

## **СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

### **SHIP POWER EQUIPMENT**

УДК 629.5.018.7

DOI: 10.37890/jwt.vi77.414

#### **Анализ и оценка методов швартовных испытаний судовой энергетической установки в условиях мелководной акватории**

**Е.В. Богатырева**

*ORCID: 0000-0002-3530-9898*

*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия*

**Аннотация.** В процессе швартовных испытаний, а также при плавании судов на мелководье, нередко возникают трудности в обеспечении нормальных условий работы пропульсивного комплекса, эксплуатационных характеристик энергетической установки и судна в целом. В статье обозначены проблемы при проведении швартовных испытаний на мелководье. Рассмотрены швартовные испытания крупнотоннажного танкера в условиях мелководной акватории, когда нарушается работа главного циркуляционного насоса системы охлаждения вследствие загрязнения проточной части главного конденсатора частичками грунта. Обоснована экономическая нецелесообразность испытания танкера в море при постановке его на якоря или бочки в районе, безопасном для мореплавания и имеющем достаточную глубину воды. Рассмотрен способ забора охлаждающей воды сверху с помощью кессона, что исключило непроизводительные затраты. Приведен способ швартовки судна, при котором струя воды от гребного винта не вредит причальным сооружениям и не размывает грунт акватории; описаны средства имитации номинальных параметров исполнительных механизмов, что позволяет проводить швартовные испытания механизмов, систем и устройств без вывода главной силовой установки на режим повышенных нагрузок, и, как следствие, сократить время проведения испытаний.

**Ключевые слова:** швартовные испытания, мелководная акватория, нулевой упор, холостой ход, турбозубчатый агрегат, винт регулируемого шага, упор гребного винта, кессон

#### **Analysis and evaluation of mooring testing methods of a ship power plant in shallow water conditions**

**Elena V. Bogatyreva**

*ORCID: 0000-0002-3530-99898*

*Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia*

**Abstract.** In the process of mooring trials, as well as when ships are sailing in shallow water, difficulties often arise in ensuring normal operating conditions for the propulsion complex, the performance of the power plant and the ship as a whole. The article outlines the problems during mooring tests in shallow water. Mooring tests of a large-tonnage tanker in shallow water conditions are considered, when the operation of the main circulation pump of the cooling system is disrupted due to contamination of the flow path of the main condenser with soil particles. The economic inexpediency of tanker testing at sea when it is anchored or barreled in an area that is safe for navigation and has sufficient water depth is substantiated. The method of taking cooling water from above with the help of a caisson is considered, which eliminated unproductive costs. The mooring method is given, in which the water jet

from the propeller does not harm the berthing facilities and does not erode the soil of the water area; the means of simulating the nominal parameters of the actuators are described, which makes it possible to carry out mooring tests of mechanisms, systems and devices without bringing the main power plant to the mode of increased loads, and, as a result, to reduce the testing time.

**Keywords:** mooring trials, shallow water area, zero thrust, idling, turbo-tooth unit, controllable pitch propeller, propeller stop, caisson

### **Введение**

Как показывает практика, в процессе швартовных испытаний, а также при плавании судов на мелководье, нередко возникают трудности в обеспечении нормальных условий работы пропульсивного комплекса, эксплуатационных характеристик энергетической установки и судна в целом [1-10].

Перспективной возможностью для управления режимом работы главного двигателя (ГД) является подача воздуха на засасывающую поверхность лопасти винта. Тем самым обеспечивается номинальная мощность ГД на швартовных испытаниях при частоте вращения, близкой к проектной [6].

Максимально оптимальной работы пропульсивного комплекса судна позволяют достичь щелевые насадки на лопасти гребного винта [7].

Кроме того, при проведении швартовных испытаний на мелководье присутствует проблема вымывания грунта акватории и грунта причальных сооружений струей воды, отбрасываемой гребным винтом [8, 9].

В данной работе приводится описание и анализ опыта проведения швартовных испытаний крупнотоннажного танкера в условиях мелководной акватории.

### **Основные проблемы при швартовных испытаниях танкера**

При проведении швартовных испытаний главной энергетической установки (ГЭУ) супертанкеров типа «Крым» на мелководной акватории завода основная трудность заключалась в создании нормальных условий работы комплекса гребного винта регулируемого шага—главный турбо-зубчатый агрегат—главный котел (ВРШ—ГТЗА—ГК), при которых была бы исключена возможность засасывания в систему охлаждения ГТЗА вместе с забортной водой механических примесей, камней, песка и других мелких фракций грунта со дна акватории [10].

