

М.Г. Красник (канд.техн.наук),
С.Ф. Рапинчук (канд.техн.наук),
Г.Г. Зеньков

О ВЛИЯНИИ ОГРАНИЧЕНИЙ ВОДНОГО ПУТИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ ПЛОТОВ ПЛОСКОЙ СПЛОТКИ

В настоящее время влияние ограничения водного пути на сопротивление воды движению плотов пучковой сплотки учитывается весьма приблизительно. При буксировке таких плотов по мелководным участкам пути общее сопротивление рекомендуется увеличивать на 30% [1] по сравнению с сопротивлением плотов, буксируемых в неограниченных по глубине потоках. Влияние ограничений по глубине для плотов пучковой сплотки перестает сказываться при следующем отношении глубины потока к осадке буксируемого плота $\frac{H}{T} \geq 8-10$ [2].

В практике встречаются случаи, когда необходимо проводить плотовой сплав в незначительных по ширине и глубине естественных потоках и каналах. В этих условиях на величину сопротивления воды движению плотов окажут влияние боковые стенки и дно. Такое состояние особенно характерно для случаев буксировки плотов плоской сплотки по первоначальным водным путям. Ограничение по ширине в практике пучкового плотового сплава изучено меньше, чем по глубине, так как этот вид ограничения встречается значительно реже при транспортировке плотов по магистральным рекам.

Плоты в отличие от судов — тела плохообтекаемые, буксируются со сравнительно небольшими скоростями, форма и размеры судна не изменяются в процессе движения, а плоты в известных пределах могут изменять и форму и размеры. Все это обуславливает различие в обтекании водной средой движущихся плотов и судов и в соотношении отдельных составляющих общего сопротивления воды движению плота.

Для судов [3, 4, 5] глубина, при которой не сказываются ограничения, выбирается из условия одновременного выполнения неравенств [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{T} \geq 8; \\ \sqrt{\frac{v}{gH}} \leq 0,5. \end{array} \right.$$

Изучение вопросов транспортирования плотов в ограниченных условиях приобретает в настоящее время особую актуальность. Имеющиеся обширные экспериментальные данные по вопросам влияния водного пути на общее сопротивление движущихся твердых тел и моделей судов не позволяют составить полной картины влияния дна и берегов при движении плотов по первоначальным водным путям.

В настоящей работе приводятся краткие результаты исследований в лабораторных условиях сопротивления плота плоской сплотки, движущегося в ограниченной по глубине и ширине водной среде.

Для выявления степени влияния каждого из видов ограничений были проведены буксировочные испытания модельного плота плоской сплотки. Моделирование плота выполнено для условий р. Березины на участке Броды—Палик. Модель имела следующие размеры: длину — 0,80, ширину — 0,40 м; осадку — 0,018 м. Сопротивление воды движению модельного плота изучалось в диапазоне скоростей 0,35—0,80 м/с. Буксировочные опыты проводились на установке [6], состоящей из русловой площадки, самоходной тележки и измерительной аппаратуры. Ограничение по ширине производилось путем установки дополнительной стенки из деревянных щитов. При этом глубина была неограниченной, т.е. отношение глубины бассейна к осадке модели составляло 13,75. После введения ограничения по ширине рабочий рычаг измерительного устройства, к которому крепилась буксируемая модель, переставлялся на раме тележки так, чтобы ось движения совпадала с продольной осью полученного нового бассейна.

Регистрация усилий, возникающих при буксировке модельного плота, производилась осциллографом НО41 УЧ.2. Устройство, предназначенное для измерения сопротивления воды движению модели, работает на принципе измерения неэлектрической величины (сопротивление движению) электрическим методом с помощью проволочных датчиков. Тяговое звено представляет собой трубчатый элемент, на внешней поверхности которого наклеены проволочные датчики, соединенные в мостовую схему. Приемником сопротивления воды движению плота является Г-образный рычаг, который прочно посредством шпонки связан с трубчатым элементом. При движении плота возникающее сопротивление через буксир нарушает электрический баланс мостового датчика. Сигнал разбаланса поступает на усилитель тензометрический УТЧ-1 и далее на гальванометр осциллографа.

