

## СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФЛОТА

### SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND FLEET RUNNING

Научная статья

УДК 629.526

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-7-13>

#### Модернизация малого опытового бассейна для комплексных испытаний подвесных лодочных моторов

*М. Н. Покусаев<sup>1</sup>, К. Е. Хмельницкий<sup>2</sup>✉, А. А. Хмельницкая<sup>3</sup>, М. М. Горбачев<sup>4</sup>,  
А. А. Кадин<sup>5</sup>, Е. В. Кадина<sup>6</sup>, М. А. Толочин<sup>7</sup>, С. А. Прудков<sup>8</sup>*

<sup>1-8</sup> Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, [chuchera80@mail.ru](mailto:chuchera80@mail.ru)✉

**Аннотация.** Проведена модернизация малого опытового бассейна ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», который позволял осуществлять анализ отработавших газов подвесных лодочных моторов на вредные выбросы, с целью расширения видов проводимых экспериментов с подвесными лодочными моторами на основании ранее полученного патента на полезную модель RU 196596 U1, 06.03.2020, предназначенного для проведения комплексных испытаний подвесных лодочных моторов. Малый опытовый бассейн был дооборудован техническими средствами в виде устройства (трубоотвод) для перенаправления потока воды, создаваемого гребным винтом подвесного лодочного мотора и контрольно-измерительными приборами, позволяющими определять уровень шума, вибрации, температуры и т. д. Для проведения дальнейших испытаний возникла потребность в оценке количества теплоты, выделяемой в воду посредством выхода отработавших газов из дейдвуда подвесного лодочного мотора, трения, создаваемого гребным винтом о воду, нагревом в процессе работы конической гипоидной передачи в редукторе подвесного лодочного мотора, при использовании различных видов смазочных масел, что вызвало необходимость дооборудовать малый опытовый бассейн теплоизоляцией для сохранения теплоты. В связи с особыми требованиями к теплоизоляции малого опытового бассейна, а именно небольшой толщины покрытия, нейтральности при взаимодействии с горючими и смазочными материалами, применена теплоизолирующая краска фирмы ООО НПП «Термалком» марки «Астратек Металл». Для измерения некоторых специфических параметров, в частности шума системы газовыхлопа подвесного лодочного мотора, возникла проблема проведения экспериментов с открытой крышкой малого опытового бассейна, что привело бы к существенному разбрызгиванию воды при вращении гребного винта. Приведено подробное описание технических решений, конструкций и принципов действия устранения установленных недостатков в малом опытовом бассейне.

**Ключевые слова:** малый опытовый бассейн, теплоизолирующая краска, подвесной лодочный мотор, маломерное судно, материал

**Для цитирования:** Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е., Хмельницкая А. А., Горбачев М. М., Кадин А. А., Кадина Е. В., Толочин М. А., Прудков С. А. Модернизация малого опытового бассейна для комплексных испытаний подвесных лодочных моторов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 1. С. 7–13. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-7-13>.

Original article

#### Modernizing small model tank for comprehensive testing outboard motors

*M. N. Pokusaev<sup>1</sup>, K. E. Khmelniyskiy<sup>2</sup>✉, A. A. Khmelniyskaya<sup>3</sup>, M. M. Gorbachev<sup>4</sup>,  
A. A. Kadin<sup>5</sup>, E. V. Kadina<sup>6</sup>, M. A. Tolochin<sup>7</sup>, S. A. Prudkov<sup>8</sup>*

<sup>1-8</sup> Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, [chuchera80@mail.ru](mailto:chuchera80@mail.ru)✉