Предварительный анализ позволил установить, что комплекс ВРШ—ГТЗА—ГК в период швартовных испытаний на акватории завода нормально функционирует при глубине воды под килем в районе приемных отверстий не менее 3 м и осадке кормы не менее 9 м. Такая осадка обеспечивает полное заглубление гребного винта, равномерность частоты вращения и крутильных колебаний в линии валопровода, что гарантирует нормальную приработку зубчатого зацепления главного редуктора ГТЗА.

Однако создать нормальные условия для проведения швартовных испытаний главной силовой установки на акватории завода не представлялось возможным. При полном заглублении гребного винта приемные отверстия оказываются расположенными вблизи дна, а глубина воды под килем составляет менее 0,5 м, что исключает безопасную работу главного циркуляционного насоса системы охлаждения. Благодаря большому разрежению при всасывании на такой глубине проточная часть главного конденсатора загрязняется частицами грунта, что не позволяет проверить работу насоса при полной производительности.

Кроме того, на период швартовных испытаний необходимо было обеспечить безопасную швартовку и закрепление судна в связи со значительными величинами упора и крутящего момента ВРШ, возникающими при работе главной силовой

установки на режиме швартовной нагрузки и передаваемыми причальным сооружениям.

Расчеты, выполненные для обоснования экономически целесообразного и технически возможного способа испытаний, показали, что создание нормальных условий проведения испытаний мощных силовых установок крупнотоннажных судов на акватории завода требовала больших (не менее 1,5 млн. руб.) капитальных затрат на реконструкцию причальных сооружений, проведение дноуглубительных работ и работ по укреплению грунта от размыва струей воды, отбрасываемой гребным винтом, бетонными плитами или крупной галькой. Например, согласно расчетам и выполненным исследованиям, акваторию завода в месте стоянки танкера необходимо было углубить на 4—5 м на площади не менее 3000 м<sup>2</sup> и произвести на площади не менее 16 000 м<sup>2</sup> укрепление грунта от размыва.

Ввиду большой трудоемкости указанных работ было рекомендовано проводить швартовные испытания танкера в море при постановке его на якоря или бочки в районе, безопасном для мореплавания и имеющем глубину воды не менее 50 м. Безопасность танкера на период швартовных испытаний должны были обеспечивать два арендованных буксира мощностью по 1200 э. л. с. каждый. В этом случае сроки постройки танкера увеличились бы на 30—40 дней из-за ежедневного отрыва от достроечных работ не менее 300 рабочих, поэтому данное предложение было также экономически невыгодным.

В целях исключения непроизводительных затрат и своевременной сдачи судна заказчику был предложен новый способ забора охлаждающей воды с помощью кессона, благодаря которому швартовные испытания силовой установки можно было проводить в условиях мелководной акватории. Отличительная особенность этого способа — изменение потока воды, подтекающей к приемным отверстиям.

Согласно применяемому ранее способу, засасываемый насосом поток забортной воды подтекал к отверстиям снизу, непосредственно с придонных заиленных слоев воды по линиям тока, показанным на рис. 1. При этом наибольшей скоростью обладают частицы воды по линиям тока, расположенным в центральной части засасываемого потока на участке 2.

По мере увеличения искривлений линий тока скорость воды в них будет убывать и становиться равной нулю на участке 1, расположенном на расстоянии от приемных отверстий, равном по величине не менее шести радиусам, определенным из их суммарной площади. В этом случае существует большая вероятность засасывания в систему охлаждения ГТЗА ила и песка со дна акватории.

