

Рис. 5. Кривая обеспеченности дат наступления ранних межених уровней.

Однако циклы стояния низких горизонтов сочетаются с циклами стояния высоких горизонтов, продолжительность которых четыре года. В результате плотину после демонтажа необходимо будет хранить четыре года. Это потребует замены брезентовых элементов плотины. В связи с этим за расчетный срок эксплуатации плотины при определении ее экономической эффективности можно принять два-три года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисовец Ю.П. Гибкие лесосплавные плотины. — М.: Лесная промышленность, 1979. — 110 с.
2. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 422 с.

УДК 630*378.2

О.С. БУРМЕЙСТЕР, канд. техн. наук (БТИ)

ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МОМЕНТЫ ИНЕРЦИИ МАСС ВОДЫ СПЛОТЧНЫХ МАШИН КАТАМАРАННОГО ТИПА

На выполнение технологических операций по сплотке лесоматериалов машинами катамаранного типа (БТИ-2В и ЛР-124) существенное влияние оказывают волновые явления, образованные проходящими судами возле работающих машин.

Для расчетов характеристик поведения машин на волнении необходимо иметь возможность учета присоединенных моментов инерции масс воды при качке.

Для судов имеются формулы, позволяющие определять присоединенные моменты инерции масс воды. Однако применение их к машинам катамаранного типа не оправдано из-за большой разбежки результатов при теоретическом и опытным определении.

Из опыта находится период колебания судна, а затем можно найти λ_{44} :

$$\tau_{\theta} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{xx} + \lambda_{44}}{D\dot{\theta}_0}} \quad (1)$$

где τ_{θ} — период колебания судна, с; I_{xx} — момент инерции массы судна, относительно продольной оси, тмс²; D — весовое водоизмещение судна, т.; h_o — метацентрическая высота, м; λ_{44} — присоединенный момент инерции массы воды, тмс².

Такой метод был принят нами и для машины типа БТИ. По сравнению с судами сплочные машины БТИ-2В и ЛР-124 имеют большую метацентрическую высоту $h_o = 25,73 - 56,07$ м и $h_o = 19,96 - 50,55$ м соответственно в зависимости от расстояния (клиренса) между понтонами. При эксплуатации машин на волнении, образованном проходящими судами или ветром, установлено, что машины подвержены незначительным наклонениям. Угол крена для БТИ-2В колеблется от 2,5 до 10°, для ЛР-124 — от 2,0 до 6,1°, т.е. справедливо применение метацентрической формулы остойчивости, для которой необходимо знать только значения D , h_o , I_{xx} и λ_{44} .

Изучение периодов колебаний осуществлялось на действующих моделях сплочных машин, изготовленных в масштабе 1:10 натурной величины. При определении периодов качки моделей сплочных машин БТИ-2В и ЛР-124 на воздухе, где отсутствуют присоединенные массы воды, было установлено, что при подстановке в формулу (1) значения момента инерции массы I_{xx} относительно продольной центральной оси без присоединенного момента инерции массы воды λ_{44} период качки значительно отличается от периода, определенного опытным путем. При определении же периода бортовой качки одного понтона по этой формуле и опытным путем периоды совпадали. На применимость формулы влияет значение величины метацентрической высоты. В связи с этим в дальнейших опытах для определения периода колебаний использовалась формула физического маятника

$$\tau_{\theta} = 2\pi \sqrt{\frac{I_o}{Pa}} \quad (2)$$

где I_o — момент инерции маятника относительно оси подвеса, тмс²; P — вес маятника, т; a — расстояние от центра масс до оси подвеса, м.

С учетом формулы (2) формула (1) запишется так:

$$\tau_{\theta} = 2\pi \sqrt{\frac{I_m + \lambda_{44}}{Dh_o}} \quad (3)$$

где I_m — поперечный момент инерции массы машины относительно оси, проходящей через метацентр (оси подвеса модели), тмс².

