

634.0.3

P-23

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт  
имени С. М. КИРОВА

6307 218.32

*НА ПРАВАХ РУКОПИСИ*

**РАПИНЧУК СТЕПАН ФИЛИППОВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ  
СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ  
ДВИЖЕНИЮ ПЛОТОВ**

Специальность 05.420. «Машины, механизмы и технология лесоразработок,  
лесозаготовок и лесного хозяйства» (05.21.01)

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск, 1973

БЗУ.О.З

Р-23

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт имени С.М.Кирова

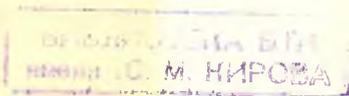
На правах рукописи

РАДИЧУК СТЕПАН ФИЛИПОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ  
СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ ПЛОТОВ

Специальность 05.420. "Машины, механизмы и технология  
лесоразработок, лесозаготовок и лесного хозяйства" (05.21.01)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Минск, 1973

Работа выполнена на кафедре водного транспорта леса и гидравлики Белорусского технологического института имени С.М.Кирова. Экспериментальные исследования проведены в лаборатории института и на лесосплавных предприятиях Минлесдревпрома БССР.

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

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук, профессор В.Н.ХУДОНОВ  
кандидат технических наук, старший  
научный сотрудник В.А.ЩЕРБАКОВ

Ведущее предприятие - Волжско-Камский научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт водного лесотранспорта (ВКНИИВОЛТ)

Автореферат разослан "27" апреля 1973 г.

Защита диссертации состоится "30" мая 1973 г. в 10 часов на заседании Ученого Совета Белорусского технологического института им. С.М.Кирова, 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13-а, корпус 4, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета  
кандидат технических наук



/Е.А.ГРУШЕВСКАЯ/.

Директивами XXIV съезда КПСС определено основное направление развития лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности - наиболее полно удовлетворять разнообразные потребности народного хозяйства в древесине и продуктах ее переработки при небольшом росте объема лесозаготовок. Обращается особое внимание на механизацию трудоемких работ, на улучшение условий труда и быта рабочих и служащих лесной промышленности. Ставится задача повышения производительности труда на предприятиях лесной промышленности примерно на 35%.

Важная роль в выполнении поставленных задач принадлежит водному транспорту леса, так как около 50% из всего объема заготавливаемой древесины доставляется потребителю водными путями.

Развитие плотового сплава и судовых перевозок составляет главное направление развития водного лесотранспорта в текущую пятилетку. Молевой сплав резко сокращается. Однако, как показали исследования кафедры водного транспорта леса и гидравлики БТИ им.С.М.Кирова, во многих случаях целесообразно и экономически эффективно переходить от молевого сплава непосредственно на плотовый плоской сплотки. Плоские однорядные сплоточные единицы имеют осадку 0,3-0,4 м. Для них нужна гарантированная глубина 0,50-0,55 м. На тех реках, где по гид-

рологическим условиям проводится только молевой сплав, можно также с успехом сплавливать плоты плоской однорядной сплотки, для чего требуется такая же глубина, как и для молевого сплава.

Развитие плотового сплава плоской сплотки на первоначальных водных путях имеет особенно большое значение в целом ряде лесопромышленных районов страны, где единственным видом транспорта служат реки. Там вырубается только хвойные породы древесины, обладающие достаточной плавучестью для организации молевого сплава. На больших площадях предприятия Минлесдревпрома СССР ведут так называемые условно-сплошные рубки, оставляя на корню деревья лиственных пород, которые часто составляют до 40% лесосечного фонда, обрекая их на ветровал, бурелом и гибель. Узаконенное применение условно-сплошных рубок является вынужденной мерой, вызванной отсутствием способов доставки древесины лиственных пород потребителю водными путями. Организация плотового сплава плоской сплотки дает возможность транспортировать ценное лиственное сырье, сочетая расположение лиственных и хвойных бревен в определенном порядке в сплотовой единице и создавая ей необходимую плавучесть.

Развитие первоначального плотового сплава плоской сплотки даст возможность вовлечь в сферу производства дополнительное количество лиственных пород древесины, улучшить условия работы и существенно повысить производительность труда рабочих.

Все указанные выше достоинства и преимущества сплава плотов плоской сплотки, обуславливающие идею их широкого применения, базируются на использовании сплотовых машин типа БТИ. Плотовой

сплав пучковой, микропучковой и плоской сплотки является наиболее дешевым видом транспорта леса, поэтому взамен молевого сплава следует ожидать значительного увеличения плотовых перевозок. В связи с этим возникает ряд новых актуальных задач, требующих своего решения, таких как буксировка и управляемость плотов плоской сплотки, гидродинамическое воздействие потока на плот, более точное определение величины сопротивления воды движению плота, хотя эти вопросы применительно к плотовому магистральному сплаву изучаются с давних времен. Наша работа обобщает вопросы сопротивления воды движению плотов на магистральных реках, на основе чего предлагается решение для определения сопротивления воды движению плотов плоской сплотки. При этом решались следующие задачи:

- анализ современного состояния вопросов сопротивления воды движению плотов;
- разработка метода определения сопротивления воды движению плотов с учетом их конструктивных особенностей;
- обоснование методики расчета и выбора основных параметров для определения сопротивления воды движению плоских плотов.

Диссертационная работа состоит из предисловия, четырех глав и выводов.

В первой главе даны основы теории движения тел в жидкости, показана возможность применения имеющихся теоретических решений для определения коэффициентов составляющих сопротивления воды движению плотов, проведен анализ существующих способов определения сопротивления воды пучковых и плоских плотов.