Измерение проходимого пути осуществлялось с помощью трех прерывателей, установленных с левой стороны русловой площадки. Во время рабочего хода (буксировки модели) на ленту осциллографа также записывались отметки времени через 0,1 с. По отметкам времени и пройденному пути определялась скорость движения буксируемой модели. При одной и той же скорости модель буксировалась не менее трех раз. Перед началом опытов и после их завершения проводилась тарировка измерительного устройства.

Величина сопротивления воды движению модели в любой точке опытного участка может быть оценена на осциллограмме ординатой отклонения отметчика регистратора усилий в этой точке от нулевой линии и соответствующего графика тарировки измерительного устройства. Средняя величина сопротивления воды движению модельного плота на всем протяжении опытного участка определяется средней ординатой участка осциллограммы и тем же графиком тарировки. Использовался второй способ.

До начала опытов и после окончания их измерялся вес буксируемой модели и температура воды.

Ширина бассейна с помощью указанных шитов изменялась одиннадцатью ступенями. В начале опыта ширина считалась неограниченной. Отношение ширины бассейна к ширине испытываемой модели было равно 5,5. В последнем опыте это отношение составило 1,15. После проведения буксировочных опытов при таких условиях принимали ширину постоянной неограниченной, а глубина изменялась одиннадцатью ступенями, причем верхнее значение отношения $\frac{H}{T}$ равно 13,75, нижнее — 1,25.

Для каждого искусственным образом созданного русла в указанном диапазоне скоростей измерялось общее сопротивление воды движению модели.

Анализ полученных результатов позволяет сделать некоторые выводы. При изучении влияния стеснения на сопротивление воды движению плоских плотов возможно и целесообразно раздельно изучать ограничение по глубине и ширине с тем, чтобы выявить физическую картину взаимодействия потока и плота при стеснении, а также факторы, влияющие на сопротивление воды движению плота при каждом виде ограничений. Полученные результаты показывают также, что раздельное влияние ограничения среды на сопротивление воды движению плота несколько иное, чем это указывается [3, 4, 5].

Таблица 1

		Ограничение по глубине				Ограничение по ширине											
		Относительное сопротивление воды движению модельного плота при разном H/T				Относительное сопротивление воды движению модельного плота при разном B/b											
		Среднее значение сопротивления движения воды для плотов вычисленной глубины и ширины, Γ															
H/T	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,0	B/b	1,15	1,75	2,0	2,25	2,50	3,00	3,50	4,00
$R_{н/R}$	1,46	1,45	1,40	1,30	1,04	1,02	1,01	1,01	$R_{н/R}$	1,14	1,13	1,13	1,12	1,10	1,07	1,02	1,005
		840															

Таблица 2

V_1	м/с	$R_{оп}$	Γ	C_f	C_ϕ	$R_f = C_f \rho / 2 v \cdot S_\phi$	$R_\phi = C_\phi \rho / 2 v^2 \cdot F_\phi$	$R_\phi^1 = R_\phi \cdot \frac{оп}{\Gamma}$	$R_\phi^1 = R_\phi \cdot \frac{оп}{\Gamma}$	C_ϕ	Ф вычисленного непосредственно из опыта
			2	3	4	5	6	7	8		
0,84		90	$9,7 \cdot 10^{-3}$	1,40	32,71	59,10	57,29	2,18			
0,93		110	$9,6 \cdot 10^{-3}$	1,44	35,75	67,10	74,25	2,22			
0,99		120	$9,5 \cdot 10^{-3}$	1,45	43,11	79,80	76,89	2,48			
0,43		180	$9,26 \cdot 10^{-3}$	1,55	50,72	106,30	106,28	2,62			
0,48		208	$8,93 \cdot 10^{-3}$	1,60	62,99	140,90	145,01	2,64			

Приведем значения общего сопротивления воды движению испытываемой модели при постоянной неограниченной глубине и изменяющейся ширине и при постоянной неограниченной ширине и изменяющейся глубине.

$$v = 0,8 \text{ м/с}$$

В/б	1,15	1,75	2,00	2,25	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50
R, г	960	950	945	940	920	900	860	845	840	840	840
н/Т	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	7,75	10,0	11,25	12,5	13,75
R, г	1230	1220	1200	1100	870	860	850	850	840	840	840

Сравнивая эти данные, приходим к выводу, что стеснение по глубине оказывает большее влияние на сопротивление воды движению плота, чем ограничение по ширине. Однако следует также сделать и такой вывод, что оба этих вида стеснения дают переменное значение сопротивления. Таким образом, возникает задача выявления связи между величиной сопротивления воды движению плотов в ограниченной среде и параметрами русла, характеризующими ограничение.