### **Применение кессона для подачи воды в систему охлаждения**

Для исключения попадания в систему охлаждения частиц грунта применен специальный кессон, который представляет собой коробчатую конструкцию, открытую для приема воды сверху, и является как бы продолжением системы охлаждения за пределами корпуса судна. Замкнутый объем, куда предварительно попадает вода, образуется днищем 3, боковыми 1 и задней 2 стенками (рис. 2). Открытая боковая часть кессона выполняется по форме обводов корпуса судна и в местах прилегания к нему уплотняется профильной резиной. Крепление кессона (рис. 3) производится с помощью тег 2 с Т-образными захватами, которые пропускаются через кессон, заводятся в приемные отверстия и разворачиваются в них на 90°, после чего прижимаются гайкой к корпусу судна. Заводка кессона и поддержание его в момент крепления осуществляются с помощью береговых или судовых грузоподъемных средств и плавучего понтона (до заглубления гребного винта путем принятия балласта в кормовые цистерны). В качестве материала для кессона использовано дерево, что облегчает его изготовление, монтаж и демонтаж.

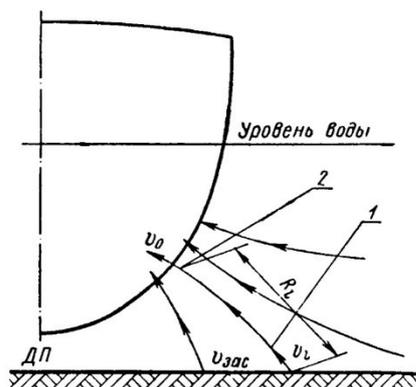


Рис. 1. Схема забора охлаждающей воды в приемные отверстия без применения кессона

Для обеспечения неразрывности потока площадь входного сечения замкнутого объема, образованного кессоном и бортом судна, должна быть не меньше суммарной площади прикрываемых приемных отверстий. Высота кессона должна выбираться по расстоянию  $R_L$  от геометрического центра площади приемных отверстий вдоль центральной линии тока  $1$  (см. рис. 1) до точки, в которой местные скорости засасываемого потока  $v_1$  меньше скорости перемещения частиц грунта  $v_{зас}$ . В целях удобства практических расчетов высота кессона  $H$  выбирается равной шести радиусам, определенным по суммарной площади приемных отверстий.

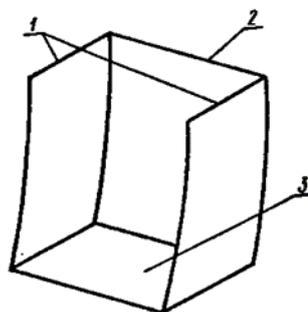


Рис. 2. Кессон: 1 – боковые стенки; 2 – задняя стенка; 3 – днище

Благодаря применению кессона прием охлаждающей воды производится сверху на уровне средних слоев (см. рис. 3). Величина заглубления верхней кромки кессона составляет не менее 200 мм. Нижние приемные отверстия оказываются защищенными от придонных слоев воды и прикрытыми кессоном, что позволяет избежать засасывания частиц грунта в систему охлаждения.

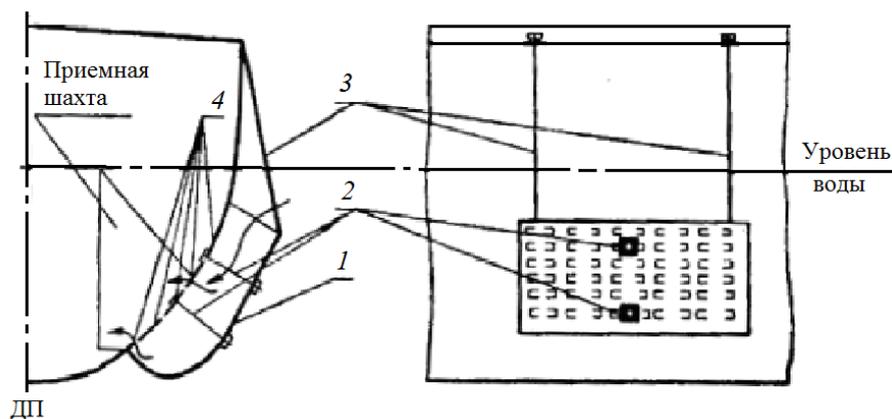


Рис. 3. Форма кессона для забора охлаждающей воды

На рисунке 4 показано заглубление кессона и гребного винта при проведении швартовых испытаний ГЭУ на акватории завода. В соответствии с принятыми обозначениями, минимально допустимая глубина воды под килем судна  $H_2$  в месте постановки кессона определяется в зависимости от величины относительного заглубления оси гребного винта от свободной поверхности  $h_s/D_B$  ( $h_s$  — расстояние от оси винта до поверхности воды, м;  $D_B$  — диаметр винта, м) по формуле:

$$H_2 = H_1 - (h_s + h),$$

где  $h$  — расстояние от оси винта до основной линии, м.

