

634.982

133

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт
имени С. М. Кирова

На правах рукописи

С.С. ЛЕБЕДЬ

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ПРОПУСКА ПЛОТОВ
ПЛОСКОЙ СПЛОТКИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ НИЗКОДАВНЫХ
ЛЕСОСПАВНЫХ ПЛОТИН**

(Специальность 05.420. "Машины, механизмы и технологии
лесоразработок, лесозаготовок и лесного хозяйства")

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 1976

634.982
Л-33

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт им.С.М.Кирова

На правах рукописи

С.С.ЛЕБЕДЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ПРОПУСКА ПЛОТОВ
ПЛОСКОЙ СПЛОТКИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ НИЗКОДАВНЫХ
ЛЕСОСПЛАВНЫХ ПЛОТИН

(Специальность 05.420. "Машины, механизмы и технология
лесоразработок, лесозаготовок и лесного хозяйства")

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Б-ва БТУ им. С. М. Кирова
г. Минск, Савинцова, 13

Минск 1970

ИХЖ

25 49 ар.

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте
имени С.М.Кирова.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
С.Х.БУДЫКА

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор В.Ф.ШЕВЕКО

кандидат технических наук, доцент И.И.ЛЕОНОВИЧ

Ведущее предприятие - Центральный научно-исследовательский
институт лесосплава

Автореферат разослан 3 " декабрь 1970 г.

Защита состоится 6 " января 1971 г. на засе-
дании Совета Белорусского технологического института им.С.М.Ки-
рова, г.Минск, ул.Свердлова, 13-а, ауд.220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными
подписями просим присылать по адресу: г.Минск, ул.Свердлова, 13-а,
БТИ им.С.М.Кирова, ученому секретарю Совета.

Ученый секретарь Совета

/И.М.Плехов/

Директивами XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР было предусмотрено дальнейшее увеличение лесозаготовок в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока, в которых лесосплав является зачастую наиболее эффективным, а во многих случаях единственным видом транспорта леса.

Технические расчеты и многолетний опыт работы отечественных и зарубежных лесосплавных предприятий показали, что затраты на освоение и мелиорацию больших и малых рек окупаются в сравнительно короткий срок и дают большую экономическую выгоду.

Известно, что для продления сплавного периода на малых реках широко применяется регулирование стока, осуществляемое при помощи плотин. Кроме того, в настоящее время в целях уменьшения утота древесины при лесосплаве и создания условий сплава леса лиственных пород широкое развитие приобретает сплав плотов механизированной вязки из однорядных и двухрядных плоских сплотовых единиц. Следует отметить, что в связи с Постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР от 11 июня 1966 г. и приказом Минлесдревпрома СССР за № 361 от 11 июля 1966 г., замена молевого сплава плотовым отвечает требованиям охраны природы, в частности, охраны рыбных богатств.

В диссертации исследованы некоторые актуальные вопросы пропуска плотов через отверстия низконапорных лесосплавных плотин и даны соответствующие рекомендации проектным и производственным организациям.

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы, приложений и содержит 179 страниц основного текста. В списке литературы указано 139 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. В приложениях приведены результаты экспериментальных исследований и примеры расчета.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ВОПРОСОВ

Пропуск плотов через плотины связан с регулированием стока сплавных рек, улучшающим условия сплава леса и повышающим оплавоспособность рек. По этому вопросу проводились экспериментальные и теоретические исследования. Основными из них являются исследования С.Х. Будыка, И.М. Волкова, В.Ф. Дудина, Г.А. Кокорева, С.Д. Чистопольского, С.Ф. Корнилова и И.Г. Арыкина, Н.Н. Павлова, Б.С. Родионова, В.В. Савельева, В.Г. Самоенко и С.В. Титова, Д.Г. Смараглова, Г.И. Тараканова, А.Ф. Юдина и др. В этих работах предложены методики водохозяйственного расчета при регулировании стока сплавных рек, освещены вопросы, связанные с движением волны попуска и производством попускowego лесосплава и целый ряд других вопросов, представляющих интерес как в прикладном, так и в теоретическом отношении. Однако в этих исследованиях вопросы пропуска леса в плотах через плотины остались недостаточно освещенными.

В настоящее время известно несколько способов пропуска леса через плотины, зависящих от конструкции лесопропускных устройств. Последние получили освещение в работах М.М. Гришина, В.И. Громова, И.Н. Джунковского и А.Р. Березинского, С.Я. Луки, Б.О. Калиновича, А.М. Латышенкова, А.В. Михайлова, Д.Г. Смараглова, В.Ф. Саверова, В.В. Фандеева и др. Основными плотопропускными сооружениями являются: плотоходы; плотоходы со шлюзовой камерой для плота; плотошлизы; шлюзы-плотоходы (шлюзовые лестницы); механические плототаски; плотопропускные отверстия низконапорных лесосплавных плотин, работающие по типу водослива с широким порогом. Последние, представляющие сочетание водопропускного и плотопропускного устройств, мало изучались и не получили достаточного освещения в литературе. Они могут найти более широкое применение в связи с освоением новых рек в многолесных районах страны. Во всех выше упомянутых работах вопросы пропуска плотов через отверстия плотин остались

наиболее неизученными. Исследование процесса пропуска плотов через плотины во всем его объеме представляет собой весьма сложную и обширную проблему. В нашей работе исследуются вопросы движения плотов плоской плотины, пропускаемых через отверстия низконапорных лесосплавных плотин, представляющие собой водослив с широким порогом.

Целью настоящей работы является.

1. Исследовать процесс пропуска плотов из плоских сплотивных единиц через отверстия плотин в натуральных условиях с целью выявления качественной картины и основных факторов, воздействующих на плоты.

2. Исследовать в лабораторных условиях степень влияния различных факторов на характер движения плотов и на величину влечущей силы потока.

3. Установить формы сопряжения потоков верхнего и нижнего бьефов, благоприятные для безаварийного пропуска плотов.

4. Исследовать поле скоростей течения в потоках на водосливе с широким порогом.

5. Получить универсальные графические и аналитические зависимости распределения скоростей течения по вертикалям потока на водосливе с широким порогом.

6. Исследовать распределение вдоль водослива средних по живому сечению скоростей течения и получить универсальные продольные профили потоков на одноступенчатых водосливах.

7. Получить уравнения движения плотов в верхнем бьефе, через лесопропускное отверстие плотины и в нижнем бьефе, а также предложить методику решения этих уравнений.

