

7. Куршин А. П. Закономерности течения газа через пористые среды с жесткой структурой.— Уч. зап. ЦАГИ, 1981, т. 12, № 6, с. 62—77.
8. Nilson R. H. Transient fluid flow in porous media: inertia-dominated to viscous-dominated transition.— Trans. ASME, J. Fluids Eng., 1981, v. 103, № 2, p. 339—343.
9. Nilson R. H. Gas-driven fracture propagation.— Trans. ASME, J. Appl. Mech., 1981, v. 48, № 4, p. 757—762.

Москва
Московский инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
5.XII.1983

УДК 532.58

ИЗМЕРЕНИЕ УПОРА ВОЛНООБРАЗНО ДЕФОРМИРУЕМОЙ ПЛАСТИНЫ

КОЗЛОВ Л. Ф., КОРЕННАЯ Л. И.

Волнообразно деформируемая пластина малого удлинения может служить двигателем, если поперечная бегущая волна распространяется в направлении от передней кромки пластины к задней со скоростью, большей скорости поступательных перемещений. Реакция отброшенных масс жидкости преобразуется в силу, составляющая которой, совпадающая с направлением поступательных перемещений, называется упором двигателя (если вблизи двигателя отсутствуют другие тела) или тягой (для двигателя, установленного на перемещающееся в воде тело). На волнообразно деформируемых пластинах были выполнены измерения упора в двумерном [1] и в трехмерном [2] потоках. В данной работе приведены результаты измерения упора при буксировке в бассейне [3] волнообразно деформируемой пластины в свободной воде и комплексов с волнообразно деформируемой пластиной, в которых пластина была расположена в водоводе и между направляющими пластинами.

Эксперименты в свободной воде выполнены с тремя пластинами из резины, отличающимися по длине: $l \times h \times q = 0,963 \times 0,251 \times 0,004$ м; $0,502 \times 0,251 \times 0,004$ м; $0,251 \times 0,251 \times 0,004$ м. Соответственно удлинение пластин Λ было 0,26; 0,5; 1 и количество завулканизированных ребер жесткости для крепления к тягам установки 13; 7; 4. Передняя и задняя кромки острые, а боковые срезаны под прямым углом. В экспериментах с комплексами использовалась пластина размерами $0,963 \times 0,251 \times 0,004$ м. Прототипом экспериментальной установки послужила созданная ранее установка для изучения гидромеханики гибкой пластины [2, 4].

Для измерения упора комплексов с волнообразно деформируемой пластиной изготовлены два водовода в виде труб длиной 1,2 м с прямоугольным сечением. Ширина рабочего сечения 0,255 м выполнена по ширине пластины, высота 0,105 и 0,205 м для амплитуд бегущей волны $A=0,05$ и 0,1 м. Боковые стенки водоводов прозрачные и легкоъемные. Эксперименты, выполненные с водоводом с боковыми стенками и с водоводом без боковых стенок, ниже представлены соответственно как эксперименты с комплексом пластина — водовод и с комплексом пластина — направляющие пластины. Водовод крепился четырьмя ножами обтекаемой формы к основной раме установки, на которой смонтирован вал с эксцентриками.

Глубина погружения нейтральной оси пластины составляла $H=0,58$ м, при этом $H/2A=2,9$ при $A=0,1$ м и $H/2A=5,8$ при $A=0,05$ м. Если глубина погружения оси гребного винта не менее его диаметра, влиянием свободной поверхности можно пренебречь [5]. В рассматриваемых случаях параметром, идентичным диаметру гребного винта, является удвоенная амплитуда колебаний, при этом $H/2A > 1$, следовательно, свободная поверхность не влияет на результаты эксперимента.

Закон деформации пластины в подвижной системе координат xuz , ось x которой направлена вперед от передней кромки и по нейтральной оси пластины, описывается уравнением

$$y = A \sin(\omega t + \beta x + \varphi_0)$$

где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота, $\beta = 2\pi/\lambda$ — волновое число, f — частота колебаний, λ — длина волны, φ_0 — начальная фаза колебаний. Скорость бегущей волны $c = \lambda f$.

На длине пластины $l=0,963$ м укладывалась одна длина волны $\lambda=0,86$ м при амплитуде волны $A=0,1$ м и одна длина волны $\lambda=0,934$ м при амплитуде волны $A=0,05$ м.

На швартовых и при буксировке в бассейне [3] на скоростях $V \approx 0,4; 0,7; 1; 1,2$ м/с задавались несколько режимов частоты колебаний в пределах 0,9—3,5 Гц.