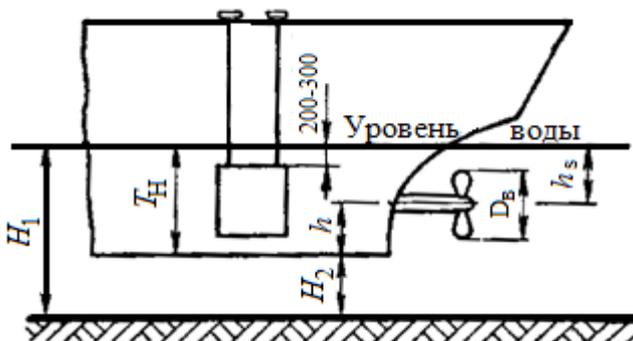


Рис. 4. Заглубление кессона и гребного винта

Осадка кормовой части корпуса судна  $T_k$  на период испытаний с помощью кессона выбиралась равной  $T_k = h_s + h = 2,8 + 5,2 = 8,0$  м. С целью исключения подсоса воздуха со свободной поверхности воды при работе гребного винта на режимах швартовой нагрузки отношение  $h_s/D_B$  должно быть не менее 0,6.

### Выбор способа швартовки судна

Один из важнейших факторов, влияющих на надежность проведения испытаний главной силовой установки танкера в условиях ограниченной акватории завода, — выбор способа швартовки и постановки судна к причальной стенке.

Принято считать, что наиболее надежен способ швартовки судна носом к причальной стенке, воспринимающей весь упор гребного винта. В этом случае

большое внимание должно уделяться предотвращению размыва акватории и направлению отбрасываемого винтом потока в нужном направлении.

Однако вследствие ограниченности акватории и наличия на ней судоходного фарватера этот способ оказался неприемлемым. Поэтому необходимо было выбрать такой способ постановки судна, при котором отсутствовал бы размыв причальных сооружений, а переформирование дна акватории под действием струи от винта осуществлялось бы в направлении, безопасном для судоходства.

Для танкеров типа «Крым» наиболее удачной оказалась швартовка, схема которой приведена на рисунке 5. В этом случае кормовая часть судна выдвинута за причальную стенку на расстояние не менее 20 м, при котором размывающий поток не оказывает воздействия на стенку. С целью безопасности испытаний в части швартовки судна мощность ГЭУ была ограничена по упору гребного винта до 20% номинальной нагрузки ГТЗА.

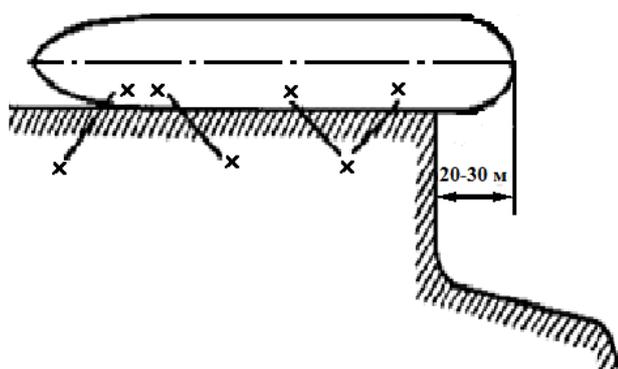


Рис. 5 Схема швартовки судна у достроечной набережной завода

### **Проведение швартовных испытаний**

При испытании головного танкера на достроечной набережной был оборудован контрольный пост с двусторонней связью с машинным отделением и ходовым мостиком для наблюдения за надежностью швартовки судна. В первые часы работы главного циркуляционного насоса системы охлаждения ГТЗА производился анализ забортной воды на содержание в ней взвешенных частиц грунта. Только после получения удовлетворительных результатов о чистоте охлаждающей воды осуществлялись пробный пуск ГТЗА и прием пара главным конденсатором.

Швартовные испытания комплекса ВРШ— ГТЗА—ГК проводились после выполнения всего объема регулировочно-наладочных работ, пробных пусков и кратковременной проверки работоспособности механизмов, систем, устройств и аппаратуры, обслуживающих комплекс. Цель испытаний — проверка работы всех элементов комплекса во взаимодействии под частичной нагрузкой и определение готовности ГЭУ к ходовым испытаниям.

