

УДК 630\*378.33.5

**В.Я. Харитонов**

Харитонов Виктор Яковлевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 180 печатных трудов в области водного транспорта леса, экологии водных объектов, гидродинамики.



### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТОРМОЗА ДЛЯ ОСТАНОВКИ ПЛОТОВ

Приведена схема устройства для остановки плотов на течении. Определены основные параметры этого устройства с использованием положений теории гибкой нити и теоретической гидромеханики. Даны рекомендации по совершенствованию конструкции устройства и эффективности его работы.

*Ключевые слова:* плот, гидротормоз, гибкая нить, лобовое сопротивление, тормозной путь, продолжительность остановки.

Проблема остановки плотов на течении приобретает все большее значение в связи с увеличением объемов зимней сплотки и поставки лесоматериалов потребителям в плотях по рекам в ранневесенний период.

В большинстве случаев плоты останавливают трением, прижимая их к берегу теплоходами. Этот метод не только экологически опасен, поскольку разрушаются дно и берег, такелажные крепления плота, размолевываются пучки, но и требует больших затрат на теплоходы, последующую ликвидацию обсушки плота.

В работе [5] описан один из перспективных, на наш взгляд, методов остановки плота гидротормозом, но не обоснованы параметры последнего.

В нашей статье приводятся схема и принцип работы гидротормоза, методика расчета основных параметров.

Гидротормоз (рис. 1) состоит из двух наплавных опор 1 и 2 и поплавков 3 с несущим канатом 4. Один конец каната закреплен на опоре 2, второй огибает блок 5 на опоре 1.

Останавливаемый плот крепится к свободному концу каната и увлекает его вниз по течению, перекрывая поплавками пространство между опорами. Поскольку поплавки вступают во взаимодействие с потоком поочередно, инерция плота и после-

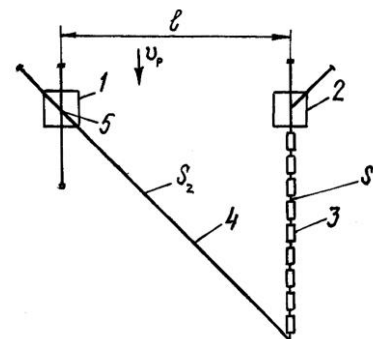


Рис. 1. Схема гидротормоза

дующее воздействие потока гасится плавно до полной остановки плота.

Остановленный плот крепят выносами за береговые или русловые опоры, освобождая несущий канат. Гидротормоз под действием течения возвращается в исходное положение (рис. 1) для остановки очередного плота.

Конструкция гидротормоза предусматривает возможность скольжения каната 4 по поплавкам 3 с уменьшением расстояния между ними и стрелы провеса  $f_{max}$  (рис. 2) до выравнивания сил воздействия потока на остановленный плот и гидротормоз без динамического удара.

Процесс остановки плота с использованием гидротормоза можно разделить на два этапа.

Первый этап – свободное торможение – начинается с момента, когда плот выведен на продольный галс вдоль наплавной опоры 1 и буксировщик прекратил воздействие на плот; заканчивается моментом включения в работу гидротормоза. Продолжительность этапа определяется за-

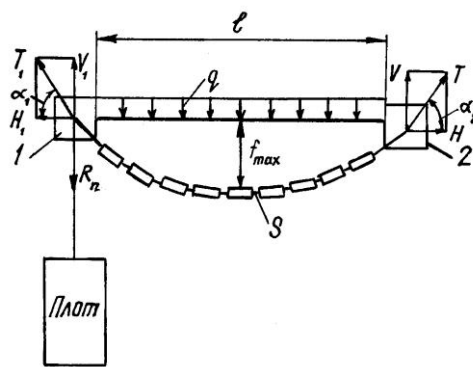


Рис. 2. Расчетная схема

тратами времени на подход хвоста плота к опоре 1,

подачу и крепление свободного конца несущего каната гидротормоза к бортовым лежням, выборку провеса несущего каната. Ориентировочно можно принимать в расчетах продолжительности этапа  $t_1 = 3 \dots 5$  мин.