В табл. 1 приведено относительное сопротивление воды движению плота, а на рис. 1 — связь между ограничением среды и величиной относительного сопротивления.

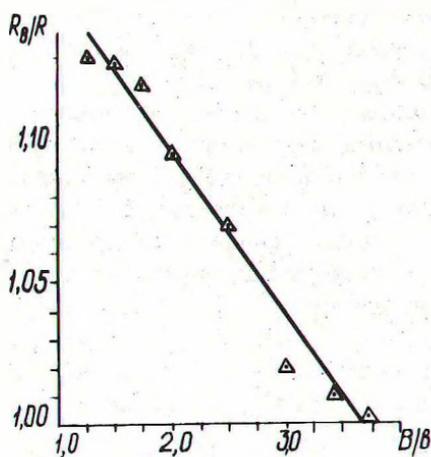


Рис. 1. График зависимости относительного сопротивления от стеснения русла по ширине.

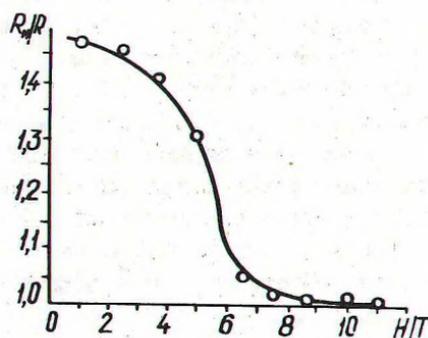


Рис. 2. График зависимости относительного сопротивления от стеснения русла по глубине.

Как видно из рис. 1, относительное сопротивление при стеснении по ширине для данной скорости имеет линейную зависимость от степени стеснения. Из рис. 2 видно, что при

стеснении по глубине оно имеет весьма сложную зависимость. Такие связи были наложены и для других скоростей, и характер их оказался примерно тот же. Следует также учесть, что необходимо выявить их взаимное влияние. Такие опыты пока нами не были поставлены.

Для того чтобы выявить связь дополнительного сопротивления, обусловленного стеснением как по ширине, так и по глубине, с основными параметрами, характеризующими движение плота и потока, были вычислены коэффициенты сопротивления по формулам:

$$C_f = \frac{R_f}{\rho/2 \cdot v^2 \cdot S} ; \quad (1)$$

$$C_\phi = \frac{R_\phi}{\rho/2 \cdot v^2 \cdot F} , \quad (2)$$

где R_f — сопротивление трения, кг; R_ϕ — сопротивление формы, кг; ρ — плотность воды, равная $102 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$; v — скорость движения, м/с; S — смоченная поверхность плота, м^2 ; F — площадь миделевого сечения, м^2 .

При этом для каждого опыта были взяты из графика Ротта коэффициенты сопротивления трения (табл. 2, гр. 3), а с графика Рапинчука [7] коэффициенты формы (гр. 4) и вычислены величины сопротивления трения и формы (гр. 6,5):

Предположим, что стеснение оказывает влияние только на коэффициент формы. Тогда из опытных значений общего сопротивления воды движению модельного плота были вычислены сопротивления трения (гр. 5) и получена величина сопротивления формы (гр. 7), а по (2) вычислены новые коэффициенты сопротивления формы. Полученные значения коэффициентов формы при ограниченной глубине приводятся в табл. 2 (гр. 8), а при ограничении по ширине — в табл. 3 (гр. 3).

На рис. 3 и 4 наложена связь коэффициента формы, полученного по графику 7, и коэффициента формы C_ϕ^I с учетом стеснения.

Таблица 3

v , м/с	C_ϕ по графику	C_ϕ непосредственно из опыта
1	2	3
0,36	1,45	2,53
0,42	1,58	2,57
0,46	1,63	2,59
0,47	1,63	2,60
0,50	1,67	2,62

Как видно из рис. 3, и в этом случае для стеснения по ширине коэффициент формы имеет линейную связь, а для стеснения по глубине (рис. 4) связь получилась весьма сложной.