**Abstract.** The article focuses on modernization of a small model tank in Astrakhan State Technical University, which was used for comprehensive testing of outboard motors and analyzing the exhaust gases of outboard motors for harm-

ful emissions. Modernization was undertaken to expand the types of experiments carried out with outboard motors based on a previously obtained utility model patent RU 196596 U1, 06.03.2020. The small experimental pool was equipped with technical means, such as a device (pipe outlet) for redirecting the water flow from the outboard motor propeller and measuring instruments for determining the level of noise, vibration, temperature, etc. For further testing, it was necessary to evaluate the amount of heat discharged into the water by exhaust gases from the deadwood of the outboard motor, by friction developed by the propeller in the water, by heating during operation of the bevel hypoid gear in the gearbox of the outboard motor, by using various types of lubricating oils. All these caused the need to equip the small experimental pool with thermal insulation to save heat. Due to the special requirements for the thermal insulation of the small experimental pool, namely, a small thickness of the coating, neutrality when interacting with combustible materials and lubricants there was used a heat-insulating paint produced by NPP Termalcom, LLC, Astratek Metal brand. To measure the specific parameters, in particular, noise of the gas exhaust system of an outboard motor, there arose a problem to conduct the experiments in the tank with an open lid, which could result in splashing water during the propeller rotation. A detailed description of technical solutions, designs and principles of action to eliminate the identified shortcomings in a small experimental pool is given.

**Keywords:** small model tank, heat-insulating paint, outboard motor, small boat, material

**For citation:** Pokusaev M. N., Khmelnitsky K. E., Khmelnitskaya A. A., Gorbachev M. M., Kadin A. A., Kadina E. V., Tolochin M. A., Prudkov S. A. Modernizing small model tank for comprehensive testing outboard motors. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022;1:7-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-7-13>.

### Введение

В процессе подготовки к выполнению научно-исследовательских работ по испытаниям подвесных лодочных моторов (ПЛМ) в учебно-научно-производственной лаборатории «Подвесные лодочные моторы» кафедры «Эксплуатация водного транспорта» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» возникла необходимость в модернизации малого опытового бассейна (МОБ) [1] на основании ранее полученного патента на полезную модель RU 196596 U1, 06.03.2020 [2], для сохранения теплоты, генерируемой ПЛМ внутри бассейна. Для решения возникшей задачи был произведен подбор теплоизолирующего материала, нейтрального к воздействию горюче-смазочных материалов, попадание которых на поверхность МОБ происходит при испытаниях ПЛМ. Важным требованием при подборе теплоизоляции являлась необходимость сохранения габаритов МОБ и неизменного расположения датчиков, входящих в состав системы контроля параметров. К дополнительным требованиям к теплоизоляционному материалу относятся стойкость к механическим повреждениям, адгезия к поверхности, удобство нанесения на неровные поверхности. В результате поиска среди теплоизолирующих материалов, отвечающих вышеуказанным требованиям, было принято решение покрыть металлическую поверхность МОБ теплоизолирующим покрытием марки «Астратек Металл» производства фирмы ООО НПП «Термалком» [3]. Второй задачей стал поиск технического решения для предотвращения разбрызгивания воды во время вращения гребного винта и измерения шума системы газвыхлопа ПЛМ при испытаниях с открытой крышкой МОБ. Для этого рассматривались различные варианты, в частности защитные экраны, поэтому было принято решение установить устройство пе-

реходного сечения (далее – трубоотвод), направляющее поток воды, генерируемый гребным винтом ко дну МОБ. Для дополнительного контроля температуры воды в МОБ было установлено два цифровых термометра, которые в паре с аналоговым термометром позволяют уточнить среднее значение температуры.

Целью модернизации являлось усовершенствование конструкции МОБ для расширения видов и объемов проводимых комплексных испытаний ПЛМ в лабораторных условиях.