Из изученных материалов следует также, что буксировка плотов производится со сравнительно небольшими скоростями, в силу чего их общее сопротивление воды движению практически обуславливается только вязкостью жидкости и мало зависит от ее весомости. На этой основе большинство исследователей считает, что общее сопротивление воды движению плотов состоит из сопротивления трения, возникающего от трения воды о поверхность плота, и сопротивления формы (давления), возникающего от взаимодействия головной части плота с водной средой. Для расчета общего сопротивления воды движению пучковых плотов рекомендован целый ряд расчетных формул, однако подход к определению коэффициентов сопротивления формы и трения в них различен. В связи с этим получаются большие расхождения в расчетной и фактической величине общего сопротивления. Для расчета общего сопротивления воды движению плоских плотов, применяемых в нашей стране, теоретически обоснованных расчетных формул нет.

Во второй главе представлена предложенная нами методика определения равнозернистой шероховатости и коэффициентов сопротивления пучковых плотов.

В третьей главе дано описание экспериментальных установок и проведенных на них исследований, характеристика испытанных модельных и натуральных плоских плотов, приведены результаты лабораторных и натуральных буксировочных испытаний плоских сплотовых единиц и плотов.

Экспериментальная установка, построенная в лаборатории водного транспорта леса и гидротехнических сооружений ВТИ им. С.М.Кирова и использованная нами, состоит из русловой площадки, самоходной тележки, измерительной и регистрирующей аппаратуры.

Русловая площадка представляет собой прямолинейный железобетонный бассейн длиной 14 м. Сечение ее прямоугольной формы, ширина 3,51 м, высота бортов 0,8 м. Для буксировки моделей плотов использовалась самоходная тележка, передвигающаяся по рельсовому пути, уложенному вдоль бортов русловой площадки, со скоростью 0,15-1,10 м/сек. Скорость передвижения тележки регулируется числом оборотов двигателя с помощью реостата, включенного в схему управления тележкой.

Регистрация усилий, возникающих при буксировке модельных плотов, производилась осциллографами ЭПО-5 и Н-700.

Рабочие органы устройств, предназначенные для измерения сопротивления воды движению модельных и натуральных плотов, построены на принципе измерения неэлектрической величины (сопротивления движению) электрическим методом с помощью мостовых датчиков проволочных сопротивлений. Рабочим измерительным органом при использовании осциллографа ЭПО-5 был трубчатый элемент с наклеенным мостовым датчиком проволочного сопротивления. При использовании для регистрации измеряемых усилий осциллографа Н-700 датчик представлял собой упругое стальное кольцо, на внутреннюю поверхность которого наклеивались проволочные датчики, соединенные в мостовую схему. Перед началом буксировочных испытаний и после их окончания рабочие органы измерительных устройств тарировались. По графику тарировки и ординате отклонения гальванометра осциллографа определялось сопротивление воды движению буксируемой модели.

Определение скорости движения буксируемой модели потребовало фиксации на ленту осциллографа отрезков пути и времени их про-

хождения. Измерение проходимого пути осуществлялось с помощью запитанной электрической цепи, проложенной у подошвы рельса по левому борту площадки, и вмонтированных в нее прерывателей. На выключающем устройстве тележки на осях крепились два ролика. Прерыватели установлены так, что при движении тележки ролики нажимали на них и на ленту осциллографа записывался сигнал. Для контроля на правом ведущем колесе дополнительно был установлен контактный прерыватель, с помощью которого записывались длины участков, равные длине окружности колеса тележки. Для записи сигналов времени и их контроля при проведении опытов использовались отметчик времени осциллографа Н-700, электрореле времени и контактные часы.

В лабораторных условиях испытаны модели плотов с перпендикулярным и параллельным по отношению к направлению движения расположением бревен в сплочных единицах, в полевых условиях сплочных единиц из натуральных бревен и плотов.

Измерение и регистрация сопротивления воды движению опытных плотов в полевых условиях проводились аналогично модельным. Скорость движения плота относительно воды измерялась с помощью гидрометрической вертушки.

В четвертой главе изложены результаты буксировочных испытаний плоских сплочных единиц и плотов, дана методика определения равномерной шероховатости и коэффициентов сопротивления плоских плотов.

По главам даны выводы. В конце работы даны общие выводы и рекомендации.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОЗЕРНИСТОЙ  
ШЕРОХОВАТОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ПУЧКОВЫХ ПЛОТОВ ПРИ ИХ БУКСИРОВКЕ

Анализ обширного экспериментального материала по вопросам сопротивления воды движению плотов показывает, что разделение сопротивления воды движению плотов на две составляющие вполне целесообразно. Первая составляющая обусловлена силами трения, вторая состоит из сопротивления формы и волнового сопротивления, которое для плотов весьма мало. Вторая составляющая соизмерима с первой.

Недостатком большинства формул по определению сопротивления воды движению плотов является независимость составляющих сопротивлений от основных параметров движения и отсутствие учета равнозернистой шероховатости плотов.

Для уточнения этих вопросов нами проведены соответствующие исследования с использованием имеющегося экспериментального материала по буксировочным испытаниям плотов. Особое внимание было уделено экспериментальным данным В.Н.Худогова, как наиболее полным и детальным.

Анализ имеющихся теоретических решений по определению коэффициентов сопротивления трения шероховатых поверхностей показывает, что для определения коэффициента сопротивления трения плотов целесообразно использовать зависимости и диаграммы Шлихтинга, Ротта.

