

ГИДРОМЕХАНИКА

К. К. ШАЛЬНЕВ

**КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СРЫВНОЙ КАВИТАЦИИ
КРУГЛОГО ПРОФИЛЯ**

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 22 V 1954)

Срывной кавитацией в данной работе называется кавитация, развивающаяся за телами плохо обтекаемой формы ⁽¹⁾. К этому типу кавитаций можно отнести кавитацию на стенках диффузоров, а также кавитацию за неровностями поверхности. Упомянутые виды кавитаций исследовались разными методами ⁽²⁻⁸⁾, но они оказались недостаточными для того, чтобы найти закономерности в периодической структуре кавитации. В данной работе сообщаются результаты исследований срывной кавитации круглого профиля при помощи высокочастотной киносъемки, выполненные ранее ⁽⁹⁾ в малой гидродинамической трубе МГТ (Всесоюзного научно-исследовательского института гидромашиностроения) ⁽¹⁰⁾, но еще не описанные.

Опыты с круглым профилем были поставлены в рабочей камере МГТ сечением 20×50 мм с моделями диаметром 10 и 12 мм. Различные стадии кавитации создавались регулированием давления и скорости, независимо друг от друга. Для каждой стадии находился коэффициент кавитации $\kappa = (p - p_n) / \gamma q$, где p — давление в потоке

Таблица 1

х	Визуальные наблюдения	Шум	Данные киносъемки
2,40	Быстро мелькающие с обеих сторон модели облачка кавитации	Прерывистый треск	Каверны кавитации возникают на некотором расстоянии от модели, равном $\approx d$, то с одной стороны, то с другой стороны или одновременно с обеих сторон модели
2,16	Облачка становятся более устойчивыми и плотными	Непрерывный треск, шипенье	Те же каверны плотнее и возникают регулярнее
2,10	Облачка плотнее, но еще разделены друг от друга сплошной средой (водой)	То же	Каверны возникают ближе к модели, более плотные, нерегулярные
1,88	Облачка кавитации продолжают оставаться разделенными, но более плотными	" "	Четкое образование и срыв каверн. Конденсация каверн происходит на расстоянии 5 d от модели
1,41	Облачка кавитации слиты вместе и образуют одну монолитную область, от которой отходит расходящийся хвост из быстро летящих каверн	Перебегающее гуденье, скрежет. Шум наибольшей силы	Четкое образование и срыв каверн. Каверны конденсируются на расстоянии 10 d от модели
1,30— 1,29	Область кавитации монолитна, с ее конца отходит расходящийся хвост из быстро летящих каверн	Щелчки, громкое гуденье	Периодичность образования каверн четкая. Отдельные каверны достигают в длину 3 d . Иногда каверны не отрываются, а только немного поджимаются

перед моделью в сечении M , p_p — давление паров воды, q — скоростной напор от скорости v в сечении M и γ — вес единицы объема воды.

Периодичность образования кавитационных каверн исследовалась с использованием числа

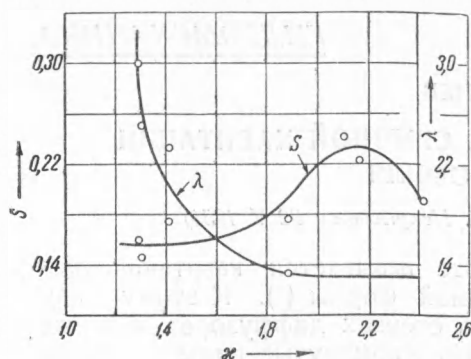


Рис. 1. Влияние стадии кавитации круглого профиля на число S . $\lambda = l_k/d$, где l_k — длина кавитации

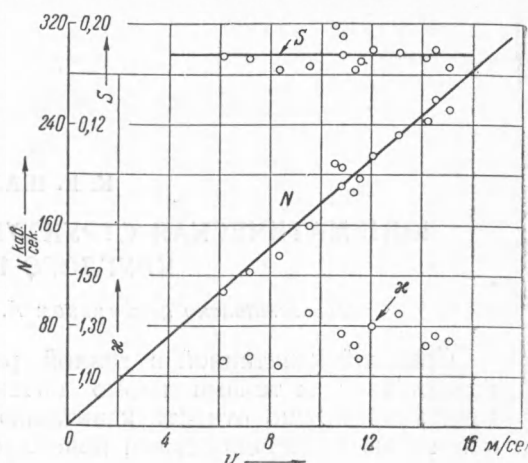


Рис. 2. Влияние скорости потока на периодичность срыва кавитации: 1 — $N(v)$; 2 — $S(v)$; 3 — $\chi(v)$

Струхала $S = Nd/v_\infty$, где N — число срывающихся каверн в секунду, d — диаметр модели и $v_\infty = kv$ — скорость потока, исправленная на влияние границ при помощи