### Описание модернизированного малого опытового бассейна

Чаша МОБ представлена в виде кубической формы, выполненной из металлических листов, соединенных сварным швом 1, емкость заполняется водопроводной водой. Подвесной лодочный мотор 2 устанавливается на подвижный транец 3 из профильной трубы в виде тележки на четырех колесах, в месте крепления ПЛМ на транце смонтирована деревянная доска, к которой ПЛМ притягивается двумя струбцинами. При работе ПЛМ на долевых режимах создается упор винта, вследствие чего подвижный транец передвигается по ходу создаваемого движения и толкает датчик упора винта, установленный на внешней стенке опытового бассейна. Для контроля уровня воды на уровне кавитационной плиты ПЛМ, достаточного для полноценной работы водяного насоса системы охлаждения ДВС и для создания упора винта, на внешней стенке установлен уровнемер 5, работающий по принципу сообщающихся сосудов. Для модуляции сезона эксплуатации маломерного судна с ПЛМ в нижней части чаши опытового бассейна установлен теплообменный аппарат 6, соединенный трассой трубопроводов с внешним блоком пароконденсаторной холодильной установки, кото-

рая предназначена как для охлаждения среды в МОБ при модуляции условий эксплуатации в холодное время года, так и для нагрева среды при модуляции сезона эксплуатации в теплое время года. Отдельно установлен весовой датчик 7 с расположенной на нем расходной емкостью 8 для измерения снижения веса топлива в заданный период проведения испытаний, от расходной емкости до ПЛМ проведен гибкий патрубок 9, подающий топливо к двигателю. Также отдельно установлен газоанализатор 10 – Testo 350 MARITIME, который имеет поверку ФБУ «Ростест-Москва» и является портативным анализатором выбросов, разработанным для измерения концентраций дымовых газов в соответствии с требованиями международной конвенции MARPOL Annex VI. Прибор имеет сертификат Germanische Lloyd (GL), номер сертификата 59 488-08 НН, на соответствие требованиям MARPOL 73/78 Annex VI, NO<sub>x</sub> Technical Code и МЕРС.103. Отбор пробы осуществляется посредством специального газоотборного зонда, монтаж которого выполняется с помощью фланца. Одобренные к применению практичные электрохимические сенсоры газа (ECS) измеряют концентрацию дымовых газов O<sub>2</sub>, CO и NO<sub>x</sub> (параллельное измерение NO + NO<sub>2</sub>), обеспечивая высокую точность и долгосрочную стабильность. Значение CO<sub>2</sub> регистрируется посредством сертифицированного ИК-сенсора. Для измерений в условиях эксплуатации ПЛМ газоанализатор закреплен в прочном защитном кейсе. Газоанализатор предназначен для измерения количественного состава вредных выбросов в окружающую среду, через зонд соединен с газоотводом 11, устроенным в виде сифонообразной конструкции, исключающей попадание жидкости из МОБ на зонд газоанализатора. В блоке контрольно-измерительной аппаратуры установлен логистический контроллер упора винта 12, весовой логистический контроллер 13, логистический контроллер тахометра 14, соединенные посредством кабелей 15 с датчиком упора винта 4, весовым датчиком 7, датчиком тахометра 16, подсоединенного к высоковольтному проводу первой свечи двигателя. Логистические контроллеры 12–14 соединены с персональным компьютером 17 кабелями 18. Персональный компьютер 17 обрабатывает данные с логистических контроллеров посредством программы «ТестМотор» (см. свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20186185338). Для дренирования воды из опытового бассейна предусмотрен канализационный сток 19. Для отбора проб воды из МОБ во время испытаний предусмотрен водоотводящий сток 20. Внутри бассейна 1 имеется закрепленный на стенке термометр 21. В блоке контрольно-измерительной аппаратуры установлены два цифровых датчика температуры 22 с выведенными

