

опыта был обнаружен вымыв грунта вокруг топляков. Как показал анализ эксперимента, это разрушение произошло вследствие суффозии из-за наличия топляков, так как другие причины разрушения были в опыте исключены.

Анализ результатов опытов показывает, что содержание топляков в грунте основания может влиять на картину фильтрации под гибким флютбетом в зависимости от их места положения и концентрации в грунте:

1) при расположении топляков в небольшом количестве на глубине большей, чем  $0,4 H$ , они не оказывают существенного влияния на параметры фильтрации и могут не учитываться при гидротехническом расчете флютбета;

2) при наличии небольшого количества топляков в слое грунта на глубине менее  $0,3 H$  они могут оказывать влияние на параметры фильтрационного потока, что должно учитываться в гидротехническом расчете;

3) при большой насыщенности русла топляками следует избегать установки плотины в этих местах или очищать русло от топляков в слое глубиной до  $0,3 H$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. Красник М.Г., Герман Р.И., Санкович Е.С. Методика гидротехнического расчета гибких устоев плотин запанного типа. — В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, вып. 8. Минск, 1978.

УДК 630\*.378.7

О.С.Бурмейстер

#### О БОРТОВОЙ КАЧКЕ СПЛОТЧНОЙ МАШИНЫ БТИ-2В

Место установки сплоточной машины БТИ-2В на сплавном рейде определяется принятой транспортно-технологической схемой работы рейда. Место работы машины выбирается с таким расчетом, чтобы от сортировочной сетки до машины располагался подводящий коридор, обеспечивающий бесперебойную подачу древесины для проведения сплотки.

Наибольшим колебаниям машина подвергается, как показала ее эксплуатация, когда понтоны расположены лагом к набегающим волнам, образованным от проходящих рядом судов. Колебания машины в значительной мере влияют на ее работоспособность и на возможность работы обслуживающего персонала.

В связи с этим оказалось необходимым рассмотреть вопросы исследования бортовой качки машины на нерегулярном волнении. Этот вопрос имеет также весьма важное значение при ее транспортировке.

Для исследования принята линейная теория качки судов на нерегулярном волнении. Это объясняется тем, что машина используется на реках с малыми глубинами и что отклонение ее от положения равновесия по опытным данным не превышает пяти градусов.

Дифференциальное уравнение бортовой качки судна, не имеющего хода и расположенного лагом к набегающим волнам на нерегулярном волнении [1], представляем в виде

$$\begin{aligned} \dot{I}_x (1 + \lambda_\theta^-) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + N_\theta \frac{d\theta}{dt} + Dh_o \theta = \\ = Dh_o \chi_k \chi_h \frac{\sigma^2 r}{g} \sin(\sigma t + \epsilon_m), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\dot{I}_x$  - момент инерции массы судна относительно центральной продольной оси;  $\lambda_\theta^- = \frac{\lambda_\theta}{\dot{I}_x}$  - безразмерное значение при-

соединенного момента инерции воды (в долях  $\dot{I}_x$ );  $\lambda_\theta$  (в дальнейшем будем обозначать  $\lambda_{44}$ ) - присоединенный момент инерции воды;  $\theta$  - угол крена;  $N_\theta$  - коэффициент пропорциональности в выражении момента демпфирующих сил;  $D$  - весовое водоизмещение судна;  $h_o$  - начальная поперечная метацентрическая высота;  $\chi_k$  - коэффициент, учитывающий влияние конечных значений ширины и осадки судна на распределение гидродинамических давлений в взволнованной жидкости около его корпуса;  $\chi_h$  - коэффициент, учитывающий влияние характеристик нагрузки и остойчивости судна;  $\sigma$  - частота волн;  $r$  - амплитуда волн;  $t$  - время;  $\epsilon_m$  - сдвиг фазы возмущающего момента относительно волн, набегающих на борт судна и имеющих синусоидальный профиль с амплитудой  $r = \frac{1}{2} h$ ;  $h$  - высота волн.

