

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

РГБ ОД

5 123/1 2383

На правах рукописи

ЖИРНОВА Елена Александровна

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
СКВОЗНЫХ СВАЙНЫХ ВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ
СООРУЖЕНИЙ НА СУДОХОДНЫХ РЕКАХ

Специальность 05.22.17-
"Водные пути сообщения и гидрография"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург-2000

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

На правах рукописи

ЖИРНОВА Елена Александровна

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
СКВОЗНЫХ СВАЙНЫХ ВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ
СООРУЖЕНИЙ НА СУДОХОДНЫХ РЕКАХ

Специальность 05.22.17-
"Водные пути сообщения и гидрография"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург-2000

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете водных коммуникаций.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Гладков Г.Л.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Колосов М.А.

кандидат технических наук, ст. научн. сотр. Иванов В.В.

Ведущая организация: ЗАО "Проектно-изыскательский институт
Ленгипроречтранс".

Защита диссертации состоится " 9 " июня 2000 г.

в 11 час. на заседании диссертационного совета Д 116.01.02 при Санкт-Петербургском государственном университете водных коммуникаций по адресу: 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская 5/7, ауд.235.

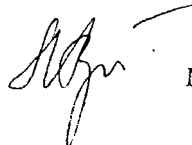
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГУВК.

Автореферат разослан " 3 " мая 2000 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 116.01.02,

кандидат технических наук, доцент



М.В. Журавлев

0411.211-045.1-022,0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Транспорт – важнейшая составная часть экономической системы страны. История развития человечества доказывает, что государство, не имеющее эффективно работающей транспортной сети, не способно достичь высокого уровня экономического развития. Обязательным условием повышения эффективности транспортной системы является минимизация транспортных издержек при грузоперевозках. Этого можно достигнуть путем использования водного транспорта, т.к. себестоимость доставки грузов по воде значительно ниже, чем другими видами транспорта. Так, издержки при грузоперевозках водным транспортом в 14.3 раза меньше таковых, чем при использовании автомобильного транспорта и в 3.3 раза железнодорожного. Следует учитывать и то, что до настоящего времени многие районы Севера, Сибири и Дальнего Востока не имеют развитой автомобильной и железнодорожной сети сообщения.

Используемые для судоходства внутренние водные пути России в настоящее время имеют протяженность 93.8 тыс. км, причем более 70 % из них составляют реки, находящиеся в свободном состоянии. Для поддержания их в эксплуатационном состоянии и обеспечения безопасного судоходства необходимо ежегодно осуществлять комплекс путевых работ, важнейшими составляющими которого являются дноуглубление и выправление.

В условиях сокращения бюджетного финансирования путевых работ повсеместно произошло сокращение объемов землечерпательных и выправительных работ, что привело к уменьшению габаритов судовых ходов и прекращению судоходства на отдельных участках в межлетний период времени. Судоходные реки возвращаются в свое естественное состояние.

Одним из возможных путей решения этой проблемы является расширение практики выправительных работ, поскольку их воздействие на речной поток носит долговременный характер. Это позволит в течение определенного времени стабилизировать ситуацию на магистральных реках при относительно небольших затратах на содержание пути.

При проведении выправительных работ следует уделить внимание широкому внедрению на практике сквозных сооружений, наиболее индустриальными из которых являются свайные сооружения. Внедрение сооружений этого типа оправдано как с экономической точки зрения, так и с позицией минимального влияния на окружающую среду. Для их успешного применения необходима совершенная методика расчета, позволяющая надежно прогнозировать последствия воздействия на поток выправительных сооружений этого типа.

Ц е л ь ю настоящей диссертации является исследование работы в потоке одиночных сквозных свайных выправительных сооружений - 'запруд и полужапруд и разработка на этой основе методики их расчета. Это позволит расширить практику применения данного типа выправительных сооружений для обеспечения судоходных условий на внутренних водных путях.

М е т о д и к а и с с л е д о в а н и й. Решения поставленных вопросов в диссертационной работе было получено на основе проведения экспериментальных исследований по оценке взаимодействия потока и сквозных свайных выправительных сооружений.

Лабораторные исследования проводились в гидравлическом лотке прямоугольного сечения с жестким дном при следующих характеристиках потока: расход воды в лотке равен $Q=13.3$ л/с; в бытовом состоянии средняя глубина воды в лотке при установившемся режиме $h_{cp}=10$ см, продольный уклон свободной поверхности $I=0.6 \text{ ‰}$, число Фруда $Fr_M = \frac{v_{cp}}{\sqrt{gR}}=0.31$, число Рейнольдса $Re_M = \frac{v_{cp}R}{\nu}=14135$ и средняя скорость течения воды в лотке $v_{cp}=26.0$ см/с.

Всего было выполнено 76 опытов, в 57 из которых исследовалось воздействие на поток сквозных свайных и глухих полужапруд, а в 19 - сквозных свайных и глухих запруд. В ходе экспериментов изучались одиночные зато-

пленные и незатопленные выправительные сооружения, расположенные нормально к направлению потока.

В качестве моделей сооружений использовались системы вертикально установленных в лотке стержней круглого сечения диаметром $d=1.4$ см с различной высотой и расстояниями между ними.

Моделирование исследуемых гидравлических явлений осуществлялось с соблюдением основных критериев подобия, что позволило не выходить за пределы автомодельной области.

Измерение осредненных продольных скоростей течения производилось микровертушкой ГГИ. Фиксация отметок свободной поверхности воды и глубины потока выполнялась с помощью пьезометра и уровенных марок. Донные струи потока подкрашивались, а их положение фиксировалось с помощью фотоаппаратуры.