8. Предложить методику расчета плотопропускной способности отверстий плотин.

9. Разработать методику прочностного расчета пропускаемых через

плотины плотов и отдельных сплочных единиц.

Ю. Дать рекомендации по внедрению результатов исследований в практику проектирования лесосплавных плотин и организацию плотового сплава на первоначальных водных путях.

ОБЩАЯ ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выполнения поставленных задач были приняты следующие этапы работ: проведение натурных (в условиях Белоруссии и Прикарпатья) и предварительных лабораторных исследований процесса пропуска плотов плоской оплетки через отверстия-водосливы низконапорных лесосплавных плотин, исследование гидравлических характеристик потока на водосливе-лесопропуске, разработка теоретических основ процесса пропуска плотов, приложения результатов исследований к решению практических задач (прочностной расчет плотов и определение сплавопропускной способности отверстий плотин) и выводы.

Исследовались следующие расчетные условия:

1. Очертание порога плотопропускного отверстия плотин (тип и форма водослива):

а) водосливы с широким порогом прямоугольного сечения с относительной высотой заложения порога $\frac{P}{H} = 0$ при плановом сжатии потока сооружением $\epsilon = \frac{\epsilon}{B} = 0,3; 0,5; 0,7$. Здесь P - высота заложения порога, H - напор на пороге, ϵ - ширина отверстия по фронту слива, B - ширина свободного (нестесненного) потока;

б) водосливы с широким порогом прямоугольного сечения с относительной высотой заложения порога $\frac{P}{H} = 0,75 \div 2,4$ и с острой прямоугольной входной кромкой и вертикальным уступом у слива;

в) водосливы с широким порогом с горизонтальным дном и плавными входами и сливом, выполненными в виде наклонных плоскостей, составляю-

щих с горизонтом углы в $19^{\circ}30'$ и $8^{\circ}30'$ при значениях $\frac{P}{H} = 0,75 \div 2,4$.

2. Относительная ширина порога указанных в пункте I водосливов изменялась в широких пределах ($\frac{\delta}{H} = 2,5 \div 8$). Здесь δ - ширина порога водослива-лесопропуска.

3. Напоры H на пороге водосливов (в переводе на натуру) при масштабе моделирования линейных размеров $\lambda_L = 10$ были следующие: 0,5 м; 0,6 м; 0,8 м; 1,0 м; 1,2 м; 1,4 м; 1,5 м; 1,6 м. При масштабе моделирования $\lambda_L = 20$ напоры имели значения: 1,0 м; 1,2 м; 1,6 м; 2,0 м; 2,4 м; 2,8 м; 3,0 м; 3,2 м. При этом $\delta = 4,0$ и 8,0 м соответственно.

4. Верхний бьеф представлял собой горизонтальное призматическое русло с прямоугольным поперечным сечением. Нижний бьеф имел следующие очертания:

а) горизонтальное призматическое русло с прямоугольным поперечным сечением;

б) призматическое русло с ковшем в нижнем бьефе.

5. Величина расчетных удельных расходов при проведении экспериментов изменялась в пределах от 100 до 1060 $\text{см}^2/\text{сек}$.

6. Эксперименты проводились при затопленных и незатопленных водосливах-лесопропусках.

7. Исследовались условия пропуска плотов и отдельных сплочных единиц через отверстия плотин при сопряжениях бьефов с поверхностным и донным режимами.

8. Эксперименты проводились на сплочных единицах и плотях, габариты которых (в переводе на натуру) изменялись в следующих пределах: длина $\ell = (2 \div 50)$ м, ширина $b = (4 \div 8)$ м, осадка плота $T = (16 \div 24)$ см при коэффициенте масштабного моделирования линейных размеров $\lambda_L = 10$; и $\ell = (4 \div 100)$ м, $b = (8 \div 16)$ м, $T = (32 \div 48)$ см при $\lambda_L = 20$.

При производстве экспериментальных исследований кроме геометрического моделирования водосливов-лесопропусков нами учитывались основные их гидравлические характеристики. Так в наших исследованиях модельные значения величин $\frac{P}{H}$ и $\frac{S}{H}$ соответствовали натурным.

Что касается моделирования скоростных полей потоков, переливающихся через водосливы-плотопропуски, то здесь нами установлено следующее. Если строить эпюры скоростей течения для сходственных вертикалей в безразмерных координатах, откладывая по вертикальной оси относительную величину расстояния точки от дна $\frac{y}{h}$, а по горизонтальной оси относительную величину местной скорости $\frac{u}{U}$ в этой точке, то для различных напоров однотипных потоков такие эпюры будут автомодельными. Это подтверждено проведенными нами экспериментами. Здесь: y - расстояние точки от дна, h - глубина на данной вертикали, u - местная скорость течения в точке, U - средняя для рассматриваемой вертикали скорость течения. Как сходственные, нами рассматривались вертикали, находящиеся на одинаковом относительном расстоянии $\frac{\delta x}{S}$ от входного ребра водослива. Здесь: δx - расстояние от входа на водослив до проектной вертикали. Это дает возможность непосредственного использования в натуре безразмерных эпюр скоростей течения, полученных экспериментальным путем на моделях в лабораторных условиях.

Сялочные единицы и плоты изготавливались из модельных бревен (березовых и еловых) с удельным весом $\gamma_g = 0,7 + 0,8 \text{ г/см}^3$.

Нами получены уравнения движения плотов, которые можно считать универсальными математическими моделями исследуемого процесса. Поэтому не требовалось специального перехода от полученных характеристик модельных плотов к натурным. Полученные уравнения применены к тем и другим.

Опыты проводились в лесосплавном лотке длиной 15 м, шириной 1,5 м и высотой остекленных стенок 0,6 м. Лоток металлическое, гладкое, горизонтальное. Модели лесопропускных устройств, изготовленные из органического стекла, устанавливались в срединной части лотка.

Питание лотка осуществлялось тремя насосными установками общей производительностью 200 л/сек. Величины расходов определялись мерным водосливом. Глубина воды в нижнем бьефе регулировалась специальным затвором. Продольный профиль потока измерялся шлицмасштабом. Скорости течения измерялись трубкой Пито на вертикалях, заложенных через 5-10 см в точках: у поверхности; на расстояниях 0,2 м; 0,6 м; 0,8 м от поверхности и у дна.

Было проведено более 2000 измерений скоростей.

В натуральных условиях скорости измерялись микровертушкой. При проведении исследований использовалась фото- и киносъемка.

