

ГИДРОМЕХАНИКА

К. К. ШАЛЬНЕВ

КАВИТАЦИОННОЕ КАЧЕСТВО ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 27 III 1950)

Кавитационным качеством (кавикачеством) гидродинамической трубы мы называем отношение

$$\chi = (p_{\infty} - p_n) / \varphi q_{\infty}, \quad (1)$$

где $q_{\infty} = v_{\infty}^2 / 2g$, p_{∞} и v_{∞} — давление и скорость в рабочем сечении $M_{\infty} - M_{\infty}$ экспериментальной коробки на оси гидродинамической трубы в отсутствие испытуемой модели, p_n — давление паров воды, g и γ — ускорение силы тяжести и вес единицы объема воды. Обычно при гидродинамических продувках принимают коэффициент кавитации модели $\lambda_{\infty} = \chi$.

С помощью кавикачества χ можно выявить степень соответствия данной конструкции трубы конструкции идеальной трубы, не подверг-

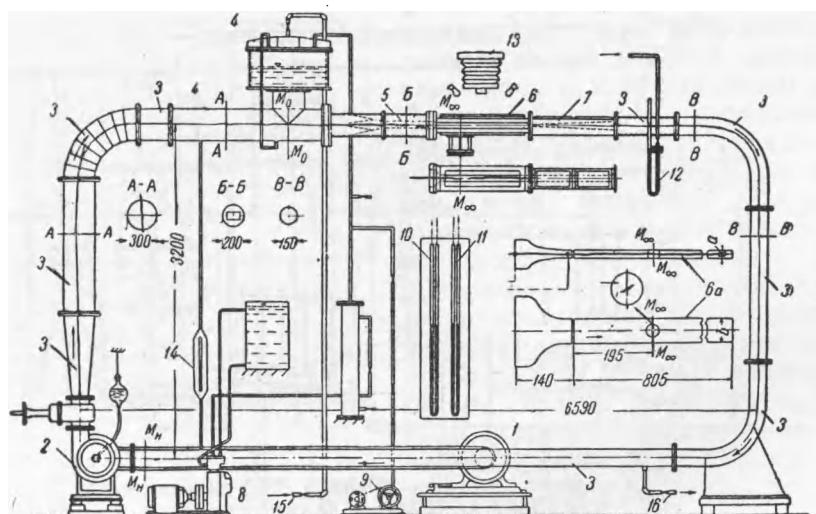


Рис. 1. Схема МГТ ВИГМ. 1 — электромотор постоянного тока, 2 — центробежный насос, 3 — детали трубы для подвода и отвода воды от рабочего участка, 4 — уравнительная башенка, 5 — переход к соплу, 6 — экспериментальная коробка с соплом и рабочим участком, 6а — внутренние формы сопла и рабочего участка, 7 — диффузор, 8 — компрессор, 9 — вакуум насос, 10 — ртутно-водяной манометр к соплу-водомеру, 11 — то же к экспериментальной коробке, 12 — воздушно-ртутный манометр к уравнительной башенке, 13 — фотоаппарат, 14 — термометр для измерения температуры воды, 15 — подвод воды, 16 — спуск воды

женной кавитации, и выяснить влияние кавитации деталей самой трубы на опыты с кавитацией продуваемой модели. Здесь сообщаются

некоторые результаты опытов по исследованию кавитации с помощью χ , построенных по проектам автора малой (МГТ) и большой (БГТ) гидродинамических труб ВИГМ. МГТ (см. рис. 1) была построена и использовалась для исследований физики кавитационных процессов (1-3), БГТ (см. рис. 2) была построена и используется для исследования влияния кавитации на гидромеханические характеристики профилей, употребляемых при сооружении лопастных гидромашин: турбин, насосов и гребных винтов (4-8).

