

## ПРО МОЖЛИВІСТЬ РУХУ ПО ДНУ ВОДОЙМИЩА КОЛІСНОЇ МАШИНИ З ВОДОТОНАЖНИМ КОРПУСОМ

Бугаєв С.В. (Одеська державна академія будівництва та архітектури м. Одеса)

**Розглянута можливість руху по дну водоймища колісної машини з водотонажним корпусом. Наведено результати розрахунку математичної моделі, яка дозволяє оцінювати можливість руху колісної машини з водотонажним корпусом по дну водоймища.**

**Постановка проблеми.** Останні 10-15 років спостерігається тенденція до значного підвищення частоти прояви повеней та затоплень прибережних зон морів, що веде до значних економічних втрат та у деяких випадках навіть до загибелі людей. Значно знизити руйнівну дію повені та затоплення можливо при своєчасному виконанні необхідних захисних та евакуаційних заходів.

Зони затоплення дуже складні, а в деяких місцях непридатні для руху колісної техніки загального призначення. Це веде до того, що для транспортування необхідних будівельних матеріалів та виконання будівельних робіт в цих районах доводиться використовувати низькопродуктивну ручну працю. Такий підхід веде до недостатньої швидкості будівництва, а це в свою чергу не дає змоги мінімізувати втрати від повені. Підвищення оперативності виконання будівельних робіт може бути забезпечено використанням у зонах підтоплення машин з водотонажним корпусом – машин, що плавають(МП).

Аналіз конструкцій колісних машин з водотонажним корпусом [1] показує, що в теперішній час переважними концепціями розвитку для цього типу техніки є: - підвищення загальної вантажопідйомності; - збільшення маси встановленого обладнання.

Реалізація розглянутих напрямків у розвитку цього типу колісної техніки найчастіше веде до збільшення маси машин [1], як стосовно прототипів (при розробці), так і до базових зразків (при їхній модернізації).

Збільшення ваги машини, у свою чергу веде до помітного зниження водохідних якостей машини або до відмови від можливості руху по воді в режимі плавання. Це визначає необхідність у проведенні дослідження з оцінки можливості руху МП по дну водойми при зануренні у воду.

**Зв'язок з важливими науковими програмами.** Розробка методики оцінки можливості руху МП по дну водойми дозволяє науково обґрунтувати вагові значення для цього типу техніки щодо забезпечення подолання водних перешкод по дну. Підвищення технічних характеристик колісних машин є одним із завдань розвитку автомобільної техніки України, яке безпосередньо впливає з загальних положень Державної програми розвитку автомобілебудування. Підвищення швидкості виконання будівельних робіт та зниження затрат на їх виконання є актуальним завданням розвитку будівництва України, яке безпосередньо впливає з загальних положень Державної програми розвитку будівництва.

**Аналіз досліджень і публікацій** Дослідженням впливу тягових характеристик колісного рушія присвячені роботи [2 -5]. У роботі [2] приводяться опис експериментальної установки і результати експериментальних досліджень по оцінці тягово-зчіпних якостей еластичного колеса, яке взаємодіє із твердою опорною поверхнею. У роботах [3, 4] приводяться результати лабораторних досліджень по визначенню взаємодії еластичного колеса з піщаним і глинистим ґрунтом. У роботі [5] наводяться дані результатів натурних випробувань колісної машини при виході її з води на берег.

**Постановка завдання.** Опираючись на результати, наведені в роботах [1-5], було сформульоване завдання дослідження - одержання математичної моделі (ММ), яка описує процес руху колісної машини за умовою повної реалізації тягово-зчіпних якостей її рушія з урахуванням взаємодії з водою й ґрунтом при повному зануренні МП у воду.

**Основний матеріал.** Прийmemo, що МП рухається по прямолінійній ділянці дна водойми. Потужність установленого на машині двигуна достатня для повної реалізації тягово-зчіпних якостей її рушія. Рівняння руху МП по дну водойми має вигляд [5]:

$$P=R+R_w, \quad (1)$$

де  $P$  - необхідна для руху сила тяги;  $R$  - сила опору руху викликана деформацією ґрунту колесами;  $R_w$  - сила опору води руху машини.

Відповідно до прийнятих допущень необхідна сила тяги ( $P$ ) визначається силою тяги по зчепленню ( $P = P_{\text{ц}}$ ):

$$P_{\text{ц}} = \varphi N, \quad (2)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт зчеплення (для щільного піску  $\varphi=0,38-0,55$ ; для суглинку  $\varphi= 0,25-0,34$ ; для мулистого ґрунту на твердой основі  $\varphi=0,2 - 0,25$ );  $N$  - нормальна реакція ґрунту, яка визначається вираженням:

$$N = G - D, \quad (3)$$

де  $G$  - вага машини (кг),  $D$  - підтримуюча сила (кг), яка розраховується по формулі:

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

у якій  $\gamma$  - питома вага води (кН/м<sup>3</sup>);  $V$  - повний об'єм МП (м<sup>3</sup>), залежить від кількості людей, що перевозить машина (1люд -1÷1,5 м<sup>3</sup>).