Однако для определения коэффициента сопротивления трения необходимо знать величину равнозернистой шероховатости, определению которой по существу уделено внимание только В.Н.Худоговым. Используя обширный экспериментальный материал по букси-

ровочным испытаниям плотов и упрощенные методы факторного анализа нами предложена следующая методика определения равнозернистой шероховатости.

Для каждого опыта по числу Рейнольдса ( $Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$ ) с диаграммы Ротта снимался ряд значений коэффициентов сопротивления трения в пределах  $C_{f \min} + C_{f \max}$  и соответствующих им значений равнозернистой шероховатости. По принятым значениям  $C_f$  определялся соответствующий коэффициент остаточного сопротивления, который ввиду вышесказанного отождествлялся с коэффициентом формы  $C_{\varphi}$ . Вычисление проводилось по формуле

$$C_{\varphi} = \frac{2R_{плот} - C_f S}{v^2 \rho} \quad (1)$$

где  $R_{плот}$  - сопротивление воды движению плота, измеренное в опыте, кг;

$v$  - скорость буксировки, м/сек;

$\rho$  - плотность воды,  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^3}$ ;

$C_f$  - коэффициент сопротивления трения, определенный по диаграмме Ротта;

$S$  - смоченная поверхность плота,  $\text{м}^2$ ;

$\otimes$  - площадь миделевого сечения плота,  $\text{м}^2$ .

Определение коэффициента сопротивления формы осуществлялось на ЭВМ "Проминь-М". Образец полученных данных для натурального плота длиной 620 м, шириной 150 м и осадкой 1,15 м дан в таблице I. Полученное таким образом множество коэффициентов формы состоит из десяти подмножеств. Каждое подмножество определяется величиной равнозернистой шероховатости.

Таблица 1

Скорость движения воздуха м/сек	Число Рейнольдса	Коэффициент остаточного сопротивления (формула), вычисленные по формуле (1)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,180	1240	0,0029	1,1049	3,0913	2,3583	2,9217	2,7706	2,3718	2,0004	1,7266	1,2623				
0,228	1820	0,0046	1,3996	2,7753	2,6083	2,4518	2,0080	1,4266	0,9813						
0,320	3480	0,0091	1,9643	2,7133	2,5201	2,4854	2,3759	2,0294	1,4150	0,8301					
0,332	3900	0,0098	2,0380	2,9001	2,7797	2,6379	2,5286	2,0919	1,4962	0,9529					
0,360	5140	0,0115	2,2099	3,3861	3,2336	3,1085	2,9990	2,5532	2,0085	1,3529					
0,392	6450	0,0136	2,4063	3,6766	3,4398	3,4080	3,2746	2,8568	2,3218	1,6337					

Таблица 2

Равномерная шероховатость плота $\frac{m}{M}$	10,0000	0,0010	0,0025	0,0050	0,0100	0,0200	0,0500	0,1000	0,2500
$Z_{H_1} = f(C_p, Re_1)$	0,5273	0,4595	0,4401	0,4272	0,4798	0,4809	0,6002	0,5337	0,3460
$Z_{H_2} = f(C_p, Re_2)$	0,6009	0,5393	0,5207	0,5218	0,5545	0,5605	0,6667	0,6088	0,4290

Первая задача сводилась к определению подмножества, в котором находится расчетное значение коэффициента формы, т.е. к определению величины равнозернистой шероховатости. Однако возможен и такой случай, когда все коэффициенты сопротивления формы данного подмножества являются расчетными. Это зависит от основных факторов, обуславливающих величину коэффициента сопротивления формы.

Наши общие соображения и литературные данные дают основание принять для коэффициентов сопротивления формы критериальное уравнение следующего вида

$$C_{\varphi} = f(R_{e_2}, F_{r_1}) \quad (2)$$

В этом случае расчетным будет являться целое подмножество коэффициентов сопротивления формы, соответствующих истинному значению равнозернистой шероховатости.

Не предпреляя заранее вид зависимости (2), мы сделали предположение, что подсчитанные для всех подмножеств коэффициенты корреляции между числами  $R_{e_2}$  и коэффициентами формы будут иметь максимальное значение для того подмножества, которое соответствует истинному значению равнозернистой шероховатости. Вполне понятно при этом, что и коэффициенты корреляции между числами Фруда и коэффициентами формы также должны быть максимальными для этого подмножества. Определение коэффициентов корреляции производилось по формулам:

$$r_{R_{e_2}} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{\varphi_i} - \bar{C}_{\varphi}) \cdot (R_{e_{2i}} - \bar{R}_{e_2})}{\sigma_{C_{\varphi}} \cdot \sigma_{R_{e_2}}}$$

$$r_{F_{r_1}} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{\varphi_i} - \bar{C}_{\varphi}) \cdot (F_{r_{1i}} - \bar{F}_{r_1})}{\sigma_{C_{\varphi}} \cdot \sigma_{F_{r_1}}}$$

где  $C_{\varphi}$  - коэффициент сопротивления формы;  
 $Re_L$  - число Рейнольдса;  
 $Fr$  - число Фруда;

$\sigma_{C_{\varphi}}, \sigma_{Re_L}, \sigma_{Fr}$  - дисперсии рассматриваемых величин.

В таблице 2 приведены полученные нами коэффициенты корреляции для всех десяти подмножеств, представленных в таблице 1. Максимальным значениям коэффициентов корреляции соответствует равнозернистая шероховатость 0,05 м. Очевидно, такую равнозернистую шероховатость можно рекомендовать для всех плотов, подобных исследованному. Для вышеопределенной равнозернистой шероховатости 0,05 м расчетными коэффициентами формы являются данные графы 12 таблицы 1.

