

634.0.3  
Ж.27

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

Жандармских  
Валентина Константиновна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗБУЖДЕННЫХ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СТРУЯМИ ПОТОКОВ В ЗАМКНУТЫХ  
В ПЛАНЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЛОТКАХ С ЦЕЛЬЮ  
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.21.01

"Процессы и технология лесоразработок, ле-  
созаготовок, лесного хозяйства, лесопильных  
и деревообрабатывающих производств" (05.421)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Минск 1974

Ж-27

Б С С Р

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

Ландармоших  
Валентина Константиновна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗБУЖДЕННЫХ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СТРУЯМИ ПОТОКОВ В ЗАМКНУТЫХ  
В ПЛАНЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЛОТКАХ С ЦЕЛЬЮ  
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.21.01

3515ар  
"Процессы и технологии лесовосстановления, лесозаготовки, лесного хозяйства, лесопильных и деревообрабатывающих производств" (05,421)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ  
имени С. М. КИРОВА

Минск, 1974 г.

Работа выполнена на кафедре Водного транспорта леса и гидравлики Марийского политехнического института им.М.Горького.

Научный руководитель -- профессор, доктор технических наук  
Ю.Я.ДМИТРИЕВ

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН БССР, доктор технических наук, профессор  
С.Х.БУДЫКА

кандидат технических наук Д.А.КОЗЛОВ

Ведущее предприятие -- Кировский научно-исследовательский институт лесной промышленности

Автореферат разослан " 30 " сентября 1974 г.

Защита состоится " 30 " октября 1974 г.

в 10 часов на заседании Совета Белорусского технологического института им.С.М.Кирова (220630, Минск, ул.Свердлова, 13а, корпус 4, аудитория 220).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,  
канд. техн. наук



(Е.А.Грушевская)

Директивами XXIV съезда КПСС на 1971-1975 годы предусматривается дальнейшее развитие и совершенствование транспорта, повышение его эффективности и безопасности.

В настоящее время на крупных лесопромышленных предприятиях широкое распространение получил внутривозовый транспорт лесоматериалов различных видов, обеспечивающий нормальную работу всех цехов и участков, связанных единым технологическим процессом.

Среди этих видов транспорта особое место занимает гидравлический транспорт лесоматериалов, достоинства которого заключаются в следующем:

- а/ малая металлоемкость;
- б/ возможность широкого варьирования скоростями движения лесоматериалов путем изменения скоростей течения воды;
- в/ возможность транспортирования лесоматериалов в пределах территории предприятия, не создавая помех другим видам транспорта.

Гидравлические лотки надежны в работе, просты в обслуживании и удобны в эксплуатации.

Наиболее эффективны на лесопромышленных предприятиях узкие гидравлические лотки с обеспеченной славной глубиной, в которых течение поддерживается благодаря уклону дна и подача воды насосами в головное устройство.

Однако существующие лотки из-за сравнительно больших расходов воды и энергоемкости насосных установок не получили широкого распространения.

Использование гидравлических ускорителей для создания транспортного потока устраняет данные недостатки и дает новые преимущества гидравлическому транспорту, а именно:

- а/ создание устойчивого транспортного потока в широком диапазоне скоростей течения;
- б/ использование одной и той же подогретой воды, а следовательно и меньшая ее потребность;
- в/ создание разветвленной системы лотков и обеспечение надежной подачи лесоматериалов к любому производственному участку при незначительной энергоемкости, легкости монтажа, демонтажа и обслуживания;
- г/ строительство лотков и каналов в одной горизонтальной плоскости без придания им определенного продольного профиля дна;
- д/ возможность заполнения лотка водой, что удлинит срок

его службы.

Принципиальная схема установки гидроускорителя в лотке предусматривает плавный переход транспортной части лотка к его циркуляционной части и обратно.

Данная работа посвящается исследованию распространения возбужденного гидравлической струей потока в замкнутых в плане гидравлических лотках прямоугольного поперечного сечения с горизонтальными дном.

Диссертация состоит из 6 глав, представлена на 154 страницах, включает 63 рисунка, 27 таблиц; даны выводы по главам и общие в конце работы, перечень используемой литературы, состоящий из 112 наименований.

К основной части сделано приложение на 82 страницах, состоящее из материалов тарировки, первичной обработки экспериментальных данных, их статистического анализа, экономических расчетов, инженерных решений по погрузке и выгрузке древесины.

### 1. Обзор научных работ по исследованию движения потоков жидкости в открытых руслах.

А. Вопросу о движении воды на повороте русла, во владение его теоретического интереса и практической важности, посвящены многие исследования, особенно советских ученых: И. Буосинеска, Н. Е. Жуковского, М. В. Потанова, В. М. Маклаевева, А. К. Ананияна, И. Л. Резвокого, М. Л. Валиканьла.

Теория движения потока на закруглении основана на большом количестве допущений, упрощений и носит приближенный характер. Поэтому в настоящее время большое значение имеет экспериментальная проверка теории. В литературе в основном рассмотрены вопросы исследования поперечной циркуляции, определения величин ее скорости. Распределение же продольных скоростей, в особенности переформирование их эпюр под влиянием плановой кривизны, исследованы мало. При использовании замкнутых лотков для транспорта лесоматериалов решающее значение имеет вопрос именно о продольных скоростях течения воды, а также переформирование скоростных полей на закруглении.

Б. Результаты теоретических и экспериментальных исследований распространения затопленных струй А. Я. Миловича, Г. Н. Абрамовича, Е. А. Замарина, Н. И. Теперина, М. А. Кузьмина, П. А. Рязицки-



на, И.М.Коновалова, В.Я.Чичагова, Н.Н.Кременицкого и др. показывают, что изменение скоростей свободных струй и возбужденных потоков, ограниченных свободной поверхностью, подчиняется гиперболической зависимости вида А.Я.Миловича. Изменение скорости возбужденного потока, ограниченного по ширине и глубине водоема, согласно исследованиям Ю.Я.Дмитриева, тоже подчиняется данной гиперболической зависимости.

Для возбужденного гидравлической струей потока, распространяющегося в замкнутом в плане горизонтальном лотке, гиперболическая зависимость имеет место только на основном участке, близлежащем к выходному отверстию струеобразующего насадка. На остальной же большей его длине характер изменения скорости неизвестен и до сих пор не исследовался.

При использовании замкнутого возбужденного потока для транспорта лесоматериалов эффективно эксплуатируется именно эта большая длина.

Необходимо исследование характера изменения скоростей и других эксплуатационных параметров замкнутого возбужденного потока, установление их функциональной связи с условиями истечения струи из насадка ( $V_0, \rho_0$ ) влиянием ограничения потока размерами ( $b, h, L$ ), и углубления струеобразующего насадка ( $h_3$ ).

