

## Методика расчета тяговых и прочностных характеристик сортиментных плотов для условий Онежского озера

В. А. Новиков<sup>1</sup>

Петрозаводский государственный университет

### АННОТАЦИЯ

Приводится методика расчета элементов сортиментных плотов для Онежского озера. Даются рекомендации по применению необходимых параметров в условиях Республики Карелия. Предлагаемая методика учитывает опыт транспортировки плотов в бассейнах, схожих по условиям с Онежским озером.

**Ключевые слова:** сортиментный плот, пучок, сплавной такелаж, сопротивление при транспортировке.

### SUMMARY

Transportation of wood water rafts. A design procedure of lake rafts. Selection of key parameters of rafts.

**Keywords:** tow, towage, floating implements, bungle rigging, calculations on durability.

### ВВЕДЕНИЕ

Водный транспорт лесоматериалов в современном мире является одним из самых экономичных способов доставки лесоматериалов переработчику и потребителю.

Современный плотовой сплав за буксирной тягой в полной мере отвечает возрастающим потребностям лесозаготовительного и лесоперерабатывающего комплекса Республики Карелия.

Следует отметить, что опыт транспортировки плотов в Карелии имеется, поскольку до 1990-х годов этот метод и с успехом применялся в бассейне Онежского озера. Не отказались от плотового сплава и наши соседи в Архангельской области и Республике Коми.

Возобновление транспортировки сортиментных плотов по трасам Пяльма – Медвежьегорск, Пудож – Кондопога, Пяльма – Кондопога позволит экономично решить возрастающие потребности переработчиков в круглом лесе, решая общую задачу развития лесопромышленного комплекса Карелии.

Требованием времени давно стало применение современных технологий, как на стадии формирования плотов, так и на этапе их транспортировки. Поэтому грамотный расчет такелажа, элементов плота, опти-

мальный расчет характеристик плотового сплава, подбор современного оборудования рейдов отправления и приплыва – задачи успешного возобновления этого экономичного вида транспортировки древесины в республике.

### Методика расчета

1.1. Расчет параметров пучков для сортиментного плота

Объем пучка

$$W_{\text{пуч}} = \frac{\pi}{4} \cdot b h_{\text{пуч}} l K_{\text{пуч}} = \frac{\pi}{4} \cdot c h_{\text{пуч}}^2 K_{\text{пуч}},$$

где  $b$  – ширина пучка, м;  $h_{\text{пуч}}$  – высота пучка, м;  $l$  – длина пучка, м;  $c$  – соотношение осей поперечного сечения пучка;  $K_{\text{пуч}}$  – коэффициент полноты пучка.

Отсюда высота пучка, м:

$$h_{\text{пуч}} = \sqrt{\frac{4W_{\text{пуч}}}{\pi c l K_{\text{пуч}}}},$$

ширина пучка, м

$$b = c h_{\text{пуч}},$$

осадка пучка, м

$$t = h_{\text{пуч}} \frac{\rho_{\text{д}}}{\rho_{\text{в}}} \xi,$$

где  $\rho_{\text{д}}$  и  $\rho_{\text{в}}$  – плотность древесины и воды, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi$  – поправочный коэффициент, зависящий от объемного веса древесины. При  $\rho_{\text{д}} = 700 - 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\xi = 0,935$ .

Усилие, возникающее в каждой из двух обвязок пучка, определяется по следующей зависимости, Н:

$$P_c = K_c \left( \frac{\rho_{\text{д}}}{\rho_{\text{в}}} - \left( \frac{\rho_{\text{д}}}{\rho_{\text{в}}} \right)^2 \right) \left( 1 - \frac{1,4 d_{\text{ср}}}{h_{\text{пуч}}} \right) l h_{\text{пуч}}^2 g \rho_{\text{в}},$$

где  $K_c$  – коэффициент сжатия бревен (для бревен в коре  $K_c = 1,5$ , для окоренных  $K_c = 1,05$ );  $g = 9,81$  м/сек<sup>2</sup> – ускорение силы тяжести.

Разрывное усилие в обвязках, Н:

$$P_{\text{РАЗР}} = m P_c,$$

где  $m$  – коэффициент запаса прочности ( $m = 3$  – для проволоки и канатов,  $m = 4$  – для цепных и прутковых обвязок).

