

Маринич Н.В., Третьяков А.М.
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ЭЛЕМЕНТАХ ВОДОМЕТНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Проведено исследование влияния развитой кавитации на эрозию как на самом рабочем колесе (РК), так и на неподвижных элементах водометного движителя в составе тянущей угловой колонки. Было установлено, что эрозионные разрушения обнаружены и на лопастях рабочего колеса, и на лопастях спрямляющего аппарата (СА). Глубина эрозионного разрушения в расчетном временном промежутке у спрямляющего аппарата примерно на 10 % больше, чем РК. При последующих проектированиях движительных комплексов необходимо учитывать фактор эрозионного процесса на элементах движительного комплекса с целью увеличения сроков его эксплуатации.

Ключевые слова: эрозия, пороговая скорость, кавитация, водометный движитель.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Маринич Н.В., Третьяков А.М. Исследование интенсивности эрозионных повреждений на элементах водометного движителя. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 84–88.

УДК 629.5.036.1

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-84-88

Marinich N., Tretyakov A.
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

STUDYING EROSION DAMAGE INTENSITY ON WATERJET ELEMENTS

This paper studies the effect of developed cavitation upon erosion of both impeller and stator elements of waterjet implemented in pulling pod unit. Erosion damage has been observed on both impeller and stator blades. Over the investigated time interval, stator elements had their erosion damage depth 10% greater than the impeller. To extend service life of pod units, their further design must take this erosion damage into account.

Key words: erosion, threshold speed, cavitation, waterjet.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Marinich N., Tretyakov A. Studying erosion damage intensity on waterjet elements. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 84–88 (in Russian).

UDC 629.5.036.1

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-84-88

Введение

Introduction

При развитой кавитации элементов водометных движителей одним из вредных последствий является эрозия – повреждения, возникающие в области замыкания кавитационных каверн. На протяжении десятков лет по данной тематике проводилось множество изысканий, как теоретических, так и практических с использованием кавитационных труб и эрозионных установок [2–4, 6–9].

Стоит отметить, что подавляющее большинство используемых на практике водометных движителей не эксплуатируются в условиях развитой кавитации. Подобные условия могут возникать временно при резком изменении сопротивления судна, например, при прохождении мелководного участка или при буксировке несамоходного объекта. Также описанное явление может возникать при некорректном выборе серийного водометного движителя для скоростного судна. Проводимые в данной работе исследования носят исключительно теоретический интерес и показывают необходимость качественной проработки элементов движителя перед его установкой на судно.

Исследования интенсивности кавитационной эрозии гребных винтов (ГВ) и рабочих колес в кавитационных трубах проводятся с использованием лакового покрытия [1, 5], которое позволяет судить о месте положения, размерах и глубине повреждений, а также получать сравнительные данные об эрозионных качествах гребных винтов и рабочих колес. Но такие исследования ранее не проводились для неподвижных элементов водометного движителя, работающих в условиях развитой кавитации, моделируемых в кавитационной трубе.

В данной работе объектом изучения был движительный комплекс, в состав которого вошли тянущая колонка, спрямляющий аппарат и рабочее колесо. Перед проведением испытаний элементы движительного комплекса покрывались лаком с целью определения местоположения и площади эрозионного разрушения лакового покрытия. Исследования проводились на режимах, соответствующих второй стадии кавитации. Было получено, что площадь эрозионного разрушения лакового покрытия на лопастях СА превышает площадь разрушения лакового покрытия РК на 47%. А разрушение лакового покрытия на лопастях спрямляющего аппарата вблизи стойки значительно выше, чем на лопастях в отдалении от нее.

В дальнейшем на основании полученных данных было осуществлено прогнозирование глубины

эрозионного повреждения с течением времени при пересчете на натурные рабочие колеса диаметром 4; 5 и 6 м с соответствующими им СА. Данная работа проводилась на основании разработанной в Крыловском государственном научном центре методики пересчета интенсивности эрозионных повреждений на элементах водометного движителя модели и натуре. Было получено, что лопасти СА подвержены эрозионным разрушениям больше, чем лопасти РК – примерно на 10%.

Наличие стойки угловой колонки оказывает существенное влияние на характер эрозионного разрушения лопастей СА.

Полученные данные следует учитывать при проектировании движительных комплексов и их элементов.