Научная новизна результатов работы.

1. Экспериментально исследована работа в потоке сквозных свайных выправительных сооружений с различной степенью стеснения, коэффициентом застройки и высотой.

2. Исследована кинематическая структура потока при обтекании им сквозных свайных выправительных сооружений – запруд и полузапруд.

3. Разработаны методики расчета сквозных свайных запруд и полузапруд при различной степени их затопления.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Результаты экспериментальных исследований работы в потоке сквозных свайных выправительных сооружений.

2. Методика расчета параметров сквозных свайных полузапруд с учетом степени их затопления.

3. Приближенный метод определения параметров незатопленных сквозных свайных полузапруд.

4. Методика расчета параметров сквозных свайных запруд с учетом степени их затопления.

Практическое использование результатов.

Разработанные положения диссертационной работы и методы расчета предназначены для проектирования сквозных свайных выправительных сооружений на судоходных реках. Особое значение использование таких сооружений приобретает в современных условиях на водных объектах, подверженных к настоящему времени воздействию антропогенных факторов.

Результаты исследований автора диссертационной работы использовались при проведении проектных проработок, выполненных Проектно-изыскательским институтом Ленгипроречтранс при разработке рекомендаций по обеспечению судоходных условий в зоне влияния карьерных разработок на верхнем Чулыме и на реке Вятке в районе г. Кирова.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования были представлены и докладывались автором на конференциях профессорско-преподавательского состава и научно-методических конференциях, проводимых в СПГУВКе (С.- Петербург, 1998,-99); на тринадцатом пленарном межвузовском совещании по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Псков, 1998).

Результаты диссертационного исследования автора используются в учебном процессе при подготовке студентов на гидротехническом факультете СПГУВК по специальностям 290400 "Гидротехническое строительство" и 320600 - "Комплексное использование и охрана водных ресурсов".

Публикации. Основные результаты исследований и содержание диссертационной работы опубликовано в 5 печатных работах автора.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем диссертации 135 страниц, в том числе: 83 страницы машинописного текста, 31 рисунок, 8 таблиц, список литературы включает 78 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава содержит анализ возможностей использования сквозных выправительных сооружений на судоходных реках. Дано описание сквозных выправительных сооружений, приводятся преимущества этих сооружений по сравнению с другими. Составлен обзор основных достижений в области экспериментальных и теоретических исследований работы в потоке сооружений данного типа, выявлены недостатки в ходе их изучения.

Говоря об уровне практического внедрения сквозных свайных сооружений (далее – ССС) следует признать, что широкого применения они, к сожалению, до сих пор не получили несмотря на ряд очевидных преимуществ, к числу которых можно отнести:

- технологическая освоенность процесса возведения свайных сооружений, что позволяет избежать дополнительных затрат времени и средств на освоение новой технологии;

- возможность использования в качестве свай предлагаемых промышленностью типовых изделий (железобетонных свай, некондиционного леса, металлического шпунга, стальных труб и др.);

- сокращение сроков возведения свайных сооружений за счет меньших объемов строительных работ и возможности комплексной механизации процесса их возведения;

- возможность частичной замены поврежденных в процессе эксплуатации элементов сооружения;

- более мягкое по сравнению с глухими конструкциями воздействие свайных сооружений на русловой режим реки в процессе их строительства и эксплуатации и др.

В результате получается значительное снижение затрат на строительство и эксплуатацию ССС.

ССС имеют ряд недостатков, основным из которых является подверженность разрушающему воздействию ледохода. Поэтому такие

сооружения должны проектироваться и возводиться с учетом данного фактора. Свайное сооружение, как и любое другое, требует внимательного рассмотрения всего комплекса условий в которых планируется его строительство.

Рассматривая уровень экспериментально-теоретической проработки этой проблемы, отметим, что начиная с 40-х годов нашего столетия многие отечественные и зарубежные авторы проводили экспериментальные и теоретические исследования в этой области. Существующие методики расчета выправительных сооружений различного типа, их конструкции и способы возведения, а также принципы их моделирования в лабораторных условиях являются результатом работы целого ряда авторов: Алтунина С.Т., Амбарцумяна Г.А., Бакнева М.Р., Башкирова Г.С., Гилярова П.П., Гришанина К.В., Дегтярева В.В., Долгашева В.А., Коновалова И.М., Леви И.И., Лосневского А.И., Орлова И.Я., Селезнева В.М., Терехова И.Б., Уркинбаева Р., Чекренева А.И., Шамовой В.В. и др.

Несмотря на многочисленные теоретические и экспериментальные исследования работы в потоке ССС, отдельные вопросы оказались малоизученными, или вообще не рассматривались. До настоящего времени не было проведено обобщения полученных результатов, что является основным препятствием на пути широкого внедрения ССС в практику выправительных работ. Следует отметить также, что ввиду сложности гидравлических процессов, сопровождающих работу сквозного выправительного сооружения, большинство авторов шло по пути экспериментальных исследований. Теоретические модели создавались весьма осторожно и с большим числом допущений различной степени важности. Недостаточно опубликованных данных по натурным наблюдениям за сквозными сооружениями, которые необходимы для анализа достоверности методик их расчета и совершенствования способов экспериментальных исследований.

Особо следует отметить, что авторами недостаточно внимания уделялось изучению работы в потоке затопленных сквозных сооружений. До на-

стоящего времени не проводилось исследований работы в потоке затопленных сквозных запруд и, соответственно, отсутствует методика их расчета с учетом степени затопления. Большинство существующих в настоящее время методик и формул для расчета сквозных свайных полузапруд, глубин размыва, перераспределения скоростей течения и расхода воды по ширине потока в районе их установки, также не учитывают степень их затопления. Единственная существующая методика расчета с учетом степени затопления сквозных полузапруд дает завышенные результаты, громоздка и неудобна для вычислений.