В. Анализ работ по гидравлическому расчету каналов Б.А. Бахметьева, В.Д.Журина, А.Н.Рахманова, И.М.Агроскина, И.Н.Давыдовского, В.Г.Лобачева, А.В.Треницкого, А.А.Угличуса, Р.М.Каримова показывает, что в основе всех способов расчета лотков основная формула для равномерного движения  $Q = \omega C \sqrt{Ri}$ . Для замкнутого возбужденного потока, распространяющегося в канале с горизонтальным дном, применение данной формулы невозможно, ибо в канале с нулевым уклоном дна невозможно равномерное движение.

Здесь имеет место установившееся плавноизменяющееся движение в призматических руслах.

Движение воды на горизонтальных участках происходит за счет энергии, имеющейся в петле в момент вступления его на рассматриваемый участок и зависит от его начальных условий.

Вступление потока в горизонтальный участок в критическом состоянии физически невозможно, так как при этом состоянии удельная энергия потока находится в минимуме и нет источника энергии для преодоления сопротивления. Поток вступает на горизонтальный участок с некоторой энергией, которая и обеспечивает его движение.

горизонтальный участок только в спокойном или бурном состоянии.

Возбужденный гидравлической струей поток, распространяющийся в лотке с нулевым уклоном на близлежащем к струеобразующему насадку участке, находится в бурном состоянии.

Свободная поверхность рассматриваемого потока характеризуется наличием на близлежащем к выходному отверстию насадка участка кривой подпора, в то время как на большей его длине свободная поверхность представляет собой кривую спада, для которой характерно очень медленное изменение средних поверхностных скоростей. Это обстоятельство имеет большое значение при решении вопроса транспортирования лесоматериалов по таким лоткам, так как оно обеспечивает их равномерное продвижение.

Движение возбужденных потоков в замкнутых лотках с горизонтальным дном до сих пор не исследовалось, а движение лесоматериалов в таких потоках вообще не подвергалось рассмотрению.

Исходя из поставленной цели задача исследований может быть сформулирована так: установить аналитические зависимости, характеризующие распространение возбужденного потока по замкнутым в плане гидравлическим лоткам с горизонтальным дном. Основываясь на результатах экспериментальных исследований, оценить влияние различных факторов и представить количественно в виде безразмерных коэффициентов с тем, чтобы в совокупности с аналитическими уравнениями они представляли систему расчетных уравнений для определения эксплуатационных параметров замкнутых в плане возбужденных потоков во всем практически целесообразном диапазоне их использования для транспорта лесоматериалов по горизонтальным гидравлическим лоткам.

## 2. Состав и методика исследований.

Лабораторные исследования проведены в гидравлической и лесосплавной лабораториях кафедры водного транспорта леса и гидравлики Мариинского политехнического института им.М.Горького.

В процессе проведения экспериментов соответственно поставленным в работе задачам и конкретным условиям транспортирования лесоматериалов были выполнены следующие исследования для возбужденного гидравлической струей потока, распространяющегося в замкнутом лотке прямоугольного поперечного сечения с горизонтальным дном:

а/ распространение потока на прямолинейном участке лотка с целью установления закона распределения скоростей по его сечению и состояния свободной поверхности воды;

б/ движение потока при повороте лотка по окружности на угол от 0 до  $360^\circ$ , характер его движения на закруглении, возникновение поперечного уклона и поперечной циркуляции, наклон дна течения в поперечном направлении на основной поток, влияние поперечного уклона и поперечной циркуляции на скоростную структуру потока;

в/ движение потока на прямолинейном участке лотка за поворотом его по окружности на угол до  $135^\circ$  и  $180^\circ$ , затухание поперечной циркуляции, выравнивание скоростей течения за закруглением, выравнивание профиля водной поверхности;

г/ движение потока при повороте лотка без закругления бортов на  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $180^\circ$ , вертикальные и горизонтальные эшары скоростей, форма свободной поверхности;

д/ характер движения потока при внезапном сужении лотка за поворотом на  $90^\circ$  и  $135^\circ$ ;

е/ исследование коэффициента присоединенного расхода /отношения действительного расхода в рассматриваемом сечении к расходу, поступающему через струеобразующий насадок/;

ж/ проплав лесоматериалов в лотках различной конфигурации в плане;

з/ влияние условий истечения струи из насадка и размеров живого сечения потока на характер его движения, скоростной режим, форму свободной поверхности, коэффициент присоединенного расхода, техническую скорость движения лесоматериалов.

Геометрические размеры заводских узких гидравлических лотков лежат в следующих пределах: глубина  $h = 0,2 \pm 0,5$  м, ширина  $b = 0,7 \pm 1,2$  м, гидравлический радиус  $R = 0,13 \pm 0,35$  м. Максимальная ширина транспортного коридора равна 5,6 м, глубина  $h = 0,8 \pm 5$  м, гидравлический радиус  $R = 0,41 \pm 1,8$  м. Минимальный радиус закругления  $r_{min} = 30$  м, сопротивление, характеризующее коэффициент шероховатости  $\Omega = 0,02$ , допускаемые скорости течения воды  $V = 0,04 \pm 8$  м/сек.

Основной движущей силой для потоков в открытых руслах является сила тяжести.

На поток, распространяющийся в гидравлической лотке, оказывает влияние силы сопротивления.



Гидродинамическое подобие потоков при учете сил тяжести и сил сопротивления требует выполнения двух условий: равенства числа Фруда  $Fr$  и коэффициентов Дарси  $\lambda$  (или

без "С")  $Fr = idem$  и  $\lambda = idem$

Моделирование турбулентных потоков в квадратичной зоне сопротивления по Фруду приводит к подобию сил тяжести и сопротивления.

Учитывая вышесказанное, мы считаем возможным при моделировании принять критерий Фруда. Коэффициент шероховатости модели по Фруду равен

$$n_m = \frac{n_n}{\sigma y} \quad (1)$$

Имеющиеся лабораторные условия позволяют нам принять масштаб моделирования 1:40,  $\sigma = 40$ , с коэффициентом шероховатости модели (1)  $n_m = 0,0095 + 0,0106$ .

Для исследования распространения замкнутых в плане возбужденных потоков были изготовлены следующие опытные лотки с коэффициентом шероховатости  $n_m = 0,01$ :

а/ кольцевой с радиусом  $r_{вн} = 54$ ,  $r_{внн} = 68$  см и размерами поперечного сечения 14 x 14 см;

б/ Овальный, представляющий собой два полукольца с теми же радиусами закругления и размерами поперечного сечения, соединенных между собой двумя прямолинейными вставками длиной

$$L = d_{внн} = 136 \text{ см};$$

в/ лоток сложной конфигурации, состоящей из прямолинейных участков, соединенных между собой криволинейными вставками и размерами поперечного сечения 10x12 см и 24x12 см.