коэффициента $k = 1,18$ для модели $d = 10$ мм и $k = 1,26$ для модели $d = 12$ мм. Число Рейнольдса вычислялось по скорости v , исправленной на влияние границ при помощи коэффициентов $k = 1,12$ и $k = 1,18$, соответственно $d = 10$ мм и $d = 12$ мм. Приведен-

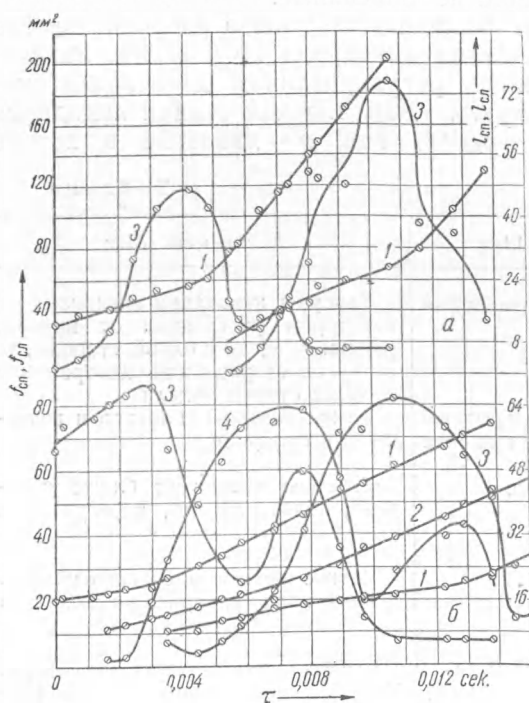
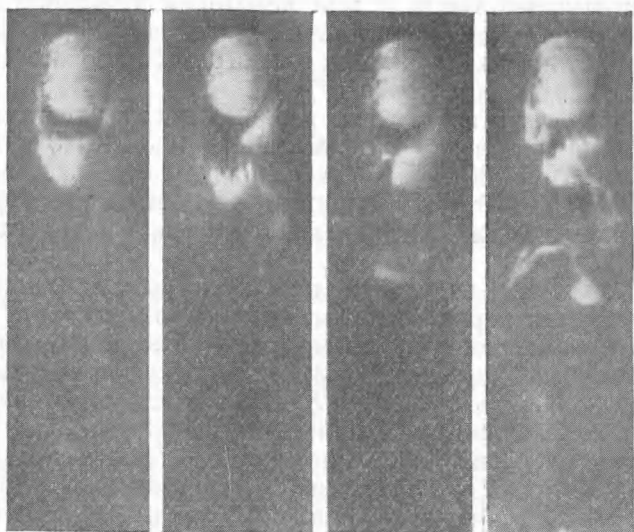


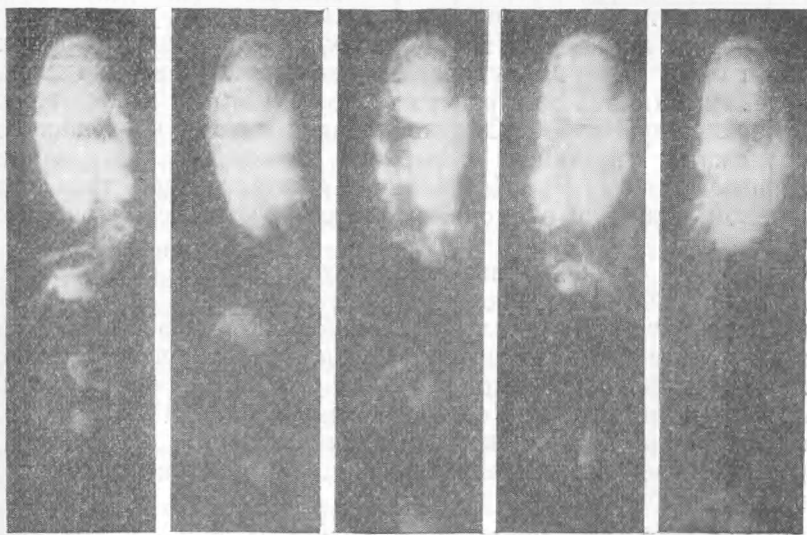
Рис. 3. Развитие отдельных каверн во времени и движение центра тяжести их поперечного сечения $l_{цт}$ в зависимости от времени t . а — по данным опытов с моделью $d = 12$ мм при $\chi = 1,88$; б — $d = 10$ мм, $\chi = 1,20$. 1 — $l_{сп}$ или удаление центра тяжести правой каверны от модели, 2 — $l_{сп}$ — то же левой, 3 — $f_{сп}$ или площадь сечения каверны справа от модели, 4 — $f_{лс}$ — то же слева

ные выше значения коэффициентов k получены из опытов с моделями круглых профилей разного диаметра, которые были поставлены в той же рабочей камере МГТ. Поправочный коэффициент k при вычислении S был приравнен увеличению скорости (под влиянием границ) на модели в точке $p_{мин}$, а при вычислении Re — увеличению средней скорости обтекания модели.