Такие же данные получены и для других опытов по буксировочным испытаниям плотов. Они использованы для решения критериального уравнения (2). Полученная связь показана на графике (рис.1). На нем каждая из приведенных точек представляет собой осредненное значение нескольких измерений. Аппроксимирующие зависимости имеют следующий вид:

а) при графическом определении коэффициента

$$C_{\varphi} = 0,264 (Re \cdot Fr)^{0,132} \quad (3a)$$

б) при аналитическом определении коэффициента

$$C_{\varphi} = 0,339 (Re \cdot Fr)^{0,112} \quad (3б)$$

Полученные данные по равнозернистой шероховатости и формулы (3а) и (3б) позволяют наметить методику определения составляющих и общего сопротивления воды движению плотов. По габаритам плота и скорости буксировки определяем числа Рейнольдса и Фруда. По числу Рейнольдса и найденной равнозернистой шероховатос-

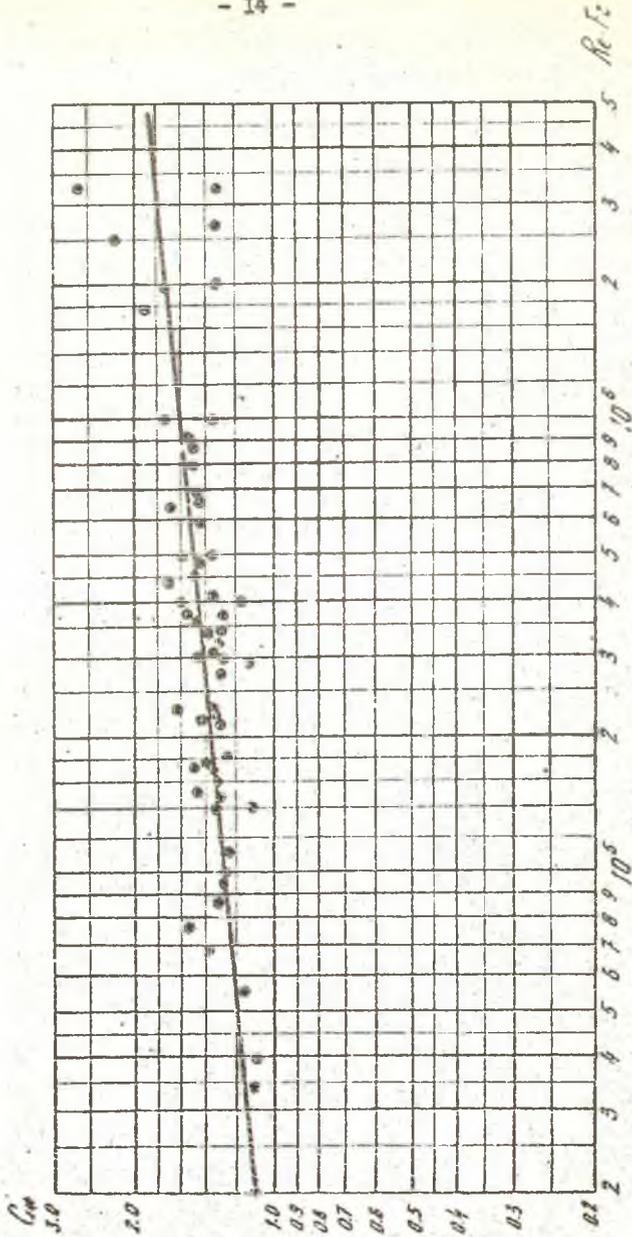


Fig. 1

ти на диаграмме Ротта находим коэффициент сопротивления трения ( $C_f$ ), а по формуле

$$R_f = C_f \cdot S \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (4)$$

находим составляющую трения

Используя зависимость (3а) определяем коэффициент сопротивления формы  $C_f$  и далее по формуле

$$R_f = C_f \cdot D \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (5)$$

находим вторую составляющую общего сопротивления  $R_f$ , а затем и их сумму.

По этой методике нами было определено общее сопротивление по данным Н.И.Шарапова, Н.А.Хахина, В.Н.Худогова для ряда плотов. Полученные значения общего сопротивления приведены в таблице 3, где помещено также фактическое сопротивление воды движению этих плотов. Как видно, полученные данные и фактические значения сопротивлений хорошо согласуются между собой.

Проведенная оценка точности расчетов по определению общего сопротивления воды движению пучковых плотов по предложенной методике показывает, что с вероятностью 95 % отклонение расчетных его значений от фактических лежит в пределах  $-1,5\%$  и  $+5,5\%$ .

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОЗЕРНИСТОЙ  
ШЕРОХОВАТОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ПЛОСКИХ ПЛОТОВ ПРИ ИХ БУКСИРОВКЕ

Приступая к изложению методики определения коэффициентов сопротивления трения, остаточного сопротивления и величины равнозернистой шероховатости плоских плотов мы должны отметить, что при решении этих вопросов мы располагали несколько меньшим количеством материала по буксировочным испытаниям по сравнению с пучковыми плотами. Наши исследования проведены по нескольким модельным плотам. Следует отметить, что буксировочные исследования подобных плотов другими авторами не производились. Установление параметров, обуславливающих в конечном счете величину общего сопротивления воды движению плоского плота, вначале производилось по разработанной нами методике, относящейся к пучковым плотам. По данным буксировочных испытаний плоских плотов выполнялись необходимые расчеты для решения поставленной задачи.