Величина силы воздействия водяного потока на плот измерялась электрическим методом с помощью обычного мостового датчика проводочного сопротивления. В качестве регистрирующего устройства использовался осциллограф ЭПО-5.

Натурные и предварительные лабораторные исследования показали, что процесс пропуска плотов плоской сдотки через отверстия низконапорных лесосплавных плотин является сложным и наиболее ответственным по сравнению с проплавом их на других участках пути. Были выявлены основные факторы, влияющие на этот процесс, подтверждена необходимость исследования поля скоростей и продольных профилей потоков на пороге водослива-лесопропуска. Установлено, что получению уравнений должно предшествовать рассмотрение основных возможных схем движения плотов через плотины и выделение этапов перемещения их в зависимости от изменения воздействующих факторов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА НА
ВОДОСЛИВЕ

Исследованиями водослива с широким порогом занимались М.Э.Абрамов, И.И.Агроскин, Б.А.Бахметев, Белдиче, А.Р.Березинский, Н.А.Григорич, Ю.А.Ибад-Заде, С.Г.Коберник, А.М.Латышенков, А.С.Офицеров, Ф.И.Пикалов, И.Д.Розовский, Э.И.Рядова, М.М.Скиба, В.В.Смыслов, Г.И.Сухомел, А.А.Угичус, М.Д.Чертоусов, Р.Р.Чугаев и другие. Эти исследования в основном посвящены вопросам определения водопропускной способности водослива. Работы по скоростной структуре потока на водосливе с широким порогом почти отсутствуют. Нет зависимостей, по которым можно было бы проследить за изменением скорости по глубине и вдоль потока на пороге водослива. Получение таких зависимостей важно, так как от распределения скоростей на водосливе зависят лесопропускная способность отверстия плиты, характер изменения и величина усилий в связях и элементах плота. Кроме лесосплавной практики, знание распределения скоростей на водосливе с широким порогом необходимо для решения других гидротехнических задач. В первую очередь решалась плоская задача, но для выявления степени влияния бокового сжатия на характер течения потока и на распределение его скоростей нами были проведены специальные опыты.

Опыты проводились на моделях:

- № 1 - водослив с широким порогом прямоугольной формы с острой входной кромкой и вертикальным низовым уступом размерами $\delta = 400$ мм, $b = 1500$ мм и $P = 120$ мм;
- № 2 - водослив таких же размеров, но имеющий вход и слив в виде наклонных плоскостей ($\alpha_1 = 19^\circ 30'$ и $\alpha_2 = 8^\circ 30'$);
- № 3 размерами $\delta = 400$ мм, $b = 1050$ мм и $P = 0$;

- № 4: $\delta = 400$ мм, $\epsilon = 750$ мм, $\rho = 0$;

- № 5: $\delta = 400$ мм, $\epsilon = 450$ мм, $\rho = 0$.

Было выполнено более 30 серий опытов, которые можно условно разделить на шесть групп.

Первая группа включает шесть серий опытов, которые проводились на модели № 1. Соответственно сериям условия проведения опытов были следующие: напоры H на пороге водослива имели значения 50, 80, 100, 120, 140 и 160 мм или весьма близкие к ним (от $\frac{\delta}{H} = 2,5$ до 8; от $\frac{\rho}{H} = 0,75$ до 2,4), истечение свободное.

Вторая группа включает пять серий опытов, которые проводились на той же модели водослива, но при условии подтопления его со стороны нижнего бьефа, т.е. обеспечивалось плавное сопряжение бьефов, характеризующееся поверхностным режимом и наличием на свободной поверхности пологой волны. При этих опытах выявлялась степень влияния подтопления на характер распределения скоростей на водосливе. Опыты проводились при напорах H равных 60, 80, 100, 120, 150 мм. Скорости течения измерялись на вертикалях, находящихся на оси потока.

Третья группа также состоит из пяти серий опытов, проведенных на модели № 2. Напоры H имели те же значения. Цель проведения этой группы опытов - изучение влияния плавности входа и слива на распределение скоростей течения.

Четвертая, пятая и шестая группы опытов проводились для выявления степени влияния бокового сжатия на режим потока. Сериям соответствовали напоры $H = 60, 80, 100, 120, 140$ мм.

Четвертая группа опытов проводилась на водосливе № 3 ($\frac{\epsilon}{B} = 0,7$, где B - ширина потока в верхнем бьефе в свободном состоянии); пятая - на водосливе № 4 ($\frac{\epsilon}{B} = 0,5$); шестая - на водосливе № 5 ($\frac{\epsilon}{B} = 0,3$),

Во всех опытах фиксировался продольный профиль потока. В каждой

серии опытов при всех напорах осуществлялся перепуск модельных плотов из верхнего бьефа в нижний. Путь и время движения пропускаемых плотов с помощью специального устройства, реле времени и осциллографа фиксировались на фотоленте.

Исследованиями распределения скоростей в открытых потоках занимались: М.А.Великанов, М.С.Вызго, В.Н.Гончаров, А.П.Зегжда, Ю.А.Ибазде, А.В.Караушев, А.Н.Колмогоров, В.М.Маккавеев, Н.Н.Павловский, Р.В.Пауэлл, Н.Н.Панов, А.Я.Слободкин, А.А.Труфанов и др. Нами рассматривались потоки на водосливах при условии неравномерного установившегося течения. Исследовалось распределение скоростей по вертикали и по длине потока.

На основании экспериментальных данных с помощью методов математической статистики и общих положений теории подобия были получены универсальные эпюры распределения местных скоростей течения в безразмерном виде. В качестве примера на рис.1 приведены безразмерные эпюры скоростей для водосливов 1,2,3. Здесь номерами 6,7,8,9 и 10 обозначены вертикали, находящиеся соответственно на относительных расстояниях $\frac{x}{L} = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ и 1 от входа на водослив вниз по течению.