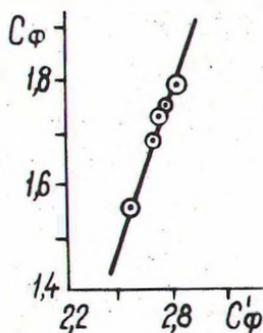


Рис. 3. Связь коэффициентов формы, определенных без учета и с учетом стеснения русла по ширине.

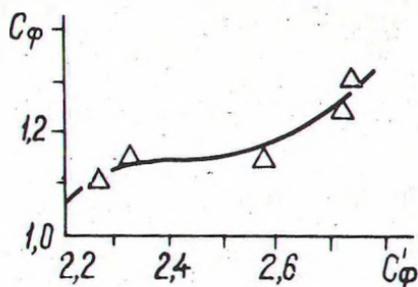


Рис. 4. Связь коэффициентов формы, определенных без учета и с учетом стеснения русла по глубине.

Таким образом, можно прийти к заключению, что необходимы дополнительные исследования, которые дали бы возможность выявить характер изменения сопротивления при наличии двух видов стеснения, а также факторы, влияющие на сопротивление воды движению плота при наличии стеснения по глубине.

Резюме

В результате проведенных исследований установлено, что раздельное изучение стеснения по ширине и глубине дает возможность выявить основные факторы, влияющие на сопротивление воды движению плота в ограниченных условиях.

Для определения величины сопротивления при стеснении по ширине можно пользоваться в первом приближении графиком (рис. 1).

Л и т е р а т у р а

1. Будыка С.Х., Манухин Г.А., Пименов А.Н. Водный транспорт леса и механизация лесосплавных работ. Минск, 1970.
2. Худоногов В.Н. Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды. Красноярск, 1966.
3. Веледницкий И.О. Сопротивление воды движению толкаемых составов. М., 1965.
4. Войткунский Я.И. Влияние ограничения ширины фарватера на сопротивление. — "Судостроение", 1949, № 2.
5. Войткунский Я.И. О влиянии глубины и ширины канала на сопротивле-

ние. — "Судостроение", 1950, № 2. 6. Рапинчук С.Ф., Кашуба С.М. Экспериментальная установка для исследований процесса перемещения модельных бревен и плотов. — В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, вып. 2. Минск, 1970. 7. Рапинчук С.Ф. Исследование некоторых вопросов сопротивления воды движению плотов. Автореф. канд. дис. Минск, 1973.

УДК 634.0.378.33

М.Г. Красник (канд. техн. наук), Р.И. Герман,
Е.С. Санкович, Н.Н. Ярмолинский

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЛОТИНАХ ЗАПАННОГО ТИПА

Кафедрой водного транспорта леса и гидравлики в 1973—1975 гг. проводились исследования безнапорной фильтрации в обход устоев плотин запанного типа. На основании полученных данных предложена методика гидротехнического расчета гибких устоев таких плотин. Для уточнения некоторых расчетных параметров, полученных нами, был поставлен полевой опыт. Опыт проведен в Ленинградской области на реке Тайвоколе (полевая лаборатория гидротехнических сооружений ЦНИИЛесосплава).

Перед установкой плотины была произведена плановая и вертикальная съемка выбранного створа. С обоих берегов и дна реки взяты пробы грунта, по которым определены коэффициенты его неоднородности. Для наблюдения за обходным фильтрационным потоком в период наполнения плотины и при ее эксплуатации по берегам реки оборудованы наблюдательные скважины, которые располагались, как и при проведении опытов в лабораторных условиях, примерно по линии тока. Часть скважин установлена вдоль берегов нижнего бьефа. Схема их расположения показана на рис. 1. Скважины оборудованы трубами диаметром 100 мм и длиной 2,5 и 3,0 м. Нижний конец трубы имеет отверстия в стенках для прохода воды и конус для облегчения ее посадки в скважину. Верх всех поставленных труб нивелировкой привязывался к реперу. Уровни воды в скважинах измерялись с помощью поплавка. Для измерения уровней воды в верхнем и нижнем бьефах были оборудованы речные посты.