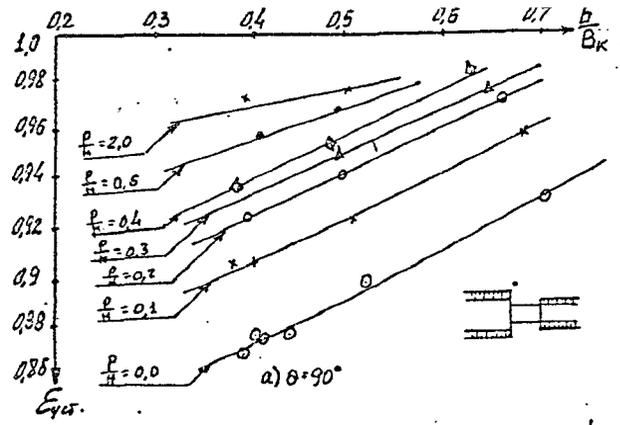
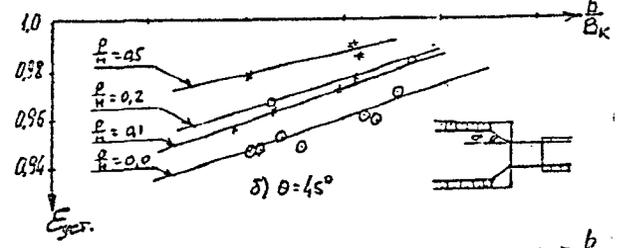


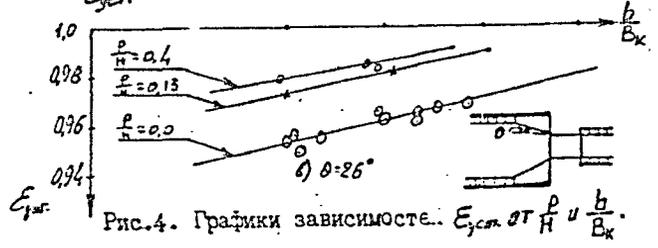
Рис.3. График зависимостей E_δ от $\frac{P}{H}$ и n .



а) $\theta = 90^\circ$



б) $\theta = 45^\circ$



в) $\theta = 25^\circ$

Рис.4. Графики зависимости $E_{уст}$ от $\frac{P}{H}$ и $\frac{b}{B_k}$.

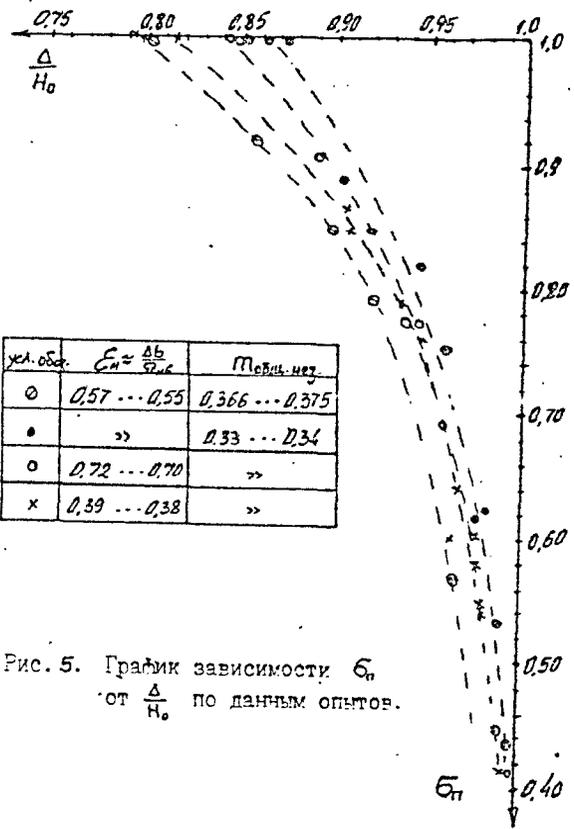
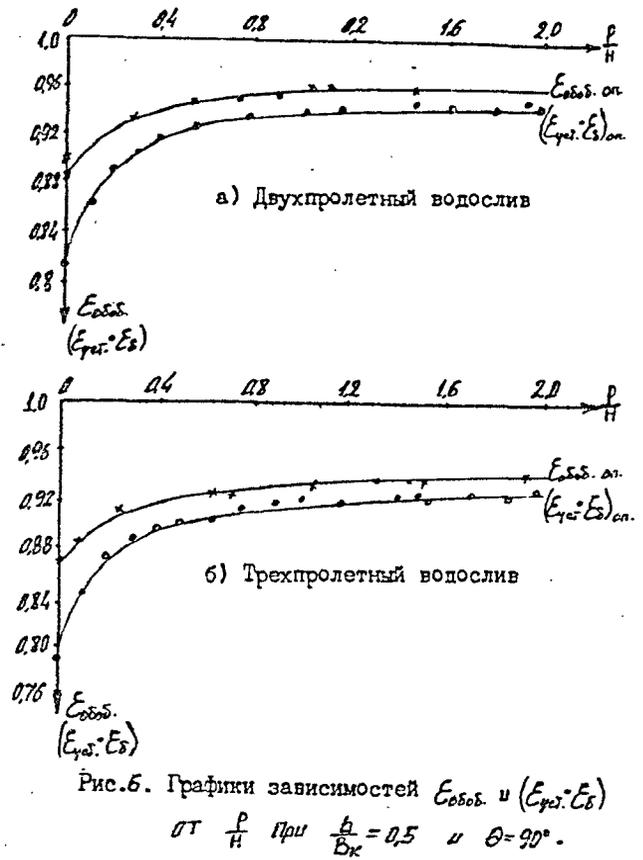


Рис. 5. График зависимости B_n от $\frac{\Delta}{H_0}$ по данным опытов.