Швартовные испытания ГЭУ проводились в два этапа:

- при работающем ГТЗА, когда главная котельная установка находится в стояночном режиме;
- при работающем ГТЗА от главного котла.

В период испытаний при неработающем ГТЗА проверяется действие следующих механизмов, систем и устройств, обслуживающих комплекс ВРШ—ГТЗА—ГК:

валоповоротного устройства (ВПУ) вручную и с помощью электродвигателя с проверкой сигнализации положения муфты ВПУ; устройств системы управления и защиты ГТЗА (сигнализация положений быстрозапорного, отсечного и регулирующего клапанов при различных переключениях органов системы управления); приборов контроля прогиба роторов турбины; редукционных клапанов масляной системы ГТЗА; подогревателей масла; системы сигнализации предельно допустимого уровня конденсата в главном конденсаторе; системы укупорки и отсоса пара от концевых уплотнений турбин; вакуумного насоса; масляных насосов перекачки лопастей ВРШ; механизма поворота лопастей ВРШ в различных положениях органов управления; дистанционной системы автоматического управления (ДАУ) комплексом ВРШ—ГТЗА—ГК по каналам изменения шага и частоты вращения; системы дистанционного управления арматурой и механизмами; регуляторов уровня и давлений, установленных в магистралях греющего, охлажденного и отработавшего пара, коллекторах, подогревателях, конденсаторах, деаэраторах; световой исполнительной сигнализации системы ДАУ с главного и центрального пультов управления на секциях котлов ВРШ—ГТЗА о работе механизмов и агрегатов паротурбинной установки (ПТУ); световой и звуковой предупредительной сигнализации системы централизованного автоматического контроля; шинно-пневматической муфты турбоблока при ее включении-отключении с помощью системы ДАУ главной ПТУ и вспомогательной электроэнергетической установками.

Наладка режимов работы указанного оборудования при бездействии главной силовой установки и проверка срабатывания приборов и средств автоматики производились с помощью имитаторов температуры и давлений, что позволило значительно сократить продолжительность швартовных испытаний, повысить надежность и качество регулировочно-наладочных работ.

Швартовные испытания при работающем ГТЗА проводятся в комплексе со всеми механизмами, системами, устройствами и приборами, обслуживающими ВРШ, ГТЗА и главный котел. Обеспечение паром всех потребителей осуществляется от главного котла, который в этот период работает на полной производительности.

Ввод установки в действие с холодного состояния сначала производится на режим холостого хода, затем после прогрева турбин паром через концевые уплотнения — на режимы «порт» при частоте вращения  $0,83 \text{ с}^{-1}$  (50 об/мин) и «море» с частотой вращения  $1,41 \text{ с}^{-1}$  (85 об/мин) как с местного поста управления, так и с помощью дистанционного управления.

Режим холостого хода обеспечивается установкой лопастей ВРШ в положение так называемого «шага нулевого упора» ( $H/D$ ) = 0. Проверка этого режима для установок с ВРШ — одна из основных и ответственных, позволяющих определить неподвижность судна при работающем комплексе ВРШ—ГТЗА в исходном положении органов управления.

Испытания на режиме нулевого упора проводились при ослабленных швартовных тросах, при этом отсутствие хода судна вперед или назад определялось визуальным методом по изменению положения корпуса судна относительно контрольной точки на причальной стенке и провисанию или натяжению швартовных тросов. Наблюдение осуществлялось с помощью берегового контрольного поста, оборудованного телефонной связью с ходовой рубкой.

Однако наиболее точным методом проверки режима «нулевого упора» является метод, основанный на измерении усилий кручения в материале гребного вала при вращении его с частотой  $0,41—0,50 \text{ с}^{-1}$  (25—30 об/мин) с помощью специальной тензостанции. Он может быть рекомендован при проведении швартовных испытаний ГЭУ головных судов с ВРШ, так как применение визуального метода в этом случае не обеспечивает достаточной точности и не позволяет в полной мере выявить

конструктивные недостатки программных элементов систем управления ГТЗА и ВРШ.