Для решения некоторых частных задач использования ускорителей в замкнутых гидравлических лотках принимаем масштаб 1:20,  $\sigma = 20$  с коэффициентом шероховатости  $n_m = 0,01 + 0,012$ .

Для создания возбужденного потока используем конический насадок с пьезометром и диаметром выходного отверстия  $d_0 = 5; 7,5; 10; 12,5; \text{ и } 15$  мм. Вода к нему подавалась из напорного бака по напорному трубопроводу, имеющему кран грубой и точной регулировки. Подача воды в напорный бак производилась насосной установкой с забором воды из водоема. Напор-

ный бак подключался так же к сети городского водопровода. Для регулирования глубины воды в лотке был установлен водослив с протарированными затворами.

В процессе производства опытов нами была применена следующая измерительная аппаратура:

а/ трубка Пито-Резбокка с точностью измерения напоров 0,1мм;

б/ тастер с точностью измерения 0,1 мм;

в/ секундомер с точностью до 0,1 сек;

г/ фотоустановка с реле, датчиком времени и автоматическим закрытием затвора через 0,5 сек.

Каждый лоток в плане разбивался на определенное количество отворов (кольцевой - на 9, овальный - на 15, сложной конфигурации - на 23). Расстояние между отворами на криволинейных участках в градусном выражении  $\theta = 36^\circ$ , по осевой линии  $L = 38,3$  см, на прямолинейных участках  $L = 38,3$  см.

Наиболее характерные отворы (4,8 в кольцевом; 2,5, 7, 9, 10 в овальном лотках и все в лотке сложной конфигурации) были расбиты на 5 вертикалей. В остальных отворах - 3 вертикали. На каждой вертикали скорости измерялись в 5 ( у поверхности, на глубине  $0,2h$ ;  $0,4h$ ;  $0,8h$ , у дна) и 3( у поверхности, на глубине  $0,6h$ , у дна) точках.

Средние скорости на вертикали определялись графическим способом, а расходы воды в сечении - аналитическим.

Рабочим тастером измерялась отметка свободной поверхности воды каждой вертикали. За плоскость сравнения при определении ее продольных и поперечных уклонов принята свободная поверхность воды в состоянии покоя.

На возбужденный поток, распространяющийся в замкнутом лотке с горизонтальным дном, оказывает влияние целый ряд факторов. Из их множества нами выделено 5 основных.

Фактор А - отношение площади сечения возбужденного потока и струеобразующего насадка  $\frac{W}{W_0}$  ;

Фактор В - его заглубление под свободную поверхность воды в долях глубины  $h_2/h$  ;

Фактор С - степень наполнения лотка водой  $\frac{h}{B}$  или  $\frac{\theta}{h} \cdot \frac{V_0}{g}$  ;

Фактор Д - число Фруда при выходе струи из насадка

Фактор Е - длина лотка ;

$$\frac{V_0}{\sqrt{gJ_0}}$$

Каждый из исследуемых факторов взят в пяти вариантах.

Для исследования влияния на изучаемое явление вышеперечисленных факторов в отдельности, а также и влияния их возможных сочетаний, нами применен дисперсионный анализ.

В тех случаях, когда совместное действие исследуемых факторов не представляло интереса, а важно было выявить только влияние отдельных факторов, мы использовали греко-латинский квадрат с числом вариантов  $u = 5$ .

3. Исследование распространения возбужденных гидравлическими струями потоков в замкнутом лотке кольцевой формы

$$\text{(при } d_0 = 5 \pm 10 \text{ мм; } \frac{h_2}{h} = 0,083 \pm 0,096; \frac{h}{b} = 0,43 \pm 0,86;$$

$$\frac{V_0}{\sqrt{g d_0}} = 5,3 \pm 15,1; \Pi = 0,011 \pm 0,012; \frac{\omega}{\omega_0} = 107-856;$$

$$z_{cp} = 0,61 \text{ м).}$$

В лотке, создаваемом гидравлическими струями, имеет место турбулентный режим движения воды. Для нужд лесосплава используются в основном спокойные потоки. Поэтому дальнейшее рассмотрение вопроса ограничим установившимся движением турбулентных спокойных потоков с достаточно малой кинетичностью (малые числа Фруда).

Выясним, какими же основными свойствами обладает искривленное в плане течение.

А. Одним из вопросов исследования, наиболее слабо освещенным в технической литературе и в то же время весьма важным для эксплуатации замкнутых лотков, является установление формы свободной поверхности воды.

Сглаженный гипсометрический план, построенный по отметкам, осредненным во времени, характеризует установившееся движение жидкости и поле осредненных скоростей.

Форма свободной поверхности воды в кольцевом лотке имеет следующие особенности:

а/ имеется общий криволинейный перекося свободной поверх-

ности воды в сторону выпуклого борта;

б/ у вогнутого борта при угле поворота от 40 до 145° имеется зона максимума уровня с наличием отрицательного уклона в верхней части этой зоны. Аналогичный максимум наблюдается при угле поворота от 250 до 320°;

в/ у выпуклого борта при угле поворота, равном 180°, имеется зона минимума с отрицательным уклоном в нижней ее части;

г/ колебания уровней значительно больше у вогнутого борта, чем у выпуклого, что свидетельствует о наличии поперечного уклона свободной поверхности, который можно определить по формуле:

$$J_z = \psi \frac{V_{cp}^2}{gz} = \psi \frac{V^2 V_0^2}{gz} \quad (2)$$

где:  $\psi$  - коэффициент пропорциональности;

$V_{cp}$  - средняя скорость на вертикали;

$g$  - ускорение силы тяжести;

$z$  - радиус;

$\psi$  - коэффициент перехода от скорости течения струи к средней скорости потока;

$V_0$  - скорость течения струи.

Зависимость коэффициента пропорциональности от центрального угла поворота  $\theta$  и числа Фруда при выходе струи из носадки  $\frac{V_0}{\sqrt{gD_0}}$  выражается уравнениями:

$$\psi_1 = 1 + 0,45 \sin(\theta + 40^\circ); \quad (3)$$

$$\psi_2 = \frac{\frac{V_0}{\sqrt{gD_0}}}{5,3 \frac{V_0}{\sqrt{gD_0}} - 28,8} + 0,48. \quad (4)$$

При увеличении уровня воды в яетк данный коэффициент изменяется незначительно и его можно считать постоянным

$$\psi_2 = 1,04 + 1,05.$$

увеличение отношения площадей сечений возбужденного по-



тока и струеобразующего насадка и заглубление насадка под свободную поверхность воды способствуют увеличению коэффициента пропорциональности от  $\psi_4 = \psi_5 = 0,9$  при  $\omega/\omega_0 = 107+2 \text{ I4}$ ,  $\frac{h_1}{h} = 0,083+0,52$  до  $\psi_4 = \psi_5 = 1,14$  при  $\omega/\omega_0 = 428+856$ ,  $\frac{h_1}{h} = 0,92+0,96$ .