В табл. 1 и 2 представлены значения среднего за период колебаний упора $\langle P \rangle$, N , полученные на различных частотах f , Гц, при $V=0$. Всего испытано 10 типов моделей двигателей с волнообразно деформируемой пластиной. Табл. 1 — пластина в свободной воде (двигатели № 1—6); табл. 2 — комплексы с пластиной: I — комплекс пластина — водовод (двигатели № 7, 9), II — комплекс пластина — направляющие пластины (двигатели № 8, 10). Пользуясь терминологией, принятой в теории гидравлических двигателей [5], ограничимся следующими терминами: упор $\langle P \rangle$, коэффициент упора $k_1 = \langle P \rangle / (\rho c^2 F_p)$, гидравлическое сечение двигателя $F_p = 2Ah$, относи-

Таблица 1

A=0,1 м						A=0,05 м					
Λ=0,26		0,5		1		Λ=0,26		0,5		1	
№ 1		2		3		4		5		6	
f	<P>	f	<P>	f	<P>	f	<P>	f	<P>	f	<P>
1,00	20,9	1,00	12,7	1,01	7,00	1,31	11,0	0,92	2,40	1,19	0
1,16	28,5	1,75	40,1	1,33	12,9	1,48	15,7	1,45	6,50	1,73	1,4
1,46	43,0	1,85	45,6	1,83	21,0	1,90	25,6	1,77	9,40	1,92	1,8
1,57	53,6	2,13	59,0	2,03	26,0	2,21	35,0	1,92	12,4	2,10	2,4
1,72	65,1	2,32	70,0	2,31	31,5	2,42	45,4	2,14	15,7	2,41	5,4
1,79	70,6	2,44	75,1	1,64	18,6	2,59	54,2	2,34	18,8	2,29	5,3
1,92	81,4	2,56	84,2	2,58	35,0	2,84	59,9	2,60	22,2	2,66	10,0
1,98	90,1	—	—	2,68	37,3	—	—	2,82	27,8	2,88	10,9
2,13	99,1	—	—	—	—	—	—	2,95	30,6	3,49	21,6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,79	26,3

Таблица 2

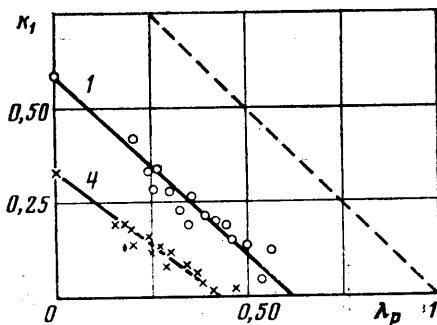
A=0,1 м				A=0,05 м			
I		II		I		II	
№ 7		8		9		10	
f	<P>	f	<P>	f	<P>	f	<P>
0,98	25,7	0,93	23,5	1,13	14,2	1,06	15,0
1,21	33,7	1,15	35,7	1,45	24,8	1,46	28,6
1,42	52,0	1,43	55,1	1,84	41,1	1,79	40,4
1,63	64,4	1,63	76,4	2,10	49,4	2,51	72,8
1,85	86,9	1,79	92,6	2,18	58,3	1,97	50,6
2,02	100,6	1,97	108,9	2,31	60,7	—	—
2,02	97,1	2,13	119,8	—	—	—	—

Таблица 3

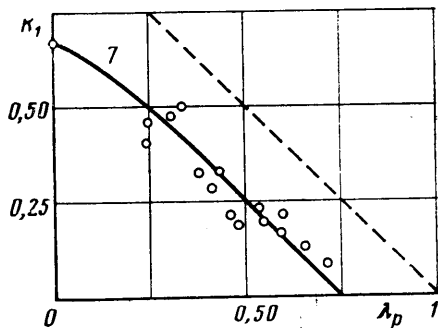
Движитель	A, м	Λ	$\lambda_p \max$ при $k_1 > 0$	k_1 при $V=0$
1	0,1	0,26	0,62	0,583
2	0,1	0,5	0,63	0,350
3	0,1	1	0,67	0,169
4	0,05	0,26	0,43	0,335
5	0,05	0,5	0,55	0,151
6	0,05	1	0,57	0,048
7	0,1	0,26	0,75	0,675
8	0,1	0,26	0,74	0,745
9	0,05	0,26	0,58	0,521
10	0,05	0,26	0,58	0,583

тельная поступь $\lambda_p = V/\lambda f$ или $\lambda_p = V/c$ (в теории гребного винта коэффициент упора $k_1 = P/(\rho n^2 D^4)$, относительная поступь $\lambda_p = V/nD$, гидравлическое сечение $F_p = \pi D^2/4$, где n — число оборотов винта, D — диаметр винта). При работе волнового движителя имеет место периодическое движение, поэтому относительная поступь $\lambda_p = V/\lambda f$, представляющая собой безразмерный параметр, обратный общепринятому числу Струхали, играет важную роль при моделировании работы волнового движителя и используется при построении его гидромеханических характеристик.