Техника большинства расчетов та же, что и у пучковых плотов. В каждом опыте по числу Рейнольдса с диаграммы Ротта снимался ряд значений коэффициентов сопротивления трения в пределах  $C_f^{min} \rightarrow C_f^{max}$  и соответствующих значений равнозернистой шероховатости. По принятым значениям коэффициента сопротивления трения определялся коэффициент остаточного сопротивления (сопротивления формы). Затем были определены коэффициенты корреляции между числами Рейнольдса и коэффициентами остаточного сопротивления и между числами Фруда и теми же коэффициентами остаточного сопротивления при различных значениях равнозернистой шероховатости.

310209

Анализ полученных данных показал, что максимумы коэффициентов корреляции соответствует нулевой равнозернистой шероховатости, т.е. модели плотов буксировались в гидравлически гладкой зоне. Следовательно, расчетные значения коэффициентов остаточного сопротивления находятся в подмножествах, соответствующих нулевой равнозернистой шероховатости. Эти коэффициенты и соответствующие им произведения чисел  $Re \cdot Fz$  были использованы для решения критериального уравнения (2) применительно к плотам плоской сплочки. По этим же данным в логарифмических координатах построены графики  $C_{\phi} = f(Re \cdot Fz)$  для модельных плоских плотов с перпендикулярным (рис.3) и параллельным (рис.2) расположением бревен в сплочочной единице по отношению к направлению движения. Аппроксимирующие зависимости при этом получены таким же методом, как и для пучковых плотов. Они имеют вид:

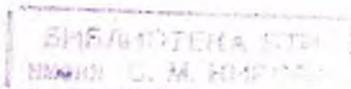
а) для плотов с перпендикулярным к направлению движения расположением бревен в сплочочных единицах.

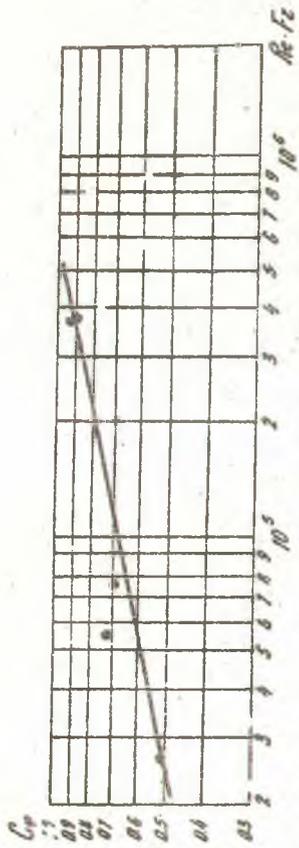
$$C_{\phi} = 0.016 (Re \cdot Fz)^{0.326} \quad (6)$$

б) для плотов с параллельным расположением бревен в сплочочных единицах

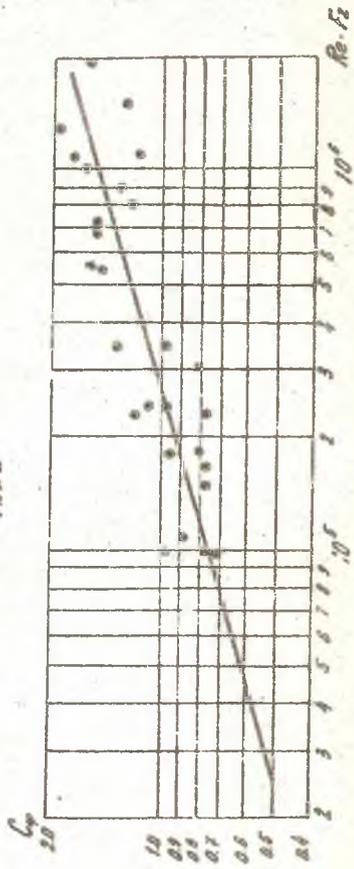
$$C_{\phi} = 0.046 (Re \cdot Fz)^{0.238} \quad (7)$$

Мы считаем, что по аналогии с пучковыми плотами аппроксимирующие зависимости (6) и (7) могут быть использованы для расчета коэффициентов остаточного сопротивления не только модельных, но и натуральных плотов. Для этого необходимо только знать величину равнозернистой шероховатости.





Proc 2



Proc 3

Установление расчетного значения равнозернистой шероховатости для плоских натуральных плотов выполнено путем, несколько отличающимся от примененного для пучковых плотов. В основу расчетов положены результаты буксировочных испытаний натуральных сплочных единиц с перпендикулярным расположением бревен по отношению к направлению движения и аппроксимирующая зависимость (6).

По найденному значению коэффициента остаточного сопротивления  $C_{\phi}$  (формула 6, рис.2) и габаритам сплочной единицы по формуле (5) определялось остаточное сопротивление  $R_{\phi}$ . По разности общего сопротивления и остаточного сопротивления находилось сопротивление трения  $R_f$  и далее из формулы (4) определялся коэффициент сопротивления трения  $C_f$ . Затем на диаграмме Ротта по полученному значению  $C_f$  и числу Рейнольдса  $Re_1$  снимали значение выражения  $\frac{v \cdot \mu_0}{\nu}$ . Из него по известным  $v$  и  $\nu$  устанавливали значение равнозернистой шероховатости. Результаты подсчета равнозернистой шероховатости сплочных единиц (табл.4) показывают, что среднее ее значение составляет 0,05 м. Эта величина и рекомендуется нами в качестве расчетной для натуральных плоских плотов.