Методами выравнивания и наименьших квадратов эти эпюры скоростей были аппроксимированы аналитическими зависимостями степенного и логарифмического вида. На рис.2 (а и б) дается общий вид формул этих зависимостей и значения их параметров для исследуемых условий протекания потоков. Предполагая, что принятые аппроксимирующие формулы дают действительные эпюры распределения относительных скоростей по вертикали, были вычислены отклонения опытных значений скоростей от найденных по формулам. Полученные отклонения рассматриваются в этом случае как ошибки измерений и должны подчиняться нормальному закону Гаусса. Критерий Колмогорова-Смирнова дал возможность проверить принятую гипоте-

$$\frac{16}{9} = \sqrt[4]{\left(\frac{16}{9}\right)^{\frac{1}{4}}}$$

Сводная таблица

Итерация	6	7	8	9	10
Δ	0,06	1,12	1,06	1,04	0,97
Π	24,6	0,14	16,58	27,38	22,31

Подматричный подсчет

Итерация	6	7	8	9	10
Δ	0,97	1,07	1,03	1,03	1,04
Π	22,82	13,31	13,31	24,31	24,15

рис 2

Степень степеня $\beta = 0,3$

Итерация	6	7	8	9	10
Δ	0,98	1,02	1,03	1,03	0,99
Π	24,06	0,31	16,26	34,84	31,32

Степень степеня $\beta = 0,3$

Итерация	6	7	8	9	10
Δ	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02
Π	∞	∞	71,99	47,39	31,28

Степень степеня $\beta = 0,5$

Итерация	6	7	8	9	10
Δ	1,02	1,01	1,02	1,02	1,03
Π	41,17	70,49	46,10	38,50	39,37

Степень степеня $\beta = 0,7$

Итерация	6	7	8	9	10
Δ	1,03	1,02	1,03	1,03	1,04
Π	44,66	41,84	34,39	31,61	24,58

$$\frac{16}{9} = 16 + m \log \frac{9}{16}$$

Сводная таблица

Итерация	6	7	8	9	10
Π	0,0979	0,237	0,355	0,4238	0,0933
Δ	0,0662	1,108	1,037	1,014	0,964

Подматричный подсчет

Итерация	6	7	8	9	10
Π	0,0789	0,2537	0,430	0,429	0,0940
Δ	0,977	1,057	1,037	1,040	1,037

рис 28

Степень степеня $\beta = 0,5$

Итерация	6	7	8	9	10
Π	0,0992	0,0466	0,227	0,033	0,0407
Δ	0,0602	1,0234	1,0293	1,0261	0,0648

Степень степеня $\beta = 0,3$

Итерация	6	7	8	9	10
Π	0,0604	0,0853	0,0371	0,0486	0,0432
Δ	1,0263	1,0383	1,0134	1,0212	1,0230

Степень степеня $\beta = 0,5$

Итерация	6	7	8	9	10
Π	0,0405	0,0330	0,0413	0,0449	0,0303
Δ	1,0194	1,0122	1,0179	1,0439	1,0279

Степень степеня $\beta = 0,7$

Итерация	6	7	8	9	10
Π	0,0732	0,0348	0,060	0,0221	0,0225
Δ	1,028	1,0204	1,0236	1,0238	1,0661

зу. Этот критерий относится к числу порядковых, на основе которых принимается или отвергается нулевая гипотеза " H_0 ", то-есть предположение о том, что различия между выборками (физическими явлениями) являются случайными или закономерными.

На рис.3 для примера приводятся результаты обработки экспериментальных данных по двум группам опытов. Номера кривых соответствуют промерным вертикалям. Кривой линией обозначено теоретическое распределение отклонений, ломаными - эмпирические. Максимальная разность ординат между кривыми есть ΔP_3 .

Если $\Delta P_3 > \Delta P_{0,01}$, то отклонения нельзя отнести к случайным и нулевая гипотеза " H_0 " отвергается. При $\Delta P_{0,05} < \Delta P_3 < \Delta P_{0,01}$ возможность отвергнуть " H_0 " сомнительна. Если же $\Delta P_3 < \Delta P_{0,05}$, то нулевая гипотеза принимается.

Из анализа полученных результатов видно, что универсальным эппрам несколько лучше соответствует степенная зависимость, и принятый метод получения универсальных эппр местных скоростей является правильным.

Полученными формулами степенного вида можно пользоваться при расчете распределения скоростей для условий, когда число Рейнольдса не превышает 6×10^5 . При больших числах Рейнольдса следует пользоваться логарифмической зависимостью. Приведенные на рис.2 значения параметра N намного больше обычных, рекомендуемых в литературе ($N = 7$ и II). Проведенный нами специальный анализ показывает, что это различие объясняется тем, что на водосливе вниз по течению происходит непрерывное изменение эппры скоростей, которое не заканчивается в его сжатом сечении.

Для построения эппры местных скоростей (рис.2) необходимо значение средней по вертикали скорости. Определение ее можно произвести посредством построения продольного профиля потока.

КРИВЫЕ ОБСЕРВИРОВАНИЙ

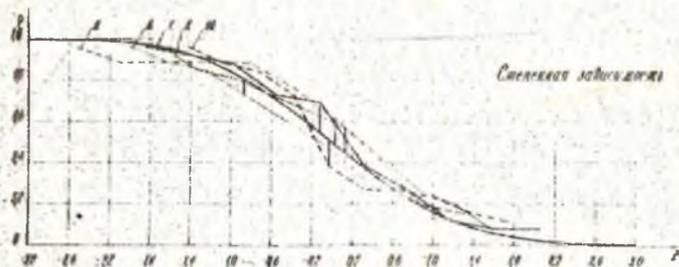
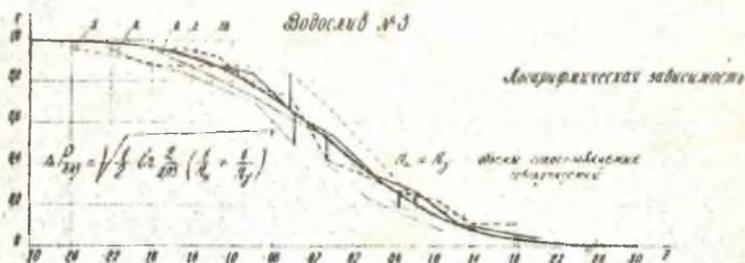
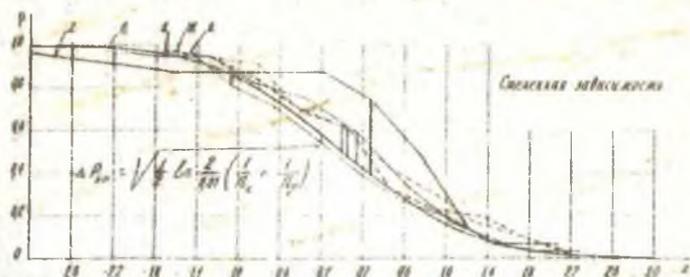
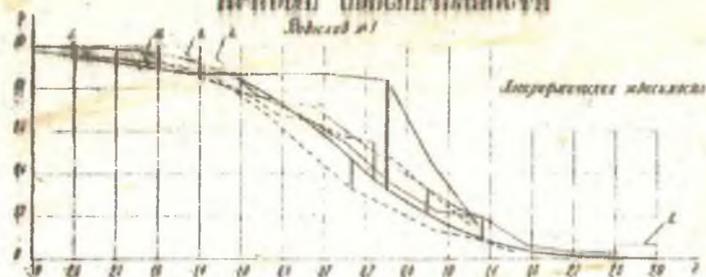


рис 3.