При изменении центрального угла поворота продольный уклон свободной поверхности воды изменяется по зависимости многочлена третьей степени  $U = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$ , имея максимум при повороте на  $180^\circ$  и минимум при  $\theta = 220^\circ$ , меняя знак на противоположный при  $\theta = 110^\circ, 210^\circ$  и  $260^\circ$ . Увеличение  $\omega/\omega_0$  и заглубление струеобразующего насадка под свободную поверхность воды передвигают зоны максимума и минимума в сторону начального ствола и уменьшают амплитуду колебаний продольного уклона. Увеличение глубины воды в лотке и числа Фруда при выходе струи из насадка увеличивает данную амплитуду.

В. Наряду с появлением поперечного уклона свободной поверхности воды на закруглении потока возникает и поперечная циркуляция. На основной поток накладывается течение в поперечном направлении и все течение будет иметь сложный винтовой характер.

Полученное нами на основании экспериментальных исследований распределение продольных скоростей по вертикали происходит по логарифмическому или параболическому законам, выраженным формулами:

$$V = \psi V_0 \left[ 1 + \frac{\sqrt{g}}{2C} (1 + \ln \eta) \right]; \quad (5)$$

$$V = \psi V_0 \left[ 1 + \frac{m}{3C} - \frac{m}{C} \left( \frac{z}{h} \right)^2 \right]; \quad (6)$$

где:  $\frac{z}{h}$  - относительное расстояние от свободной поверхности;  
 $\eta = \frac{z'}{h}$  - относительное расстояние от дна потока.

Величина параметров  $\mathcal{X}$  и  $m$ , характеризующих закон распределения продольных скоростей по вертикали возбужденного потока ( $\mathcal{X} = 6,0$  и  $m = 1,73 \text{ м}^{0,5}/\text{сек}$ ), значительно отличается от величин, полученных Базеном и Т.Карманом при исследовании естественных потоков ( $\mathcal{X} = 0,38$ ;  $m = 22+24 \text{ м}^{0,5}/\text{сек}$ ).

Коэффициент перехода от скорости истечения струи к сред-



ней скорости потока равен  $\varphi = \varphi_0 \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4$ . Величина  $\varphi_0$  в зависимости от степени наполнения лотка водой определяется по зависимости

$$\varphi_0 = \frac{\frac{b}{h}}{6,9 + 11,5 \frac{b}{h}} \quad (7)$$

С увеличением отношения площадей  $\omega/\omega_0$  от 107+214 до 428+856 уменьшается от 1,20 до 0,68. Заглубление струеобразующего насадка под свободную поверхность воды, число Фруда на выходе струи из насадка и расположение отверстия не оказывают существенного влияния на характер изменения  $\varphi_0$

$$\varphi_2 = 0,96 \pm 1,0 \quad \varphi_3 = 0,95 \pm 1,05; \quad \varphi_4 = 1.$$

В. Распределение в плане средних по вертикали скоростей показывает, что по всей длине кольцевого лотка максимальные продольные скорости находятся у вогнутого борта, а минимальные — у выпуклого.

Распределение скоростей по ширине потока и последовательное изменение эпюры скоростей при переходе от одного сечения к другому, можно определить интегрируя уравнение, составленное нами для рассматриваемого потока, используя методику И.А.Розевского

$$0,75 \frac{V_0}{z^2} \frac{1}{z} \frac{\partial}{\partial z} (z h^2 \varphi V_0^2) + \frac{\partial}{\partial \theta} (h \varphi V_0^2) - \frac{\rho}{2} z \varphi V_0^2 + g J_0' h \quad (8)$$

аналитически или численно с соблюдением условия неразрывности потока

$$Q = \int_{z_{\text{вн}}}^{z_{\text{вн}}} V_0 h dz = \int_{z_{\text{вн}}}^{z_{\text{вн}}} \varphi V_0 h dz \quad (9)$$

где:  $V_0$  — продольная составляющая скорости на закруглении;  
 $J_0'$  — падение уровня свободной поверхности на единицу угла поворота.

Г. В замкнутом возбужденном гидравлическими струями потоке расход в любом сечении лотка  $Q$  превышает расход, поступающий через струеобразующий насадок  $Q_0$

Зависимость коэффициента присоединенного расхода от числа Фруда на выходе струи из насадка и степени наполнения лотка водой выражается эмпирическими зависимостями:

$$m = \frac{\frac{\delta}{h}}{0,07 \left(\frac{\delta}{h}\right)^2 - 0,42 \frac{\delta}{h} + 0,127} ; \quad (10)$$

$$m = 0,121 \left(\frac{V_0}{\sqrt{g d_0}}\right)^2 + 2,3 \frac{V_0}{\sqrt{g d_0}} + 27,6 \quad (11)$$

Увеличение отношения площадей  $\omega/\omega_0$  от 107 до 856 дает увеличение данного коэффициента от 12,4 до 23,6. Заглубление струеобразующего насадка под свободную поверхность воды ведет к его уменьшению:

$$m = 19,3 \text{ при } \frac{h_0}{h} = 0,083 \pm 0,52 \quad \text{и} \quad m = 16,8 \text{ при } \frac{h_0}{h} = 0,92 \pm 0,96;$$

Д. Движение лесоматериалов по кольцевому лотку осуществляется при соблюдении требования геометрической вписываемости бревен в закругление. Транспортируемые лесоматериалы под влиянием центробежной силы стремятся прижаться к вогнутому борту лотка, где наблюдаются максимальные продольные скорости. Несмотря на то, что длина бревен значительно превосходит ширину потока, лесоматериалы, скользя по внешнему борту лотка, перемещаются без задержек.