С учетом вышеизложенного были намечены цели и задачи дальнейших исследований в области изучения работы сквозных свайных выправительных сооружений.

Во второй главе приводятся основные результаты экспериментальных исследований работы в потоке сквозных свайных полузапруд.

В ходе экспериментов рассматривался следующий круг вопросов:

- исследование кинематической структуры потока при обтекании им сквозных свайных сооружений;
- оценка влияния сквозных свайных сооружений на поле скоростей потока и перераспределение расходов воды по живому сечению водотока;
- исследование влияния сквозных свайных сооружений на рельеф свободной поверхности воды;
- выявление связи между параметрами сквозных свайных сооружений и гидравлическими характеристиками потока.

В работе исследовались две группы сооружений:

- сквозные свайные полузапруды высотой $h_c = 3, 6, 9$ и 12 см с коэффициентами застройки $p = d/(d+s)$ (d - диаметр свай, s - расстояние в свету между ними) соответственно $0.25, 0.37, 0.46$ и 0.67 ; степенями стеснения потока $m = l_c/B$ $0.25, 0.50$ и 0.75 (l_c - длина сооружения, B - ширина лотка);

- глухие непроницаемые полузапруды с коэффициентом застройки $p=1.0$ высотой $h_c=3, 6$ и 9 см и степенями стеснения потока $m= 0.25, 0.50$ и 0.75 .

Работающие в потоке сквозные свайные полузапруды, в отличие от непроницаемых сооружений, формируют иные картины поля скоростей, рельефа свободной поверхности воды и перераспределение расходов воды по ширине потока. Их воздействие на поток можно охарактеризовать как более мягкое, чем воздействие глухих сооружений. Это происходит из-за различия их конструкций, поскольку сквозные свайные сооружения являются частично проницаемыми для потока жидкости и транспорта наносов.

Сквозные и сплошные полузапруды формируют различные схемы обтекания их потоком – в зоне установки сквозных свайных полузапруд отсутствуют верховая и низовая водоворотные зоны. При $p<0.25$ элементы сквозного сооружения работают как отдельно стоящие сваи, а с увеличением параметра p сооружение по характеру воздействия на поток приближается к непроницаемым сооружениям.

При наличии в потоке свайных полузапруд рабочую зону по длине лотка можно разделить на три основных участка: *подходной*, где изменялись только отметки свободной поверхности, а скорости были практически равны бытовым; *участок перераспределения*, в конце которого наблюдалось максимальное перераспределение скоростей, расходов и отметок свободной поверхности воды по ширине лотка; *участок восстановления*, где претерпевший изменения поток постепенно восстанавливался до своего бытового состояния (рис. 1).

Измерение скоростей течения в зоне влияния сооружения показывает, что на подходном участке скорости течения практически равны бытовым, а отметки свободной поверхности воды повышаются. По мере приближения к створу полузапруды в застроенной части лотка скорости течения уменьшаются, повышая отметки свободной поверхности воды, а в свободной от сооружения части лотка наоборот – скорости увеличиваются, отметки