Исследование движительного комплекса на эрозионные разрушения в кавитационной трубе

Erosion studies of pod unit in wind tunnel

При больших скоростях движения судов возрастает опасность возникновения значительных эрозионных повреждений движителей. Особое внимание уделяется эрозионным разрушениям вращающихся элементов движителей, однако в настоящее время процесс моделирования эрозионного воздействия на неподвижные элементы водометов не был затронут исследователями. В данной работе было исследовано влияние кавитационной эрозии на отдельные элементы водометного движителя. Для получения наглядной картины испытания проводились при чрезмерно низких числах, не соответствующих натурным условиям эксплуатации движителей такого типа.

В рамках работы в качестве объекта исследования был взят водометный движитель, в состав которого входила тянущая колонка, короткий водовод (насадка), спрямляющий аппарат и рабочее колесо (рис. 1). Рабочее колесо, спрямляющий аппарат насадка и часть колонки покрывались лаковым покрытием. Использование специального покрытия с низкой эрозионной стойкостью на модели движительного комплекса позволяет спрогнозировать вероятность появления разрушений на элементах натуральных движительных комплексов и расположения очагов эрозии. При модельных испытаниях определялась пороговая скорость, т.е. момент возникновения эрозии на элементах движительного комплекса, площадь очага эрозии и место ее возникновения.

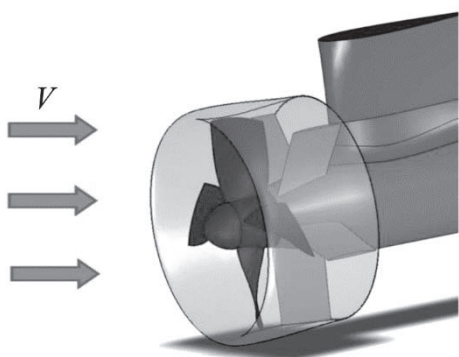
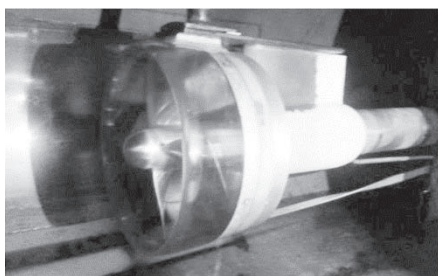
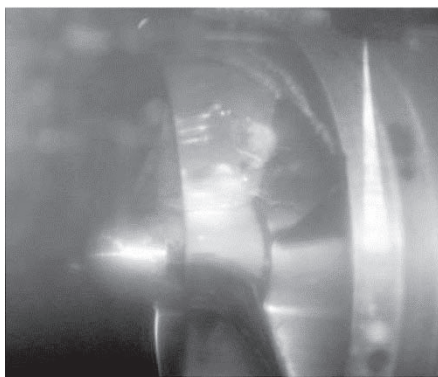


Рис. 1. Общий вид движительного комплекса

Fig. 1. General view of pod unit



a)



б)

Рис. 2. Движительный комплекс:

a) общий вид в рабочем участке

кавитационной трубы;

б) в момент испытаний

Fig. 2. Pod unit: *a)* general view in the test section of wind tunnel;

b) tests in progress

В рамках данной работы испытания проводились в кавитационной трубе при постоянных числах кавитации, соответствующих второй стадии кавитации, и Струхалия ($\sigma_v = 1,5$; $St = 1,0$). На рис. 2*a* изображен движительный комплекс в рабочем участке кавитационной трубы, а на рис. 2*б* – в момент испытаний.

В результате модельных испытаний движительного комплекса было выявлено, что:

- разрушение лакового покрытия лопасти рабочего колеса происходило на засасывающей стороне лопасти, тогда как на нагнетающей стороне лаковое покрытие оставалось целым;
- разрушение лакового покрытия лопасти спрямляющего аппарата превышает площадь повреждения лакового покрытия рабочего колеса на 47 % (рис. 3);
- эрозионное разрушение лакового покрытия на лопастях спрямляющего аппарата вблизи стойки значительно выше, чем на лопастях в отдалении от нее;
- нарушение лакового покрытия насадки под влиянием щелевой кавитации обнаружено не было;
- нарушение лакового покрытия стойки не обнаружено;
- на лопастях спрямляющего аппарата, стоящих в удалении от стойки, эрозионное разрушение на одной лопасти приобретало вид эрозионной сыпи, а на другой интенсивность была в 5 раз ниже, чем у лопастей вблизи стойки.