Составив уравнение энергии для течения от сечения $M_0 - M_0$ в уравнительной башенке до сечения $M_\infty - M_\infty$:

$$p_0 / \gamma + v_0^2 / 2g = p_\infty / \gamma + v_\infty^2 / 2g + h_{0 \rightarrow \infty},$$

где $p_0 / \gamma = p_{ub} / \gamma + h_0$, p_{ub} — давление воздуха над свободным горизонтом воды в уравнительной башенке, h_0 — глубина расположения оси трубы под свободным горизонтом воды в уравнительной башенке, p_0 и v_0 — давление и скорость в сечении $M_0 - M_0$ на оси трубы и $h_{0 \rightarrow \infty}$ — потеря энергии потока на участке трубы от сечения $M_0 - M_0$ до сечения $M_\infty - M_\infty$, можно вывести формулу связи χ с гидромеханическими параметрами течения в уравнительной башенке:

$$\chi = (p_\infty - p_n) / \gamma q_\infty + v_\infty^2 / v_0^2 - \zeta_{0 \rightarrow \infty}. \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что при постоянных v_∞ , p_n и $\zeta_{0 \rightarrow \infty}$ кавитационное качество идеальной трубы является линейной функцией p_0 и p_∞ и, следовательно, $\chi = \frac{p_\infty - p_n}{\gamma \lg \alpha}$, где $\alpha = \text{const}$.

Между тем, опыты с МГТ при числе оборотов насоса $n = \text{const}$ обнаружили, что χ с некоторого значения $(p_\infty - p_n) / \gamma$ перестает быть

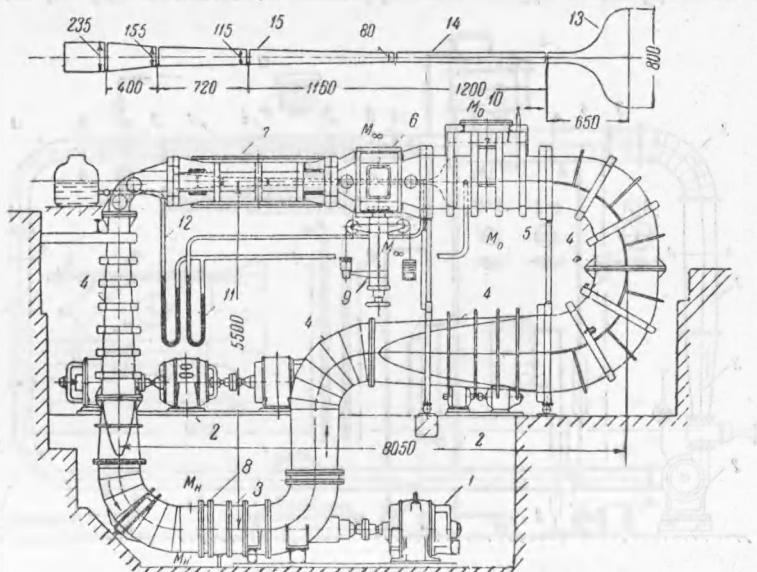


Рис. 2. Схема БГТ ВИГМ. 1 — электромотор постоянного тока, 2 — умформерная установка, 3 — пропеллерный насос, $d_1 = 700$ мм, 4 — детали для подвода и отвода воды от рабочего участка, 5 — уравнительная башенка сечением $2,5 \times 0,8$ м 2 , 6 — экспериментальная коробка А для опытов по разработке методики гидроиродувок, 7 — экспериментальная коробка Б для продувок профилей при $Re \approx 2,0 \cdot 10^6$ и для опытов с кавитацией решеток профилей, 8 — компенсаторы, 9 — гидродинамические трехкомпонентные весы, 10 — от компрессора к вакуум-насосу, 11 — манометр к соплу-водомеру, 12 — манометр к уравнительной башенке. Пунктиром показаны внутри корпуса съемные детали устройств опытов в экспериментальной коробке А, изображенные также в другом масштабе сверху: 13 — сопло, 14 — рабочий участок и 15 — диффузор

линейной функцией давления и что с некоторого предельного значения $x_{\min} = 0,34$ зависимость между x и $p_{\infty} - p_n$ приобретает двузначный характер вследствие уменьшения скорости v_{∞} или q_{∞} (см. рис. 3). Подобное падение v_{∞} с уменьшением p_{∞} замечается также и в БГТ. Уменьшение v_{∞} , происходящее до значения x_{\min} , может быть объяснено увеличением сопротивления трубы, как это видно из опытов с БГТ (см. рис. 4), и работой насоса при повышенном напоре.

