

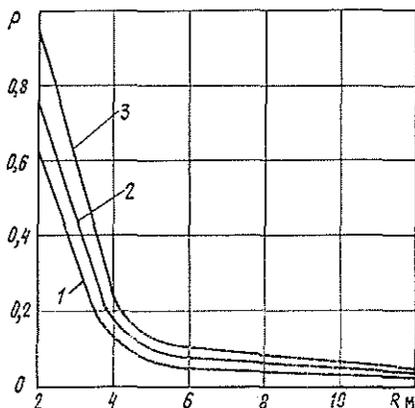
Рис. 2.

1 —  $\lambda = 0,045$ ; 2 —  $0,055$ ;  
3 —  $0,065$  шт./м<sup>2</sup>.

При выводе уравнения (5) принято, что деревья на лесосеке растут в случайных точках и подчиняются распределению Пуассона [1].

На рис. 2 приведены зависимости  $P(R)$  при следующих исходных данных: плотность насаждений  $\lambda = 0,045—0,065$  шт./м<sup>2</sup>, вылет манипулятора  $R = 2—12$  м, математическое ожидание диаметра срезаемого дерева  $d = 0,2—0,7$  м, угловая скорость вращения манипулятора  $\omega = 0,67$  1/с.

Графики на рис. 2 показывают, что при вылете манипулятора более 4 м вероятность захвата дерева резко снижается.



#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории вероятности.— М.: Радио и связь, 1983.— 416 с. [2]. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания.— М.: Наука, 1966.— 431 с.

Поступила 18 октября 1983 г.

УДК 630\*378.34

### О СВОБОДНОМ ТОРМОЖЕНИИ ПЛОТА В РЕЧНОМ ПОТОКЕ

Л. В. МЕЛЬНИКОВ, К. А. ЧЕКАЛКИН

Архангельский лесотехнический институт

Свободным называется торможение плота в речном потоке при остановке в пункте прибытия, вызванное только сопротивлением воды движению плота без приложения каких-либо внешних тормозных сил. Оно имеет место тогда, когда на подходе к пункту остановки теплоход-буксировщик прекращает тягу, чтобы вместе со вспомогательными теплоходами нацелить плот возможно ближе к месту остановки. Только после того, как операция по обеспечению подобного нацеливания плота выполнена, можно прикладывать активные средства торможения. При свободном торможении скорость плота уменьшается по сравнению со скоростью относительного движения плота при наличии тяги, но остается больше средней скорости в транспортирующем слое речного потока.

Для того чтобы определить технические скорости плота, с которых начинается его активное торможение, нужно знать закономерности движения при свободном торможении. Это особенно важно при конструировании лебедочных агрегатов для остановки плотов без применения донных средств торможения [1], когда надлежит определить с достаточной точностью троемкость барабана лебедки.

Цель настоящей работы — вывод закономерностей в движении плота, свойственных стадии его свободного торможения.

Уравнение движения плота при свободном торможении имеет вид

$$M(1+n) \frac{dv}{dt} = -rv^2 + R_i + R_v, \quad (1)$$

где  $M$  — масса плота;  
 $n$  — коэффициент совокупного влияния присоединенных масс и нестационарности процесса движения;  
 $v$  — относительная скорость движения плота в речном потоке;  
 $r$  — приведенное сопротивление воды движению плота;  
 $R_i$  — сила влечения плота от уклона;  
 $R_v$  — сила влечения плота ветром, направление которого совпадает с направлением течения.

На стадии свободного торможения плота, как известно [3], присоединенная масса есть величина постоянная, зависящая от соотношения ширины плота и его подводного объема, поэтому обозначим:

$$M_d = M(1+n) \quad (2)$$

и назовем эту величину действующей массой плота.

Обозначим далее сумму постоянных  $R_i$  и  $R_v$  через  $P_c$  и получим

$$M_d \frac{dv}{dt} = P_c - rv^2. \quad (3)$$

Уравнение (3) после разделения переменных решается, согласно [2], с помощью табличного интеграла вида:

$$\int \frac{dx}{a^2 - b^2 x^2} = \frac{1}{ab} \operatorname{arcth} \frac{bx}{a} \quad (4)$$

при условии  $b^2 x^2 > a^2$ , которое в нашем конкретном случае принимает вид  $rv^2 > P_c$ .

При свободном торможении в его начале это условие соблюдается. Значит,

$$t = \frac{M_d}{\sqrt{rP_c}} \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{r}{P_c}} v + C_1. \quad (5)$$

При  $t = 0$   $v = v_0$ , т. е. относительная скорость движения плота в речном потоке равна скорости обгона плотом потока под действием тяги буксировщика.

Эта скорость, без учета сопротивления воды движению буксировщика, как известно, может быть вычислена по формуле:

$$v_0 = \sqrt{\frac{F_0 + R_i}{r}}, \quad (6)$$

где  $F_0$  — сила тяги буксировщика.