Впервые задача о построении кривой свободной поверхности была поставлена и решена Буссинеском. Для построения продольных профилей потоков на водосливе с широким порогом имеются способы В.В.Смылова, А.Кефегги и С.Хаммада и других исследователей. Однако они довольно трудоемки. Для исследуемых в диссертации и подобных им потоков на водосливе нами получены универсальные продольные профили, указанные на рисунке 4 (а, б) жирными сплошными линиями. Для получения средней скорости безразмерный продольный профиль превращаем в размерный путем умножения ординат безразмерного профиля на H , а абсцисс его на δ^2 . Средняя скорость определяется по формуле: $\bar{v} = \frac{q}{k}$. Для вертикалей с относительной абсциссой 0,25 и 0,5 для получения истинного значения ордината умножается на поправочный коэффициент K , который определяется из графиков на рис.4.

В том же случае, когда кривая свободной поверхности близка к наклонной прямой, т.е. когда свободную поверхность потока на пороге водослива можно принять за наклонную плоскость, то для определения средней по живому сечению скорости получена аналитическая зависимость:

$$v_x = \frac{q}{H - (H-k) \frac{e_x}{\delta}} \quad (I)$$

где q - удельный расход, k - глубина в конце водослива, e_x - расстояние от входа на водослив до живого сечения со средней скоростью v_x , δ - ширина порога водослива.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОПУСКА ЛЕСА В ПЛОТАХ ЧЕРЕЗ
ОТВЕРСТИЯ ПЛОТИН

Проектирование гидротехнических сооружений, предназначенных для регулирования стока лесосплавных рек и разработка проектов организации сплава леса в плотках требуют учета взаимодействия зарегулированного сплавного пути и транспортируемого плота. Однако вопрос этот, как уже отмечалось выше, был недостаточно изучен.

В настоящей главе решается задача получения уравнений, с помощью которых можно проанализировать движение плотов, пропускаемых через отверстия плотин, начиная с верхнего и кончая нижним бьефом.

При пропуске плотов через отверстия низконапорных лесосплавных плотин, представляющие собой водослив с широким порогом, могут иметь место несколько схем поэтапного их транспортирования, зависящих от соотношения длин плотов и протяженности отдельных участков пути и их характеристики. Нами выделено и рассмотрено 13 основных схем пропуска плотов через отверстия плотин:

I $l_n > l_b + l_{ny}$ и $l_b \leq l_{ny}$, II $l_n < l_b + l_{ny}$ и $l_b < l_{ny}$

III $l_b > l_n > l_{ny}$; IV $l_{ny} > l_n > l_b$; V $l_n = l_b + l_{ny}$ и $l_b \geq l_{ny}$

VI $l_n = l_b + l_{ny}$; VII $l_n + l_{ny} > l_b$; VIII $l_n = l_{ny} = l_b$

IX $l_n = l_{ny} < l_b$; X $l_n = l_b < l_{ny}$; XI $l_b > l_n < l_{ny}$; $l_b \geq l_{ny}$

XII $l_n > l_b$, $l_{ny} = 0$, $v_{10} = const$, $v_b = const$, $v_0 = const$

XIII $l_n > l_b$, $l_{ny} = 0$, $v_{10} = const$, $v_b = const$, $v_0 = const$

2549 ар.

где: l_1, l_2 и l_3 - соответственно длина плота и протяженности свободных поверхностей потоков водослива и переходного участка;

v_1, v_2 и v_3 - соответственно скорости течения в верхнем бьефе, нижнем бьефе и на водосливе.

Каждая схема включает ряд этапов движения плота, которые характеризуются соответствующими уравнениями. Общий вид этих уравнений может быть выражен так:

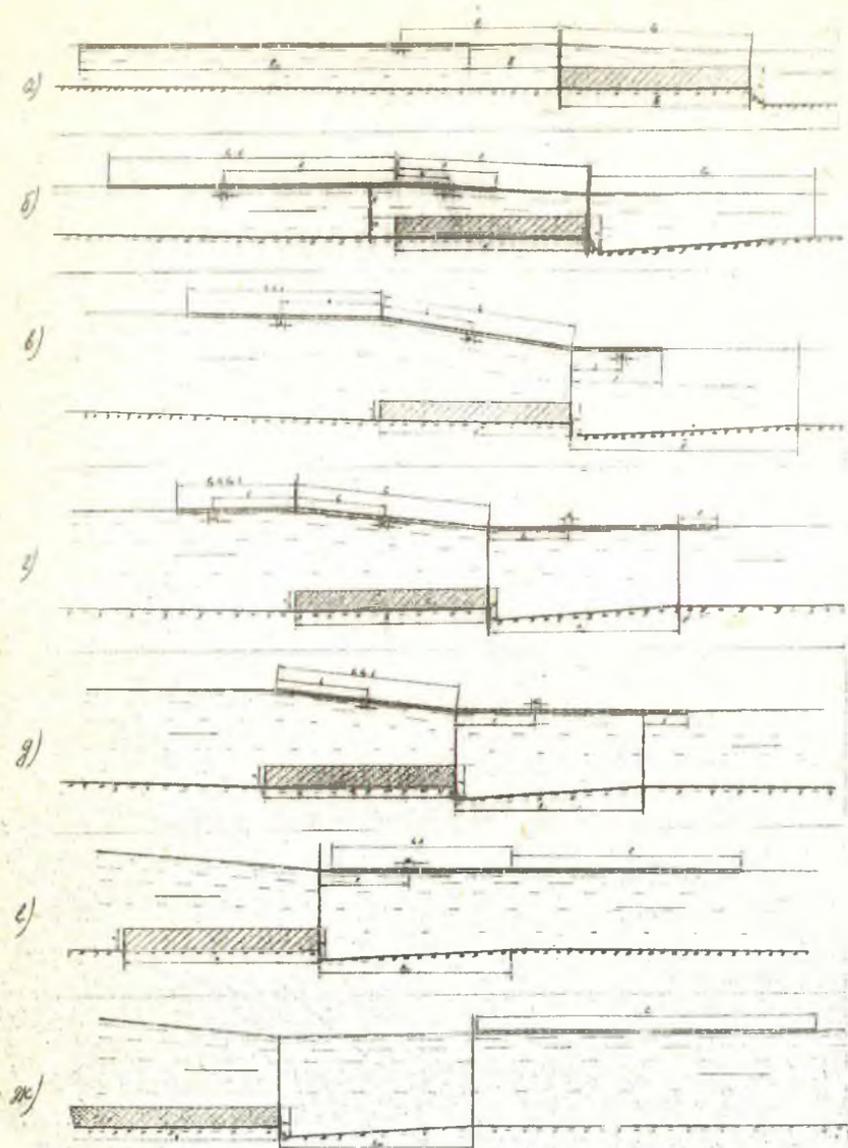
$$m \frac{d^2v}{dt^2} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 \quad (2)$$