Скорость перемещения лесоматериалов несколько выше поверхностной скорости потока, ибо при движении возбужденного потока по кольцевому горизонтальному лотку в связи с появлением продольного уклона свободной поверхности воды значительной величины имеет место скольжение бревен по водной поверхности, которое влияет на скорость движения бревен больше, чем трение их о стенку лотка

$$V_n = K V_{пов} \quad (12)$$

Коэффициент перехода от поверхностной скорости потока к технической скорости движения лесоматериалов длиной  $l_{лм} = 16,25$  см и  $d_{лм} = 10$  мм (что соответствует  $l_{лн} = 6,5$  м и  $d_{лн} = 40$  см) равен  $K = 1,0 \pm 1,35$ . При увеличении модельной длины бревен от 16,25 см до 65 см, что соответствует увеличению длины бревна в натуре от 6,5 м до 26 м, коэффициент

К уменьшается на 10-15 %. С увеличением уровня воды в лотке и числа Фруда при выходе струи из насадка коэффициент перехода изменяется по эмпирическим зависимостям:

$$K = \frac{\frac{b}{h}}{0,97\left(\frac{b}{h}\right)^2 - 0,19}; \quad (13)$$

$$K = 0,002\left(\frac{V_0}{\sqrt{g d_0}}\right)^2 - 0,07 \frac{V_0}{\sqrt{g d_0}} + 1,71. \quad (14)$$

Между диаметром струеобразующего насадка и данным коэффициентом существует обратная зависимость. Его заглубление под свободную поверхность воды не оказывает существенного влияния на коэффициент "К". Поверхностная скорость потока связана со скоростью истечения струи из насадка зависимостью

$$V_{\text{поб}} = \psi V_0 \left(1 + \frac{V_0^2}{2g}\right). \quad (15)$$

При среднем диаметре группы сплавляемых лесоматериалов  $d_{\text{л.ср}}$ , площади торца  $\omega_n = \frac{\pi d_{\text{л.ср}}^2}{4}$ , поверхностной скорости (13), технической скорости движения лесоматериалов (12) и коэффициенте продольного заполнения лотка  $\eta$  часовая сплавпропускная способность замкнутого кольцевого лотка с горизонтальным дном равна:

$$N_{\text{час}} = 3600 \eta K \psi V_0 \left(1 + \frac{V_0^2}{2g}\right) \omega_n \frac{m^3}{\text{час}}. \quad (16)$$

#### 4. Исследование распространения возбужденного гидравлической струей потока в овальном лотке

(при  $d_0 = 5+15$  мм,  $\frac{h_2}{h} = 0, +0,5$ ;  $\frac{b}{h} = 1,25+2,5$ ;  
 $\frac{V_0}{\sqrt{g d_0}} = 6+14$ ;  $n = 0,011+0,012$ ;  $\frac{\omega}{\omega_0} = 32+800$ ;  
 $L_{\text{ср}} = 6,55$  м).

А. Форма свободной поверхности воды в овальном лотке имеет следующие характерные особенности:

а/ на прямолинейном участке до закругления потока поперечный профиль представляет собой симметричную кривую выпуклостью вверх и максимальной отметкой в средней точке;

б/ поперечный профиль на входе в закругление - почти горизонтальная прямая с незначительным повышением у вогнутого борта и понижением у выпуклого;

в/ на закруглении имеется общий криволинейный перекоос свободной поверхности воды с понижением в сторону выпуклого борта;

г/ у вогнутого борта при центральном угле поворота от 20 до 100° имеется зона максимума уровней с наличием отрицательного уклона в верхней части этой зоны;

д/ на прямолинейном участке за первым закруглением наблюдается выравнивание свободной поверхности. Поперечный профиль - горизонтальная прямая линия;

е/ у выпуклого борта второго закругления имеется зона минимума уровней с отрицательным уклоном в нижней ее части;

ж/ увеличением диаметра струеобразующего насадка, числа Фруда на выходе струи из насадка и степени наполнения лотка водой ведут к росту уровней свободной поверхности;

з/ при заглублении струеобразующего насадка  $h_2/h$  до 0,25 уровни свободной поверхности повышаются, а достигнув максимума в этой точке, начинают падать.

Величина поперечного уклона может быть определена по формуле (2). Изменение коэффициента пропорциональности, отражающего влияние центрального угла поворота, числа Фруда при выходе струи из насадка и его заглубления под свободную поверхность воды, можно определить по эмпирическим зависимостям:

$$\psi'_1 = 1 + 0,4 \sin \theta, \quad (17)$$

$$\psi'_3 = \frac{\frac{V_0}{\sqrt{gd_0}}}{23,6 - 0,46 \frac{V_0}{\sqrt{gd_0}}}; \quad (18)$$

$$\psi'_3 = 1,23 \left(\frac{h_2}{h}\right)^2 + 1,42 \frac{h_2}{h} - 0,14. \quad (19)$$



Коэффициент пропорциональности, учитывающий степень наполнения лотка водой и размеры диаметра отверстия струеобразующего насадка постоянны и равны соответственно

$$\Psi_2' = f\left(\frac{\delta}{H}\right) = 1,04 + 1,65; \quad \Psi_4 = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) = 0,5 + 1,65.$$

Продольные уклоны свободной поверхности воды на прямолинейном участке до закругления отрицательны. При входе в закругление они возрастают, меняя знак на обратный при центральном угле поворота, равном  $15+54^\circ$ . При дальнейшем движении потока по закруглению, при выходе из первого закругления и при входе во второе, они положительны. Достигнув максимума при угле поворота, равном  $36^\circ$ , они падают до конца второго закругления.

Появление поперечного уклона и поперечной циркуляции вызывают значительные изменения скоростной структуры потока. Поперечный уклон свободной поверхности воды вызывает в начале закругления увеличение скоростей у выпуклого борта и уменьшение их у вогнутого. Поперечная же циркуляция вызывает постепенное передвижение максимума скорости к наружному вогнутому борту лотка.

Плановое распределение средних по вертикали скоростей, полученное при исследовании возбужденного гидравлической струей потока в овальном лотке, изменяется по длине лотка:

а/ на входном сечении уже наблюдается увеличение скоростей у выпуклого борта и уменьшение их у вогнутого. Распределение соответствует закону площадей  $V_0 z = const$ ;

б/ распределение скоростей на закруглении отклоняется от закона площадей, максимум перемещается к вогнутому борту. При выходе из закругления данный максимум находится у продолжения вогнутого борта и минимум у продолжения выпуклого;

в/ эта неравномерность медленно выравнивается на прямолинейном участке, а на втором закруглении описанный выше процесс повторяется.

Расположение в плане линий тока потока показывает, что искривление их начинается на прямолинейном участке выше закругления. Радиусы кривизны линий при входе меньше, а при выходе больше, чем у окружностей, концентричных стенкам лотка. Лишь в средней части закругления линии тока близки к концентрическим окружностям.



На закруглении изменяют свою форму и эпюры продольных скоростей по вертикали. Наблюдается их некоторое выравнивание.

Распределение скоростей по вертикали соответствует закономерностям (5,6).