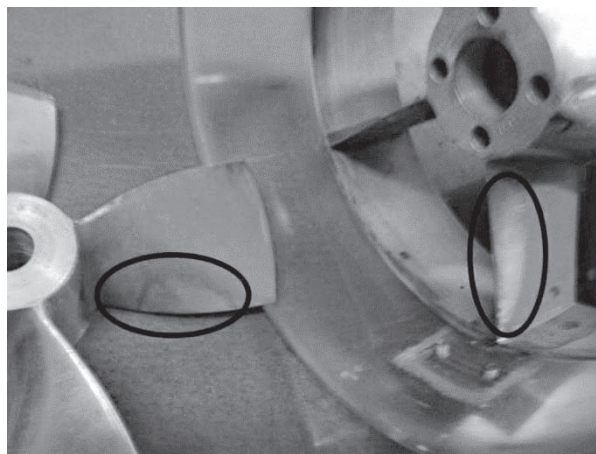


Рис. 3. Разрушение лакового покрытия спрямляющего аппарата и рабочего колеса

Fig. 3. Paint erosion on stator and impeller

Прогнозирование эрозионного разрушения

Prediction of erosion damage

После испытаний на основании разработанной в научном центре методики пересчета было осуществлено прогнозирование эрозионного разрушения с течением времени на натуральных рабочих колесах диаметром $D = 4; 5; 6$ м с соответствующими спрямляющими аппаратами. Вводные данные для расчета глубины эрозионного разрушения приведены в таблице.

В программе осуществляется расчет интенсивности кавитационного воздействия по формуле

$$A = 1,29 \left(\frac{1}{V_{th}} \cdot V_n \sqrt{\frac{D_{fs}}{D_m} \frac{1}{k}} \right)^2 + 0,25 \left(\frac{1}{V_{th}} \cdot V_n \sqrt{\frac{D_{fs}}{D_m} \frac{1}{k}} \right) - 1,54. \quad (1)$$

Прогнозирование эрозионного разрушения
Erosion damage prediction

Данные для расчета	PK 1	PK 2	PK 3
D_m – диаметр модели рабочего колеса, м	0,23	0,23	0,23
D_{fs} – диаметр натурального рабочего колеса, м	4	5	6
V_n – скорость движения натурального судна, kn	23,77	23,77	23,77
V_{th} – пороговая скорость, m/s	6,8	6,8	6,8
n – скорость вращения натурального рабочего колеса, 1/м	152	132	122
S_m – площадь эрозионного разрушения лакового покрытия на модели рабочего колеса, cm^2	8,55	8,55	8,55
Se – энергия деформации материала натурального рабочего колеса, kg/cm^2	1000	1000	1000
k – коэффициент, учитывающий относительную эрозионную стойкость материала натурального рабочего колеса и модели	6,45	6,45	6,45

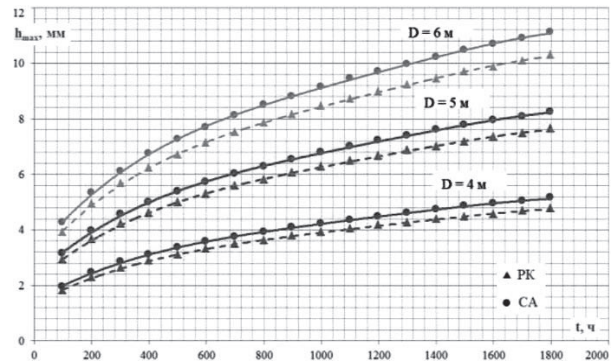


Рис. 4. График зависимости глубины разрушения от времени эксплуатации

Fig. 4. Erosion depth vs service time

Затем производился расчет глубины эрозии H :

$$H = A \cdot 10^{-6} \left[\left(\frac{1}{V_{th}} \cdot V_n \sqrt{\frac{D_{fs}}{D_m}} \right) - 1 \right] \times n \cdot \sqrt{S_m} \cdot \frac{D_{fs}}{D_m} \cdot 60 \cdot t \cdot \frac{1}{S_e}, \quad (2)$$

где t – время эксплуатации. После чего осуществлялся расчет максимальной глубины эрозии от времени эксплуатации для РК и СА h_{max} . На рис. 4 показана зависимость глубины эрозионного разрушения от времени эксплуатации для рабочего колеса и спрямляющего аппарата

$$H_{max} = 9 \cdot \sqrt[3]{H}. \quad (3)$$

Было получено что лопасти спрямляющего аппарата около стойки подвержены эрозионным разрушениям больше, чем РК, примерно на 10 %. Вероятно, это происходит вследствие наличия стойки, которая оказывает существенное влияние на характер эрозионного разрушения лопастей СА. Вне стойки интенсивность эрозионного разрушения лопастей СА резко снижается.