Скорость плота на этом этапе уменьшается от технической скорости буксировки  $v_t$  до скорости начала активного торможения  $v_n$ , длина пути торможения  $S_1$ . Теоретический анализ этапа подробно дан в работах [3, 4] и здесь не рассматривается.

Второй этап – активное торможение плота переменной силой, создаваемой поплавками гидротормоза, поочередно вовлекаемыми в движение несущим канатом от опоры 2 к опоре 1 и навстречу скорости потока. Скорость обтекания поплавков в начальный момент близка к  $v_n + v_p$ , а в конце этапа равна скорости течения реки  $v_p$ . Скорость плота изменяется от  $v_n$  до нуля, путь торможения (рис. 1, 2)

$$S_2 = \sqrt{\ell^2 + S^2}, \quad (1)$$

где  $\ell$  – расстояние между опорами (пролет);

$S$  – длина рабочей части гидротормоза с поплавками, которую считают гибкой нитью.

Для так называемых пологих нитей, у которых отношение  $f_{max} / \ell \leq \leq 1/10$ , с некоторым приближением [1]

$$S \approx \ell \left( 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{f}{\ell} \right)^2 \right). \quad (2)$$

Продолжительность второго этапа движения находим по формуле

$$t_2 \approx \frac{2S_2}{v_i}. \quad (3)$$

Погрешность осреднения скорости движения плота на этом этапе не имеет практического значения.

Дифференциальное уравнение движения системы плот – гидротормоз имеет вид

$$M_{\text{д}} \frac{dv}{dt} = -F_T \pm R_x \pm R_B + R_i, \quad (4)$$

где  $M_{\text{д}}$  – действующая масса;

$F_T$  – переменная тормозная сила, создаваемая поплавками;

$R_x$  – переменная сила сопротивления плота потоку;

$R_B, R_i$  – силы сопротивления соответственно от ветра и уклона поверхности воды.

Если по расчетам для первого этапа получим  $v_n < v_p$ , то в уравнении (4) перед  $R_x$  записывают знак плюс, тогда

$$R_x = r(v_p - v)^2, \quad (5)$$

где  $r$  – приведенная сила сопротивления плота, потоку (сила сопротивления при скорости обтекания, равной единице) [3].

Действующую массу  $M_{\text{д}}$  определяют для случая разгона плота в спокойной воде [4] (массой элементов гидротормоза можно пренебречь).

Если  $v_n > v_p$ , то второй этап следует разделить на две стадии. В первой скорость плота уменьшается от  $v_n$  до  $v_p$ , в уравнении (4) перед  $R_x$  знак минус тогда

$$R_x = r(v - v_p)^2, \quad (6)$$

а  $M_{\text{д}}$  определяют для случая остановки плота [4].

На второй стадии скорость плота уменьшается от  $v_p$  до нуля, перед  $R_x$  записывают знак плюс. Здесь  $M_{\text{д}}$  определяют для разгона, и  $R_x$  находят по формуле (5).

Общие решения дифференциального уравнения (4) приведены во многих источниках [4] и здесь не рассматриваются. Однако использовать их для конкретного случая не представляется возможным из-за сложности процесса взаимодействия поплавков гидротормоза с потоком, а следовательно, и определения переменной тормозной силы  $F_T$ . В каждое мгновение изменяются не только условия обтекания, но и количество поплавков, вовлекаемых в движение. Анализ изменения силы  $F_T$  строго осуществим только экспериментально.

Для практических расчетов и реализации рассматриваемого способа остановки плотов ниже предлагается методика определения основных параметров гидротормоза с использованием теории гибких нитей в момент полной остановки плота, когда нагрузки в такелажных креплениях плота и гид-

ротормоза наибольшие. Для этого момента справедливо условие статического равновесия, так как инерционные силы погашены.

Если рассматривать гидротормоз как параболическую гибкую нить [1], то уравнение равновесия в конечном положении будет иметь вид (потери на трение в блоке пренебрегаем)

$$R_n = T, \quad (7)$$

где

$$R_n = R_p + R_i + R_b, \quad (8)$$

$R_p$  – сила лобового сопротивления остановленного потока набегающему речному потоку со скоростью  $v_p$ ;

$T$  – сила натяжения каната у наплавных опор (допускаем, что  $v_p$  по ширине реки одинакова).