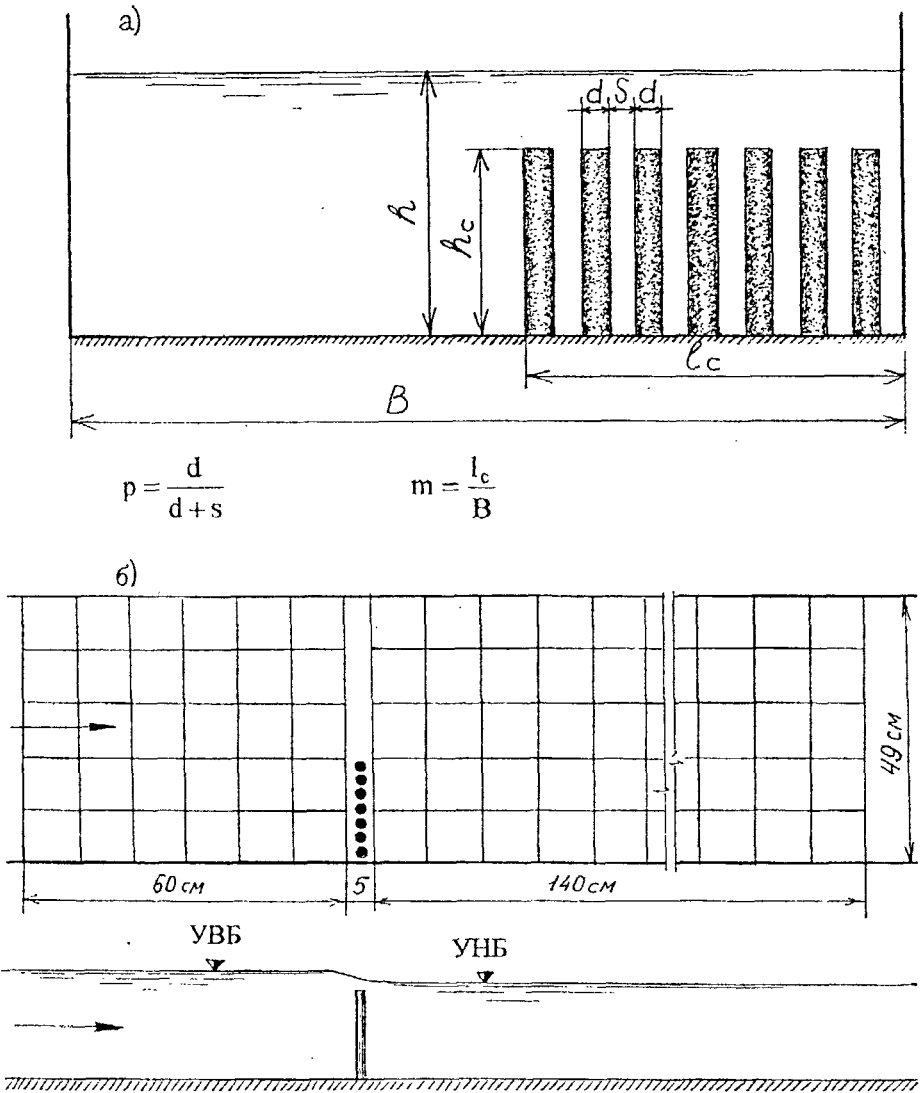


Рис. 1. а)– схема к определению коэффициента застройки сооружения p и степени стеснения потока m ;
б)– схема рабочей зоны лотка

свободной поверхности понижаются и, как следствие, растет поперечный перепад отметок между застроенной и незастроенной частями лотка.

Говоря о распределении скоростей по глубине потока, можно отметить, что максимальная их неравномерность наблюдается в непосредственной близости от сооружения. В створе свайной полузапруды в свободной от сооружения части лотка происходит увеличение скоростей течения по всей глубине потока, причем характер их распределения зависит главным образом от высоты сооружения. Донные скорости в створе сооружения увеличиваются с ростом параметров сооружения, причем у головы полузапруды они всегда больше, чем у ее корня. Разница между ними возрастает с увеличением значений m , p и h_c .

Представляет интерес исследование картины обтекания сквозных свайных полузапруд донными струями, которая показана на рис. 2. Анализ фотоматериалов, фиксирующих траектории движения донных струй при разных условиях моделирования, показывает, что при малых m , p и h_c положение донных струй практически не отличается от бытового состояния - они двигаются параллельно оси потока. Увеличение высоты сооружения и степени стеснения потока при $p=0.25$ и 0.37 не дают значительной перестройки траекторий донных струй, отклоняться начинают лишь струи, находящиеся в районе головы полузапруды. Заметное отклонение донных струй в сторону незастроенной части лотка начинается лишь с $p=0.46$, но даже при $p=0.67$ сооружение остается проницаемым для донных струй, часть которых в прикорневой зоне проходит между сваями в нижний бьеф.

Главной задачей исследования работы в потоке свайных полузапруд являлось выяснение характера перераспределения расхода воды по ширине потока, что послужило основой для создания расчетного обоснования. Выполненные измерения показывают, что при $p < 0.8$ перераспределение расхода воды по ширине лотка во всех случаях имеет линейный характер, а при $p > 0.8$ нелинейный. Увеличение высоты сооружения приводит к возрастанию доли расхода воды, проходящей между сваями и в свободной от полу-