Заключение

Conclusion

Данные исследования позволили установить следующее:

- эрозионное разрушение вследствие развитой кавитации обнаружено как на лопастях рабочего колеса, так и на лопастях спрямляющего аппарата;

- площадь эрозионного повреждения РК по отношению к СА составила 63 %;
- лопасти спрямляющего аппарата подвержены эрозионным разрушениям больше РК на 10 %;
- влияние щелевой кавитации на эрозионные разрушения насадки обнаружено не было;
- влияние кавитации на эрозионные разрушения стойки обнаружено не было.

При последующих проектированиях движительных комплексов необходимо учитывать фактор эрозионного процесса на элементах движительного комплекса с целью увеличения сроков его эксплуатации.

Библиографический список

References

1. *Георгиевская Е.П.* Кавитация гребных винтов и методы борьбы с ней. Л.: Судостроение, 1978. [Ye. *Georgievskaya*. Propeller cavitation and how to mitigate it. L.: Sudostroyeniye, 1978. (in Russian)].
2. *Георгиевская Е.П., Мавлюдов М.А., Салазкин И.В.* О влиянии масштаба на процесс кавитационной эрозии // Гидродинамика транспортных судов. Сб. статей. Л.: 1981. С. 119–130. [Ye. *Georgievskaya, M. Mavlyudov, I. Salazkin*. Scale effects of cavitation-induced erosion // *Gidrodinamika transportnykh sudov* (Hydrodynamics of cargo carriers). Compendium of papers. L.: 1981. P. 119–30. (in Russian)].
3. *Воинов О.В., Воинов В.В.* О схеме захлопывания кавитационного пузырька около стенки и образования кумулятивной струйки // ДАН СССР. 1976. Т. 227. № 1. С. 63–66. [O. *Voinov, V. Voinov*. Collapse pattern of cavitation bubble near the wall and generation of cumulative jet // *Doklady of USSR Academy of Sciences*. 1976; 1(227): 63–6. (in Russian)].
4. *Козырев С.П.* Гидроабразивный износ металлов при кавитации М.: Машиностроение, 1971. [S. *Kozyrev*. Hydroabrasive wear of metals under cavitation. M.: Mashinostroyeniye, 1971. (in Russian)].
5. *Волин В.Э., Луначи Э.Д.* Ускоренное определение кавитационно-эрозионных качеств гидромашин с помощью легко разрушимых лаковых покрытий // Труды ВНИИ Гидромаш. 1968. Вып. 37. С. 122–131. [V. *Volin, E. Lunatsy*. Faster determination of cavitation erosion properties for hydraulic machines by means of easy-to-damage paints // *Transactions of VNIИ Gidromash*. 1968; 37: 122–31. (in Russian)].
6. *Пылаев Н.И., Эдель Ю.У.* Кавитация в гидротурбинах. М.: Машиностроение, 1974. [N. *Pylaev, Yu. Edel*. Cavitation in hydroturbines. M.: Mashinostroyeniye, 1974. (in Russian)].
7. *Ki-Han Kim, Georges Chahine, Jean-Pierre Franc, Ayat Karimy* Advanced experimental and numerical techniques for cavitation erosion prediction. Springer Netherlands, 2014.
8. *Старицкий В.Т.* Зависимость кавитационной эрозии материала от его напряженного состояния // Энергомашиностроение. 1969. № 3. С. 28–29. [V. *Staritsky*. Cavitation erosion vs stressed state of material // *Energomashinostroyeniye* (Power Engineering). 1969; 3: 28–9. (in Russian)].
9. *Sato K.* Study on cavitation erosion // 3-rd Ships propeller symposium drunen. The Netherlands, 1976.

Сведения об авторах

Маринич Николай Владимирович, к.т.н., начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (911) 986-50-43; E-mail: 10_otd@ksrc.ru.

Третьяков Александр Михайлович, инженер 2 категории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 415-47-89; E-mail: alexs_trial@mail.ru.

About the authors

Marinich N., Cand. of Tech. Sc., Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: Moskovskoye sh. 44, St. Petersburg, Russia, 196158. Tel.: +7 (911) 986-50-43; E-mail: 10_otd@ksrc.ru.

Tret'yakov A., 2nd Category Engineer, Krylov State Research Centre. Address: Moskovskoye sh. 44, St. Petersburg, Russia, 196158. Tel.: 8 (812) 415-47-89; E-mail: alexs_trial@mail.ru.

Поступила / Received: 20.02.18
Принята в печать / Accepted: 18.04.18
© Маринич Н.В., Третьяков А.М., 2018