Коэффициент перехода от скорости истечения струи к средней скорости потока, отражающий влияние всех основных факторов, действующих на распространение возбужденного потока в овальном лотке, определится по следующим эмпирическим зависимостям:

$$\psi'_1 = 1,4 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-0,575}; \quad (20)$$

$$\psi'_2 = 0,08 \left( \frac{h_1}{h} \right)^2 + 0,07; \quad (21)$$

$$\psi'_3 = \frac{\frac{\delta}{h}}{13,2 + 5,7 \frac{\delta}{h}}; \quad (22)$$

$$\psi'_4 = -0,00011 \left( \frac{V_0}{V_{0d_0}} \right) - 0,0007 \frac{V_0}{V_{0d_0}} + 0,97; \quad (23)$$

Расположение отвора не оказывает влияния на величину коэффициента  $\psi'$ .

$$\psi'_5 = 0,07 \div 0,08.$$

Распределение скоростей по ширине потока при входе в закругление при известном законе распределения скоростей по вертикали перед закруглением можно определить с помощью зависимостей:

$$V_0 = \sqrt{\frac{1}{z^{2\psi'}} \int \frac{z^{2\psi'} d(V_0^2) dz}{dz} + C_2}; \quad (24)$$

$$Q = \int_{z_{6н}}^{z_{6внш}} \sqrt{\frac{z^{2\psi'} d(V_0^2) dz}{dz} + C_2} = \int_{z_{6н}}^{z_{6внш}} \psi' V_0^2 h dz. \quad (25)$$

где:  $V_0$  - скорость на прямолинейном участке.

Интегрируя уравнение (8) аналитически или численно с соблюдением условия неразрывности потока (9), можно найти соответствующее изменение эпюры скоростей при переходе от одного

сечения к другому на закруглении потока.

Распределение скоростей при выходе из закругления при соблюдении условия равенства расходов на закруглении и за ним выражается аналитической зависимостью:

$$V^2 = V_0^2 + 2 \int \psi' \frac{V_0}{r} dr + C, \quad (26)$$

Переформирование скоростей на закруглении происходит тем быстрее, чем больше: глубина воды в лотке, число Фруда при выходе струи из насадка, диаметр выходного отверстия струеобразующего насадка и чем меньше его заглубление под свободную поверхность воды.

На очень крутых поворотах может возникнуть явление отжима потока от стенок лотка и образование водоворотных зон. Возникновение явлений отжима потока и образования водоворотных зон следует ожидать в первой половине закругления, у вогнутого борта, где скорости уменьшаются, и при выходе из закругления, где скорости так же резко снижаются. Для всего диапазона исследований поток, возбужденный гидравлической струей, распространяющийся в овальном лотке, нигде не отрывается от стенок и водоворотные зоны отсутствуют.

В результате изменения гидравлической структуры потока при его искривлении потери напора в нем оказываются больше, чем на прямом участке.

Численные значения коэффициента присоединенного расхода, изменяющиеся под влиянием потокоформирующих факторов, определяются по эмпирическим зависимостям:

$$m = 1,05 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{0,49}; \quad (27)$$

$$m = \frac{\frac{b}{h}}{0,122 \frac{b}{h} - 0,076}; \quad (28)$$

$$m = 0,256 \left( \frac{V_0}{\sqrt{g d_0}} \right)^2 - 5,32 \frac{V_0}{\sqrt{g d_0}} + 40,42. \quad (29)$$

Г. Лесоматериалы при транспортировке их по овальному лотку перемещаются по линии максимальных продольных скоростей, на

прямолинейных участках - по середине потока, а на закруглениях - прижимаются вначале к выпуклому, а затем к вогнутому бортам лотка.

Для всего диапазона изменения рассматриваемых нами величин скорости движения лесоматериалов близки поверхностным скоростям течения воды  $V_n = V_{пов}$ . Коэффициент перехода к технической скорости движения лесоматериалов равен  $K = 0,95 \pm 1,1$ .

### 5. Исследование распределения возбужденных струями потоков в замкнутых гидравлических лотках сложной конфигурации.

При эксплуатации гидравлических лотков на лесопромышленных предприятиях возможна любая их конфигурация в плане.

В данной работе мы исследовали поворот замкнутого возбужденного гидравлической струей потока с постоянной шириной на 45 и 180°, внезапное сужение лотка от  $b = 25$  см до  $b = 10$  см при повороте потока на 135° и его двойном повороте на 90° (внешний борт лотка при повороте на 135° и втором повороте на 90° закруглены по радиусам, равным соответственно  $r = 50$  см,  $r = 30$  см).

Исследования проведены в следующем диапазоне изменения величин: диаметр струеобразующего насадка  $d_0 = 5 \pm 15$  мм, его заглубление под свободную поверхность воды  $n/h = 0 \pm 0,5$ , глубина воды в лотке  $b/h = 2,5 \pm 4,5$ , число Фруда на выходе струи из насадка  $V_{уст}/\sqrt{g \cdot h} = 6 \pm 14$ , коэффициент шероховатости  $n_m = 0,011 \pm 0,012$ , отношение площадей сечений  $\omega/\omega_0 = 30 \pm 1300$ , длина лотка  $L_{л} = 3,85 \pm 8,00$  м и при числе наблюдений  $n' = 125$ .

А. Форма свободной поверхности воды при любом повороте замкнутого возбужденного потока имеет общие закономерности:

а/ наблюдается общий криволинейный перекос свободной поверхности воды с понижен и в сторону внутреннего борта при поворота потока на 45 и 90° и в сторону обоих бортов при повороте на 135 и 180°;

б/ величина максимального перекоса лежит у вершины поворота. Перекос происходит за счет колебаний отметок уровня у внутреннего борта при повороте на 45 и 135° и у внешнего борта при

повороте на  $180^\circ$  и двойном повороте на  $90^\circ$ ;

в/у внутреннего борте поворотного створа имеется зона минимума уровней свободной поверхности воды с отрицательным уклоном в нижней ее части.

Продольный профиль свободной поверхности воды в лотке показывает, что средние отметки ее уровней вдоль потока падают, а достигнув минимума в месте поворота, начинают возрастать. Исключение составляет двойной поворот на  $90^\circ$ , где наблюдается падение уровней по всей длине исследуемого участка потока.

Поперечный профиль свободной поверхности замкнутого возбужденного потока при его повороте представляет собой кривую выпуклостью вверх.