где: m и $\frac{d^2v}{dt^2}$ - масса и ускорение плота; P_1, P_2, P_3 и P_4 - соответственно суммы проекций на направление движения сил тяжести частей плота, находящихся в верхнем бьефе, на водосливе, на переходном участке нижнего бьефа и в нижнем бьефе; F_1, F_2, F_3 и F_4 - соответственно силы воздействия потока на части плота. Все перечисленные силы являются переменными.

Первая из указанных схем, например, включает восемь этапов, каждый из которых характеризуется своим, отличным от других, уравнением движения. Первый этап - движение плота на участке с равномерным режимом течения выше зоны подпора - характеризуется общеизвестным уравнением. Второй этап - движение плота в зоне подпора до момента подхода его переднего края к отверстию плотины (5а) - можно характеризовать уравнением:

$$m \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{1}{2} \rho g (K_1 - K_2) v^2 + F \quad (3)$$

Третий этап включает вход на водослив-лесоприемник плота до момента подхода его переднего края к переходному участку (5б) и определяется уравнением:



$$m \frac{dv}{dt} = \frac{\rho i_c}{\rho_n} l = f_p b \int_0^{l_c} (v_1 - v_n)^2 dl_1 + f_p b \int_{l_1}^{l_c} (v_1 - v_n)^2 dl_1 \quad (4)$$

Здесь и ниже: P, b, l_n и v_n - соответственно вес, ширина, длина и скорость плота; l - путь плота для рассматриваемого этапа (для третьего этапа, например, l изменяется от нуля до l_c); f_p - расчетный коэффициент сопротивления трения; v_1 и v_2 - соответственно скорости течения в верхнем бьефе и на водосливе в сечениях, находящихся на расстояниях l_1 и l_2 от входа на порог водослива (5а, б); l_c - уклон свободной поверхности потока на водосливе.

Четвертый этап включает перемещение плота с момента начала входа передней части его на переходный участок до подхода его к началу участка с равномерным режимом. Уравнение движения для этого этапа (5в) будет:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{\rho i_c}{\rho_n} l_c = \frac{\rho i_{m1} l_c}{\rho_n} = f_p b \int_0^{l_c} (v_1 - v_n)^2 dl_1 + f_p b \int_{l_1}^{l_c} (v_1 - v_n)^2 dl_1 + f_p b \int_{l_2}^{l_c} (v_2 - v_n)^2 dl_2, \quad (5)$$

где l_c - расстояние от начала переходной зоны до произвольного поперечного сечения плота; v_n - средняя скорость потока в сечении, находящемся на расстоянии l_c от конца водослива; l_{m1} - средний уклон свободной поверхности переходного участка.

Пятый этап начинается входом плота на участок равномерного режима нижнего бьефа и заканчивается уходом его с верхнего бьефа (5г).

Уравнение движения плота для этого этапа будет:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{\rho i_c}{\rho_n} l_c = \frac{\rho i_{m1} l_{m1}}{\rho_n} + \frac{\rho i_{m2} l_c}{\rho_n} = f_p b \int_0^{l_c} (v_1 - v_n)^2 dl_1 + f_p b \int_{l_1}^{l_{m1}} (v_1 - v_n)^2 dl_1 + f_p b \int_{l_2}^{l_c} (v_2 - v_n)^2 dl_2, \quad (6)$$

где $i_{св}$ и $v_{рп}$ - уклон свободной поверхности и скорость потока на участке равномерного течения нижнего бьефа; l - путь плота для этого этапа, изменяющийся от нуля до $l_n - l_c - l_{гп}$.

Далее начинается шестой этап, который заканчивается полным уходом плота с водослива (5д). Уравнение имеет вид:

$$m \frac{dl}{dt} = \frac{P_{ic}}{L_n} (l_n - l_{гп} - l) = \frac{P_{гп}}{L_n} l_{гп} + \frac{P_{св}}{L_n} l = f_p b \quad (7)$$

$$\int_{l_n - l_c - l_{гп}}^{l_n - l_{гп}} (v_{гп} - v_{св})^2 dl = f_p b \int_{l_n - l_c - l_{гп}}^{l_n - l_{гп}} (v_{гп} - v_{св})^2 dl = f_p b (v_{гп} - v_{св})^2 l$$

Здесь l изменяется от $l_n - l_c - l_{гп}$ до $l_n - l_{гп}$.

Седьмой этап - процесс ухода плота с переходного участка - можно выразить зависимостью (5е):

$$m \frac{dl}{dt} = \frac{P_{св}}{L_n} l = \frac{P_{св}}{L_n} (l - l) + f_p b \int_{l_n - l_{гп}}^{l_n - l_{гп}} (v_{гп} - v_{св})^2 dl = f_p b (v_{гп} - v_{св})^2 l \quad (8)$$

где l - изменяется в пределах от $l_n - l_{гп}$ до l_n .

Восьмой этап первой схемы - движение плота на участке с равномерным режимом течения (5ж) - характеризуется известным уравнением движения плота:

$$m \frac{dl}{dt} = P_{св} = f_p b (v_{гп} - v_{св})^2 \quad (9)$$

Знак перед членами уравнений, содержащих в качестве множителя уклон свободной поверхности, соответствует знаку уклона. Знаки перед членами, содержащими разность скоростей, соответствуют знакам этих разностей.

В диссертации получены уравнения движения плота для всех указанных выше схем.