На режимах «порт» и «море» нагрузка ГТЗА создавалась изменением шага ВРШ. Минимально допустимый уровень нагрузки, равный 20% номинальной мощности, обеспечивался при шаговом отношении  $H/D = 0,2$ . При этом прием нагрузки производился постепенно в следующей последовательности:

- с помощью приводов-задатчиков оборотов и шага (ПЗО и ПЗШ) на местных постах и дистанционно производятся выход на режим с частотой вращения  $0,83 \text{ с}^{-1}$  (50 об/мин) и ступенчатый подъем нагрузки с  $H/D = 0,0$  до  $H/D = 0,2$  через  $H/D = 0,1$  в течение 1,5 ч;
- переход на режим с частотой вращения  $0,83 \text{ с}^{-1}$  (50 об/мин) при  $H/D = 0,0$ ;
- переход на режим с частотой вращения  $1,41 \text{ с}^{-1}$  (85 об/мин) при  $H/D = 0,0$ ;
- ступенчатый прием нагрузки с  $H/D = 0,0$  до  $H/D = 0,2$  при частоте вращения  $1,41 \text{ с}^{-1}$  (85 об/мин);
- работа на режиме с частотой вращения  $1,41 \text{ с}^{-1}$  (85 об/мин) с нагрузкой от винта в течение 1,5 ч.

В период испытаний производится регистрация следующих параметров:

- зазоры по лапам и шпонкам корпуса турбины высокого давления;
- частота крутильных колебаний валов редуктора и величины напряжений в зубчатой передаче редуктора (проверялись только на головном судне);
- величины ходов ПЗО при частоте вращения  $0,83$  и  $1,41 \text{ с}^{-1}$  (50 и 85 об/мин);
- максимальная величина корректирующего сигнала частоты вращения;
- величина установки корректора шага и регулятора скорости ГТЗА; давление пара в магистралях охлажденного пара, греющего пара в парогенераторе низкого давления, деаэраторе, водоопреснительных установках и системе уплотнений ГТЗА;
- уровень воды в подогревателе низкого давления, вспомогательном конденсаторе и деаэраторе;
- температура подшипников редуктора и валопровода.

Для увеличения нагрузки на ГТЗА и проверки полной паропроизводительности главного котла на режиме с частотой вращения  $1,5 \text{ с}^{-1}$  (89 об/мин) производилось подключение к ГТЗА турбоблока приводных механизмов: главного турбогенератора и главного питательного насоса. Во время швартовых испытаний 100%-ная нагрузка на турбогенераторы создавалась с помощью нагрузочного устройства и судовых потребителей. При этом проверялись следующие действия системы управления:

- дистанционное подключение к ГТЗА работающего турбоблока и прекращение подачи пара на автономную турбину;
- дистанционное отключение турбоблока от ГТЗА с автоматическим пуском автономной турбины;
- автоматическое отключение турбоблока с одновременным автоматическим пуском автономной турбины при понижении частоты вращения ГТЗА менее 5% номинального значения с помощью корректора частоты вращения, закрытии быстрозапорного клапана ГТЗА путем имитации сигнала, переходе ГТЗА из режима «море» в режим «порт»;
- защита турбоблока с отключением его от ГТЗА и остановкой при падении давления масла в линии смазки ниже установочного значения;
- время включения и выключения шинно-пневматической муфты;

- точность поддержания частоты вращения гребного вала в пределах  $\pm 5\%$  от номинала;
- маневрирование мощностью турбоблока с целью поддержания частоты вращения генератора при изменении нагрузки на винте и генераторе;
- автоматическое отключение турбоблока при вынужденной остановке ГТЗА и др.

Следует отметить, что наиболее трудоемкими при подготовке и проведении швартовных испытаний главной силовой установки являются работы по проверке топливной системы главного котла и наладке системы автоматики конденсатно-питательного тракта, проверке функционирования и состояния главного котла, его элементов и устройств под паром на ручном, полуавтоматическом и автоматическом управлении на спецификационных параметрах, а также по наладке систем дистанционного автоматизированного управления и контроля, системы регулирования, управления и защиты (РУЗ) ГТЗА.

### **Заключение**

Как показал опыт испытания крупнотоннажного танкера «Крым», при швартовных испытаниях в условиях мелководья возможной основной проблемой может стать попадание в систему охлаждения частиц грунта, загрязнение главного конденсатора, что приведет к невозможности проверки насоса при полной производительности. В данном случае представляется возможным применение метода забора охлаждающей воды с помощью кессона, что обеспечит подачу чистой воды в систему охлаждения.