По теории гибкой нити

$$T = \sqrt{H^2 + V^2}, \quad (9)$$

где  $V$  – вертикальная составляющая,

$$V = \frac{q\ell}{2}; \quad (10)$$

$H$  – горизонтальная составляющая,

$$H = \frac{q\ell^2}{8f_{\max}}, \quad (11)$$

$q$  – равномерно распределенная нагрузка на гидротормоз по пролету  $\ell$  от потока,

$$q = C_T \rho h_T \frac{v_p^2}{2}; \quad (12)$$

$C_T$  – коэффициент лобового сопротивления гидротормоза, зависящий от конструкции и формы поплавков;

$\rho$  – плотность воды;

$h_T$  – осадка поплавков.

С учетом зависимостей (9) и (11) уравнение (7) примет вид

$$R_n = \sqrt{\frac{q^2 \ell^4}{64 f_{\max}^2} + \frac{q^2 \ell^4}{4}}$$

или

$$\frac{q^2 \ell^4}{64 f_{\max}^2} + \frac{q^2 \ell^4}{4} = R_n^2.$$

Рассмотрим биквадратное уравнение

$$a \ell^4 + b \ell^2 + c = 0, \quad (13)$$

где

$$a = \frac{q^2}{64 f_{\max}^2};$$

$$b = \frac{q^2}{4};$$

$$c = -R_n^2.$$

Из уравнения (13) можно определить пролет  $\ell$ .

Обозначим  $\ell / f_{\max} = k$ . Используя это отношение, приведем биквадратное уравнение к квадратному:

$$\frac{k^2 q^2}{64} \ell^2 + \frac{q^2}{4} \ell^2 - R_n^2 = 0 \quad (14)$$

или окончательно

$$\ell = \frac{2R_n}{q \sqrt{1 + \frac{k^2}{16}}}. \quad (15)$$

При выборе численного значения  $k$  следует получить оптимальное решение, так как с его увеличением горизонтальная составляющая растет (при  $k \rightarrow \infty$  и  $H \rightarrow \infty$ ), а следовательно, усложняется крепление наплавных опор.

Якорное крепление наплавной опоры 2 рассчитывают на усилии  $T$  (9), направленное под углом

$$\alpha_2 = \arctg \frac{V}{H}. \quad (16)$$

Якорное крепление наплавной опоры 1 рассчитывают на усилии

$$T_1 = \sqrt{H^2 + V_1^2}, \quad (17)$$

где

$$V_1 = R_n + \frac{q\ell}{2}. \quad (18)$$

Направление усилия  $T_1$  определяется углом

$$\alpha_1 = \arctg \frac{V_1}{H}. \quad (19)$$

Горизонтальная составляющая  $H$  у всех опор одинакова (11).

Полный путь остановки

$$S_{\text{ост}} = S_1 + S_2.$$

Полная продолжительность остановки

$$t_{\text{ост}} = t_1 + t_2.$$

При расчете гидротормоза для остановки плотов больших габаритов, при высоких ско-

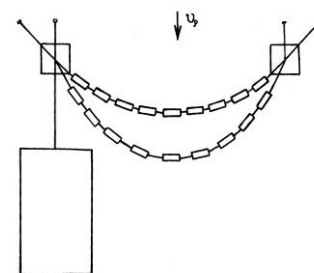


Рис. 3. Схема гидротормоза с двумя гирляндами поплавков

ростях может оказаться неприемлемо большой пролет по гидрологическим условиям. В целях компактности можно рекомендовать гидротормоз с двумя (тремя) ветвями поплавков (рис. 3).

Как показывают исследования тел, расположенных тандемом в потоке, на коэффициент сопротивления их в следе существенно влияет расстояние между телами и их форма [2].

Для рассматриваемого случая рекомендуемой формой поплавок является вертикальный щит с осадкой  $h_t$ . При расстоянии между щитами в ветвях  $4,5h_t$  коэффициент сопротивления гидротормоза  $C_T = 1,91$ . Еще больший эффект (до  $C_T = 3,0$ ) можно получить, если выполнить поплавки в форме парашюта (чашка, вогнутый цилиндр).