Наиболее приемлемым методом решения этих уравнений является чис-

ленный, так как некоторые из них хотя и приводятся к уравнениям Абеля второго рода, но не удовлетворяют тем условиям, при которых их можно решить в квадратурах.

Уравнения путем преобразований приводятся к виду:

$$\frac{dt_n}{dt} = f(v_n, t), \quad (10)$$

для решения которых можно применить метод Эйлера, давший возможность по зависимости вида

$$v_{n+1} = v_{nx} + f(t_n, v_{nx})h \quad (11)$$

найти связь между скоростью плота и участком его пути. Здесь v_{nx} и t_n - соответственно скорость и путь плота для n -го положения, h - шаг по t .

Кроме указанного можно применять методы Рунге-Кутты, Адамса и др.

Неустановившееся движение плотов на участках с равномерным режимом течения, или при отсутствии скоростей, исследовалось Г.М.Черкасовым, А.А.Гонимом, И.П.Донским, И.Г.Борисовым, К.А.Чекалкиным, В.А.Щербаквым, В.Н.Худоноговым и другими. Ими предложены уравнения движения плотов и их решения. Однако в литературе не рассмотрен случай, когда плот от ускоренного переходит непосредственно к замедленному движению, т.е. когда отсутствует установившееся движение. Это может иметь место при перемещении плота на сравнительно небольшие расстояния. Для этого случая нами предложен графо-аналитический способ решения уравнений движения плотов, дающий возможность определять продолжительность и путь разгона и торможения, а также другие необходимые величины.

Предлагаемые способы решения уравнений движения пропускаемых через плоты удобны тем, что могут быть выполнены на ЭВМ.

Полученные результаты исследований дали нам возможность решить

весьма важные вопросы по пропуску леса через плотины: разработать методику определения плотопрпускной способности плотины и методику прочностного расчета плотов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТВЕРСТИЙ ПЛОТИН

При пропуске плотов, в отличие от молевой древесины, на движение плота, а, следовательно, и на лесопропускную способность отверстия плотины, существенно сказывается влияние скоростного режима и формы переливающегося через него потока, работающего как своего рода гидравлический ускоритель. Влияние последнего и учитывается полученными выше уравнениями движения пропускаемых плотов. Для расчета плотопрпускной способности отверстия плотины необходимо:

1. установить принципиальную схему пропуска плота через плотину путем сопоставления величин l_n, l_c и l_{np} ;
2. подобрать соответствующие этой схеме уравнения движения плота, привести их к виду $\frac{dl_n}{dt} = f(v_n, l)$ и решить, определив $v_n = f(l)$;
3. определить время пропуска одного плота t_{np} , используя зависимость:

$$t_{np} = k \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_{ni}}, \quad (12)$$

где v_{ni} — значения скоростей движения плота для последовательных положений его, определяемых выбранным шагом k (значения v_{ni} находятся посредством численного решения уравнений движения плота),

$$k = \frac{l_{np}}{n}, \quad (13)$$

где l_{np} — рассматриваемый путь пропуска плота из верхнего бьефа в нижний;

4. определить плотопропускную способность отверстия плотины по формуле:

$$V = \frac{c_{np} W_n}{t_{np} c_n} \quad (\text{м}^3/\text{сек}) \quad (14)$$

При пуске плотов с интервалом времени t_{np} ,

$$N = \frac{W_n}{t_{np}} \quad (\text{м}^3/\text{сек}) \quad (15)$$

где W_n - объем плота.

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ПЛОТОВ

Для прочностного расчета плота необходимо:

1. выяснить условия указанных выше пунктов 1,2, относящихся к расчету плотопропускной способности плотин;

2. привести уравнения к виду $\frac{dv}{dt} = f(v, l)$ и, подставляя полученные выше значения величин v_n и l , найти соответствующие им ускорения ($W = \frac{dv}{dt}$);

3. подставить значения величин v , l и W в уравнение

$$R = \left[\frac{\rho}{c_n} \left(\frac{W}{g} - c_n \right) - f_p c (v_n - v)^2 \right] (l_n - l) \quad (16)$$

и найти значения продольного разрывного усилия R ;

4. построить график связи величин l и R и найти наибольшее разрывное усилие R_{max} и соответствующие ему значения l_{min} $l_n = l_n - l$. По l_{min} рассчитать сечение связей.

Кроме того, в диссертации приводится методика и получены соответствующие формулы прочностного расчета пропускаемых плоских сплочных

единиц, что имеет место при сплаве их вольницей.

Примеры расчетов приведены в приложениях к диссертации. Проверка правильности расчетов, выполненная посредством сопоставления расчетных и экспериментальных скоростей движения пропускаемого плота показала, что отклонения не превышают 5%. Тем самым подтверждается достоверность результатов исследования и правильность предложенных методик расчета.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Несмотря на наличие ряда работ по сплаву леса при помощи плотин, в настоящее время недостаточно изучено влияние форм сопряжения бьефов на процесс пропуска плотов, отсутствуют методы определения сплавоспособности отверстий низконапорных плотин, прочностного расчета пропускаемых через них плотов и др.

2. Исследования показали, что для проведения плотового попусквого сплава могут быть рекомендованы низконапорные плотины, отверстия которых работают по типу водослива с широким порогом.

3. Натурными и лабораторными экспериментальными исследованиями выявлены основные факторы, определяющие процесс пропуска плотов через плотины: поле скоростей течения и уклон свободной поверхности потока плотопропускного отверстия, форма сопряжения бьефов, параметры пропускаемых плотов (веса и габариты).

4. Наиболее приемлемыми для пропуска плотов оказались формы сопряжения бьефов по типу незатопленного поверхностного прыжка, имеющего вид пологой или крутой волны. Можно проводить его и при сопряжении бьефов по типу затопленного поверхностного прыжка с

большим водоворотом на поверхности потока.

При сопряжении бьефов по типу восстановленного донного прыжка возможны удары пропускаемых плотов о дно нижнего бьефа, вызывающие их разрушение. А потому пропуск плотов не рекомендуется.

В случае сопряжения по типу струи с отогнанным прыжком и по типу открытой струи пропуск плотов возможен только при условии, когда длина отдельных звеньев плота больше длины поверхностного водоворота и когда транзитный поток пологий.

При сопряжении бьефов, характеризующихся поверхностным режимом, можно рекомендовать пропуск отдельных сплоченных единиц любых габаритов.