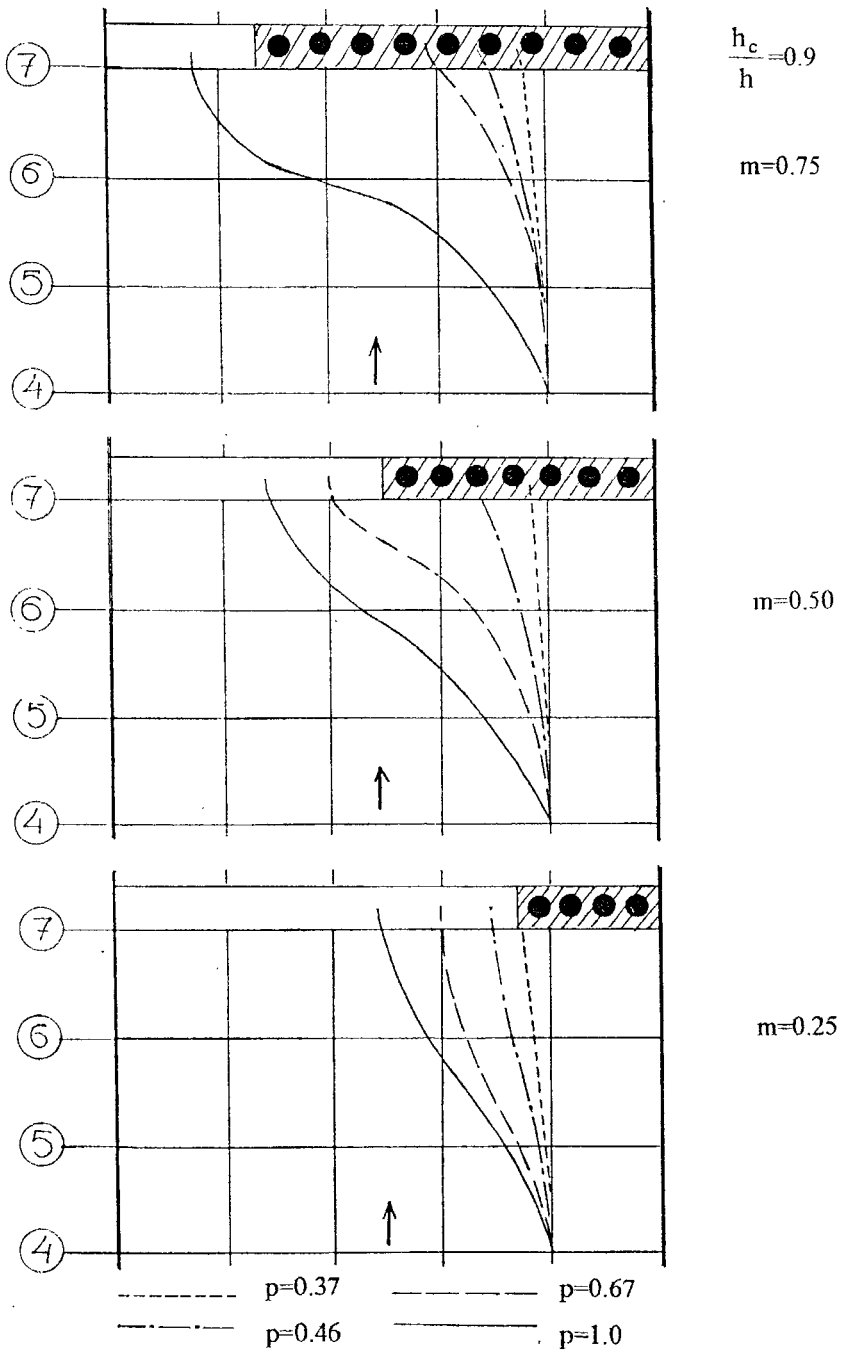


Рис. 2. Схема обтекания донными струями сквозной свайной полузапруды

запруды части лотка, уменьшается доля расхода воды, переливающейся через гребень сооружения. С увеличением степени стеснения m доля расхода воды, переливающегося через гребень сооружения, растет. Кроме того, чем больше коэффициент застройки p , тем больше доля расхода воды, переливающаяся через его гребень и тем больше работа свайных полузапруд приближается к работе непроницаемых сооружений.

В третьей главе приводятся основные результаты экспериментальных исследований работы в потоке сквозных свайных запруд.

В диссертационной работе исследовались две группы сооружений:

- сквозные свайные запруды высотой $h_c = 3, 6, 9$ и 12 см с коэффициентами застройки $p = 0.25, 0.37, 0.46, 0.67$;
- непроницаемые запруды высотой $h_c = 3, 6$ и 9 см с коэффициентом застройки $p = 1.0$.

Для оценки характера распределения скоростей течения по глубине потока использовалось отношение v_{\max} / v_{\min} , где v_{\max} - максимальная величина скорости на вертикали, v_{\min} - то же ее минимальное значение. В бытовом режиме это отношение не превышало 1.2. В верхнем бьефе на всем протяжении подходного участка и на всех створах вплоть до расположенного на расстоянии $2h$ от напорной грани сооружения, скорости течения при наличии в потоке свайных запруд практически не отличались от своих бытовых значений и распределялись по глубине потока равномерно - отношение v_{\max} / v_{\min} не превышало 1.3.

Значения донных скоростей течения во всех случаях отмечались ниже бытовых. Действительно, какой бы ни была высота запруды придонные слои потока всегда встречают на своем пути ее сопротивление, тогда как поведение поверхностных слоев зависит от высоты сооружения. Начиная с расстояния $1h$ от створа запруды и по мере приближения к нему, намечающиеся ранее тенденции уменьшения донных скоростей с ростом p и их увеличения по мере увеличения высоты запруд h_c , здесь уже носят более определенный характер.

Говоря о распределении скоростей течения по глубине потока, отметим, что по мере приближения к створу свайной запруды заметно возрастает отношение v_{\max}/v_{\min} , достигая максимальных значений при $h_c=6$ см. С дальнейшим увеличением высоты сооружения максимальные скорости смещаются от поверхности ко дну. Следует отметить, что непосредственно у непроницаемого сооружения скорости течения по глубине потока распределяются все более неравномерно - отношение v_{\max}/v_{\min} достигает значений $2.5 \div 4.3$. Донные скорости меньше поверхностных в $2 \div 3$ раза.

Характер изменения поверхностных скоростей зависит от высоты сооружения. При малых и средних h_c происходит увеличение поверхностных скоростей непосредственно перед сооружением, а при больших h_c их уменьшение. Изменение ρ , не нарушая характера поведения поверхностных скоростей, влияет только на величину их повышения или понижения.

В створе сооружения в сжатых сечениях между сваями для всех случаев ρ наблюдалось повышение скоростей по всей глубине потока по сравнению с вышележащими створами. Происходит выравнивание эпюры скоростей (рис. 3) С ростом ρ и h_c средняя скорость течения в створе запруды увеличивается. Сравнивая значения донных и средних скоростей можно отметить, что при малых ρ донные скорости меньше средних по вертикали. С увеличением ρ донные скорости течения в створе сооружения увеличиваются и становятся равными средним скоростям, а затем, при $\rho > 0.4$ - превышают их. Особенно это явление заметно при больших высотах сооружения.

