

лексных испытаний по установлению прочностных, деформационных, влагопроводных характеристик, а также на определении стоимости и трудоемкости строительства дорог. Такой подход к классификации позволяет более углубленно и всесторонне изучить свойства материалов. Методика классификации текстильных материалов, предложенная финскими учеными, основана на сумме баллов, полученных при оценке различных характеристик материала [4]. Данная классификация рекомендуется только для материалов, применяемых в качестве разделяющих слоев. Характеристики материалов группируются следующим образом: масса единицы и толщина материала; прочность и растяжение; сопротивление протягиванию конуса через материал, пенетрация и пропускная способность воздуха; легкость обращения с материалом. Каждый из показателей прочности, деформативности, пенетрации и т.д. оценивается баллами. В табл. 1 приведены критерии классификации и баллы.

Используя приведенную методику, был испытан материал "гомельский холст" (табл. 2).

Результаты испытаний показывают, что нетканый синтетический материал "гомельский холст" относится к четвертому классу и может использоваться для разделения крупнообломочных дорожно-строительных материалов. Анализ полученных данных показывает, что данный материал имеет весьма высокую массу единицы площади, что влечет к перерасходу исходных продуктов, необходимых для получения НСМ.

Изучение методик классификации НСМ позволяет сделать вывод о целесообразности разработки комплексной методики испытаний НСМ с теоретическим и экспериментальным обоснованием каждого из критериев, характеризующих НСМ, и на ее основе производить классификацию. Работы в данном направлении проводятся на кафедре транспорта леса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лесозаэксплуатация и лесосплав: Экспресс-информация/В НИИПИЭПИ, 1981, № 18. — 27 с. 2. Al f h e i m S.L., S o r l l e A. Testing and classification of fabrics for application in road construction. — C.R. Coll Int. SOIS Tekstiles. Paris, 1977, v. 11, s. 333—338. 3. W i l m e r s W. Untersuchungen zur Verwendung von Geotextilien im Erdbau. — Strasse und Autobahn, 1980, N 2, s. 69—87. 4. R a t h m a y e r H. Vusi suomalaisen "VTT-GEO" kuitukankaiden kayttoluokitus tierakentajille. — Tie ja Liikenne, 1980, N 10, s. 459—465.

УДК 630\*378

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

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОМЕНТОВ ДЕМПФИРУЮЩИХ СИЛ СПЛОТЧНЫХ МАШИН ТИПА БТИ ОТ КЛИРЕНСА

Для получения достоверных данных по статистическим характеристикам бортовой качки сплотночных машин БТИ-2В и ЛР-124 необходимо исследование моментов демпфирующих сил. Оценка демпфирующих сил осуществлялась на действующих моделях машин, выполненных в масштабе 1:10, путем испытаний их в лабораторных условиях при раскачивании на воде в опытном бассейне.

Для выполнения исследований качки на моделях соблюдались законы динамического подобия. т.е. подобия сил давления, сил тяжести и сил инерции модели и природы. Так как качка является нестационарным процессом, то для выполнения динамического подобия соблюдалось равенство законов подобия Струхала и Фруда. Модель опускалась на воду и прикреплялась к рейке, моделирующей метацентрическую высоту. Модель, выведенная из положения равновесия, колебалась совместно с рейкой, свободно поворачивающейся в подшипнике. При колебании один понтон опускался в воду, а второй — приподнимался. Отклонения осуществлялись на угол, не превышающий  $5^\circ$ , из-за большой метацентрической высоты.

Кренование проводилось на тихой воде при клиренсе, равном 50, 100, 150 и 200 мм для модели машины БТИ-2В и 50, 100, 150, 200, 250 и 300 мм для модели машины ЛР-124.

Дальнейшее увеличение клиренса было невозможно из-за очень большой метацентрической высоты, превышающей четыре места, что затрудняло производить подвешивание модели у метacentра.

При выводе модели из положения равновесия возникал возмущающий момент, который вызывал колебания модели, т.е. имитировал ее вынужденную качку.

Перед началом очередной серии опытов, т.е. при новой раздвижке, модель снова устанавливалась на острие для точной фиксации центра тяжести. Так повторялось для каждой серии опытов.

Экспериментальные данные показывают, что бортовая качка машин на тихой воде не сопровождается заметными вертикальными колебаниями их центров тяжести. В этом случае дифференциальное уравнение бортовой качки машины на тихой воде можно представить в виде [1]

$$I_{xx} \frac{d^2\theta}{dt^2} = M_\lambda + M_\mu + M_s, \quad (1)$$

где  $M_\lambda$  — момент гидродинамических сил инерционной природы относительно продольной центральной оси;  $M_\mu$  — момент демпфирующих сил относительно той же оси;  $M_s$  — восстанавливающий момент.