Б. Форма поперечного профиля свободной поверхности воды в лотке свидетельствует о наличии ее поперечного уклона, величина которого увеличивается с увеличением угла поворота потока от  $J_z = -0,0058 + 0,0042$  при  $\theta = 45^\circ$  до  $J_z = -0,075 + 0,400$  при  $\theta = 180^\circ$ . Уменьшение отношения площадей сечений возбужденного потока и струеобразующего насадка влечет за собой увеличение поперечного уклона свободной поверхности по линейной зависимости  $J = AX + B$  при угле поворота до  $90^\circ$ , при большем угле зависимость криволинейная. Подтопление струеобразующего насадка под свободную поверхность воды увеличивает ее поперечный уклон. Исключение составляет двойной поворот потока на  $90^\circ$ , где поперечный уклон сначала уменьшается, а по достижении минимума увеличивается. При увеличении числа Фруда на выходе струи из насадка и уровня свободной поверхности воды ее поперечный уклон тоже увеличивается. Он увеличивается вдоль потока до поворотного створа, достигает максимума в данном створе, а за поворотом начинает уменьшаться по направлению от внутреннего борта к внешнему.

В. С увеличением диаметра отверстия струеобразующего насадка при повороте потока без изменения ширины предельный уклон свободной поверхности воды в лотке увеличивается, достигнув максимума при  $d_0 = 10$  мм, он падает. При внезапном сужении сечения за поворотом он увеличивается. Под влиянием подтопления струеобразующего насадка продольные уклоны при повороте лотка с  $B = const$  увеличиваются, при внезапном же сужении лотка за поворотом — уменьшаются. Продольный уклон увеличивается с ростом



глубины воды в лотке. Зависимость продольного уклона от числа Фруда при выходе струи из насадка выражается уравнением квадратичной параболы  $U = AX^2 + BX + C$ . Он увеличивается вдоль потока до поворотного створа, за поворотом - уменьшается.

Г. а/ Симметричность эпюры распределения средних по вертикали скоростей при повороте замкнутого возбужденного потока нарушается еще на прямолинейном участке перед поворотом. Положение максимума скоростей зависит от величины угла поворота, при повороте на  $45^\circ$  данный максимум смещается к внешнему борту, при повороте на  $90^\circ$  и  $135^\circ$  он остается на оси потока, а при  $\theta = 180^\circ$  - смещается к внутреннему борту. Ассиметричность эпюры выражена более резко при повороте потока с постоянной шириной, при внезапном сужении лотка она уменьшается;

б/ на поворотном створе максимум скорости находится на оси потока или у внешнего борта при угле поворота до  $90^\circ$ , при больших углах он лежит у внутреннего борта. В вершине поворота у внешнего борта наблюдается зона минимальных скоростей. При  $\theta = 180^\circ$  в данной зоне возникает явление отжима потока и образование водоворотной зоны.

в/ в створе за поворотом максимум скорости перемещается к внутреннему борту лотка при  $\theta = 45^\circ$ , на ось потока при  $\theta = 135^\circ$  и к внешнему борту при  $\theta = 180^\circ$ . Данная неравномерность распределения скоростей по ширине выравнивается при дальнейшем движении потока на прямолинейном участке. Следовательно, с увеличением угла поворота максимум скорости отретится к внутреннему борту в створах перед поворотом и к внешнему в створах за поворотом. При повороте с внезапным сужением лотка скорости за поворотом в два раза превышают скорости перед поворотом.

Поворот потока изменяет и вертикальные эпюры скоростей. Вертикальная эпюра скоростей на прямолинейных участках на значительном расстоянии от поворота подчиняется логарифмическому и параболическому законам распределения скоростей (5,6). При повороте потока на любой угол максимум скорости опускается на значительную глубину от свободной поверхности; происходит некоторое выравнивание скоростей по вертикали.



Наличие водоворотной зоны при повороте потока на  $180^\circ$  искажает данную картину распределения скоростей. Минимум скорости поднимается со дна потока к свободной поверхности и только за поворотом снова опускается на дно потока.

Средняя величина коэффициента перехода от скорости истечения струи к средней скорости потока увеличивается при увеличении угла поворота  $\varphi = 0,03 + 0,04$  при  $\theta = 45^\circ$ ,

$\varphi = 0,016 + 0,02$  при  $180^\circ$ . При уменьшении отстояния площадей сечений возбужденного потока и струеобразующего насадка, коэффициент перехода увеличивается. При подтоплении струеобразующего насадка по свободную поверхность воды он увеличивается, а достигнув максимума, уменьшается.

Гиперболическая кривая  $y = \frac{x}{Ax + B}$  хорошо иллюстрирует зависимость коэффициента перехода от глубины воды в лотке. Между коэффициентом перехода и числом Фруда при выходе струи из насадка существует обратная зависимость.

Д. Значение коэффициента присоединенного расхода при повороте замкнутого возбужденного потока для различных условий колеблется в пределах  $3 + 43$ . Величина его увеличивается с увеличением угла поворота потока;  $m = 4 + 33$  при  $\theta = 45^\circ$ ,  $m = 6 + 43$  при  $\theta = 180^\circ$  и уменьшается при внезапном сужении лотка за поворотом ( $m = 3 + 24$ ). Изменение коэффициента присоединенного расхода в зависимости от отношения площади сечений возбужденного потока и струеобразующего насадка, глубины воды в лотке и числа Фруда при выходе струи из насадка выражается уравнением  $y = \frac{x}{Ax + B}$ . При подтоплении струеобразующего насадка коэффициент присоединенного расхода увеличивается, а по достижении максимума уменьшается.

Е. Опытные наблюдения за скоростями движения лесоматериалов по замкнутому возбужденному гидравлической струей потоку, распространяющемуся в лотке сложной конфигурации в плече показали, что скорости движения лесоматериалов меньше поверхностных скоростей течения воды. Поворот, выполненный без закругления бортов, снижает скорости движения лесоматериалов, которые уменьшаются с увеличением угла поворота. Внезапное сужение лотка еще больше снижает их. Наличие водоворотной зоны при повороте на  $180^\circ$  тоже оказывает крайне отрицательное влияние на движение лесоматериалов.

Значение коэффициента перехода от поверхностной скорости течения воды к технической скорости движения лесоматериалов колеблется в следующих пределах:  $K=0,3+1,3$ , при угле поворота  $\theta = 45^\circ$ ,  $K = 0,2+0,8$  при  $\theta = 1,5^\circ$ ,  $K=0,2+0,7$  при двойном повороте на  $90^\circ$  и  $K = 0,4+0,6$  при  $\theta = 180^\circ$ .

Данный коэффициент увеличивается с увеличением диаметра струеобразующего насадка и числа Фруда при выходе струи из насадка. Уравнением квадратичной параболы  $Y=AX^2 + BX + C$  можно выразить его зависимость от подтопления струеобразующего насадка под свободную поверхность воды. Увеличение глубины воды в лотке влечет за собой уменьшение "К".