Предложенная методика определения коэффициентов сопротивления плоских плотов с параллельным расположением бревен в сплочных единицах нами была проверена на давних буксировочных испытаниях модельных однорядных и многорядных плотов плоской сплочки вьетнамской конструкции. Значение коэффициентов остаточного сопротивления снималось с графика (рис.3) в зависимости от произведения чисел  $Re \cdot E$ . Значение коэффициентов сопротивления

Таблица 3

№ натур-ных плотов	Габариты плотов, м	Автор опыта	Скорость буксировки, м/сек	Общее сопротивление во-ды движению плота, измеренное в опыте, кг	Общее сопротивление во-ды движению плота, рассчитанное по предлагаемой методике, кг	Отклонение рас-считан-ного значе-ния сопро-тивления от измеренного, %	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8
1	340x18x1,06	Натурные плоты № 1-4 испытаны Н.И.Шараповым, плоты 5-6 - Н.А.Хахиным;	1,000	4350	4139	+4,8	
			0,800	2780	2618	+5,8	
	22,7x1,2x0,072	модели указан-ных натурных плотов испытаны В.Н.Худоновым	0,170	0,360	0,342	+5,0	Модель плота №1, масштаб 1:15
			0,200	0,520	0,476	+8,4	
			0,240	0,700	0,730	-4,3	
			0,280	1,080	1,013	+6,0	
			0,330	1,290	1,458	-13,0	
2	466,1x25x1,355		1,000	7030	7057	-0,4	
			0,800	4500	4275	+5,0	
	31,1x1,67x0,090		0,158	0,500	0,519	-3,8	Модель плота № 2, масштаб 1:15
			0,184	0,700	0,724	-3,4	
			0,217	1,000	1,040	-4,0	
			0,263	1,600	1,586	+0,9	

1	2	3	4	5	6	7	8
3	462,9x26,3x1,49		1,000	8060	7818	+3,0	
			0,800	5330	5015	+5,9	
	30,9x1,75x0,099		0,124	0,350	0,333	+4,9	Модель плота № 3, масштаб 1:15
			0,144	0,500	0,461	+7,8	
			0,158	0,600	0,564	+6,0	
			0,179	0,790	0,744	+5,8	
			0,209	1,050	1,045	+0,5	
4	231,6x26,3x1,35		1,000	5350	5256	+1,8	
			0,800	3120	3447	-10,4	
	15,4x1,75x0,090		0,135	0,300	0,276	+8,0	Модель плота № 4, масштаб 1:15
			0,245	0,985	1,015	-3,0	
			0,295	1,485	1,529	-2,9	
			0,360	2,150	2,400	-11,0	
5	240x25,3x1,60		1,070	6700	7281	-8,7	
			0,110	0,215	0,199	+7,4	
	16,0x1,69x0,106		0,180	0,585	0,571	+2,4	Модель плота № 5, масштаб 1:15
			0,255	1,170	1,235	-5,5	
			0,280	1,420	1,464	-3,1	
			0,280	1,420	1,464	-3,1	
6	445x24,3x1,58		1,010	7900	7686	+2,7	
			0,159	0,565	0,545	+3,5	
	29,7x1,62x0,106		0,200	0,945	0,886	+6,2	Модель плота № 6, масштаб 1:15
			0,257	1,510	1,506	+0,2	
			0,294	2,000	2,044	-2,2	
			0,294	2,000	2,044	-2,2	

Таблица 4

Габариты сплотовых единиц	Скорость буксировки м/сек	Сопротивле- ние воды движению сплотовой единицы, измеренное в опыте, кг	Произведе- ние чисел	Кoeffици- ент сопро- тивления формы из графика	Сопротив- ление формы	Сопротив- ление трения	Кoeffици- ент сопро- тивления трения	Равнозер- нистая шерохова- тость
$L \times B \times T$			$Re \cdot F_c$	$C_{\Sigma}$	$R_p$	$R_f$	$C_f$	$\mu_s$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,21x4,04x0,15	0,31	2,53	4,4730x10 <sup>4</sup>	0,57	1,68	0,85	0,0176	0,064
	0,24	1,45	2,4711x10 <sup>4</sup>	0,48	0,85	0,60	0,0179	0,050
	0,28	2,08	3,9208x10 <sup>4</sup>	0,55	1,33	0,75	0,0164	0,054
2,63x4,04x0,15	0,41	5,65	1,2334x10 <sup>5</sup>	0,79	4,10	1,55	0,0158	0,041
	0,50	9,43	2,2414x10 <sup>5</sup>	0,92	7,11	2,32	0,0159	0,050
3,26x4,04x0,15	0,31	2,98	6,5953x10 <sup>4</sup>	0,64	1,88	1,10	0,0159	0,058
	0,56	14,73	3,8784x10 <sup>5</sup>	1,10	10,66	4,07	0,0180	0,054
3,66x4,04x0,15	0,26	2,11	4,3697x10 <sup>4</sup>	0,56	1,17	0,94	0,0172	0,073
	0,52	12,96	3,4903x10 <sup>5</sup>	1,05	8,77	4,19	0,0191	0,062
3,86x4,04x0,15	0,21	1,20	2,3195x10 <sup>4</sup>	0,47	0,64	0,56	0,0149	0,048
	0,52	13,20	3,6924x10 <sup>5</sup>	1,08	9,03	4,17	0,0180	0,058
4,30x4,04x0,15	0,21	1,41	2,7030x10 <sup>4</sup>	0,50	0,68	0,73	0,0174	0,095
	0,50	12,30	3,6507x10 <sup>5</sup>	1,07	8,27	4,03	0,0169	0,056
4,52x4,04x0,15	0,19	1,02	2,1021x10 <sup>4</sup>	0,46	0,51	0,51	0,0141	0,037
	0,44	9,12	2,6369x10 <sup>5</sup>	0,97	5,80	3,32	0,0171	0,061
7,56x6,50x0,19	0,33	12,82	1,1134x10 <sup>5</sup>	0,86	9,36	3,46	0,0115	0,045

трения снимались с диаграммы Ротта в зависимости от чисел при нулевом значении равнозернистой шероховатости. Выполненные расчеты (табл.5) показывают, что сопротивление воды движению модельных плотов вьетнамской конструкции, определенное по предложенной методике, хорошо согласуется с данными автора исследований.