Ниже сооружения наблюдается резко выраженный неравномерный характер распределения скоростей течения по глубине потока. При этом смещение зоны максимальных скоростей либо к поверхности, либо ко дну лотка зависит от высоты сооружения h_c . Для незатопленных запруд максимальные скорости формируются в районе глубин $0.6 \div 0.8h$, а для всех остальных затопленных сооружений максимальные скорости располагаются ближе к поверхности воды - в районе $0.2 \div 0.3h$. В районе сопряжения бьефов при $\rho=1.0$ регистрировались скорости, превышавшие бытовые в $2 \div 3$

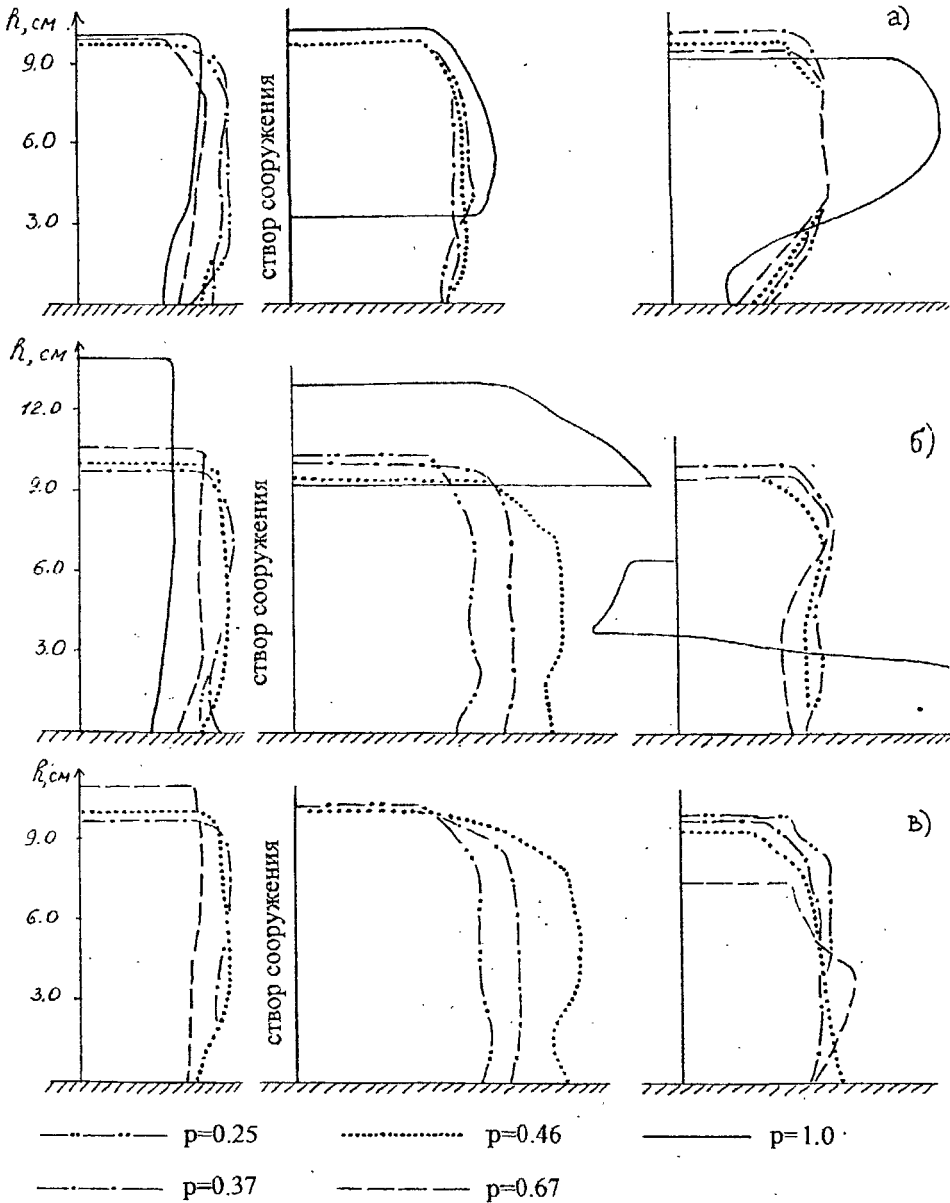


Рис. 3. Эпюры распределения скоростей течения по глубине потока в районе установки сквозной свайной запруды:

а) - $h_c = 3$ см; б) - $h_c = 9$ см; в) - $h_c = 12$ см

раза; эпюры распределения скоростей течения по глубине потока в случае $p=1.0$ имеют резко выраженный неравномерный характер - $v_{\max}/v_{\min} = 4 \div 5$.

Главной задачей исследования работы в потоке свайных запруд было выявление связи между параметрами сооружения и перепадом уровней воды между бьефами. Наличие запруды в потоке во всех случаях вызывало общее повышение отметок свободной поверхности воды в верхнем бьефе и понижение в нижнем. Величина перепада уровней зависит от параметров сооружения p и h_c . С увеличением коэффициента застройки p при любой фиксированной высоте сооружения в верхнем бьефе наблюдалось повышение уровня воды. Величина понижения отметок свободной поверхности воды в нижнем бьефе была различной и зависела от параметров сооружения p и h_c . Минимальное понижение уровня воды по отношению к бытовому было зафиксировано при $p=0.25$ и $h_c=3$ см, с дальнейшим увеличением коэффициента застройки p понижение отметок свободной поверхности воды в нижнем бьефе прогрессировало. Зона их максимального понижения располагалась при всех p и h_c на расстоянии $0.5h$ вниз от створа сооружения, далее они постепенно повышались вплоть до бытовых значений.

Данные измерений позволили выявить характерные закономерности в перераспределении расходов в створе сооружения в зависимости от изменения параметров сооружения h_c и p . Выяснилось, что с увеличением p через запруды переливается все больший расход воды, а с ростом ее высоты $Q_{\text{пер}}$ уменьшается. Расходы воды, проходящие через тело сооружения с увеличением p уменьшаются.

Таким образом, различие в работе глухих ($p=1.0$) и сквозных свайных ($p<1.0$) запруд обусловлено частичной проницаемостью последних для потока жидкости и транспорта наносов. С постепенным увеличением коэффициента застройки p сквозные запруды приближаются по воздействию на поток к глухим сооружениям. Сквозная запруда формирует более благоприят-

ный режим донных скоростей, позволяющий свести длину крепления дна в нижнем бьефе к минимуму. В зависимости от p и h_c , она способна создать подпор уровней воды в верхнем бьефе от минимального до значительного, одновременно пропуская между сваями расход наносов.