По негативным пленкам высокочастотной киносъемки определялся период образования каверн τ и исследовалось развитие формы отдельных каверн в зависимости от времени. Исследования велись в зависимости от стадии кавитации и в зависимости от скорости потока.



a



б

Рис. 4. Отдельные кадры высокочастотной киносъемки области кавитации за круглым профилем. *a* — опыт с моделью $d=12$ мм при $\kappa=1,88$; *б* — опыты с моделью $d=10$ мм при $\kappa=1,20$

Исследования структуры кавитации в зависимости от ее стадии показывают (см. рис. 1 и табл. 1), что при начальных стадиях кавитации число $S=0,19$ и близко к числу S применительно к вихревым течениям в отсутствие кавитации для круглых профилей при тех же Re ⁽¹¹⁾. С понижением κ до $\kappa=2,2$ число S сначала возрастает до

0,23, а затем понижается до 0,16. Указанные изменения S не могут объясняться влиянием границ потока, так как при этих стадиях кавитации область кавитации развивается в пределах вихревой зоны течения. Понижение S с увеличением длины кавитации обнаруживается, согласно нашей обработке также в опытах с диффузорами⁽⁴⁾. Следует отметить, что повышение числа S при некоторой начальной стадии кавитации соответствует понижению сопротивления C_x круглых профилей при тех же состояниях кавитации, как это наблюдалось в наших опытах и в опытах других авторов⁽¹²⁾.

Влияние скорости потока на периодичность развития кавитации испытывалось на модели $d = 10$ мм при $v = 5,3 \div 12,3$ м·сек⁻¹ и числах $Re = 0,75 \cdot 10^5 \div 1,80 \cdot 10^5$. Согласно визуальным наблюдениям, стадия кавитации, при которой велись опыты, была как раз та, которая наступает после соединения разделенных облачков кавитации в одну моноконтинуальную каверну.

Процесс развития кавитации при всех исследованных режимах скоростей является периодическим. Число возникающих и уносимых течением каверн находится в прямолинейной зависимости от скорости (см. рис. 2) потока. Число $S = 0,163 \div 0,179$; его несколько пониженное значение по сравнению с числом S для вихревых течений в отсутствие кавитации объясняется влиянием стадии кавитации.

Рассмотрим жизненный цикл некоторых каверн, пользуясь последовательными кадрами киносъемки (см. рис. 4), на которых зафиксированы поперечные сечения каверн. Когда каверна, достигнув максимального размера, сокращается, она начинает одновременно с этим удаляться от модели. На кривых $l_{шт}(t)$ этот момент соответствует появлению точки перелома (см. рис. 3) и возникновению более быстрого удаления центра тяжести сечения каверны от модели. Некоторые каверны после первого неполного сжатия снова увеличиваются в своих размерах, продолжая перемещаться по течению. В наших опытах нельзя было различить строение отдельных каверн, которые согласно данным киносъемки в отраженном свете⁽⁸⁾ должны состоять из мельчайших пузырьков. Однако процесс сжатия каверн аналогичен процессу сжатия отдельных пузырьков кавитации, развивающейся в пограничных слоях^(13,14). Дальнейшее сжатие каверн происходит на значительном удалении от модели и за срок не менее как в несколько периодов срыва.

В начальных стадиях кавитации отход каверн от модели сопровождается полным ее отрывом от поверхности модели. При средних стадиях перед отрывом между каверной и моделью образуется как бы тонкая перетяжка. Перетяжка в течение некоторого времени связывает основную каверну, отходящую от модели, с ее остатком, прилегающим к модели. Когда основная каверна отходит от модели, ее остатки вблизи модели служат зародышем новой.

Кавитационные каверны ни при каких стадиях не конденсируются нацело вблизи того места, где они зарождаются.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт гидромашиностроения

Поступило
19 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. К. Шальнев, ДАН, 71, № 6 (1943). ² H. Föttinger, Hydraul. Probl., Berlin, 1926. ³ J. Ackeret, Techn., Mech. u. Thermodyn., I, No. 1, 2 (1930). ⁴ I. S. Hunsaker, Mech. Eng., 57, No. 4 (1935). ⁵ К. К. Шальнев, ЖТФ, 21, № 2 (1951). ⁶ D. Riabouchinsky, C. R., 195 (1932). ⁷ R. E. Rasmussen, Rev. Génér. de l'Hydr., No. 56, 57 (1950). ⁸ J. W. Daily, Trans. ASME, 70, No. 3 (1949). ⁹ Н. М. Иванов, ЖТФ, 8, № 19 (1938). ¹⁰ К. К. Шальнев, ДАН, 72, № 4 (1950). ¹¹ Г. И. Петров, Р. И. Штейнберг, Тр. ЦАГИ, № 482 (1940). ¹² E. Martyrer, Hydromech. Probl. Schiffsantriebe, Hamburg, 1932. ¹³ R. T. Knapp, A. Hollander, Trans. ASME, 70, No. 5 (1948). ¹⁴ M. S. Plesset, J. Appl. Mech., 16, No. 3 (1949).