Для упрощения интегрирования дифференциального уравнения (1) обычно ограничиваются одночленной линейной зависимостью момента демпфирующих сил  $M_\mu$  от скорости  $d\theta/dt$ , т.е. принимают вид

$$M_\mu = -2N_\theta d\theta/dt.$$

При сделанных допущениях дифференциальное уравнение (1) становится линейным, и периодические затухающие колебания машины, которой придан начальный угол крена  $\theta_0$  и сообщена угловая скорость  $(d\theta/dt)_0$ , определяются в любой момент времени  $t$  выражением [2]

$$\theta = e^{-\nu\theta t} \left\{ \theta_0 \cos \omega_\theta t + 1/\bar{\omega}_\theta [\nu_\theta \theta_0 + (d\theta/dt)_0] \sin \bar{\omega}_\theta t \right\},$$

где  $\nu_\theta$  — относительный коэффициент демпфирования, значение которого при бортовой качке равно

$$\nu_\theta = \frac{N_\theta}{I_{xx} + \lambda_{44}}.$$

Здесь  $\bar{\omega}$  — частота качки с учетом демпфирующих сил, принимаемая в виде

$$\bar{\omega}_\theta = \sqrt{\omega_\theta^2 - \nu_\theta^2} = \omega_\theta \sqrt{1 - \mu_\theta^2} \approx \omega_\theta,$$

где  $\omega_\theta$  — частота качки без учета демпфирующих сил,  $\omega_\theta = \sqrt{\frac{Dh_0}{I_{xx} + \lambda_{44}}}$ .

Здесь  $\mu_\theta = \frac{\nu_\theta}{\omega_\theta} = \frac{N_\theta}{\sqrt{(I_{xx} + \lambda_{44}) Dh_0}}$  — безразмерный коэффициент демпфирования.

При линейной зависимости момента демпфирующих сил от угловой скорости при амплитудах бортовой качки, находящихся в пределах применимости метацентрической формулы, безразмерный коэффициент демпфирования  $2\mu_\theta$  получается в виде зависимости [3]:

$$2\mu_\theta = \frac{1}{\pi} \frac{\theta_i^2 - \theta_{i+1}^2}{\theta_i^2 + \theta_{i+1}^2}, \quad (2)$$

где  $\theta_i, \theta_{i+1}$  — значения амплитуды в начале и конце размаха.

Проведя обработку осциллограмм качки моделей сплочных машин БТИ-2В и ЛР-124 на тихой воде, определяем значения амплитуд  $\theta_i$  и  $\theta_{i+1}$ . Результаты обработки представлены табл. 1, в которой приводится только часть опытов (в частности, для расстояния между понтонами — клиренс, равный 50 мм).

По данным табл. 1 и формуле (2) определяем значения безразмерного коэффициента демпфирования  $2\mu_\theta$  и вычисляем безразмерные отношения радиуса инерции массы модели машины к клиренсу  $r_x/d$  и  $r_m/d$ , где  $r_x$ ,

$r_m$  — радиусы инерции массы;  $r_x = \sqrt{g \frac{I_{xx}}{D}}$ ;  $r_m = \sqrt{g \frac{I_m}{D}}$ . Здесь  $g$  — ускоре-

рение силы тяжести;  $I_{xx}$  — момент инерции массы модели машины относительно продольной оси;  $I_m$  — момент инерции массы модели машины относительно оси, проходящей через метацентр (оси подвеса модели);  $d$  — клиренс.

Результаты вычислений приведены в табл. 2, в которой показаны значения  $2\mu_\theta$ ,  $r_x/d$  и  $r_m/d$  только лишь для части опытов — одной раздвижки понтонов — клиренс, равный 50 мм.

По средним значениям  $2\mu_\theta$  и  $r_m/d$  или  $r_x/d$  строим график  $2\mu_\theta = f(r_x/d)$  и  $2\mu_\theta = f(r_m/d)$  (рис. 1).

Эмпирические формулы для приведенных функций следующие:

Модель сплочной машины БТИ-2В

$$2\mu_\theta = 0,040 - 0,0003 r_m/d; \quad (3)$$

$$2\mu_\theta = 0,040 - 0,0015 r_x/d. \quad (4)$$

Таблица 1. Значения амплитуд качки моделей машин

Вид качки — бортовая									
Амплитуда качки — $\theta$									
Модель БТИ-28					Модель ЛР-124				
Номер опыта	на воде				Номер опыта	на воде			
	в начале размаха		в конце размаха			в начале размаха		в конце размаха	
	$\theta_i$ , мм	$\theta_i$ , град	$\theta_{i+1}$ , мм	$\theta_{i+1}$ , град		$\theta_i$ , мм	$\theta_i$ , град	$\theta_{i+1}$ , мм	$\theta_{i+1}$ , град
Расстояние между понтонами, $d = 50$ мм									
126	42,5	3 <sup>0</sup> 52	39,0	3 <sup>0</sup> 00	212	14,0	1 <sup>0</sup> 20	11,0	1 <sup>0</sup> 00
127	42,5	3 <sup>0</sup> 52	39,0	3 <sup>0</sup> 00	213	14,0	1 <sup>0</sup> 20	11,0	1 <sup>0</sup> 00
128	42,5	3 <sup>0</sup> 52	39,0	3 <sup>0</sup> 00	214	14,0	1 <sup>0</sup> 20	11,0	1 <sup>0</sup> 00
129	43,0	5 <sup>0</sup> 24	39,0	4 <sup>0</sup> 00	215	17,5	2 <sup>0</sup> 36	14,0	2 <sup>0</sup> 00
130	43,0	5 <sup>0</sup> 24	39,0	4 <sup>0</sup> 00	216	17,5	2 <sup>0</sup> 36	14,5	2 <sup>0</sup> 02
131	43,0	5 <sup>0</sup> 24	39,0	4 <sup>0</sup> 00	217	17,5	2 <sup>0</sup> 36	13,0	1 <sup>0</sup> 48

