

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-1115-1129

STUDYING THE PROBLEM OF CONSTRUCTING AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM TO ENSURE THE SAFE PASSAGE OF UNMANNED VESSELS THROUGH SHIPPING LOCKS

A. A. Butsanets, N. M. Ksenofontov, T. A. Volkova

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The option of introducing an automated control system to ensure the safe passage of unmanned vessels on inland waterways has been explored. An analysis of domestic and foreign scientific and technical literature was carried out to determine conceptual provisions that allow choosing a rational way of interaction of this system with known ones. It is noted that the automated ships locking control system should provide the necessary level of navigation safety, and the implementation of this system should not affect the operation of other subsystems and metasystems. Currently, cases of constructing such systems for automated mooring of unmanned vessels at navigational hydraulic structures are unknown. Therefore, based on the engineering-cybernetic approach, a list of provisions that contribute to the successful organization of research of a conceptual and operational nature has been formulated. Conceptual provisions for the synthesis of structure and factors that allow you to develop a rational version of the system structure to obtain the greatest efficiency and safety of its operation are proposed. In addition to the development of locking control systems, an equally important task is the creation of technical means in the lock chamber, the operation of which can ensure the required level of security. Therefore, the process of mooring an unmanned vessel to an automated mooring ring, for a utility model of which the authors of this study had received a patent, is theoretically described. To achieve the goal of formulating the problems of developing and constructing an automated locking control system, an analysis of mooring devices used at shipping locks, including abroad, which confirms that fixed and movable mooring devices with vacuum grips are currently used, is carried out. A review of scientific and technical literature on the use of automatic and automated mooring systems makes it possible to develop proposals for organizing an auto-mooring system of a shipping lock to ensure the unmanned vessels passage, as well as to formulate the main problems and tasks that must be solved to ensure the passage of both unmanned and ordinary vessels.

Keywords: unmanned vessel, shipping lock, automated mooring, ship pass, vacuum gripping device, navigation safety, floating ring.

For citation:

Butsanets, Artem A., Nikolay M. Ksenofontov, and Tamara A. Volkova. "Studying the problem of constructing an automated control system to ensure the safe passage of unmanned vessels through shipping locks." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.6 (2023): 1115–1129. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-1115-1129.

УДК 303.05; 656.62

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ПРОПУСКА БЕЗЭКИПАЖНЫХ СУДОВ ЧЕРЕЗ СУДОХОДНЫЕ ШЛЮЗЫ

А. А. Буцанец, Н. М. Ксенофонтов, Т. А. Волкова

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Исследован вариант внедрения автоматизированной системы управления для обеспечения безопасного пропуска безэкипажных судов на внутренних водных путях начиная с анализа отечественной и зарубежной научной и технической литературы для определения концептуальных положений, позволяющих выбрать рациональный способ взаимодействия данной системы с известными. Отмечается, что автоматизированная система управления шлюзованием судов должна обеспечивать необходимый уровень безопасности судоходства, и ее внедрение не должно влиять на работу иных подсистем и метасистем. В настоящее

время случаи построения таких систем автоматизированной швартовки для безэкипажных судов на судопропускных гидротехнических сооружениях неизвестны. Поэтому на основе инженерно-кибернетического подхода, сформулирован перечень положений, способствующих успешной организации исследований концептуального и операционного характера. Предложены концептуальные положения синтеза структуры и факторов, которые позволяют разработать рациональный вариант структуры системы для получения наибольшей эффективности и безопасности ее работы. В работе обращается внимание на то, что помимо разработки систем управления шлюзованием не менее важной задачей является создание технических средств в камере шлюза, работа которых сможет обеспечить необходимый уровень безопасности. Поэтому в работе теоретически описан процесс швартования безэкипажного судна к автоматизированному плавучему рыму, на полезную модель которого авторами данного исследования был получен патент. Для достижения цели по формулировке проблем разработки и построения автоматизированной системы управления шлюзованием выполнен анализ швартовных устройств, используемых на судоходных шлюзах, в том числе за рубежом, который является подтверждением того, что в настоящее время используются неподвижные и подвижные швартовные устройства с вакуумными захватами. Обзор научно-технической литературы об использовании автоматических и автоматизированных систем швартовки позволил разработать предложения по организации автошвартовочной системы судоходного шлюза для обеспечения пропуска безэкипажных судов, а также сформулировать основные проблемы и задачи, которые должны быть решены для обеспечения пропуска как безэкипажных, так и обычных судов.