термопарами внутрь емкости 23. С помощью водопроводной трубы 24 происходит наполнение чаши бассейна водой. Корпус устройства снабжен смотровым окном 25. Сверху над бассейном, на выдвинутой консоли, установлен зонт 26 вытяжной вентиляции, соединенный гибким патрубком диаметром 110 мм с трубопроводом вентиляционного канала для выброса отработанных газов за пределы лаборатории. С целью модуляции эксплуатации ПЛМ в реальных условиях создан обдув мотора, для чего опытовый бассейн оборудован трубопроводом 27 приточной вентиляции с установленным внутри осевым вентилятором 28, осуществляющим забор воздуха с улицы. На внешней стенке бассейна на шарнирном креплении установлена поворотная штанга 29 длиной 1 200 мм с микрофоном шумомера 30 и транспортиром 31, позволяющим измерять требуемый угол, под которым микрофон должен быть направлен к источнику генерации шума. Данное устройство позволяет определить как средний показатель уровня звука и уровня звукового давления, так и показатель направленности звука. Внутри емкости установлен трубоотвод переходного сечения, перенаправляющий поток воды к днищу бака 32. Снаружи емкость покрыта теплоизоляционным материалом 33 (рис. 1).

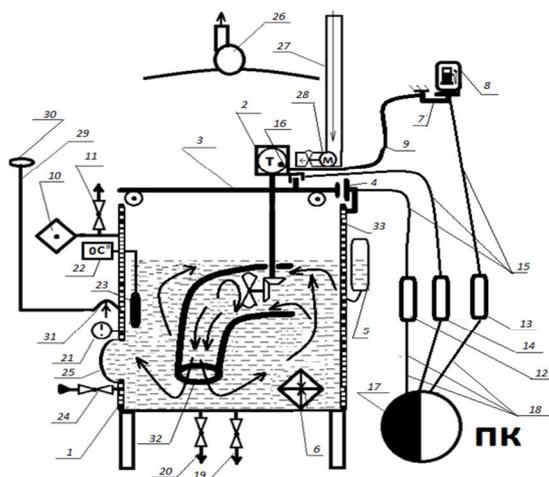


Рис. 1. Принципиальная схема модернизированного малого опытового бассейна

Fig.1. Schematic diagram of the modernized small model tank

### Применяемые для модернизации малого опытового бассейна материалы и устройства

1. Теплоизоляционное покрытие «Астратек Металл» – специальный состав с повышенными антикоррозионными свойствами для теплоизоляции металлических конструкций, которые эксплуатируются в условиях повышенной влажности и воздействия слабых агрессивных сред. «Астратек

Металл» разработано как многофункциональное покрытие, предназначенное для теплоизоляции, предотвращения появления конденсата, защиты от ожогов. Теплоизоляционное покрытие характеризуется стабильной адгезией, высокой атмосферостойкостью и термостойкостью (до 250 °С). Принцип работы покрытия «Астратек Металл» [3] заключается в реализации механизма блокирования трех видов теплопередачи: кондукции, конвекции и радиации. Пористая структура материала при теплопередаче отражает больше 75 % входного теплового излучения. Благодаря низкому коэффициенту теплопроводности происходит «ослабление» потока теплоты внутри материала, а малая излучательная способность снижает уровень выходящего теплового потока, в результате чего тепловые потери существенно сокращаются.

Теплоизоляционный материал «Астратек Металл» обладает следующими характеристиками:

- теплопроводность при температуре 20 °С – 0,0012 Вт/(м·°С);
- водородный показатель – 8,5–9,5 рН;
- период полного высыхания слоя – 24 ч;
- устойчивость к щелочам;
- адгезия – 100 % к металлу, пропилену, пластику;
- устойчивость к температурам в диапазоне

от –60 до +250 °С;

- отражательная способность лучистой энергии – 85 %;

- при температуре выше +260 °С начинает обугливаться, а при +800 °С – разлагается и выделяет окись азота и углерода (это замедляет распространение огня).