Но понижение v_{∞} после значения $x_{\min} = 0,34$ и повышение x после $(p_{\infty} - p_n) / \gamma = 2,57$ м может быть объяснено только нарушением сплошности течения, вызываемого кавитацией деталей, расположенных между сечениями $M_0 - M_0$ и $M_{\infty} - M_{\infty}$. Происходящее при этом нарушение сплошности течения между сечениями M_0 и M_{∞} приводит к тому, что скорость v_{∞} , определенная с помощью сопла-водометра, не будет равна действительной скорости v_{∞} . Признаками такой кавитации является возникновение „жгутов“ кавитации в рабочем сечении трубы, тянувшихся от сопла, а в БГТ также эрозийные повреждения стенок экспериментальной коробки A вблизи стыка ее с соплом трубы. Повышение сопротивления трубы БГТ может быть объяснено повышением сопротивления диффузора, расположенного за рабочим участком трубы, когда возникает кавитация

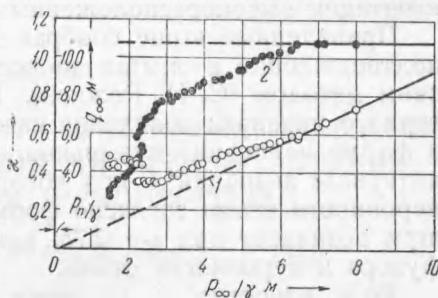


Рис. 3. Влияние кавитации МГТ на ее кавикачество (1) и скоростной напор в рабочем сечении трубы (2). Сечение рабочего участка 20×50 мм. Пунктиром показаны q_{∞} и x для идеальной трубы

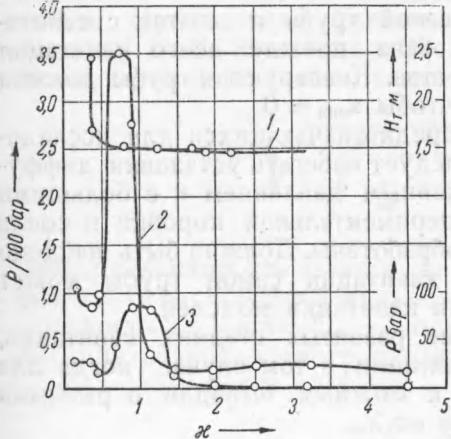


Рис. 4. 1 — сопротивление БГТ при варианте сечения рабочего участка в экспериментальной коробке A 80×700 мм 2 , 2 — звуковое давление шума кавитации БГТ, 3 — ультразвуковое давление шума кавитации БГТ при варианте сечения рабочего участка в экспериментальной коробке A 80×640 мм

можно показать с помощью уравнения, составленного для течения на участке трубы от сечения $M_{\infty} - M_{\infty}$ до сечения $M_n - M_n$ перед насосом

$$p_{\infty} / \gamma + v_{\infty}^2 / 2g = p_n / \gamma + v_n^2 / 2g - H_b + h_{\infty \rightarrow n},$$

Проанализируем вопрос о возможных причинах кавитации БГТ рассмотрением формул связи кавикачества с коэффициентом кавитации диффузора λ_d , коэффициентом кавитации неровности поверхности на стыке двух деталей λ_{np} и коэффициентом кавитации насоса σ . Можно показать, что то максимальное критическое значение λ_d и λ_{np} , при котором возникает кавитация диффузора и неровности поверхности (если отношение высоты неровности к высоте рабочего сечения трубы $a_{np} / a \approx 0$), равно $\lambda_d = \lambda_{np} = 1,0$. Если неровность стыка расположена перед сечением $M_{\infty} - M_{\infty}$, а диффузор за сечением $M_{\infty} - M_{\infty}$, то имеем формулы связи

$$x = \lambda_{np} - \zeta_{np \rightarrow \infty} \text{ и } x = \lambda_d + \zeta_{\infty \rightarrow d}, \quad (3)$$