Длина обвязки, м:

$$L_0 = (1 + m_1) S,$$

где  $m_1 = 0,10 \dots 0,12$  – коэффициент запаса прочности обвязки;  $S$  – периметр поперечного сечения пучка.

<sup>1</sup> Автор – доцент кафедры промышленного транспорта и геодезии

$$S = \frac{\pi}{2} (b + h_{пуч}) .$$

Число бревен в пучке с достаточной для расчета точностью можно определить:

$$i = 0.51 \frac{ct^2 \rho_B^2}{\rho_D^2 \xi^2 d_{CP}^2} .$$

1.2. Расчет сопротивления при буксировке пучкового плота. Расчет необходим для правильного выбора буксирного средства

Общее сопротивление движению плота при буксировке определяется как сумма следующих сопротивлений, Н:

$$R_O = R_{ПЛ} + R_B + R_h + \Delta R_B + \Delta R_B + \Delta R_h ,$$

где  $R_{ПЛ}$  – сопротивление трения от движения пучкового плота, Н;  $R_B$  – сопротивление движению плота от встречного ветра, Н;  $R_h$  – сопротивление плота от встречного волнения, Н;  $\Delta R_B$  – дополнительное сопротивление от движения буксировщика, Н;  $\Delta R_B$  – дополнительное сопротивление движению буксировщика от встречного ветра, Н;  $\Delta R_h$  – дополнительное сопротивление движению буксировщика от встречного волнения, Н.

Сопротивление трения пучкового плота на спокойной воде, Н:

$$R_{ПЛ} = (\varphi S_{П} + f_{ПЛ} S_C) \frac{\rho_B v^2}{2} ,$$

где  $\varphi$  – коэффициент сопротивления формы, зависящий от ширины плота  $B$  и осадки плота  $T$  (табл. 1).

Таблица 1

В/Т	1	10	20	40	60	100	200
$\varphi$	1,10	1,40	1,55	1,72	1,80	8	1,96

$S_{П}$  – площадь погруженной части поперечного сечения плота, м<sup>2</sup>:

$$S_{П} = 0,84BT ;$$

$f_{ПЛ}$  – коэффициент сопротивления трению между древесиной и водой,  $f_{ПЛ} = 0,009$ ;

$S_C$  – площадь смоченной поверхности плота, м<sup>2</sup>:

$$S_C = L(B + 2T) ;$$

$\rho_B$  – плотность воды,  $\frac{кг}{м^3}$  ( $\rho_B = 1000$ );

$v$  – скорость движения плота на спокойной воде,  $\frac{м}{с}$ ;

$L$  – длина плота, м.

С учетом зазоров между отдельными пучками ширины и длину плота можно определить:

$$B = 1,05bn_1$$

$$L = 1,05ln_2 ,$$

где  $b, l$  – длина и ширина пучка, м;

$n_1, n_2$  – количество пучков в секции по ширине и длине.

Осадку плота  $T$  можно принять равной осадке отдельного пучка  $t$ .

Сопротивление движению плота от встречного ветра, Н:

$$R_B = (\varphi_B S_H + f_B S_B) \frac{\rho_{ВОЗ} (v_B + v)^2}{2} ,$$

где  $\varphi_B$  – коэффициент лобового сопротивления воздуха ( $\varphi_B = 0,13$ );  $S_H$  – площадь надводной части поперечного сечения плота, м<sup>2</sup>

$$S_H = B(H - T) ;$$

$H$  – высота плота, можно принять  $H = h$ , м;  $h$  – высота отдельного пучка, м;  $f_B$  – коэффициент сопротивления трению воздуха ( $f_B = 0,02$ );  $S_B$  – площадь трения, подверженная активному воздействию ветра, м<sup>2</sup>:

$$S_B = LB ;$$

$v_B$  – расчетная скорость встречного ветра (в таблице 2 приводится повторяемость и сила ветра по плотным трассам Онежского озера,  $\frac{м}{с}$ ).