Теплоизоляционная краска «Астратек Металл» наносилась на поверхность МОБ кистью из натурального ворса, предназначенной для нанесения интерьерных или фасадных красок. Непосредственно перед нанесением жидкой теплоизоляции места поверхности МОБ, пораженные коррозией и имеющие очаги шелушения прежнего покрытия, были обработаны механическим способом с дальнейшим нанесением преобразователя ржавчины на основе ортофосфорной кислоты. При нанесении теплоизолирующей краски учитывались рекомендации производителя по движениям кисти, которые должны быть направлены в одну сторону. После высыхания первого слоя был наложен второй слой движениями кисти перпендикулярно первому слою.

2. Цифровые термометры (рис. 2) модели HT-1 black (2 шт.) [4] установлены в блок контрольно-измерительной аппаратуры, что обеспечивает доступность снятия показаний приборов.



Рис. 2. Общий вид установленного термометра HT-1 black и измерительного кабеля с датчиками в малом опытовом бассейне

Fig. 2. General view of the installed thermometer HT-1 black and measuring cable with sensors in the small model tank

Измерительный кабель термометров проложен внутри дюритовой резиновой трубки для исключения их повреждения потоком воды, создаваемым гребным винтом. Термопары термометров смонтированы на глубине 0,30 м относительно отметки номинального уровня воды в МОБ.

Технические характеристики термометра HT-1 black:

- тип дисплея термометра – жидкокристаллический малогабаритный;

- диапазон рабочих температур: от –50 до +110 °С;

- точность:  $\pm 1$  °С;

- разрешение: 0,1 °С;

- тип индикатора – LCD-экран с размерами 16 × 35 мм;

- длина кабеля температурного датчика – 3 м;

- габариты: высота – 28 мм; ширина – 48 мм; глубина – 15 мм.

3. Трубоотвод для отвода воды (рис. 3) служит для направления потока воды, создаваемого при вращении гребного винта ко дну МОБ. Трубоотвод выполнен из стального оцинкованного листа толщиной 0,7 мм переходного сечения с центральным углом 90 град, фальцевого изготовления. Устройство установлено внутри МОБ в центральной части на распорках, присоединенных болтовым соединением к бортам. В верхней части устройства имеется прорезь для установки дейдвуда, обеспечивающая расположение гребного винта во внутренней части трубы-отвода.

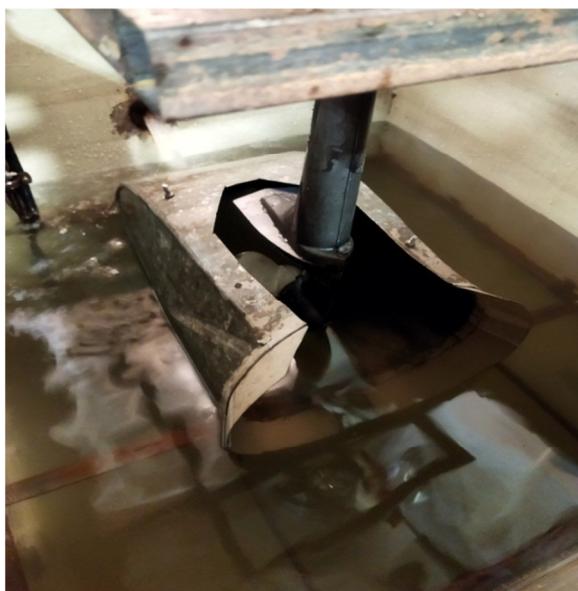


Рис. 3. Общий вид устройства трубоотвода, установленного в малом опытовом бассейне

Fig. 3. General view of the pipe outlet device installed in the small model tank

4. Пирометр Testo 830-T1. Для контроля температуры внешних поверхностей МОБ использовался поверенный сертифицированный пирометр Testo 830-T1 [5] со следующими техническими характеристиками:

- инфракрасный термометр с 1-точечным лазерным целеуказателем, настройкой предельных значений температуры и функцией подачи сигнала тревоги;
- внесен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации (ГРСИ РФ);
- номер в ГРСИ РФ – 48507-11;
- разрешение оптики – 10:1;
- диапазон измерений температуры: от –30 до +400 °С;
- погрешность:  $\pm 1,5$  °С, или  $\pm 1,5$  % от измеренного значения (от +0,1 до +400 °С);  $\pm 2$  °С, или  $\pm 2$  % от измеренного значения (от –30 до 0 °С) (учитывается большее значение).