Поперечный момент инерции массы машин определяется по зависимости

$$I_m = I_{xx} + ml^2 \quad (4)$$

где m — масса тела, тс²/м; l — расстояние между осями, м.

Применительно к машинам формула (4) переписывается так:

$$I_m = I_{xx} + \frac{D}{g} h_o$$

Таким образом для определения периодов бортовой качки моделей машин на воде следует пользоваться формулой (3).

Для определения периода бортовой качки машин на воздухе используется формула

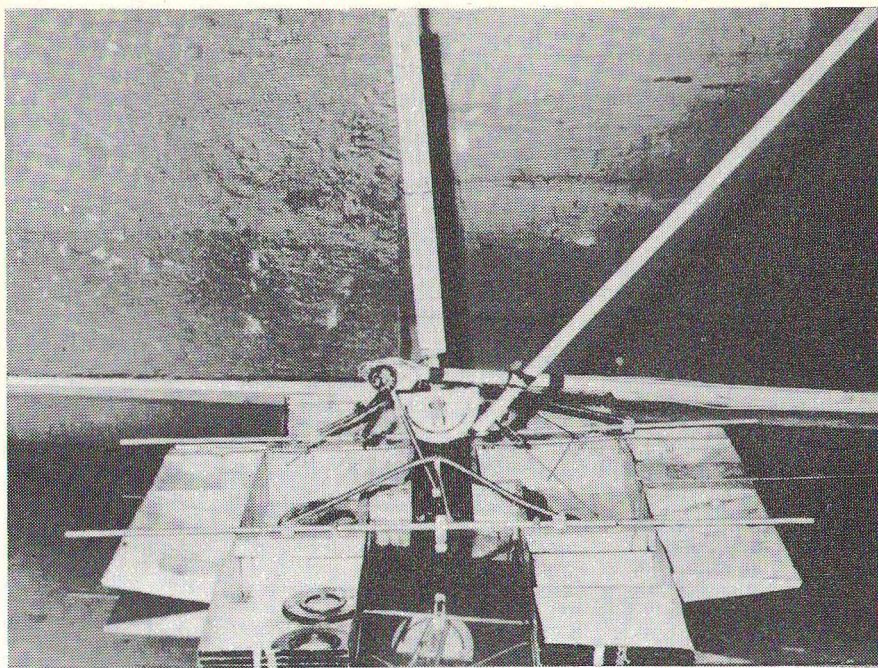


Рис. 1. Модель машины ЛР-124 в опытном бассейне.

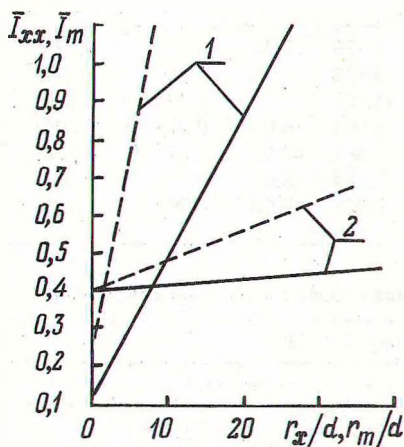


Рис. 2. График связи между безразмерными величинами моментов инерции масс и отношения радиусов инерции моделей машин к клиренсу:
1 — модель плоточной машины ЛР-124;
2 — модель плоточной машины БТИ-2В;
штриховые линии для I_{xx} относительно Ц.Т.; сплошные — для I_m относительно метacentра.