Приведем пример расчета основных параметров гидротормоза.

Пусть требуется остановить сортиментный плот для Северодвинского бассейна длиной 415 м, шириной 80 м, осадкой 1,5 м, при скорости воды в реке  $v_p = 1$  м/с, ветра  $v_b = 12$  м/с, уклон  $i = 0,0001$ . В начале активного торможения скорость плота  $v_n = 1,5$  м/с.

По известным формулам находим:

силу лобового сопротивления остановленного плота набегающему потоку без учета глубины и волнения:

$$R_p = 121 \text{ кН};$$

силу влечения плота ветром

$$R_b = 59 \text{ кН};$$

силу воздействия на плот от уклона

$$R_i = 18 \text{ кН};$$

суммарную силу воздействия на плот по формуле (8)

$$R_n = 121 + 59 + 18 = 198 \text{ кН}.$$

Несущий канат гидротормоза следует подбирать на разрывное усилие с трехкратным запасом прочности 594 кН, диаметром 33,5 мм, маркировочной группы 1470 Н/мм<sup>2</sup> по ГОСТ 2680–88.

Если в качестве поплавков гидротормоза использовать, как рекомендуется в работе [5], хлыстовые пучки, то можно принять  $C_T = 1,0$ ,  $h_t = 2,0$  м.

По формуле (12) равномерно распределенная нагрузка

$$q = 1,0 \cdot 1000 \cdot 2,0 \frac{1,0^2}{2} = 1000 \text{ Н/м}.$$

Далее находим: при  $k = 10$  пролет по формуле (15)  $\ell = 147$  м, стрела провеса  $f_{\max} = 14,7$  м, горизонтальная составляющая  $H = 184$  кН (11), вертикальная составляющая  $V = 74$  кН, усилие в шейме с опоры  $2T = R_n = 198$  кН

(9), ее направление определяется углом  $\alpha_2 = 0,382$  рад (16). Соответственно для опоры I:  $V_1 = 272$  кН (18);  $T_1 = 328$  кН (17);  $\alpha_1 = 0,997$  рад (19).

Длина наплавной части гидротормоза в момент остановки плота (2)

$$S = 147 \left( 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{14,7}{147} \right)^2 \right) = 151 \text{ м.}$$

Тормозной путь на втором этапе (1)

$$S_2 = \sqrt{147^2 + 151^2} = 211 \text{ м.}$$

Продолжительность остановки на этапе (3)  $t_2 = 281$  с.

При использовании гидротормоза со скользящими по несущему канату поплавками можно увеличить тормозной путь, не уменьшая пролет, обеспечив остановку плота при меньшем  $k$ . Например, при  $k = 5$ ,  $S \approx 163$  м (2) тормозной путь

$$S_2 = \sqrt{147^2 + 163^2} + 163 - 151 = 231 \text{ м,}$$

продолжительность активного торможения  $t_2 = 308$  с.

В каждом случае остановки конкретного плота стрела провеса будет уменьшаться до тех пор, пока не наступит соотношение  $T \geq R_n$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бать М.И., Джакелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 3.: Учеб. пособие. – М.: Наука, 1973. – 488 с.
2. Девнин С.И. Аэрогидродинамический расчет плохообтекаемых судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1967. – 250 с.
3. Мельников Л.В., Чекалкин К.А. О свободном торможении плота в речном потоке // Лесн. журн. – 1985. – № 2. – С. 43–46. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 268 с.
5. Фоминцев М.Н. и др. Плоты (конструкция, эксплуатация, технология) / М.Н. Фоминцев, И.П. Львов, К.Б. Соколов и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 216 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 09.12.02

*V.Ya. Kharitonov*

#### Substantiation of Hydrobrake Parameters for Rafts Stoppage

Scheme of rafts stopping device in a stream is provided. Main parameters of such devices are provided using theory of flexible thread and theoretical hydromechanics. Recommendations on improving device structures and their operational efficiency are provided.