Величину поперечного момента инерции  $\dot{I}_x$  определим [2] по выражению

$$\dot{I}_x = \sum \frac{P_i}{g} \left[ Y_i^2 + (Z_i - Z_g)^2 \right] + \frac{1}{g} \sum i_x, \quad (2)$$

где  $P_i$  - вес  $i$ -й статьи нагрузки;  $Y_i, Z_i$  - координаты их центра тяжести относительно диаметральной и основной плоскости машины;  $Z_g$  - возвышение центра тяжести машины над основной плоскостью;  $I_x$  - собственный центральный момент инерции веса  $i$ -й статьи нагрузки относительно оси, па-

раллельной  $X, I_x = P_i \frac{Z_i^2 + Y_i^2}{12}$  при весе  $i$ -й статьи на-

грузки, равномерно распределенном по площади ее проекции со сторонами  $Z$  и  $Y$ .

Веса  $i$ -х статей грузов (устройств машины) определяем по рабочим чертежам. Также определяем центры тяжести ( $X_i, Y_i$  и  $Z_i$  отдельных весовых элементов  $P_i$ ). Тогда координаты  $X_g, Y_g$  и  $Z_g$  вычисляем по формулам

$$X_g = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i}; \quad Y_g = \frac{\sum P_i Y_i}{\sum P_i}; \quad Z_g = \frac{\sum P_i Z_i}{\sum P_i}. \quad (3)$$

Расчет координат центра тяжести машины проведен для расстояния между понтонами 4,5 м. В результате расчета получены следующие значения координат, приведенные на рис. 1,2:  $X_g = 4,10$  м,  $Y_g = 8,36$  м,  $Z_g = 0,62$  м. Момент инерции массы машины  $I_x = 65,321$  тмс<sup>2</sup>.

При определении  $I_x$  по формуле Дуайера нами получена значительно меньшая величина ввиду того, что формула применима для судов, а в нашем случае машина катамаранного типа. Поэтому при дальнейших расчетах принято значение  $I_x$  по [2].

Весовое водоизмещение машины определяем по зависимости

$$D = \gamma V, \quad (4)$$

где  $\gamma$  - объемный вес воды;  $V$  - объемное водоизмещение;  $D = 31,2$  т.

Начальная поперечная метацентрическая высота вычисляется по формуле

$$h_o = r_k - (Z_g - Z_c), \quad (5)$$

где  $r_k$  - метацентрический радиус машины (катамаран);  $Z_c$  - ордината центра величины (для прямоугольного понтона  $Z_c = \frac{T}{2}$ ).

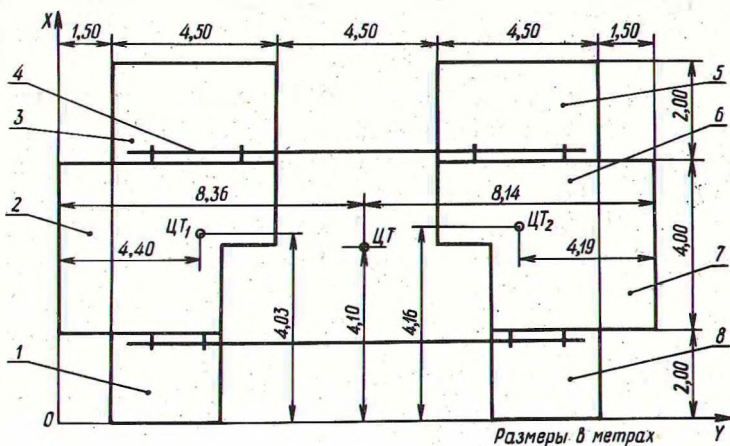


Рис. 1. Центр тяжести машины БТИ-2В: 1 – дополнительный понтон; 2 – основной понтон с двигателем; 3 – дополнительный понтон; 4 – стяжная труба; 5 – дополнительный понтон; 6 – основной понтон со станком намотки проволоки; 7 – вынос для балластного груза; 8 – дополнительный понтон.