Четвертая глава посвящена разработке расчетного обоснования параметров сквозных свайных сооружений.

На основе экспериментальных данных была получена формула для определения коэффициента $K_{св}$, имеющая вид:

$$K_{св} = 1.0 + p \cdot 2.45^a, \quad (1)$$

где $a = 1.0 - \frac{13.3(1-m)}{3.13^{h_c/h}}$, p - коэффициент застройки свайного ряда, m - степень стеснения потока сооружением, h_c/h - степень затопления сооружения.

Формула (1) позволяет установить все размеры полузапруды, обеспечивающие требуемое значение $K_{св}$. По ней можно получить надежные результаты при условии, если переменные p и m не выходят за пределы следующих диапазонов:

- коэффициент застройки сооружения не должен превышать 0.8;
- степень стеснения потока не должна превышать 0.6.

При $m > 0.6$ формула дает несколько завышенные результаты, а использование в расчетах p , превышающих обозначенные рамки, приведет к получению значительно заниженных значений $K_{св}$. Это объясняется тем, что в зависимости (1) заложен закон линейного изменения отесняемого в незастроенную часть лотка расхода воды в диапазоне p от 0 до 0.8, каковым он и является. Эти ограничения нельзя отнести к существенным недостаткам, т.к. данная область отвечает условиям реального проектирования полузапруд на реках.

По формуле (1) была составлена номограмма для определения возможной области применения сквозных свайных полузапруд. Имея значения $K_{св}$ и m , можно проверить имеется ли возможность использовать в данном

случае свайное сооружение. При этом, требуемое значение $K_{св}$ можно получить множеством комбинаций m , p и h_c , однако входящие в них параметры обязательно должны быть больше своего минимально допустимого значения. Номограмма позволяет определить такие минимальные значения всех параметров.

Разработана методика расчета параметров одиночной сквозной свайной полузапруды с учетом степени затопления. Расчет основных параметров полузапруд ведут в следующем порядке:

1. Устанавливается расчетный уровень H_p и соответствующий ему руслоформирующий расход воды Q_p ;

2. Составляется схема расположения полузапруд на плане затруднительного участка реки; вычерчивается поперечное сечение в створе каждой полузапруды до расчетного уровня воды.

3. Исходя из условия пропуска ледохода определяется отметка гребня сооружения, что позволяет определить отношение h_c/h характеризующее его степень затопления и высоту.

4. Определяется коэффициент стеснения русла полузапрудой m по выражению:

$$m = \frac{\omega_n}{\omega_r}, \quad (2)$$

где ω_n - часть площади поперечного сечения, перекрываемая полузапрудой, ω_r - полная площадь поперечного сечения при уровне воды вровень с гребнем сооружения.

5. Для определения расхода $Q_{св.б.}$, проходящего через незастроенную часть русла, в бытовом состоянии строится интегральная кривая распределения расхода воды при расчетном уровне.

6. Определяется расход воды $Q_{св.}$, необходимый для обеспечения размыва дна в пределах судового хода по формуле:

$$Q_{св.} = \omega_{св.} \cdot v_p, \quad (3)$$

где v_p – необходимая для размыва дна расчетная скорость в незастроенной части потока, определяемая по рекомендациям Селезнева В.М.

7. Вычисляется основной показатель работы полузапруды по перераспределению расхода воды по ширине русла $K_{св}$ по формуле:

$$K_{св} = \frac{Q_{св}}{Q_{св.б}} \quad (4)$$

8. Зная m и $K_{св}$, по номограмме, выясняется возможность применения в данных условиях сквозной свайной полузапруды. Если ее применение невозможно, то рассматривается вариант возведения непроницаемого сооружения.

9. Имея все необходимые данные, определяется коэффициент застройки p свайной полузапруды по формул (1).

Наряду с вышеописанным способом расчета параметров сквозных свайных запруд, в работе предложен приближенный метод, основанный на использовании номограммы.

В результате экспериментальных исследований работы в потоке сквозных свайных запруд получено выражение, связывающее все его параметры:

$$\frac{h_c}{h} = 0.13 \frac{\ln 5\zeta}{p^{1.65}}, \quad (5)$$

где ζ - коэффициент сопротивления свайного сооружения.

В обеих частях полученной расчетной зависимости находятся безразмерные величины. Область применения данной зависимости находится в пределах от $p > 0.25$ и $\zeta > 0.2$.

Разработана методика расчета сквозных свайных запруд с учетом степени затопления, целью которой является определение коэффициента застройки сооружения p . Расчет проводят в следующей последовательности:

1. Определяется расчетный уровень и соответствующий ему расход воды.

2. Участок двухрукавного разветвления русла разбивается на расчетные участки с условием, чтобы площади живых сечений в пределах каждого из них изменялись монотонно.

3. Вычерчиваются поперечные профили русла во всех граничных сечениях до расчетного уровня и подсчитываются гидравлические элементы потока: площадь ω , ширина по зеркалу воды B , средняя глубина h , модуль расхода K и модуль сопротивления русла F .

4. Подсчитывают бытовое распределение расхода воды по рукавам $Q_{с.б.}$ и $Q_{нс.б.}$.

5. На каждом расчетном участке в судоходном и несудоходном рукавах подсчитывают падение уровня ΔZ_i .

6. Определяют проектный расход в судоходном рукаве $Q_{с.п.}$.