Ключевые слова: безэкипажное судно, судоходный шлюз, автоматизированная швартовка, судопропуск, вакуумное захватное устройство, безопасность судоходства, плавучий рым.

Для цитирования:

Буцанец А. А. Исследование проблемы построения автоматизированной системы управления для обеспечения безопасного пропуска безэкипажных судов через судоходные шлюзы / А. А. Буцанец, Н. М. Ксенофонтов, Т. А. Волкова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 6. — С. 1115–1129. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-1115-1129.

Введение (Introduction)

На водном транспорте, как и в других отраслях промышленности, проводятся мероприятия по автоматизации различных процессов, минимизирующих или полностью исключаящих участие человека. К ним, в частности, относятся проводимые научные исследования [1]–[4] и опытно-конструкторские работы по проектированию и внедрению безэкипажных судов (далее — БЭС)^{1, 2}. Актуальность внедрения таких судов подтверждена в том числе следующими нормативными правовыми актами:

– Постановлением Правительства Российской Федерации от 05.12.2020 № 2031 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации автономных судов под Государственным флагом Российской Федерации»;

– Государственной программой Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (федеральный проект «Автономное судовождение»), утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 г. № 377 (ред. от 22.10.2021).

Одним из факторов, ограничивающих повсеместное внедрение БЭС на внутренних водных путях РФ, является их безопасная проводка через судопропускные сооружения — судоходные шлюзы. Несмотря на наличие высокой автоматизации управления процессом шлюзования существуют операции, требующие непосредственного физического участия человека, такие, например, как швартовка судна в камере шлюза для обеспечения его безопасного прохода через сооружение. Данная операция является весьма трудоемкой и выполняется, как правило, членами экипажа шлюзуемого судна за подвижные (плавучие рымы) или неподвижные (причальные тумбы, кнехты, рымы) швартовные устройства. При этом известны случаи получения травм членами экипажа при несоблюдении техники безопасности во время швартовки судна в камере шлюза.

¹ https://gumrf.ru/news2020/4/news_290920_2.html

² https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Sitronics_KT:%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%28%D0%90%D0%9D%D0%A1%29

Следует отметить, что в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59284–2020 «Суда безэкипажные технического флота. Общие требования» сооружения, принимающие и обеспечивающие работу автономного флота, должны быть оснащены средствами, в том числе позволяющими проводить швартовные операции в автоматическом и / или дистанционном режиме. Также, согласно положениям данного стандарта, шлюзы должны быть оборудованы станциями внешнего управления для обеспечения безопасного шлюзования в том числе в дистанционном режиме управления. Кроме того, в новой редакции СП 101.13330.2023 «СНиП 2.06.07–87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» отмечается, что при проектировании шлюза следует предусматривать в том числе автошвартовные устройства (далее — АШУ), которые отсутствуют не только на эксплуатируемых, но и не предусмотрены проектом на строящихся и реконструируемых сооружениях. Таким образом, одним из препятствий для полноценного внедрения и работы БЭС на внутренних водных путях РФ является отсутствие автоматизации их шлюзования. По нашему мнению, устранением этого препятствия является внедрение устройств, позволяющих осуществлять автоматизированную или автоматическую швартовку (автошвартовку), которая должна отвечать в том числе следующим требованиям:

- полное исключение ручного труда при швартовке судна в камере шлюза;
- конструкция АШУ не должна уменьшать полезные габариты камеры шлюза;
- уровень надежности АШУ не должен уступать существующим швартовным устройствам;
- автошвартовка не должна увеличивать общее время судопропуска.

Таким образом, целью данного исследования является выявление и формализация проблем построения автоматизированной системы управления для обеспечения безопасного пропуска безэкипажных судов через судоходные шлюзы. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ швартовных устройств, используемых на судоходных шлюзах.
2. Сбор и анализ данных о применяемых автошвартовных устройствах, а также автоматических и автоматизированных системах швартовки.
3. Разработка предложений по организации автошвартовной системы судоходного шлюза для обеспечения пропуска безэкипажных судов.