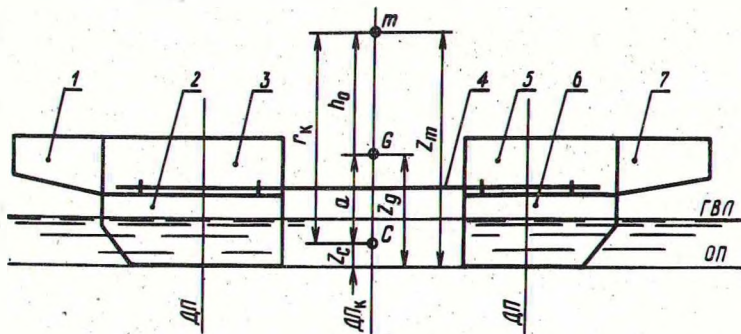


Рис. 2. Начальное положение равновесия машины: 1 – вынос для балластного груза; 2 – дополнительный понтон; 3 – основной понтон с двигателем; 4 – стяжная труба; 5 – основной понтон со станком намотки проволоки; 6 – дополнительный понтон; 7 – вынос для балластного груза; ДП<sub>к</sub> – диаметральной плоскости машины; ГВЛ – грузовая ватерлиния; ОП – основная плоскость.



Поперечная остойчивость машины значительно отличается от суммарной остойчивости двух корпусов. Это связано с моментом инерции машины относительно продольной оси в ДП, который определяется по формуле

$$I_x^K = I_K + \Delta I_K, \quad (6)$$

где  $I_x^K$  - момент инерции машины в целом;  $I_K$  - собственный момент инерции двух корпусов равен  $2I_{x,K}$ ;  $I_{x,K}$  - собственный момент инерции площади ватерлинии каждого корпуса;  $\Delta I_K$  - переносный момент инерции равен  $F_K Y_{ДП}^2$ ;  $F_K = 2 F_K$  - площадь действующей ватерлинии машины, равная суммарной площади двух корпусов;  $Y_{ДП}$  - расстояние ДП корпусов от ДП машины,  $I_x^K = 1172,92 \text{ м}^4_{ДП}$ .

Зная  $I_x^K$  и объемное водоизмещение машины, определяем величину метацентрического радиуса

$$r_K = \frac{I_x^K}{V} = 37,59 \text{ м.} \quad (7)$$

В начальном положении равновесия (рис. 2) метацентрический радиус дает возвышение метацентра  $m$  над центром величины  $c$ . Следовательно, ордината метацентра  $Z_m$  будет определяться в виде суммы двух величин

$$Z_m = r_K + Z_c, \quad (8)$$

где  $Z_c$  - ордината центра величины относительно основной плоскости равна 0,25 м. Таким образом по зависимости (5) получаем, что  $h_0$  равно 37,22 м.

Произведенный расчет подтвердил, что сплочная машина БТИ-2В обладает положительной остойчивостью, так как восстанавливающий момент  $M_\theta \approx Dh_0 \theta$  действует в противоположную сторону кренящего момента, метацентрическая высота гораздо больше нуля и метацентр расположен выше центра тяжести машины.

Присоединенный момент инерции воды  $\lambda_{44}$  при бортовой качке определим по рекомендации [2]

$$\lambda_{44} = I_x \frac{1 - \bar{I}_x}{I_x}, \quad (9)$$

где  $\bar{I}_x$  - безразмерная величина, берется в зависимости от

отношения  $\frac{r_x}{r_s}$ ;  $r_x$  - радиус инерции массы машины;  $r_s$  - среднее плечо смоченной поверхности.

Значение  $\lambda_{44}$  равно  $51,6 \text{ тмс}^2$ .