Выбор наиболее рационального способа швартовки судна и ограничение величины упора гребного винта позволит сохранить причальные сооружения и грунт акватории от размыва струей воды, отбрасываемой гребным винтом.

Применение средств имитации номинальных параметров исполнительных механизмов при наладке приборов и аппаратуры автоматики позволяет проводить швартовные испытания механизмов, систем и устройств на более ранней стадии их готовности без вывода главной силовой установки на режимы повышенных нагрузок, а также сокращает сроки проведения испытаний.

Также вариантом управления режимом работы ГД может быть подача воздуха на засасывающую поверхность лопасти винта, что обеспечит номинальную мощность ГД на швартовных испытаниях при частоте вращения, близкой к проектной.

Задача обеспечения номинальной мощности главного двигателя на швартовных испытаниях остается актуальной.

### **Список литературы**

1. Чуринов М.Ю. Расчет величин динамической просадки судов на мелководье при течении // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек : Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов, Нижний Новгород, 16–19 мая 2017 года / ВГБОУ ВО "ННГАСУ, ФГБОУ ВО "ВГУВТ". – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2017. С. 70. EDN YRTHEW.
2. Шевчук И.В., Корнев Н. В., Рыжов В. А. Численное моделирование корабельного следа на мелководье с использованием гибридного URANS-LES метода // Морской вестник. 2013. № S1(10). С. 83-85. – EDN QCIWMJ.
3. Повышение безопасности судовождения при плавании судна на мелководье / В. И. Истомина, В. М. Цалоев, В. В. Хлебникова, С. Е. Тверская // Морские

- интеллектуальные технологии. 2021. № 1-1(51). С. 41-44. DOI 10.37220/MIT.2021.51.1.006. EDN KZXIGA.
4. Кузьмин В. Д., Пазынич Г.И. Расчет уменьшения скорости промышленного судна при плавании на мелководье простым и точным способом // Практическая подготовка в морском образовании : Сборник трудов региональной научно-практической конференции, Керчь, 16–17 ноября 2017 года / Под общей редакцией Е.П. Масюткина. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет». 2017. С. 89-101. EDN UZYZVX.
  5. Клименко Н.П., Шаратов А.С., Охлонин В.А. Анализ влияния струйного интерцептора лопасти на поток воды, взаимодействующий с гребным винтом // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2020. № 4. С. 42-50. DOI 10.47404/2619-0605\_2020\_4\_42. EDN PRKJIE.
  6. Шаратов А.С., Горбенко А.Н. Совершенствование швартовных испытаний главного двигателя, работающего на винт фиксированного шага // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 2. С. 32-42. DOI 10.24143/2073-1574-2021-2-32-42. EDN IDJEPF.
  7. Шаратов А. С. Особенности реализации дополнительного струйного воздействия воды на лопасти гребного винта фиксированного шага // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 1. С. 53-62. DOI 10.24143/2073-1574-2019-1-53-62. EDN YWLPH.
  8. Амахин В.А. Размывающее действие судового гребного винта в процессе швартовных испытаний //Технология судоремонта. 1996. №2. С. 18-22.
  9. Численное моделирование взаимодействия струи от винта с грунтом / М. П. Лобачев, А. В. Пустошный, К. Е. Сазонов, И. А. Чичерин // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2008. Т. 1, № 1. С. 88-98. – EDN KNPJED.
  10. Данилов А.Т., Ивлев А.П. Опыт проведения швартовных испытаний главных силовых установок танкеров в условиях мелководной акватории // Научно-технический и производственный сборник «Технология судостроения». 1981. №4. С. 42-46.