где $\zeta_{np \rightarrow \infty}$ и $\zeta_{\infty \rightarrow d}$ — потери энергии на соответствующих участках коробки, отнесенные к q_{∞} . Также

что

$$\chi = (\sigma H_m - H_s) / q_\infty + v_\infty^2 / v_\infty^2 + \zeta_{\infty \rightarrow \chi} - 1, \quad (4)$$

где H_s и H_m — высота и сопротивление трубы, $\sigma = (p_\infty - p_n) / \gamma H_m$.

Из (3) следует, что кавитация диффузора возникает при $\chi > 1,0$, а кавитация неровности стыка — при $\chi < 1,0$ или что кавитация диффузора возникает ранее кавитации неровности стыка. Следовательно, то наивысшее значение χ , при котором возможно ожидать возникновения кавитации высокорасположенных деталей трубы, будет $\chi \approx 1,0$.

Приведенные выше соображения о кавитации трубы находят свое подтверждение в опытах по исследованию кавитации БГТ акустическим методом (С. И. Рожков). Резкое усиление ультразвука, характерного признака появления кавитации, поскольку кавитация возникает в форме маленьких пузырьков, отмечается при $\chi = 0,8 \div 1,2$, или в том интервале значений χ , при котором возникает кавитация диффузора и неровности стыка согласно формулам (3) (рис. 4). Значительной силы шум возникает при $\chi = 0,75$, или при вполне развитой кавитации диффузора и неровности стыка.

Если известно то значение σ , при котором происходит падение производительности насоса вследствие его кавитации, то по (4) можно определить то значение χ , при котором следует ожидать уменьшения v_∞ при $H_m = \text{const}$. В частном случае, для насоса БГТ следует, согласно опытам с подобного типа насосами (С. С. Руднев), принять $\sigma = 0,8 \div 1,5$. Тогда $\chi = -2,2 \div -2,5$ и отпадает возможное предположение, что уменьшение v_∞ происходит вследствие падения производительности насоса при его кавитации.

Выводы

1. При подготовке гидродинамической трубы к опытам с кавитацией моделей должна быть исследована прежде всего кавитация самой трубы с помощью ее кавикачества. Конструкция трубы должна быть усовершенствована настолько, чтобы $\chi_{\min} = 0$.

2. В гидродинамических трубах, предназначенных для исследований акустики кавитации моделей, следует избегать установки диффузоров на участках трубы с пониженным давлением и с большими скоростями. Поверхности стенок экспериментальной коробки и сопла трубы должны быть особенно чисто обработаны. Должно быть найдено то значение χ , ниже которого шум кавитации самой трубы может явиться помехой в изучении акустики кавитации моделей.

3. Продувка моделей при наиболее развитых стадиях кавитации, например, при отрывных стадиях кавитации в том случае, когда для модели $\lambda_{\text{отр}} \leq \chi_{\min}$, может привести к ложным выводам о развитии кавитации этой модели в зависимости от λ_∞ .

Всесоюзный научно-исследовательский
институт гидромашиностроения

Поступило
27 I 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. М. Иванов, ЖТФ, 8, № 19 (1938). ² К. К. Шальников, ДАН, 61, № 6 (1948).
³ Газета „Техника“, № 7 (636) (1937). ⁴ Газета „Известия“, № 289 (5537) (1934).
⁵ К. К. Шальников, Гидр. стр., № 7 (1935). ⁶ Газета „Техника“, № 6 (635) (1937).
⁷ Машиностроитель, № 11 (1937). ⁸ Газета „Ударный труд“, № 47 (1939). ⁹ L. Mood and A. Sorenson, T. A. S. M. E., 57, No. 7 (1935).