### Процедура проведения экспериментов с подвесным лодочным мотором в модернизированном малом опытовом бассейне

Устанавливается трубоотвод внутри МОБ, который заполняется водой согласно меткам уровнемера. Сверху на МОБ устанавливается подвижный транец в виде тележки на колесах. Подвесной лодочный мотор устанавливается на транец и закрепляется струбцинами. Топливный бак устанавливается на весовой датчик и подключается к ПЛМ гибким патрубком. Датчик тахометра подключается к высоковольтному проводу свечи двигателя. На измерительную штангу устанавливается шумомер. Перед запуском ПЛМ включают вытяжную вентиляцию для удаления отработанных газов. Включают приточную вентиляцию, предназначенную для обдува воздухом ПЛМ. Температура поверхностей МОБ регистрируется пирометром и заносится в протокол испытаний, температура нагрева воды в МОБ отслеживается по показаниям термометра. При работе ПЛМ подвижный транец создает упор на тензометрический датчик, весовой датчик отслеживает изменения массы топлива, датчик тахометра отслеживает частоту вращения двигателя. Данные с датчиков обрабатываются логистическим контроллером и передаются для анализа в персональный компьютер. В процессе работы мотора отработанные газы поступают в воду опытового бассейна, нагревают ее. Из водоотводящего стока берется проба воды на лабораторный анализ по уровню сбросов; замер уровня звука производится шумомером, установленным на поворотной штанге с контролируемым углом поворота согласно транспортиру. Для наблюдения за барботажем и вращением гребного винта ПЛМ в МОБ предусмотрено смотровое окно. Благодаря установке трубоотвода во время испытаний наблюдалось отсутствие разбрызгивания воды, в отличие от прежних экспериментов, при которых значительная потеря воды происходила вследствие утечек через уплотнители крышки.

### Результаты испытаний

1. Во время эксперимента по нагреву воды отработавшими газами и сбросом охлаждающей воды от ПЛМ Yamaha 4.0 в МОБ наблюдалась разница между температурой воды внутри бака и поверхности, покрытой теплоизоляцией в пределах 2,0 °С. Стоит отметить, что за время работы 38 мин вода нагрелась на 10 °С, а поверхность – на 8,6 °С.

2. Во время работы ПЛМ на долевых режимах наблюдалась упорядоченная циркуляция потоков воды в МОБ. Вода циркулировала через гребной винт, моделируя набегающий поток в реальных условиях.

3. До установки трубоотвода при испытаниях мотора SEA-PRO 2.5 на полном ходу упор гребного

винта колебался от 3,8 до 10 кг, а частота вращения – от 5 340 до 5 870 об/мин. После установки устройства упор стабилизировался на уровне 6–6,5 кг, а частота вращения составила 6 380–6 390 об/мин.

### Выводы

1. Усовершенствование МОБ путем установки трубопровода позволило проводить эксперименты с открытой крышкой, что расширило его функциональные возможности в части измерения уровня шума системы газовыхлопа ПЛМ, также прекратилась потеря воды. Колебания величины

упора гребного винта и частоты вращения снизились, частота вращения коленчатого вала двигателя SEA-PRO 2.5 после доработки стенда выросла в среднем на 780 об/мин, что свидетельствует о стабилизации потока воды в МОБ.

2. Покрытие МОБ теплоизолирующей краской «Астратек Металл» позволило снизить тепловые потери при проведении испытаний, также было отмечено отсутствие конденсата на поверхности чаши, который ранее образовывался при модуляции условий эксплуатации ПЛМ в холодное время года.