#### 6. Использование результатов исследования и рекомендации производству.

В современных лесопромышленных предприятиях к числу наиболее трудоемких недостаточно механизированных производственных процессов относятся процессы, проводимые на складах сырья. На складах вследствие неравномерного поступления сырья создаются запасы древесины для обеспечения работы предприятия на период отсутствия поставки, особенно значительные при получении сырья сплавом, которые хранятся в штабелях или кучах.

Одно из основных направлений по совершенствованию производительности труда на складах сырья связывается с механизацией продвижения древесины в линиях технологической обработки.

Использование транспортирующей способности замкнутого возбужденного гидравлической струей потока способствует решению этой задачи.

В диссертации дана методика подбора гидравлического ускорителя для создания замкнутого возбужденного потока необходимой интенсивности и разработаны технологические схемы и использования в сочетании с другими подъемно-транспортными устройствами (лебедками, бремсборгами, элеваторами, станикаррами, кабельными, мостокабельными и башенными кранами).

Возбужденные гидравлической струей потоки, распространяющиеся по замкнутым горизонтальным лоткам могут успешно использоваться для транспорта лесоматериалов. Лотки в зависимости от внешних условий могут принимать любую конфигурацию в плане.

Замкнутые возбужденные потоки могут применяться при механизации отопленных бассейнов и водных сортировочных площадок, которые (площадки) позволяют выгружать лес целыми оплаивными пучками, сосредоточить выгрузочные, укладочные работы на узком фронте и в 2-3 раза сократить штат окладных рабочих.

Хранение запасов древесины в штабелях (круглый лес) или кучах (балансовых коротье) является не самым совершенным (большие складские площади, повторные транспортировки леса) и могут быть заменены другими, более совершенными методами, в частности хранению доглятья, увязанного в пучки, в воде на главу с применением соответствующих мер по предотвращению льдообразования.

Замкнутый возбужденный поток можно эффективно использовать для оттаивания и подачи сырья в производство по каналу, созданному между вмерзшими в лед пучками.

Результаты исследований внедрены на Сосногорском лесокомбинате Свердловской области, где с 1971 года действует установка по созданию течения по замкнутому контуру бассейна с помощью гидравлического ускорителя. Сумма годового экономического эффекта от внедрения равна 15000 рублей. Аналогичная установка принята к внедрению на деревообрабатывающей фирме Волжск.

## ВЫВОДЫ.

Механизация наиболее трудоемкого процесса передвижения лесоматериалов в линиях технологической обработки является одним из основных направлений по совершенствованию технологии и повышению производительности труда на складах сырья лесоперерабатывающих предприятий.

Использование замкнутого возбужденного гидравлической струей потока для транспорта лесоматериалов в сплавных лотках, водных сортировочных площадках, отопленных бассейнах; оттаивания и подачи сырья в производство по каналам, созданным вмерзшими в лед пучками, способствует решению этой задачи.

1. Экспериментальный материал, полученный в результате исследований, позволил установить форму свободной поверхности и скоростную структуру возбужденного гидравлической струей потока в замкнутых лотках с горизонтальным дном при любой конфигурации их в плане.

2. Получены формулы для определения поперечного уклона свободной поверхности (2), распределения скоростей течения воды по глубине (5,6,15) и ширине потока (8,24-26), технической скорости движения лесоматериалов (12) и др.

3. Экспериментально определены численные значения и эмпирические зависимости коэффициентов пропорциональности (3,4, 17-19), перехода от скорости истечения струи из отверстия струеобразующего насадки к средней скорости потока в заданном сечении (7,20-23) и перехода от поверхностной скорости течения воды к технической скорости движения лесоматериалов (13-14). Эти безразмерные коэффициенты характеризуют влияние параметров струеобразующего насадка, его заглубления под свободную поверхность воды и ограничения потока размерами поперечного сечения лотка.

4. На основании экспериментальных данных установлены величины параметров, характеризующих закон распределения скоростей по вертикали и коэффициент присоединенного расхода (10,11, 27,29). Полученные зависимости могут быть использованы при подборе гидравлических ускорителей, оценке сплавпропускной способности и других эксплуатационных параметров замкнутых возбужденных потоков во всем практически целесообразном диапазоне их использования.

5. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о целесообразности применения гидравлических ускорителей для создания течения в горизонтальных замкнутых лотках любой конфигурации в плане. Установлена величина коэффициента присоединенного расхода, она показывает, что при сравнительно незначительных начальных расходах, поступающих через струеобразующие насадки, создаются мощные транспортные потоки для перемещения лесоматериалов.

6. Использование замкнутых возбужденных потоков для транспорта лесоматериалов в сплавных лотках, водных сортировочных площадках и отепленных бассейнах в сочетании с другими подъемно-транспортными устройствами способствует решению задачи комплексной механизации работ, повышения производительности труда и совершенствования технологического процесса лесопромышленных предприятий.

По материалам диссертационной работы сделаны доклады:  
на научно-технической конференции МПИ им.М.Горького (г.Июшкар-



Ола, 1969, 1970, 1971, 1972 и 1973 гг.);

на межвузовской конференции молодых ученых Волго-Вятского региона (г.Саранск, 1972 г.);

на IV научно-технической конференции аспирантов и молодых специалистов лесной промышленности (г.Химки, 1973 г.).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. "Исследование свободной поверхности замкнутого возбужденного гидравлической струей потока в лотке кольцевой формы с горизонтальным дном". Исследования в области лесного хозяйства, лесной и деревообрабатывающей промышленности, сборник работ, часть I, М., 1971 г.

2. "Транспорт лесоматериалов по замкнутому гидравлическому лотку". Материалы межвузовской конференции молодых ученых Волго-Вятского региона. Саранск, 1972 г.

3. "Использование возбужденного гидравлической струей потока для транспорта лесоматериалов по замкнутым лоткам". Межвузовский сборник научных трудов. Красноярск, 1972 г.

4. "К вопросу использования гидравлических ускорителей в замкнутых гидравлических лотках". Межвузовский сборник научных трудов "Лесозаготовки и транспорт леса", г.Ленинград, 1972 г.

5. "Скоростная структура замкнутого возбужденного гидравлической струей потока в лотке кольцевой формы в плане с горизонтальным дном". Межвузовский сборник научных трудов, Красноярск, 1973 г.

6. "Использование возбужденного гидравлической струей потока для транспорта лесоматериалов по замкнутым лоткам". Сборник НТО Марийской АССР, г.Йошкар-Ола, 1973 г.

7. "Транспорт лесоматериалов по лотку сложной конфигурации в плане". Тезисы докладов участников IV научно-технической конференции аспирантов и молодых специалистов лесной промышленности. Химки, 1973 год.

АТ. 10052... зак. 5. Тир 120 экз. Подписано к печати 5/ii-1974.  
БТИ им.С.М.Кирова г.Минск, ул.Свердлова, 13а.