Известные данные других авторов по натурным буксировочным исследованиям плоских плотов с различным расположением бревен в сплочных единицах не могли быть использованы для проверки предложенной методики расчета общего сопротивления, так как в него, как правило, входит составляющая сопротивления, вызываемая возмущенным потоком движителя, а также потому, что в некоторых испытанных плотках в передней части имелся "осередыш", что вызывало изменение ширины плота по его длине.

Для проверки полученной зависимости (6) применительно к плоткам с перпендикулярным расположением бревен в сплочных единицах нами были проведены буксировочные испытания плоского плота на р.Щаре. Отклонение расчетной величины сопротивления от фактической составило 4,8 %.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Постановления Совета Министров и ЦК КПСС о полном использовании природных ресурсов и охране природных богатств нашей страны предъявляют серьезные требования к лесной промышленности и, в частности, к водному транспорту леса, а именно, требуют полного использования не только хвойного лесосечного фонда, тяготеющего к водным путям, но и лиственного, и не допускают потерь древесины в процессе транспортирования ее водным путем. Применение плотового сплава плоской сплотки на первоначальных водных путях - один из рациональных способов решения поставленной задачи. Разрабатываемая и внедряемая в настоящее время в производство механизация плоской сплотки древесины позволит широко применить этот способ в практике лесосплава.

2. Вопросы плотового сплава плоской сплотки по первоначальным водным путям изучены в настоящее время недостаточно. Как правило, на реках первоначального сплава транспортирование плотов осуществлялось ранее и осуществляется теперь за счет силы потока. Управление такими плотами основано исключительно на ручном труде, примитивных орудиях и мускульной силе рабочих. В связи с перспективностью применения плоской сплотки для борьбы с утопом древесины лиственных пород возникла задача изучения вопросов гидродинамического взаимодействия плотов с водной средой (сопротивление воды движению плотов), чтобы на этой основе предложить рациональные методы их транспортирования и управления.

3. Изучение вопросов сопротивления воды движению плотов плоской сплотки проводилось на основе: анализа имеющихся тео-

Таблица 5

Габариты модельных плотов	Скорость букси- ровки		Общее сопротивление движению модели, кг	Число Рейнольдса $Re = \frac{v \cdot l}{\nu}$	Число Фруда $F_r$	Число $\lambda$ определенное по предложенной методике, кг	Отклонение определенного предположенной методикой от измеренного, %	Примечание	
	л	Т							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6,0	0,80	0,04	1,00	4,030	$6,0 \times 10^6$	2,54	4,314	-7,1	Однорядные
7,2	0,80	0,04	1,00	4,408	$7,2 \times 10^6$	2,54	4,753	-7,8	плоские модель-
9,6	0,80	0,04	1,00	5,162	$9,6 \times 10^6$	2,54	5,207	-0,9	ные плоты вьет-
12,0	0,80	0,04	1,00	5,852	$1,2 \times 10^7$	2,54	5,590	+4,5	намской конст-
3,2	0,60	0,07	1,00	3,825	$3,2 \times 10^6$	1,46	3,891	-1,7	рукции
4,0	0,60	0,07	1,00	4,010	$4,0 \times 10^6$	1,46	4,156	-3,6	Многорядные
4,8	0,60	0,07	1,00	4,186	$4,8 \times 10^6$	1,46	4,473	-6,8	плоские модель-
5,6	0,60	0,07	1,00	4,369	$5,6 \times 10^6$	1,46	4,641	-6,2	ные плоты вьет-
6,4	0,60	0,07	1,00	4,610	$6,4 \times 10^6$	1,46	4,758	-3,2	намской конструк-
7,2	0,60	0,07	1,00	4,830	$7,2 \times 10^6$	1,46	4,871	-0,8	ции
8,0	0,60	0,07	1,00	5,134	$8,0 \times 10^6$	1,46	5,299	-3,2	Автор всех опы-

24 -

ретических решений и экспериментального материала по определению коэффициентов сопротивления трения гладких и шероховатых пластин; разработок по определению сопротивления формы и волнового различных по форме тел; буксировочных испытаний модельных и натуральных пучковых плотов, выполненных различными авторами; незначительных опытных материалов по буксировочным испытаниям плотов плоской сплотки других авторов и главным образом на основе полученных нами экспериментальных данных.

4. В результате проведенных исследований установлено:

- существует много расчетных формул для определения сопротивления воды движению пучковых плотов, что затрудняет их выбор для использования в каждом конкретном случае;

- расчетные формулы, представленные в двучленном виде, лучше других отражают физическую сущность процессов, происходящих при перемещении плота в водной среде;

- в лесосплавной науке до сих пор не сделаны обобщения накопленного материала по буксировочным испытаниям плотов, не выработаны достаточно обоснованные критерии для определения расчетных характеристик движения плотов;

- для определения сопротивления воды движению плоских плотов расчетные формулы, обоснованные теоретическими положениями современной гидродинамики, отсутствуют.

5. По многочисленным однотипным данным буксировочных испытаний пучковых плотов с использованием упрощенных методов факторного анализа нами предложена методика определения равнозернистой шероховатости и на этой основе общего сопротивления воды движению

пучковых плотов. Для натуральных пучковых плотов равнозернистая шероховатость составляет 0,05 м, для модельных подтвердился предварительный вывод о том, что при их буксировке могут иметь место различные зоны сопротивления.