При сопряжении потоков с донным режимом, можно также рекомендовать пропуск леса отдельными сплоченными единицами, но при этом необходимо, чтобы транзитный поток был пологим и глубина его в сжатом сечении была равна двум-трем осадкам сплоченной единицы. Длина единицы в плане должна превышать длину поверхностного вальца в полтора-два раза. В противном случае пропускаемая единица будет совершать возвратное плоско-параллельное движение в нижнем бьефе у порога водослива.

При формах сопряжения бьефов, неблагоприятных для пропуска плотов, следует применять наплавной пол.

5. Величина сплавопропускной способности отверстия плотины, а также усилия в связях и элементах пропускаемых через нее плотов зависят в основном от поля скоростей течения и уклона поверхности потока, протекающего через лесопропускное отверстие, который является своего рода гидравлическим ускорителем. Действие его на плот сказывается на протяжении всего времени прохождения плота через отверстие плотины.

6. На основании экспериментальных и теоретических исследований

потока на водосливах с широким порогом получены универсальные графические и аналитические зависимости, дающие возможность построить продольные профили и поля местных и средних по живому сечению скоростей течения потока.

Предлагаемая методика построения продольных профилей потоков, основанная на использовании полученных нами безразмерных универсальных продольных профилей, значительно проще других имеющихся в настоящее время способов и дает хорошее совпадение как с нашими экспериментами, так и с опытными данными А.Р.Березинского.

Применение критерия Колмогорова-Смирнова подтвердило правильность принятого метода получения универсальных эпюр скоростей течения и соответствующих им формул степенного и логарифмического вида.

7. На основании тщательных экспериментальных исследований получены уравнения движения плотов, учитывающие все основные факторы, воздействующие на процесс пропуска их через отверстия низконапорных лесосплавных плотин, работающих по типу водослива с широким порогом. Уравнения движения плота получены для тринадцати предложенных нами схем, которые могут иметь место в практике попускового плотового сплава леса с использованием низконапорных лесосплавных плотин. Каждая схема включает несколько отличающихся друг от друга этапов. Каждый этап характеризуется своими, присущими только ему, условиями и своим, отличным от других, уравнением движения плота.

8. Так как некоторые из полученных уравнений не имеют точного аналитического решения, то нами предложена методика численного их решения.

9. Разработанная методика расчета неустановившегося движения плотов в верхнем бьефе может быть успешно применена и при расчете неустановившегося движения пучков, отдельных бревен и других тел при аналогичных условиях.

10. Совокупность полученных формул распределения скоростей, уравнений движения плотов и методики их решения представляют собой теоретические основы процесса пропуска плотов через низконапорные лесосплавные плотины, работающие по типу водоблива с широким порогом. Они рекомендуются нами для решения задач по определению сплавопропускной способности отверстий плотин, прочностного расчета пропускаемых через плотины плотов, отдельных сплоточных единиц и др.

В заключение необходимо отметить, что в объеме одной диссертации не представляется возможным охватить весь комплекс вопросов, возникающих при изучении сложного процесса пропуска плотов через лесосплавные плотины, хотя настоящей работой несколько восполняется пробел в этом направлении и даются конкретные рекомендации проектным и производственным организациям, занимающимся вопросами сплава леса при помощи плотин, что позволит существенно удешевить плотовой попусковый сплав. Кроме того, результаты проведенных исследований могут быть использованы при решении других гидротехнических задач. В качестве примера в приложении дается расчет движения плота, пропускаемого через отверстие плотины, из которого видно, что результаты решения, выполненные с помощью ЭВМ хорошо совпадают с экспериментальными осциллографическими данными.

Результаты исследований доложены на:

- научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Белорусского технологического института им.С.М.Кирова, посвященной 50-летию Советской власти, гор.Минск, 1967 г.;

- XIII научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава БТИ им.С.М.Кирова по итогам научно-исследовательской работы за 1967 г., гор.Минск, 1968 г.;

- научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава БТИ им.С.М.Кирова по результатам научно-исследовательских работ за 1968 г., посвященной 50-летию БССР и КПБ, 100-летию со дня рождения В.И.Ленина, гор.Минск, 1969 г.;

- научно-технической конференции аспирантов и молодых специалистов по лесосилаву. Минлесдревпром СССР, ЦНИИЛесосплава, гор.Ленинград, 1969 г.;

- республиканской научно-технической конференции о роли молодых ученых и специалистов в развитии технического прогресса в лесной, деревообрабатывающей промышленности и лесном хозяйстве Белоруссии. НТО лесной промышленности и лесного хозяйства, Минлесдревпром БССР, БелНИЛХ, БТИ им.С.М.Кирова, гор.Гомель, 1969 г.;

- научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина. Министерство высшего и среднего специального образования БССР, ЦК ЛКСМ Белоруссии, БТИ им.С.М.Кирова, гор.Минск, 1969 г.

По материалам диссертации опубликованы следующие статьи:

1. Лебедь С.С. О неустановившемся движении плота. Сб. "Вопросы лесоводства и лесозащиты", Минск, 1967.

2. Лебедь С.С. Распределение средних скоростей течения воды вдоль водослива с широким порогом. Сб. "Совершенствование техники и технологии производства", Минск, 1967.

3. Лебедь С.С. О методике исследований пропуска леса через плотины. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1968 года, БТИ им.С.М.Кирова, Минск, 1969.

4. Лебедь С.С. К определению оптимальной ширины лесопропускного

отверстия плотины. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1968 года, БТИ им.С.М.Кирова, Минск, 1969.

✓ 5. Лебедев С.С. Исследование некоторых вопросов, связанных с пропуском плотов через низконапорные лесосплавные плотины. Сб. работ по лесосплаву. ЦНИИЛесосплава, Ленинград, 1969.

✓ 6. Лебедев С.С. Исследование распределения скоростей на водосливе в широком пороге. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии, МВ и ССО БССР, Минск, 1969.

✓ 7. Лебедев С.С. Некоторые вопросы теории движения плоских плотов, пропускаемых через плотины. Межведомственный научно-технический сборник "Механизация лесоразработок и транспорта леса", Минск, 1970.

✓ 8. Лебедев С.С. Прочностной расчет плоских плотоединиц, сплавляемых вольницей. Межведомственный научно-технический сборник "Механизация лесоразработок и транспорта леса", Минск, 1970.

АТ 32767, вак.275, тир.120эка, 27.11.76г. отпечатано на ротапринтере
БТИ им.С.М.Кирова, г.Москва, Свердлова, 13.