Опір рушія машини визначається вираженням [5]:

$$R = fN, \quad (5)$$

де  $f$  - коефіцієнт опору колісного рушія (для щільного піску  $f=0,025-0,035$ ; для суглинку  $f =0,1-0,25$ ; для мулистого ґрунту на твердой основі  $f= 0,25-0,30$ ). Обидва коефіцієнти  $\varphi$  і  $f$  залежать від реологічної характеристики ґрунту ( $K_{\text{гр}}$ ).

Опір води руху МП розраховується по формулі [10]:

$$R_w = c \rho F v^2, \quad (6)$$

де  $c$  - коефіцієнт опору руху (приймається відповідно до рекомендацій [10]  $c=0,4$ );  $\rho$  - щільність води (для прісної води  $\rho=1020$  кг/м<sup>3</sup>);  $v$  - швидкість руху МП (м/с);  $F$  - площа поперечного перерізу МП (м<sup>2</sup>).

Аналіз наведених формул показує, що можливість руху МП по дну водойми ( $P \geq 0$ ) залежить від наступних чинників:  $N$  - нормальній реакції ґрунту;  $K_{\text{гр}}$  - реологічної характеристики ґрунту;  $v$  - швидкості руху МП;  $F$  - площі поперечного перерізу машини.

Прийmemo ці чинники як чинники впливу на величину  $P$  (функцію відгуку):

$$P = f(N; K_{\text{гр}}; v; F). \quad (7)$$

Досліджувана залежність  $P$  (7) [11] у загальному випадку може бути представлена у вигляді чотирьохмірної поверхні. Діапазон зміни й значення прийнятих факторів впливу наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення чинників, що впливають на силу тяги  $P$ .

чинники впливу код значення	N (кг)	K <sub>гр</sub>		V (м/с)	F (м <sup>2</sup> )
		φ	f		
-1	0	мулистий ґрунт		0	2
0	1000	суглинок		1	4
1	2000	пісок		2	6

У табл. 2. наведено значення величини  $P$ , залежно від:  $N$ ;  $\varphi$ ;  $f$ ;  $v$  і  $F$ .

Попередній аналіз показав, що апроксимація може бути отримана поліномом при чотирьох аргументах [11] виду:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + \dots + a_{n-2}x_4^4 + a_nx_1 x_2 x_3 x_4. \quad (8)$$

Такий поліном містить значну кількість доданків, що створить дуже громіздку модель. Для зменшення кількості доданків застосований метод послідовного ускладнення математичної залежності [12]. Як регресійні моделі приймалися частні поліноми від загального (8). План проведення експериментів представлений у табл. 3.

Таблиця 2

Значення сили тяги (P), залежно від: N; φ; f; v і F

v (м/с)	N (кг) (-1) (0 кг)		F = (-1); (2 м <sup>2</sup> ); F = (0); (4 м <sup>2</sup> ); F = (+1); (6 м <sup>2</sup> )						
	K <sub>гр</sub> (-1) F (-1)	K <sub>гр</sub> (0) F (-1)	K <sub>гр</sub> (1) F (-1)	K <sub>гр</sub> (-1) F (0)	K <sub>гр</sub> (0) F (0)	K <sub>гр</sub> (1) F = (0)	K <sub>гр</sub> (-1) F (1)	K <sub>гр</sub> (0) F (-1)	K <sub>гр</sub> (1) F (-1)
-1;0;1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N (кг) (0) (1000 кг)									
v (м/с)	K <sub>гр</sub> (-1) F (-1)	K <sub>гр</sub> (0) F (-1)	K <sub>гр</sub> (1) F (-1)	K <sub>гр</sub> (-1) F (0)	K <sub>гр</sub> (0) F (0)	K <sub>гр</sub> (1) F (0)	K <sub>гр</sub> (-1) F (1)	K <sub>гр</sub> (0) F (-1)	K <sub>гр</sub> (1) F (-1)
-1	50	20	200	50	20	200	50	20	200
0	-766	-796	-616	-1582	-1612	-1432	-2398	-2428	-2248
1	-3214	-3244	-3064	-6478	-6508	-6328	-9742	-9772	-9592
N (кг) (+1) (2000 кг)									
v (м/с)	K <sub>гр</sub> (-1) F (-1)	K <sub>гр</sub> (0) F = (-1)	K <sub>гр</sub> (1) F (-1)	K <sub>гр</sub> (-1) F (0)	K <sub>гр</sub> (0) F (0)	K <sub>гр</sub> (1) F (0)	K <sub>гр</sub> (-1) F (1)	K <sub>гр</sub> (0)F (-1)	K <sub>гр</sub> (1) F (-1)
-1	100	40	400	100	40	400	100	40	400
0	-716	-776	-416	-1532	-1592	-1232	-2348	-2408	-2048
1	-3164	-3224	-2864	-6428	-6488	-6128	-9692	-9752	-9392

Критерієм оцінки якості моделі приймалася похибка обчислення функції відзиву (точність не менш 0,01% у всьому діапазоні значень).