Таблица 2

		Скорость ветра, м/с				
		1-5	6-10	11-15	16-20	≥20
Повторяемость ветра по румбам	С	3,4	8,2	7,3	1,5	0,2
	СВ	2,1	3,3	1,4	0,1	-
	В	3,4	2,5	1,0	-	-
	ЮВ	2,9	3,9	1,0	0,2	-
	Ю	6,5	9,1	5,7	1,2	0,2
	ЮЗ	1,7	3,7	2,6	0,4	-
	З	5,8	9,4	4,7	0,4	-
	СЗ	1,3	2,1	1,3	1,4	0,1
	Σ	27,1	42,2	25	5,2	0,5

$\rho_{ВОЗ}$  – плотность воздуха ( $\rho_{ВОЗ} = 1,225$ ),  $\frac{кг}{м^3}$ ;

$v$  – скорость движения плота относительно спокой-

ной воды или скорость обтекания плота водой на стоянке,  $\frac{M}{c}$ .

Сопротивление плота от встречного волнения, Н:

$$R_h = R_{пл} k_B,$$

$k_B$  – коэффициент волнового сопротивления, зависящий от высоты волны  $h_B$  и скорости движения плота  $U$  (табл. 3).

Таблица 3

$h_B$ , м	Значение $k_B$ при скорости движения плота, $\frac{M}{c}$						
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
0,8	0,32	0,22	0,13	0,09	0,07	0,05	0,04
1,1	0,82	0,52	0,28	0,18	0,12	0,09	0,07
1,3	1,53	0,86	0,46	0,28	0,20	0,16	0,13
1,6	3,10	1,72	0,88	0,50	0,35	0,30	0,33
1,9	5,32	2,86	1,38	0,83	0,58	0,51	0,48
2,1	7,45	3,96	1,88	1,14	0,80	0,69	0,60

Дополнительное сопротивление от движения буксировщика можно определить, Н:

$$\Delta R_B = f_B S_S \rho_B U^{1,83} + \varphi_O S_M \rho_B U^{1,7+4F_r},$$

где  $f_B$  – коэффициент трения буксировщика (для стальных судов  $f_B = 0,17$ );  $S_S$  – площадь смоченной поверхности буксировщика,  $m^2$ :

$$S_S = L_B (0,5 \delta + 0,41) (B_B + 2T_B) \text{ при } \delta < 0,7,$$

$$S_S = L_B (0,8 \delta + 0,2) (B_B + 2T_B) \text{ при } \delta > 0,7;$$

$L_B, B_B, T_B$  – длина, ширина и осадка буксировщика, м;  $\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения буксировщика;  $\rho_B$  – плотность воды,  $\frac{Kz}{M^3}$ ;

$U$  – скорость движения буксировщика,  $\frac{M}{c}$ ;  $\varphi_O$  – коэффициент остаточного сопротивления:

$$\varphi_O = \frac{17,7 \delta^{3,5}}{\left(\frac{L_B}{6B_B}\right)^3 + 2}$$

$S_M$  – площадь погруженной части мидель-шпангоута,  $m^2$ :

$$S_M = \beta B_B T_B;$$

$\beta$  – коэффициент полноты плоскости мидель-шпангоута;  $F_r$  – число Фруда:

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{g L_B}};$$

$g$  – ускорение силы тяжести,  $\frac{M}{c^2}$ .

Дополнительное сопротивление движению буксировщика от встречного ветра, Н:

$$\Delta R_B = \varphi_B S_B \frac{\rho_{воз} (U_B + U)^2}{2},$$

$S_B$  – площадь проекции надводной части буксировщика на плоскость мидель-шпангоута,  $m^2$ :

$$S_B = 2 B_B.$$

Дополнительное сопротивление движению буксировщика от встречного волнения, Н:

$$\Delta R_h = \Delta R_B k_B.$$

Удельное сопротивление воды движению плота является его качественной характеристикой и определяется, Н:

$$R_{уд} = \frac{R_{пл} + R_B + R_h}{W_{пл}},$$

$W_{пл}$  – объем древесины в плоту,  $m^3$ :

$$W_{пл} = B H L K_{пл},$$

где  $K_{пл}$  – коэффициент полнодревесности плота.

### 1.3. Расчет формировочного такелажа

При прямолинейном установившемся движении плота сила тяги на гаке буксировщика  $F_T$  равна, Н:

$$F_T = R_O = R_{пл} + R_B + R_h + \Delta R_B + \Delta R_B + \Delta R_h.$$

Сила тяги буксировщика через буксирные канаты передается продольным и поперечным креплениям плота. Величина натяжения в креплениях плота зависит от способа учалки буксирного каната.