7. Производя сравнение бытового и проектного расходов воды в судоходном рукаве, устанавливается запруда какого действия нужна (меженного или весеннего) и нужна ли вообще.

8. При проектном распределении расходов воды по рукавам по способу Павловского Н.Н. графически находят падения уровня на расчетных участках ΔZ_i , отметки верхнего $Z_{в.б.}$ и нижнего $Z_{н.б.}$ бьефов и величину перепада воды на запруде ΔZ_3 . Строят кривые свободной поверхности воды в рукавах при бытовом и проектном расходах воды.

9. Из условия пропуска весеннего ледохода задаются отметкой гребня запруды Z_r и вычерчивают поперечное сечение в ее створе. Далее вычисляются площадь поперечного сечения вровень с отметкой гребня запруды ω_r и отметкой верхнего бьефа $\omega_{в.б.}$. Разделив эти площади на соответствующие им значения ширины русла, определяют среднюю высоту запруды h_c , среднюю глубину воды в верхнем бьефе h и степень ее затопления h_c/h .

10. Вычисляется коэффициент сопротивления сооружения ζ по формуле:

$$\Delta Z = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (6)$$

где v – средняя скорость течения на подходе, м/с.

11. Подставив в формулу (5) известные ΔZ_z и ζ , определяется коэффициент застройки сквозной свайной запруды p :

$$p = 1.65 \sqrt{\frac{0.13 \ln 5 \zeta}{h_c / h}} \quad (7)$$

В том случае, если сквозная свайная запруда не сможет обеспечить требуемое перераспределение расхода воды по рукавам, необходимо рассмотреть возможность возведения сплошной, либо двух и более сквозных запруд. Выбор окончательного варианта должен определяться технико-экономическим расчетом.

Пользуясь формулой (6), можно решать и обратную задачу, т.е. зная коэффициент застройки сооружения p находить отметку гребня запруды. Для этого нужно сначала построить график зависимости $Z_r = f\left(h_c = \frac{\omega_r}{B_r}\right)$. После этого, определив h_c/h и зная h , по этому графику можно найти требуемую отметку гребня запруды Z_r , соответствующую рассчитанной высоте сооружения h_c .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты выполненной диссертантом работы, заключаются в следующем:

1. Обзор работ, посвященных теме диссертации, показал, что данная проблема представляла интерес для специалистов в течение длительного времени. Полученные на ранних этапах исследований результаты представляют собой разрозненные сведения и не соединены в единую методику расчета.

2. Большинство ранее выполненных работ было посвящено изучению затопленных сооружений, что делает невозможным прогнозирование воздействия на поток затопленного сооружения. Работа в потоке затопленных сквозных сооружений исследована недостаточно и требует проведения дополнительных усилий.

3. В ходе выполненных экспериментов исследовалась зависимость основных гидравлических характеристик потока от параметров сквозного сооружения. Установлено, что сквозное свайное сооружение способно оказывать на поток воздействие различной степени. Степень воздействия определяется совокупностью всех параметров сооружения.

4. Изучение перераспределения расхода воды по ширине русла показало, что сквозные свайные полузапруды могут выполнять при определенных значениях основных параметров водостеснительную функцию. С увеличением m , p и h_c степень перераспределения расхода возрастает. Предложено расчетное обоснование параметров сквозной свайной полузапруды.

5. Исследования работы в потоке сквозных свайных запруд показали, что в зависимости от коэффициента застройки и высоты сооружения они оказывают различное сопротивление потоку и, следовательно, вызывают различный перепад уровней воды. Чем больше параметры сооружения p и h_c , тем большее воздействие оказывает сквозная свайная запруда на поток. В работе предлагается методика расчета параметров сквозной свайной запруды.

6. В районе установки сооружения поток теряет часть своей кинетической энергии, что будет способствовать отложению влекомых и крупных фракций взвешенных наносов выше сооружения. При определенных условиях часть русловых наносов будет проходить транзитом через створ сооружения.

7. Свайные сооружения по сравнению с другими типами выправительных сооружений в большей мере отвечают требованиям охраны окружающей среды. При их возведении не возникает дополнительной мут-

ности в процессе строительства; они не препятствуют водообмену и транспорту наносов между бьефами и в случае необходимости легко поддаются демонтажу. Возможно применение их в качестве защитных сооружений в районах карьерных разработок, а также для восстановления характеристик руслового режима на реках, подверженных к настоящему времени влиянию антропогенных факторов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Гидрологический и русловой режимы р. Чулым в районе г. Ачинска // Тез. докл. Научно-методическая конференция-98. Часть 2. - СПб.: СПГУВК, 1998. - С. 156.

2. Экспериментальные исследования работы в потоке сквозных выправительных сооружений // Тез. докл. Научно-методическая конференция-98. Часть 2. - СПб.: СПГУВК, 1998. - С. 157.

3. Исследование влияния добычи НСМ из русла р. Чулым на гидравлический режим реки и русловые процессы // Водные пути и гидротехнические сооружения. Сб. трудов СПГУВК, 1999. - С. 108-120. (в соавторстве).

4. Экспериментальные исследования работы в потоке свайных запруд // Тез. докл. Научно-методическая конференция, посвященная 190-летию транспортного образования. Часть 1. - СПб.: СПГУВК, 1999. - С. 56-57.

5. Исследование работы в потоке свайных запруд и полузапруд // Тез. докл. Тринадцатое пленарное межвузовское совещание по проблеме эрозийных, русловых и устьевых процессов. - Псков: Изд-во Псковского пед. института, 1998. - С. 91-92.