С учетом начальных условий получим постоянную интегрирования

$$C_1 = -\frac{M_d}{\sqrt{rP_c}} \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{r}{P_c}} v_0$$

и, следовательно,

$$t = \frac{M_d}{\sqrt{rP_c}} \left( \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{r}{P_c}} v - \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{r}{P_c}} v_0 \right). \quad (7)$$

Для каждого конкретного случая вычитаемое в скобках может быть принято величиной постоянной. Обозначив его через  $K_c$ , найдем:

$$t = \frac{M_{\text{д}}}{\sqrt{rP_c}} \left( \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{r}{P_c}} v - K_c \right). \quad (8)$$

Решая это выражение относительно  $v$ , получаем закон изменения относительной скорости плота в функции от времени при свободном торможении:

$$v = \sqrt{\frac{P_c}{r}} \operatorname{cth} \left( \frac{\sqrt{rP_c}}{M_{\text{д}}} t + K_c \right). \quad (9)$$

Техническая (абсолютная) скорость плота (скорость относительно берега) в этом случае состоит из суммы относительной скорости и скорости течения  $v_p$ .

Путь, проходимый плотом при свободном торможении, очевидно, можно получить решением интеграла:

$$S = \int v dt.$$

Подставив сюда выражение (9), найдем:

$$S = \sqrt{\frac{P_c}{r}} \int \operatorname{cth} \left( \frac{\sqrt{rP_c}}{M_{\text{д}}} t + K_c \right) dt, \quad (10)$$

отсюда

$$S = \frac{M_{\text{д}}}{r} \ln \left| \operatorname{sh} \left( \frac{\sqrt{rP_c}}{M_{\text{д}}} t + K_c \right) \right| + C_2. \quad (11)$$

При  $t = 0$   $S = 0$ , тогда

$$C_2 = - \frac{M_{\text{д}}}{r} \ln \operatorname{sh} K_c.$$

С учетом этого

$$S = \frac{M_{\text{д}}}{r} \ln \frac{\left| \operatorname{sh} \frac{\sqrt{rP_c}}{M_{\text{д}}} t + K_c \right|}{|\operatorname{sh} K_c|}. \quad (12)$$

Это выражение является зависимостью пути, пройденного плотом при свободном торможении относительно воды, в функции от времени. Путь, пройденный плотом за то же время относительно берега, очевидно, определится как:

$$S_6 = v_p t + \frac{M_{\text{д}}}{r} \ln \frac{\left| \operatorname{sh} \frac{\sqrt{rP_c}}{M_{\text{д}}} t + K_c \right|}{|\operatorname{sh} K_c|}. \quad (13)$$

По указанным зависимостям выполнены расчеты на ЭВМ «Наири-3-1» для плота Северодвинского типа габаритами  $415 \times 80 \times 1,6$  м и объемом  $23\,800$  м<sup>3</sup> при буксировке его буксирщиком с силой тяги на гаке  $F_0 = 62,8$  кН. Расчеты выполнены для скорости течения  $v_p = 1,5$  м/с и приведенного сопротивления  $r = 164,5$  кН · с/м<sup>2</sup> при значении силы влечения плота от уклона  $R_i = 13,1$  кН и значениях совместной силы влечения плота от уклона и ветра  $P_c = 13,1; 22,9$  и  $32,7$  кН. Действующая масса плота

$$M_{\text{д}} = 34,2 \cdot 10^6 \text{ кг}.$$

Скорость буксировки плота к началу свободного торможения превышала скорость течения на  $0,68$  м/с.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Из изложенного очевидно, что при расчете агрегатов для остановки плотов пренебрегать первой стадией активного торможения плота, как

Время свободного торможения, с	Скорость движения плота $v$ , м/с, при $P_c$ кН			Тормозной путь $S_0$ , м, при $P_c$ кН		
	13,1	22,9	32,7	13,1	22,9	32,7
10	0,662	0,664	0,666	21,55	21,58	22,18
20	0,647	0,649	0,656	42,34	43,12	43,40
40	0,615	0,623	0,636	85,73	86,48	86,65
80	0,564	0,582	0,600	169,34	170,10	170,13
160	0,489	0,520	0,55	331,21	333,30	337,30
320	0,401	0,450	0,496	640,96	651,50	659,80
640	0,327	0,396	0,458	1235,30	1265,00	1291,20
1280	0,290	0,375	0,446	2165,00	2469,40	2538,70

это сделано, например, в работе [4], совершенно недопустимо. Даже при очень продолжительном времени торможения плота его техническая скорость превышает скорость течения в речном потоке. Для выравнивания этих скоростей непременно потребуется и какое-то время, и какая-то протяженность тормозного пути.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. с. 523849 (СССР). Устройство для остановки плотов/ К. А. Чекалкин.— Оpubл. в Б. И., 1976, № 29 [2]. Д в а й т Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы.— М.: Наука, 1966.— 228 с. [3]. М и т р о ф а н о в А. А., Ч е к а л к и н К. А. Результаты исследования на моделях неустановившегося поступательного движения плотов.— Науч. тр./ АЛТИ, 1972, вып. 33. Исследование по механизации лесоразработок и транспорта леса, с. 58—66. [4]. Щ е р б а к о в В. А. Лесосплавные рейды.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 248 с.

Поступила 28 мая 1984 г.