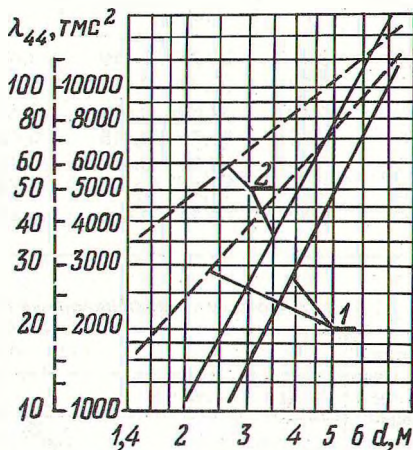


Рис. 3. Зависимость присоединенных моментов инерции масс воды плоточных машин от клиренса:
1 — для плоточной машины ЛР-124;
2 — для плоточной машины БТИ-2В;
штриховые линии — для I_{xx} относительно Ц.Т.; сплошные — для I_m относительно метacentра.

$$\tau_{\theta}^{\prime} = 2\pi \sqrt{\frac{I_m}{Dh_0}} \quad (5)$$

Отношение периодов позволяет получить расчетную формулу для определения присоединенного момента инерции массы воды λ_{44} :

$$\frac{\tau_{\theta}^2}{\tau_{\theta}^{\prime 2}} = \frac{I_m + \lambda_{44}}{I_m} = 1 + \frac{\lambda_{44}}{I_m} \quad (6)$$

Из зависимости (6) следует, что

$$\lambda_{44} = \left[\left(\frac{\tau_{\theta}}{\tau_{\theta}^{\prime}} \right)^2 - 1 \right] I_m \quad (7)$$

Значения периодов качки моделей машин получены опытным путем в лабораторных условиях в результате обработки осциллограмм по бортовому кренованию моделей БТИ-2В и ЛР-124 на воздухе и на воде. Модель машины ЛР-124 на воде в выведенном положении равновесия с колебаниями у метacentра показана на рис. 1.

Т а б л и ц а 1. Значения радиусов инерции масс и безразмерных величин моментов инерции масс машин БТИ-2В и ЛР-124.

Расстояние между понтонами d, м	Вид качки — бортовая							
	Машина БТИ-2В				Машина ЛР-124			
	r_x	r_m	\bar{i}_{xx}	\bar{i}_m	r_x	r_m	\bar{i}_{xx}	\bar{i}_m
3,0	3,986	26,04	0,419	0,418	3,499	20,26	0,407	0,375
4,0	4,394	33,38	0,417	0,420	3,923	27,53	0,389	0,379
4,5	4,607	37,50	0,416	0,423	4,155	31,60	0,383	0,385
5,0	4,824	41,75	0,415	0,425	4,361	35,96	0,378	0,390
5,5	5,042	46,35	0,414	0,427	4,587	40,62	0,374	0,398
6,0	5,264	51,21	0,413	0,430	4,814	45,56	0,371	0,405
6,5	5,489	56,34	0,412	0,432	5,058	50,80	0,369	0,415

Т а б л и ц а 2. Значения присоединенных моментов инерции масс воды и моментов

Расстояние между понтонами d, м	Машина БТИ-2В			
	у Ц.Т. машины		у метacentра	
	$\lambda_{44}, \text{ тмс}^2$	$i_{xx}, \text{ тмс}^2$	$\lambda_{44}, \text{ тмс}^2$	$i_m, \text{ тмс}^2$
3,0	70,1	50,5	3002,0	2156,1
4,0	85,8	61,4	4893,8	3543,8
4,5	94,7	67,5	6102,0	4473,4
5,0	104,0	74,0	7500,3	5543,7
5,5	113,8	80,9	9170,7	6834,0
6,0	124,2	88,1	11056,5	8340,9
6,5	135,2	95,8	13272,5	10094,6

Полученные значения присоединенных моментов инерции масс воды моделей необходимо использовать для натуры. Решение этого вопроса может быть осуществлено двумя методами, т.е. по формулам моделирования и путем установления графика связи между характеристиками модели и натуры, представленного в безразмерных координатах. Для построения графика определим безразмерные величины моментов инерции массы моделей машин I_{xx}^- , I_m^- и отношения радиусов инерции масс к клиренсу $\frac{r_x}{d}$, $\frac{r_m}{d}$. Эти величины определяются по зависимостям

$$I_{xx}^- = \frac{I_{xx}}{I_{xx} + \lambda_{44}} \quad \text{и} \quad I_m^- = \frac{I_m}{I_m + \lambda_{44}}; \quad (8)$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{xx} g}{D}} \quad \text{и} \quad r_m = \sqrt{\frac{I_m g}{D}}. \quad (9)$$

По полученным данным формул (8), (9) построены графики $I_{xx}^- = f\left(\frac{r_x}{d}\right)$ и $I_m^- = f\left(\frac{r_m}{d}\right)$ для моделей машин, приведенные на рис. 2.