Методы и материалы (Methods and Materials)

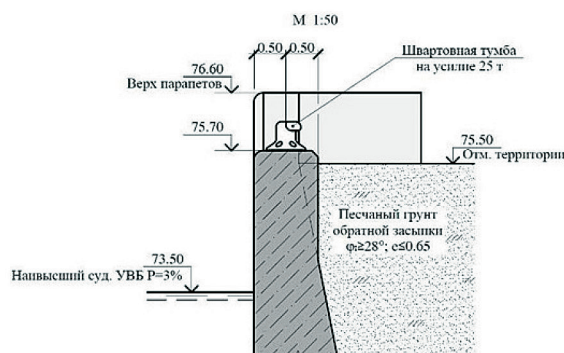
Швартовные устройства входят в состав вспомогательного механического оборудования судоходного шлюза. В связи с этим к ним предъявляются такие же общие требования, как и к другим элементам механического оборудования, а именно [5], [6]: надежность при любых условиях эксплуатации, характеризующаяся безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью, удобство эксплуатации, экономичность и техническая безопасность. В качестве швартовных устройств судоходных шлюзов сводом правил СП 101.13330.2023 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» предусмотрены следующие их виды: причальные тумбы, автошвартовные устройства, подвижные или неподвижные рымы.

Описание конструктивного оформления причальных (швартовных) тумб (рис. 1), а также подвижных и неподвижных рымов (рис. 2) приведено в источниках [6]–[11]. Следует отметить отсутствие в указанных источниках единообразия в терминологии и в достаточной степени проработанности требований и подходов к проектированию швартовных устройств шлюзов.

Проработка вопроса внедрения АШУ на судоходные шлюзы активно велась отечественными специалистами, в том числе сотрудниками ЛИВТа. Например, в исследованиях В. П. Бутина приведены результаты анализа наиболее известных разработок подобных устройств, а именно [12]:

- швартовка сеткой с подхватом судов под днище;
- автосчалка с выдвижными прижимными колесами;
- клешневой захват с замковым механизмом;
- швартовный манипулятор с шарнирно-рычажным механизмом;
- электромагнитное швартовное устройство;
- вакуумное швартовное устройство.

а)



б)



Рис. 1. Неподвижное швартовное устройство в виде швартовной тумбы:

а — схема установки швартовной тумбы на строящемся шлюзе Красногорского гидроузла;
б — общий вид швартовной тумбы Нижне-Свирского шлюза ФБУ «Администрация «Волго-Балт»
(Фото из личного архива авторов)



Рис. 2. Плавучий рым в камере шлюза
(Заимствовано из общедоступных ресурсов интернета)

Следует отметить, что по совокупности рассмотренных функциональных и технологических факторов наиболее эффективным, по мнению В. П. Бутина, является вакуумное швартовное устройство, испытания опытных образцов которого, выполненных на основе на плавучих рымах, были успешно проведены в 1970–1980-х гг.^{1,2,3} на шлюзах и причальных сооружениях в подходных каналах Волго-Балтийского водного пути (рис. 3 и 4) и Волго-Донского судоходного канала.

В результате проведения лабораторных и натурных испытаний была доказана работоспособность автошвартовых вакуумных устройств и даны рекомендации по их дальнейшему совершенствованию. Однако, из-за отсутствия заинтересованности на тот момент со стороны эксплуатирующих организаций и Главводпути, дальнейшего развития данные системы не получили. В зарубежной практике разработка подобных систем для шлюзов началась в 2004–2005 гг. группой компаний Cavotec для сооружений, расположенных на морском пути Святого Лаврентия в Канаде [13]. В 2006 г.

¹ Натурные испытания опытных образцов гидравлического вакуумного швартовного устройства на шлюзе № 1 Волго-Балтийского канала [Текст]: отчет о НИР; рук. В. Л. Шведов. Л.: ЛИВТ, 1975. 38 с.