### Список источников

1. Пат. 182049 Рос. Федерация. Малый опытовый бассейн / Хмельницкий К. Е., Покусаев М. Н., Хмельницкая А. А.; № 2017140540; заявл. 21.11.2017; опубл. 01.08.2018.

2. Пат. 196596 Рос. Федерация. Малый опытовый бассейн / Хмельницкий К. Е., Покусаев М. Н., Хмельницкая А. А.; № 201913071206; заявл. 26.09.2019; опубл. 06.03.2020.

3. НПП «Термалком» – производитель жидкой теплоизоляции «Астратек». URL: <https://astratek.ru/company/> (дата обращения: 20.10.2021).

4. Термометр цифровой HT-1. URL: <https://procontact74.ru/09-multimetry-izmeritelnye-pribory/092-prochie-izmeriteli/termometr-ht-1-black-5m-09204/> (дата обращения: 20.10.2021).

5. Пирометр Testo 830-T1. URL: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-830-t1/p/0560-8311> (дата обращения: 10.11.2021).

### References

1. Khmel'nitskii K. E., Pokusaev M. N., Khmel'nitskaia A. A. *Malyi opytovyi bassein* [Small model tank]. Patent RF № 2017140540; 01.08.2018.

2. Khmel'nitskii K. E., Pokusaev M. N., Khmel'nitskaia A. A. *Malyi opytovyi bassein* [Small model tank]. Patent RF № 201913071206; 06.03.2020.

3. NPP «Termalkom» – *proizvoditel' zhidkoi teploizolitsii «Astratek»* [Termalkom, RPC as manufacturer of liquid

thermal insulation Astratek]. Available at: <https://astratek.ru/company/> (accessed: 20.10.2021).

4. *Termometr tsifrovoi HT-1* [Digital thermometer HT-1]. Available at: <https://procontact74.ru/09-multimetry-izmeritelnye-pribory/092-prochie-izmeriteli/termometr-ht-1-black-5m-09204/> (accessed: 20.10.2021).

5. *Pirometr Testo 830-T1* [Pyrometer Testo 830-T1]. Available at: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-830-t1/p/0560-8311> (accessed: 10.11.2021).

Статья поступила в редакцию 09.12.2021; одобрена после рецензирования 17.01.2022; принята к публикации 25.01.2022  
The article was submitted 09.12.2021; approved after reviewing 17.01.2022; accepted for publication 25.01.2022

### Информация об авторах / Information about the authors

**Михаил Николаевич Покусаев** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; evt2006@rambler.ru

**Константин Евгеньевич Хмельницкий** – ассистент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; chuchera80@mail.ru

**Анастасия Александровна Хмельницкая** – кандидат технических наук; старший преподаватель кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; evt2006@rambler.ru

**Mikhail N. Pokusaev** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; evt2006@rambler.ru

**Konstantin E. Khmelnitsky** – Assistant of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; chuchera80@mail.ru

**Anastasia A. Khmelnitskaya** – Candidate of Technical Sciences; Senior Lecturer of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; evt2006@rambler.ru

**Максим Михайлович Горбачев** – кандидат технических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; evt2006@rambler.ru

**Алексей Алексеевич Кадин** – аспирант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; alexeik1@mail.ru

**Елена Валерьевна Кадина** – магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; e.kadina@mail.ru

**Максим Александрович Толочин** – магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; mr.strong.30@inbox.ru

**Станислав Александрович Прудков** – магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; chipideilspeshat@gmail.com

**Maksim M. Gorbachev** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; evt2006@rambler.ru

**Aleksey A. Kadin** – Postgraduate Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; alexeik1@mail.ru

**Elena V. Kadina** – Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; e.kadina@mail.ru

**Maksim A. Tolochin** – Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; mr.strong.30@inbox.ru

**Stanislav A. Prudkov** – Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; chipideilspeshat@gmail.com