6. Общее сопротивление воды движению пучковых и плоских натуральных плотов следует определять по формуле

$$R = (C_p \cdot S + C_f \cdot S) \frac{V^2}{2} \rho$$

7. Коэффициенты сопротивления трения пучковых плотов при предложенной нами величине равнозернистой шероховатости и известном числе Рейнольдса следует определять по диаграмме Ротта.

8. Для определения коэффициента сопротивления формы пучковых плотов можно рекомендовать полученную расчетную зависимость, учитывая основные критерии гидродинамического подобия, т. е.

$$C_p = 0,264 (Re \cdot F_c)^{0,132}$$

9. Выполненные проверочные расчеты по определению сопротивления воды движению натуральных и модельных пучковых плотов по предложенной методике и проведенная оценка точности этих расчетов дает основание рекомендовать ее для внедрения в лесосплавную практику.

10. Дана оценка гидродинамических характеристик пучковых и плоских плотов. При этом выявлено, что омываемые поверхности обоих типов плотов во многом подобны. Это дает основание считать, что коэффициенты сопротивления трения обусловлены одинаковыми факторами.

11. По материалам буксировочных лабораторных испытаний сплотовочных единиц с различным расположением бревен в них (по отношению к направлению движения) установлено влияние способа размещения последних на величину общего сопротивления.

12. По материалам наших натурных исследований плоских однородных плотов определена их равнозернистая шероховатость. Она получилась примерно такой же, как и для пучковых, и может быть принята равной 0,05 м. Коэффициент сопротивления трения плоских плотов мы рекомендуем определять по той же методике, что и для пучковых, т.е. при известных равнозернистой шероховатости и числе Рейнольдса по диаграмме Ротта.

13. Для определения коэффициента сопротивления формы плоских плотов предлагаются следующие расчетные зависимости:

а) для плотов, в которых бревна в сплотовочных единицах параллельны направлению движения

$$C_{\varphi} = 0,046 (Re \cdot Fz)^{0,238}$$

б) для плотов с перпендикулярным расположением бревен в сплотовочных единицах

$$C_{\varphi} = 0,016 (Re \cdot Fz)^{0,326}$$

14. Сравнение опытных значений сопротивления воды движению плоских модельных плотов вьетнамской конструкции и наших данных по буксировке модельных и натуральных плотов с сопротивлениями,

рассчитанными по предложенной методике, показывает хорошее совпадение этих величин и дает основание рекомендовать полученные зависимости при проектировании плоского плотового сплава.

15. Предложенный способ расчета сопротивления воды движению плоских плотов позволит разработать технически обоснованные нормы на транспортировку плотов по первоначальным водным путям, что исключит нерациональное использование буксировочных мощностей.

16. Рекомендуемый способ расчета сопротивления воды движению плотов, базирующийся на использовании основных критериев гидродинамического подобия, может быть применен также и для определения сопротивления воды других тел.

В заключение необходимо отметить, что в настоящей работе далеко еще не охвачен весь комплекс вопросов, возникающих при изучении сложных процессов взаимодействия плотов с водной средой, хотя проведенными исследованиями несколько восполняется пробел в этом направлении и даются конкретные рекомендации проектным организациям. По мере накопления экспериментального материала необходимо уточнять значения равнозернистой шероховатости натуральных плотов различных конструкций.

Результаты исследований докладывались на:

- научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Белорусского технологического института им.С.М. Кирова совместно с работниками промышленности, г.Минск, 1965 г.;
- научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Белорусского технологического института им.С.М. Кирова, посвященной 50-летию Советской власти, г.Минск, 1967 г.;
- XXIII научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава БТИ им.С.М.Кирова по итогам научно-исследовательских работ за 1968 г., посвященной 50-летию БССР и КПБ, 100-летию со дня рождения В.И.Ленина, г.Минск, 1969г.;
- 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, БелНИИЛХ, БТИ им.С.М.Кирова, г.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, Белорусский технологический институт им.С.М.Кирова, г.Минск, 1969 г.;
- XXXII научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательских работ за 1971 год, посвященной 50-летию образования СССР, г.Минск, 1972 г.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Рапинчук С.Ф. К вопросу сопротивления воды движению плотов плоской плотки. Сб. "Вопросы лесозаготовок и транспорта леса", Изд-во "Высшая школа", г.Минск, 1967.
2. Рапинчук С.Ф. Определение сопротивления воды движению плотов плоской плотки. Сб. работ по лесосплаву, Изд-во ЦНИИЛесосплава, Л., 1969.
3. Рапинчук С.Ф. Определение коэффициента сопротивления формы модельных плотов плоской плотки. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии, Изд-во БТИ им.С.М. Кирова, 1969.
4. Рапинчук С.Ф., Герман Р.И. О составляющих общего сопротивления воды движению модельных плотов. Материалы научно-технической конференции по итогам работ 1968 года. Изд-во БТИ им.С.М.Кирова, Минск, 1969.
5. Рапинчук С.Ф. Оценка коэффициентов сопротивления трения и относительной высоты выступов шероховатости пучковых и плоских плотов. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. I, Минск, 1970.
6. Рапинчук С.Ф., Кашуба С.М. Экспериментальная установка для исследования процесса перемещения модельных бревен и плотов. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. I, Минск, 1970.
7. Будыка С.Х., Красник М.Г., Рапинчук С.Ф. О составляющих общего сопротивления воды движению плотов. "Лесной журнал", № 3, 1972.

Л 65695 Подп. к печ. 16/IV-73 г. Тир. 120 Зак. 1021

---

Типография ХОЗУ Минлеспрома СССР