² Экспериментальное исследование опытного образца автоматических швартовых устройств на одном из шлюзов Северо-Западного бассейна [Текст]: отчет о НИР; рук. В. Л. Шведов. Л.: ЛИВТ, 1975. 36 с.

³ Натурные испытания автоматических швартовых устройства причалах шлюзов ВБВП им. В. И. Ленина и лабораторные исследования модели устройства для камер шлюзов: отчет о НИР; рук. В. Л. Шведов. Л.: ЛИВТ, 1978. 43 с.

данной организацией началось изготовление прототипа автошвартовного устройства, предназначенного для работы на судоходном шлюзе.

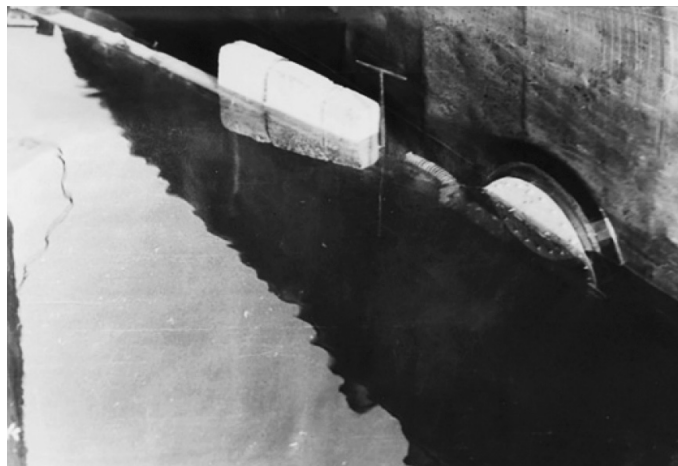


Рис. 3. Испытания автошвартовного устройства на Волховском шлюзе

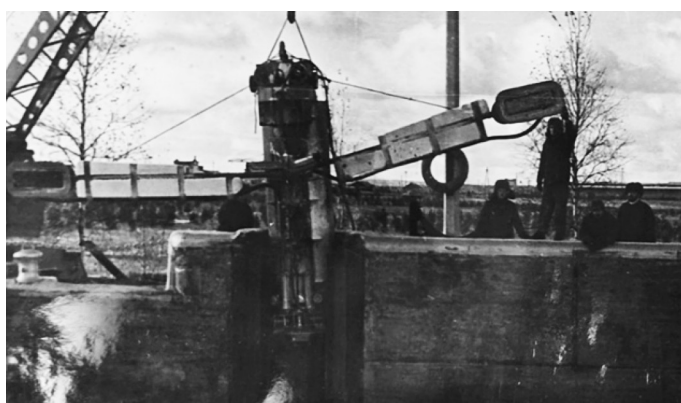


Рис. 4. Испытания автошвартовного устройства на шлюзе № 1 Волго-Балтийского водного пути

Экспериментальный образец был основан на традиционной конструкции плавучего рыма, на верхнюю часть которого устанавливалось одинарное вакуумное швартовное устройство по аналогии с отечественными разработками. В горизонтальной плоскости устройство могло выдвигаться на 850 мм за лицевую грань стенки камеры шлюза для стыковки с судном. Для проведения приемочных испытаний в начале 2007 г. образец вакуумного швартовного устройства был установлен на одном из шлюзов Уэллендского канала в Канаде (рис. 5, а). В результате проведения натурных испытаний была подтверждена возможность использования таких устройств и установлена необходимость внесения некоторых доработок, которые следовало внести в конструкцию.

В дополнение к испытаниям в 2008 г. на другом шлюзе этого же канала были установлены два таких устройства для оценки перемещений судна во время шлюзования (рис. 5, б). Для этого каждое из этих устройств оснастили системой непрерывного контроля нагрузки. Полученные данные свидетельствовали о том, что для нормального удержания судна двух швартовных устройств недостаточно.

Помимо увеличения количества швартовных устройств было принято решение об их оснащении электроприводом. Также потребовалось решение проблем, связанных с различными габаритами шлюзуемых судов и возникновением обратной волны в камере шлюза. Еще одним усовершенствованием была установка на одном устройстве двух вакуумных подушек вместо одной.