Таблица 2. Значения коэффициента демпфирования и отношения радиуса инерции массы к клиренсу

Модель БТИ-2В			Модель ЛР-124		
$2\mu_\theta$	$r_m/d$	$r_x/d$	$2\mu_\theta$	$r_m/d$	$r_x/d$
Расстояние между понтонами, $d = 50$ мм					
0,027	35,69	5,75	0,075	17,37	4,93
0,027	35,69	5,75	0,075	17,37	4,93
0,027	35,69	5,75	0,075	17,37	4,93
0,031	35,69	5,75	0,070	17,37	4,93
0,031	35,69	5,75	0,059	17,37	4,93
0,031	35,69	5,75	0,092	17,37	4,93
0,029			0,074 — средние		

Модель сплочной машины ЛР-124

$$2\mu_\theta = 0,120 - 0,0030 r_m/d; \quad (5)$$

$$2\mu_\theta = 0,105 - 0,0070 r_x/d. \quad (6)$$

Для перехода от безразмерных коэффициентов демпфирования моделей непосредственно к машинам БТИ-2В и ЛР-124 используем рис. 1 или формулы (3) — (6), в которых значения  $r_m/d$  и  $r_x/d$  подставляются для натур.

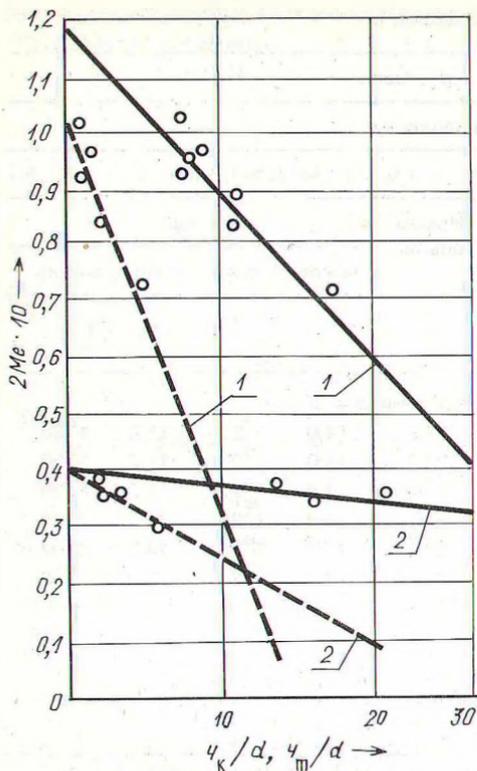


Рис. 1. Связь между безразмерными значениями коэффициентов демпфирования и отношения радиусов инерции к клиренсу моделей машин: 1 — модель сплочной машины ЛР-124; 2 — модель сплочной машины БТИ-2В; штриховые линии — для  $\chi_k/d$ ; сплошные — для  $\chi_m/d$ .

Значение  $2\mu_\theta$  для машины БТИ-2В изменяется в пределах от 0,038 до 0,042. Расчетное значение  $2\mu_\theta$  принимаем для всех раздвижек понтонов равным 0,04. Значение  $2\mu_\theta$  для машины ЛР-124 изменяется в пределах от 0,096 до 0,100. Принимаем  $2\mu_\theta = 0,10$ .

Таким образом, с учетом полученных данных о безразмерных коэффициентах демпфирования можно определить значения дисперсии углов качки, решая уравнение с помощью ЭВМ "Минск-22", и статистические характеристики — среднее значение абсолютного

угла крена, среднюю амплитуду, дисперсию амплитуды и коэффициент изменчивости амплитуды, бортовой качки сплочных машин типа БТИ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б а с и н А.М., А н ф и м о в В.Н. Гидродинамика судна. — Л.: Речной транспорт, 1961. — 684 с.
2. П а в л е н к о Г.Е. Качка судов. — Л.: Гострансиздат, 1935. — 312 с.
3. Б а с и н А.М. Качка судов. — М.: Транспорт, 1969. — 272 с.

УДК 539.434+625.7

А.П.ЛАЩЕНКО, канд. техн. наук (БТИ)

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СЛОИСТОЙ УПРУГОВЯЗКОЙ СИСТЕМЫ

Исследования в области расчета нежестких дорожных одежд, проводимые в нашей стране в последние годы, развиваются в направлении дальнейшего углубления теоретической базы. При этом все большее значение приобретает принятие научно обоснованных, оптимальных решений по различным конст-