Коефіцієнти регресії визначалися ітераційним квазіньютонівським методом [12] із заданим критерієм конвергенції, рівним 0,0001. Критерій Кохрена дорівнює 7,886563E-03; дисперсія відтворення експерименту - S<sub>2</sub>= 4,953045E-03; дисперсія коефіцієнтів регресії дорівнює 7,739133E-05; інтервал довіри 1,724258E-02.

Таблиця 3

План проведення експерименту по визначенню величини P

Досліджувані в ході експерименту фактори				
X <sub>1</sub> – нор-на реакція ґрунту - N (кг)		X <sub>2</sub> –реол-ні хар-ки ґрунту - K <sub>гр</sub>		
X <sub>3</sub> - швидкість руху МП -V (м/с)				
X <sub>4</sub> - площа поперечного перерізу МП - F (м <sup>2</sup> )				
РІВНІ	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Основний	1000	Мулистий пісок	1	4
Інтервал варіювання	1000	-	1	2
Верхня межа	2000	пісок	2	6
Нижня межа	0	Мулистий ґрунт	0	2

№ досліду	Значення чинників, що кодувалися					Відзив
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y (P)
1	+1	-1	-1	+1	+1	0
2	+1	-1	+1	-1	+1	0
3	+1	+1	-1	-1	+1	100
4	+1	+1	+1	+1	+1	-9392
5	+1	-1	-1	-1	+1	0
6	+1	-1	+1	+1	+1	0
7	+1	+1	-1	+1	+1	-9692
8	+1	+1	+1	-1	+1	400
9	+1	-1	-1	+1	-1	0
10	+1	-1	+1	-1	-1	0
11	+1	+1	-1	-1	-1	100
12	+1	+1	+1	+1	-1	-2864
13	+1	-1	-1	-1	-1	0
14	+1	-1	+1	+1	-1	0
15	+1	+1	-1	+1	-1	-3764
16	+1	+1	+1	-1	-1	400

Результати обчислень коефіцієнтів регресії конкуруючих математичних моделей наведені в табл. 4.

Таблиця 4.

Коефіцієнти регресії конкуруючих математичних моделей

Коефіцієнти регресії ММ : $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_1 x_2 + a_6 x_1 x_3 + a_7 x_1 x_4 + a_8 x_2 x_3 + a_9 x_2 x_4 + a_{10} x_3 x_4$					
Const. a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>
-1544.45	-1544.453	112.5004	-1669.714	-778.4791	112.500
a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>9</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>11</sub>
-1669.72	-778.4788	0	-37.51114	-778.5209	37.4952
a <sub>12</sub>	-37.5109	a <sub>13</sub>	-37.50113	a <sub>14</sub>	-78.521

**Висновки**

Проведені дослідження дозволили одержати ММ, яка адекватно описує змінення величини P, залежно від нормальної реакції ґрунту (N); реологічної характеристики ґрунту (K<sub>гр</sub>), швидкості руху МП (v), площі поперечного перерізу машини (F). Аналіз результатів показав, що МП із нормальною реакцією ґрунту N менш ніж 2000 кг при наявності течії не може самостійно подолати водоймище по дну.

Таким чином, можна зробити висновок, що для забезпечення впевненого руху під водою МП повинні мати надлишкову вагу не менш 2000 кг, у противному випадку необхідно забезпечувати машині можливість рухатися по воді в режимі плавання.

**Summary**

**The possibility of the movement of the wheel machine on the bottom of the basin is examined.**

**Література**

1. Бугаев С.В. Плавающая машина. Теория и эксперимент.- Одеса Друк. ОДМУ., 2000.- 253 С.

2. Бугаев С.В. Бугаев В.Т. Экспериментальные исследования взаимодействия эластичного колеса с жесткой опорной поверхностью // Техніка будівництва 1999. №6 С 40-43.
3. Бугаев С.В. Экспериментальные исследования взаимодействия эластичного колеса с глинистым грунтом //Техніка будівництва: 2000 №7 С. 81-84.
4. Бугаев С.В. Определение параметров взаимодействия колеса с песчаным грунтом в лабораторных условиях Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: 2000 № 55 С. 34-37.
5. Степанов А.П. Конструкция и расчет плавающих машин. - М.: Машиностроение, 1978. -232.С.