#### References

1. Churin M. Yu. Raschet velichin dinamicheskoy prosadki sudov na melkovod'ye pri techenii [Calculation of the values of the dynamic drawdown of ships in shallow water during the current] // Problemy ispol'zovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putey v basseynakh velikikh rek : Trudy mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. Materialy nauchno-metodicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, spetsialistov i studentov May 16–19. 2017, p. 70, (In Russ). - EDN YRTHEW.
2. Shevchuk, I. V., Kornev, N. V., Ryzhov., V. A. Chislennoye modelirovaniye korabel'nogo sleda na melkovod'ye s ispol'zovaniyem gibridnogo URANS-LES metoda [Numerical modeling of a ship wake in shallow water using the hybrid URANS-LES method] // Morskoy vestnik. 2013, S1(10), pp. 83-85, (In Russ). – EDN QCIWMJ.
3. Istomin, V.I., Tsaloev, V.M., Khlebnikova V.V., Tverskaya S.E. Povysheniye bezopasnosti sudovozhdeniya pri plavanii sudna na melkovod'ye [Improving the safety of navigation when sailing a ship in shallow water] // Morskiye intellektual'nyye tekhnologii. 2021, no. 1-1 (51), pp. 41-44, (In Russ). DOI 10.37220/MIT.2021.51.1.006. – EDN KZXIGA.
4. Kuz'min V. D., Pazynich, G. I. Raschet umen'sheniya skorosti promyslovogo sudna pri plavanii na melkovod'ye prostym i tochnym sposobom [Calculation of the reduction in the speed of a fishing vessel when sailing in shallow water in a simple and accurate way] // Prakticheskaya podgotovka v morskoy obrazovanii : Sbornik trudov regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kerch', 16–17 noyabrya 2017 goda / Pod obshchey redaktsiyey Ye.P. Masyutkina. – Kerch': FGBOU VO “Kerchenskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnologicheskii universitet”. 2017, pp. 89-101, (In Russ). – EDN UZYZVX.
5. Klimenko, N. P., Sharatov, A. S., Okhlonin, V. A. Analiz vliyaniya struynogo interseptora lopasti na potok vody, vzaimodeystvuyushchiy s grebnym vintom [Analysis of the influence of a jet blade spoiler on the water flow interacting with the propeller]// Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2020, no 4, pp. 42-50, (In Russ). DOI 10.47404/2619-0605\_2020\_4\_42. – EDN PRKJIE.

6. Sharatov, A. S., Gorbenko, A. N. Sovershenstvovaniye shvartovnykh ispytaniy glavnogo dvigatelya, rabotayushchego na vint fiksirovannogo shaga [Improvement of mooring tests of the main engine operating on a fixed pitch propeller] // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2021, no 2. pp. 32-42, (In Russ). DOI 10.24143/2073-1574-2021-2-32-42. – EDN IDJEPF.
7. Sharatov, A. S. Osobennosti realizatsii dopolnitelnogo struynogo vozdeystviya vody na lopasti grebnogo vinta fiksirovannogo shaga [Features of the implementation of an additional jet effect of water on the blades of a fixed-pitch propeller] // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2019. no. 1, pp. 53-62, (In Russ). DOI 10.24143/2073-1574-2019-1-53-62. – EDN YWLIH.
8. Amakhin, V.A. Razmyvayushcheye deystviye sudovogo grebnogo vinta v protsesse shvartovnykh ispytaniy [Scouring action of a ship's propeller during mooring trials] // Tekhnologiya sudoremonta. 1996, no. 2, pp. 18-22, (In Russ).
9. Lobachev, M. P., Pustoshnyy, A. V., Sazonov, K. Ye., Chicherin, I. A. Chislennoye modelirovaniye vzaimodeystviya strui ot vinta s gruntom [Numerical simulation of the interaction of a jet from a propeller with soil] // Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika. 2008, no. 1, pp. 88-98, (In Russ). – EDN KNPJED.
10. Danilov, A.T., Ivlev, A.P. Opyt provedeniya shvartovnykh ispytaniy glavnykh silovykh ustanovok tankerov v usloviyakh melkovodnoy akvatorii [Experience in carrying out mooring tests of the main power plants of tankers in shallow waters] // Nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyy sbornik "Tekhnologiya sudostroyeniya". 1981, no. 4, pp. 42-46, (In Russ).

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Богатырева Елена Владимировна** – к.т.н.,  
доцент кафедры судовых энергетических  
установок «Керченский государственный  
морской технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская  
Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82,  
e-mail: arev\_66@mail.ru

**Elena V. Bogatyreva** – PhD in Engineering  
Science, Associate Professor of the Department  
of of marine power plants, Kerch State Maritime  
Technological University, 82 Ordzhonykdyze  
Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail:  
arev\_66@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.06.2023; опубликована онлайн 20.12.2023.  
Received 21.06.2023; published online 20.12.2023.