а)



б)



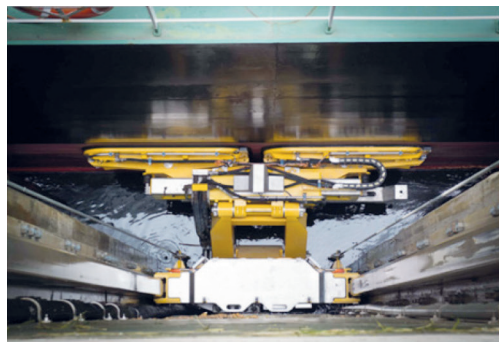
Рис. 5. Испытания вакуумного автошвартовного устройства на шлюзах Уэллендского канала в Канаде:

а — на базе плавучего рыма (2007 г.);

б — в качестве самостоятельного устройства, оснащенного электроприводом
(Заимствовано из общедоступных ресурсов интернета)

Результатом проведения натурных исследований стало внедрение автоматизированной швартовной системы, построенной на вакуумном устройстве на шести шлюзах Уэллендского канала (часть морского пути Святого Лаврентия) в Канаде (рис. 6). Такая же система была установлена на шлюзах Эйзенхауэр и Снелл (США), также входящих в состав данного морского пути. Вакуумные швартовные устройства на указанных сооружениях установлены на одной стороне камеры в количестве трех единиц. Данное количество устройств определено исходя из габаритных параметров шлюзуемого флота. Расстояние между устройствами составляет 25 м. Работы по установке данных систем проводились в 2014–2019 гг. Стоимость установки системы варьировалась от 2,4 до 3,4 млн канадских долл. (примерно 170–250 млн руб. по текущему курсу).

а)



б)



Рис. 6. Общий вид эксплуатируемых вакуумных автошвартовных устройств на шлюзах Уэллендского канала в Канаде и США:

а — вид сверху; б — вид спереди

(Заимствовано из общедоступных ресурсов интернета)

Установке автошвартовных систем предшествовала разработка и внедрение на указанных сооружениях системы позиционирования судна в камере шлюза (рис. 7). Данная система построена на лазерных датчиках, установленных на обеих головах камер шлюзов, сканирующих движущееся судно и формирующих трехмерную модель. Данная система позволяет судоводителю визуально оценить местоположение судна в камере и расстояние до швартовных устройств. Алгоритмы зрения разработаны для точного определения передней точки носовой оконечности для судов разной формы, высоты и цветового оттенка. Положение судна в камере динамически обновляется и отображается на светодиодных панелях по мере его продвижения до конечной точки для швартовки.

Визуальное представление информации при этом дублируется голосовым сообщением через автоматизированную системы радиопередачи.



Рис. 7. Система позиционирования судна в камере шлюза для обеспечения автошвартовки
(Заимствовано из общедоступных ресурсов интернета)

Внедрение рассмотренных систем позволило увеличить пропускную способность шлюзов за счет сокращения времени, затрачиваемого на швартовку. При этом необходимо отметить, что на строящихся и реконструируемых морских и речных шлюзах, подобных рассмотренным, в зарубежных странах, таких как США, Нидерланды, Германия и Китай, данные системы не устанавливаются. По мнению зарубежных экспертов, дальнейшее внедрение данных устройств на судопропускных сооружениях требует технико-экономического обоснования с учетом их высокой стоимости изготовления, монтажа и эксплуатации. Следует также иметь в виду, что на момент внедрения АШУ на судоходных шлюзах Канады и США подобные системы уже были разработаны и установлены на некоторых причальных сооружениях. Примером может служить электромагнитная система автошвартовки DOCKLOCK Нидерландской фирмы Mampae Offshore Industries, а также вакуумные системы автошвартовочных устройств AutoMoor шведской компании Trelleborg и MoorMaster от группы компаний Cavotec, описание которых приведено в работе [14].



Рис. 8. Вакуумное автошвартовочное устройство, установленное на причальном сооружении
(Заимствовано из общедоступных ресурсов интернета)

В настоящее время АШУ этих производителей установлены в портах многих стран, в том числе Финляндии, Эстонии, Дании, Нидерландах, Новой Зеландии, Великобритании и Австралии. При этом следует обратить внимание, что на многих причальных сооружениях данные устройства практически не задействованы, и швартовка судов осуществляется с помощью членов экипажа и швартовных бригад порта. Несмотря на существующие недостатки разработка и внедрение автошвартовных устройств (рис. 8) и систем их управления продолжается.