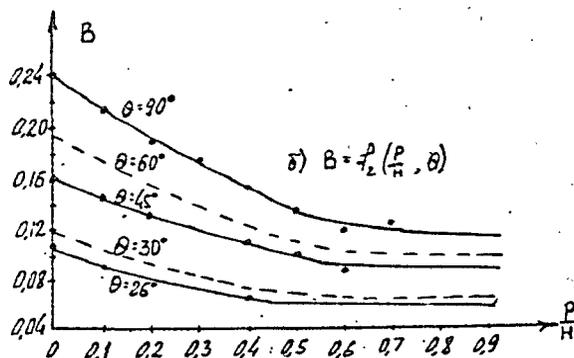
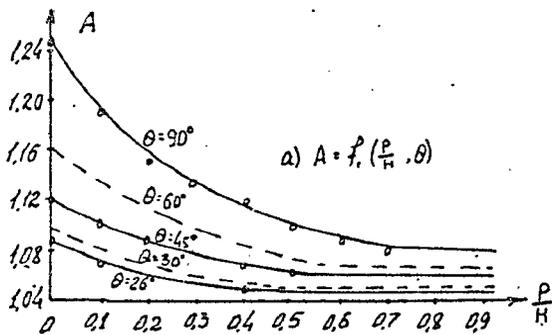


Рис. 7. График для определения параметров А и В.

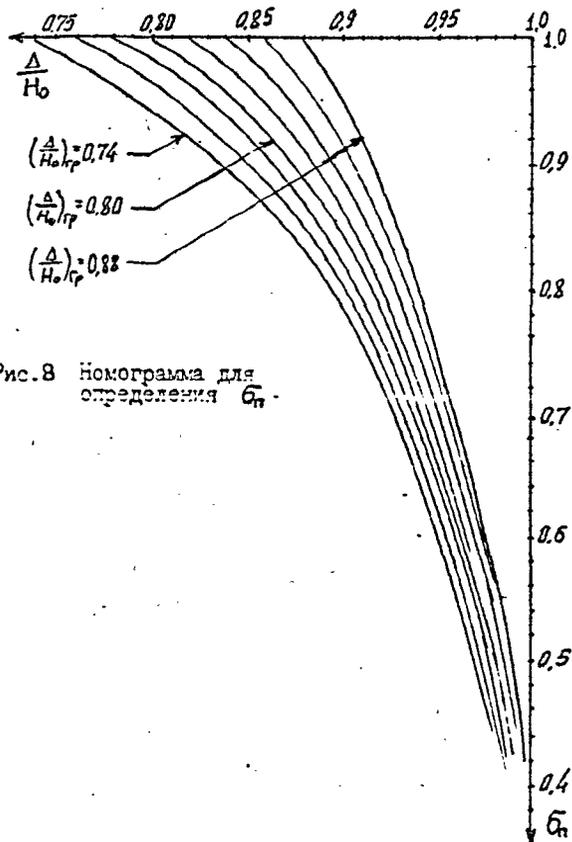


Рис. 8. Номограмма для определения \bar{G}_n .

ADDIS BAILE-MICHAEL GINAWO (ETHIOPIA)
hydraulic characteristics of broad-crested weirs
on the supply net of irrigated area.

Outflow of water through a broad-crested weir is a rather complicated and multifactor phenomenon.

In this thesis analyzes the broad-crested weirs as a structure on the supply net of irrigated area. This weir has the advantage of simplicity of construction and perhaps this together with the large volume of theoretical and experimental weir formulas in the last 150 years accounts for its popularity in the literature. However, the author has pointed out that there are a number of practical difficulties involved in using these formulas for hydraulic calculation. The formulas for calculation of discharge coefficient not including all factors on which it depends.

Using the result of own experimental studies author gives some new accurate recommendations for calculation of discharge coefficient of broad crested weirs.

АДДИС БАЙЛЕМИКАЭЛЬ ГИНАВО (ЭТИОПИЯ)
Гидравлические характеристики водослива с широким
порогом на оросительной сети.

Водослив с широким порогом является самым распространенным гидротехническим сооружением на мелкорогативной сети. В работе, исходя из широкого анализа теоретических и экспериментальных работ по водосливу с широким порогом, подчеркивается, что имеющиеся в мировой литературе рекомендации для определения гидравлических характеристик водослива с широким порогом часто не включают в себя все факторы, влияющие на них. Кроме того практически все имеющиеся в литературе зависимости учитывают влияние различных факторов в отдельности, а не их совокупное влияние, что снижает их значимость.

На основе своих опытных данных автором разработаны новые зависимости для определения обобщенного коэффициента расхода водослива с широким порогом с учетом влияния всех факторов, влияющих на него.