Значения безразмерных величин моментов инерции масс моделей машин можно определить по полученным эмпирическим формулам.

Модель сплочной машины ЛР-124

$$I_{xx}^- = 0,099 \frac{r_x}{d} + 0,292 \quad \text{и} \quad I_m^- = 0,038 \frac{r_m}{d} + 0,115. \quad (10)$$

Модель сплочной машины БТИ-2В

$$I_{xx}^- = 0,008 \frac{r_x}{d} + 0,408 \quad \text{и} \quad I_m^- = 0,002 \frac{r_m}{d} + 0,404. \quad (11)$$

Используя график (рис.2), определяем λ_{44} для натуральных образцов машин по зависимостям

инерции масс машин

Машина ЛР-124			
у Ц.Т. машины		у метацентра	
$\lambda_{44}, \text{ тмс}^2$	$I_{xx}, \text{ тмс}^2$	$\lambda_{44}, \text{ тмс}^2$	$I_m, \text{ тмс}^2$
42,5	29,2	1632,5	979,5
57,7	36,7	2962,4	1808,0
66,3	41,2	3805,8	2382,5
74,7	45,4	4825,9	3085,4
83,9	50,2	5953,0	3935,7
93,7	55,3	7275,6	4952,3
104,3	61,0	8678,0	6156,2

$$\lambda_{44} = I_{xx} \frac{1 - I_{xx}^-}{I_{xx}} \text{ и } \lambda_{44} = I_m \frac{1 - I_m^-}{I_m}, \quad (12)$$

где I_{xx}^- , I_m^- находятся из графика по значениям $\frac{r_x}{d}$ и $\frac{r_m}{d}$ для натуральных машин.

В табл. 1 и 2 приводим значения r_x , r_m , I_{xx}^- , I_m^- и λ_{44} для машин.

Из анализа величин табл. 2 приходим к выводу, что присоединенные моменты инерции массы воды сплочных машин БТИ-2В и ЛР-124 составляют 130–170% от значений моментов инерции массы их и зависят от клиренса, тогда как для судов это отношение составляет 20–25%.

По значениям данных величин λ_{44} и d получены эмпирические уравнения. Общий вид уравнения будет

$$\lambda_{44} = a \cdot d^n \text{ или } \lg \lambda_{44} = \lg a + n \lg d. \quad (13)$$

Определив значения a и n , получим эмпирические зависимости.

Машина ЛР-124

для центра тяжести машины

$$\lambda_{44} = 11,28 d^{1,18}; \quad (14)$$

для метacentра машины

$$\lambda_{44} = 142,70 d^{2,19}. \quad (15)$$

Машина БТИ-2В

для центра тяжести машины

$$\lambda_{44} = 25,25 d^{0,89}; \quad (16)$$

для метacentра машины

$$\lambda_{44} = 316,50 d^{1,98}. \quad (17)$$

где d — клиренс (расстояние между плавучими основаниями), м; λ_{44} — присоединенный момент инерции массы воды, тмс².

Зависимость присоединенных моментов инерции масс воды от клиренса представлена на рис. 3.

Полученные значения λ_{44} позволяют вычислить периоды бортовой качки и частоту колебаний машин, что в свою очередь дает возможность найти необходимые характеристики качки при пренебрежении демпфирующими силами. Характеристики качки позволят судить о возможности работы сплочных машин на волнении и выполнения технологических операций по сплочке лесоматериалов хвойных и лиственных пород.