Анализ табл. 1, 2 позволил выявить влияние условий работы пластины на величину упора. Для всех исследованных типов движителей при $V=0$ средний за период упор $\langle P \rangle$ пропорционален примерно квадрату частоты колебаний. Влияние амплитуды бегущей волны на величину упора при $V=0$ различно для пластин в свободной воде и комплексов с пластиной: если в первом случае упор пропорционален примерно квадрату амплитуды, то во втором случае — амплитуде колебаний. При одинаковой частоте колебаний упор комплексов с пластиной больше по сравнению с упором пластины в свободной воде: примерно в 1,5 раза при $A=0,05$ и 1,2 раза при $A=0,1$ м. Сравнение комплексов с пластиной показывает, что комплекс пласти-



Фиг. 1



Фиг. 2

на — направляющие пластины имеет большую величину упора по сравнению с комплексом пластина — водовод. Это связано с отсутствием боковых стенок, которые не оказывают влияния на формирование струи движителя, но увеличивают потери на трение.

На фиг. 1, 2 представлены зависимости коэффициента упора k_1 от относительной поступи λ_p для движителей № 1, 4, 7 (см. номера в таблицах: движители № 1 и 4 — пластина в свободной воде с $\Lambda=0,26$, $A=0,1$ м и $0,05$ м соответственно; движитель № 7 — комплекс пластина — водовод с $\Lambda=0,26$ и $A=0,1$ м). Штриховой линией показана зависимость

$$k_1^i = \frac{\rho c F_p (c - V)}{\rho c^2 F_p} = \frac{c - V}{c}$$

от λ_p для идеального движителя [5].

Для облегчения сравнений движителей между собой по данным графиков $k_1(\lambda_p)$ для всех исследованных движителей составлена табл. 3. В таблице приведены максимальное значение относительной поступи λ_p , при котором упор положителен, т. е. $k_1 > 0$, и максимальное значение коэффициента упора k_1 , которое имеет место при $V=0$.

Из графиков и таблиц следует, что при одинаковой амплитуде колебаний комплексы с пластиной имеют более высокие значения коэффициента упора и относительной поступи по сравнению с пластиной в свободной воде. Во всем диапазоне λ_p коэффициент упора комплексов пластина — направляющие пластины больше коэффициента упора комплексов пластина — водовод. Это связано с уменьшением потерь на трение от боковых стенок. Кривые $k_1^i(\lambda_p)$ для идеального движителя проходят почти параллельно экспериментальным и лежат выше их. Такое взаимное положение кривых объясняется потерями в движителе на трение, неравномерным распределением осевых вызванных скоростей, возникновением тангенциальных вызванных скоростей. Характеристики, наиболее близкие к идеальному движителю, имеют комплексы с пластиной при $A=0,1$ м, т. е. когда рабочее сечение приближается к квадратному. Объяснить этот факт можно тем, что при уменьшении высоты рабочего сечения (амплитуды) упор уменьшается пропорционально амплитуде, при этом доля потерь на трение в движителе возрастает.

Выполненные эксперименты выявили ряд особенностей волнообразно деформируемой пластины при создании ею упора. Во всех исследованных случаях при $V=0$ упор примерно пропорционален квадрату частоты колебаний, квадрату амплитуды для пластины в свободной воде и самой амплитуде для комплексов с пластиной. При одинаковых кинематических параметрах упор и коэффициент упора комплексов с пластиной больше, чем у пластины в свободной воде, а у комплексов пластина — направляющие пластины, больше, чем у комплексов пластина — водовод. Характеристики, наиболее близкие к идеальному движителю, имеют комплексы с пластиной в случае, когда рабочее сечение движителя приближается к квадратному.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kelly H. R., Rentz A. W., Siekmann J. Experimental studies on the motion of a flexible hydrofoil. — J. Fluid Mech., 1964, v. 19, № 1, p. 30–48.
2. Коренная Л. И. Гидромеханические исследования волнового движителя: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. Киев: Ин-т гидромеханики АН УССР, 1980. 19 с.
3. Шайбо Н. В., Янковский Л. И. Опытный бассейн Института гидромеханики АН УССР. — В кн.: Гидромеханика. Вып. 19. Киев: Наук. думка, 1971, с. 106–112.
4. Коренная Л. И. Установка для исследования гидромеханики гибкой пластинки. — В кн.: Бионика. Киев, 1976, вып. 10, с. 85–88.
5. Басин А. М., Миниювич И. Я. Теория и расчет гребных винтов. Л.: Судпромгиз, 1963. 760 с.

Киев

Поступила в редакцию
9.1.1984