По формуле Л.И.Седова значение присоединенного момента инерции воды равно

$$\lambda_{44} = \frac{\pi \rho}{16} (B + d)^2 B^2, \quad (10)$$

где  $\rho$  - плотность воды;  $B$  - ширина судна;  $d$  - клиренс.

Эта формула справедлива для двух плоских пластинок, расположенных вдоль одной прямой. Нами получено значение  $\lambda_{44} = 32,8 \text{ тмс}^2$ . Используя формулу Г.Е.Павленко [3],

$$\lambda_{44} = \frac{\mu_1}{38,2} \frac{\delta}{g} LBT(B^2 + 4T^2). \quad (11)$$

Величина  $\lambda_{44}$  равна  $36,08 \text{ тмс}^2$ .

Принимаем наименьшее полученное значение  $\lambda_{44}$ , равное  $32,8 \text{ тмс}^2$ . Следует отметить что его более достоверное значение для сплочной машины БТИ-2В можно получить путем проведения опытов и дальнейших исследований.

Для определения коэффициента пропорциональности в выражении коэффициента демпфирующих сил  $N_\theta$  воспользуемся предложением Г.Е.Павленко

$$2N_\theta = 2\mu \sqrt{Dh_0(1 + K_2)I_x}. \quad (12)$$

Произведя соответствующие вычисления, получаем величину  $N_\theta = 16,87 \text{ тмс}$ .

В итоге дальнейших расчетов была получена частота собственных колебаний машины  $\omega_\theta = 3,44 \text{ с}^{-1}$ . Это позволяет получить статистические характеристики бортовой качки машины БТИ-2В, расположенной лагом к нерегулярным волнам. По этим данным была получена полная картина качки машины [4], сопоставимая с данными натурных опытов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Анфимов В.Н. Расчет амплитуд бортовой качки судов внутреннего плавания на нерегулярном волнении. - Труды Ленинградского института водного транспорта, вып. 148. Л., 1974. 2. Басин А.М. Качка судов. М., 1969. 3. Лесюков

В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. М., 1967. 4. Бурмейстер О.С. Исследование бортовой качки сплочной машины БТИ-2В на нерегулярном волнении. См. настоящий сборник.

УДК 630\*.378.7

О.С.Бурмейстер

## ИССЛЕДОВАНИЕ БОРТОВОЙ КАЧКИ СПЛОЧНОЙ МАШИНЫ БТИ-2В НА НЕРЕГУЛЯРНОМ ВОЛНЕНИИ

В расчетах качки на нерегулярном волнении обычно принимается, что качающееся судно на волнах является динамической системой, на вход которой подается случайный процесс изменения во времени волновых ординат, а параметры качки могут рассматриваться как выходные случайные процессы. Расчет вероятностных характеристик качки по заданным вероятностным характеристикам выполняется на основании формулы А.Я.Хинчина

$$S_{\theta}(\sigma) = [\Phi_{\theta}(\sigma)]^2 S_{\xi}(\sigma), \quad (1)$$

где  $S_{\xi}(\sigma)$  - спектральная плотность входного процесса (волнения);  $\Phi_{\theta}(\sigma)$  - модуль передаточной функции;  $S_{\theta}(\sigma)$  - спектральная плотность выходного процесса (качки).

Суммарная энергия волнения заданной интенсивности [1], которая обычно отождествляется с высотой волн  $h$  (3%), имеющей обеспеченность 3%, определяется интегралом

$$D_{\xi} = \int_0^{\infty} S_{\xi}(\sigma) d\sigma. \quad (2)$$

Приближенно  $D_{\xi}$  можно определить [2] по выражению

$$D_{\xi} = 0,143 \left( \frac{h_{3\%}}{2} \right)^2. \quad (3)$$

Для получения статистических характеристик бортовой качки машины на нерегулярном волнении, которая расположена лагом к набегающим волнам, используем дифференциальное уравнение бортовой качки судна, не имеющего хода [3]. Решая уравнение, определяем модуль передаточной функции  $\Phi_{\theta}(\sigma)$ . В