На рисунке 1 представлен наиболее распространенный способ учалки для озерных плотов за два буксирных каната, укрепленных за бортовые лежни.

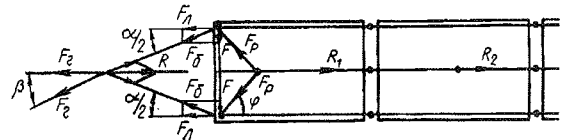


Рис. 1. Способ учалки для озерных сортиментных плотов

В этом случае усилия определяются: в буксирных канатах, Н:

$$F_B = \frac{F_T}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$$

в продольных бортовых лежнях, Н:

$$F_{\text{Л}} = F_{\text{Б}} \cos \frac{\alpha}{2};$$

сжимающие головную часть плота, Н:

$$F = F_{\text{Б}} \sin \frac{\alpha}{2};$$

в усах-растяжках, Н:

$$F_{\text{Р}} = \frac{F_{\text{Л}}}{\cos \varphi} - \frac{F}{\sin \varphi}.$$

Оптимальная длина буксирного каната  $L_{\text{Б}}$  при транспортировке плота определяется исходя из мощности буксировщика  $N_{\text{Б}}$  (табл. 4).

Таблица 4

$N_{\text{Б}}$ , кВт	До 100	220	331	441	588	883
$L_{\text{Б}}$ , м	80...150	200	230	270	300	350

При движении плота по криволинейному участку и при поворотах в основном работает один лежень и поэтому при выборе типа бортового лежня следует принимать

$$F_{\text{Л}} = F_{\text{Б}} = F_{\text{Л}}.$$

При выборе такелажа необходимо задаться коэффициентом запаса прочности и количеством внутренних тросов и лежней, поэтому

$$F_{\text{Б.РАЗР}} = \frac{K_3 F_{\text{Б}}}{n},$$

$$F_{\text{Л.РАЗР}} = \frac{K_3 F_{\text{Л}}}{n},$$

$$F_{\text{Р.РАЗР}} = \frac{K_3 F_{\text{Р}}}{n},$$

где  $n$  – количество внутренних тросов и лежней (для буксирных канатов и усов-растяжек  $n = 1$ , продольных бортовых лежней  $n = 2$ ).

По разрывным усилиям подбирается необходимый такелаж.

Длина счала «восьмерка» определяется, м:

$$l_{\text{СЧ}} = \frac{1}{2}(n_1 p - 2l_{\text{Ц}}),$$

где  $n_1$  – количество пучков в ряду;  $l_{\text{Ц}}$  – длина цепной наставки ( $l_{\text{Ц}} = 1, 2, \dots, 1, 7$ ), м;  $p$  – периметр пучка, м:

$$p = \frac{\pi}{2}(b_{\text{ПУЧ}} + h_{\text{ПУЧ}});$$

$b_{\text{ПУЧ}}, h_{\text{ПУЧ}}$  – ширина и высота пучка, м.

Длина счала «по верху» с охватом бортовых пучков по периметру, м:

$$l_{\text{СЧ}} = 2p + n_1 b_{\text{ПУЧ}} + \Delta l,$$

где  $\Delta l$  – длина свободного конца счала ( $\Delta l = 1, 5, \dots, 5, 5$ ), м.

Длина счала «в обхват» определяется:

$$l_{\text{СЧ}} = p + 2b_{\text{ПУЧ}}(n_1 - 1) - l_{\text{Ц}}.$$

Представленная методика позволяет оптимальным образом рассчитать основные параметры озерного сортиментного плота для бассейна Онежского озера.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водный транспорт леса: Учебник для вузов / Под ред. В. И. Патякина. М., 2000. 432 с.
2. Водный транспорт леса: Справочник / Под ред. В. А. Щербакова. М.: Лесная промышленность, 1986. 312 с.
3. Минаев А. Н. Лесосплавной флот: Учебное пособие / А. Н. Минаев, Н. И. Козленков, И. А. Беленов. М.: Лесная промышленность, 1990. 186 с.