Результаты (Results)

В России и за рубежом неизвестны случаи построения систем автоматизированной швартовки для БЭС на судопропускных гидротехнических сооружениях. Учитывая, что одной из задач исследования является разработка предложений по организации автошвартовной системы судоходного шлюза для обеспечения пропуска безэкипажных судов вначале целесообразно рассмотреть такую систему с позиции БЭС и судоходного шлюза. В предполагаемой ситуации с позиции БЭС в общем виде предполагаются следующие действия. Судно при подходе к гидротехническому сооружению устанавливает связь с Центром управления автоматизированными швартовными устройствами (ЦУАШУ), сообщая о себе следующую информацию: наименование судна, данные о курсе, скорости движения и текущем навигационном статусе, технические характеристики (если характеристики не заложены в базу данных ЦУАШУ) и другие сведения, необходимые для безопасного шлюзования. ЦУАШУ в свою очередь должно подтвердить, что связь установлена, информация принята и на основании выполненных расчетов и заложенных алгоритмов сообщить БЭС время шлюзования и точные координаты месторасположения носа и кормы в случае крупных судов, для которых должны использоваться два или более захватывающих устройств (пассажирские и грузовые, смешанные). Для маломерных судов (например, катеров и яхт, длина корпуса которых менее 20 м) может быть достаточно одного захватного устройства и тогда сообщаются координаты швартовного устройства, а БЭС выбирает точное местоположение корпуса для стыковки по своему усмотрению.

При подходе судна к АШУ и занятии корректной позиции, которая должна определяться с учетом сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), желательно с RTK-поправками для сантиметровой точности, начинается работу швартовное устройство. Пример такого устройства, для которого был получен патент на полезную модель [15], приведен на рис. 9. В момент подхода судна АШУ находится в режиме готовности начать швартовку. Данный режим обеспечивается настройкой программного обеспечения при определенных положениях плавучего АШУ в камере шлюза по высоте: в наивысшей точке (при наполненной камере) и низшей (когда камера опорожнена).

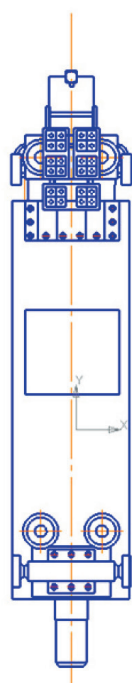
Видеокамера и дальномер фиксируют сближение площадки вакуумных присосок и корпуса судна. Затем с помощью пневмоцилиндра осуществляется вынос контактной площадки в сторону корпуса судна. Одновременно насос начинает откачку воздуха через сопла, установленные на контактной площадке. Поскольку корпуса судов имеют различные геометрические формы, контактная площадка предусматривает две вертикальные площадки и одну горизонтальную для оптимального примыкания к поверхности и крепкой сцепки с корпусом судна. Кроме того, на каждой площадке расположено восемь независимых сопел для откачки воздуха с резиновым ограничителем. Таким образом, контактная площадка состоит из 24 независимых контактных точек, независимость которых заключается в том, что на каждой из них установлен датчик массового расхода воздуха и автоматический клапан, перекрывающий отсос воздуха.

В процессе откачки воздуха во время швартовки судна при достижении заданных параметров разности между соседними соплами ЦУАШУ перекрывает откачку воздуха из данного сопла. Например, во время швартовки геометрия корпуса судна позволила обеспечить только шесть из восьми точек примыкания на одной пластине, датчики расхода воздуха фиксируют существенный расход воздуха только из двух сопел, а в остальных шести соплах расход существенно снизился.

На основании этого ЦУАШУ делает вывод о том, что дальнейшая откачка воздуха нецелесообразна и закрывает клапаны двух сопел, тем самым нагнетая необходимый уровень вакуума. После фиксации судна к АШУ камера шлюза по команде начинает опорожняться или наполняться водой до заданного состояния (если устройство находилось внизу, то до окончания поднятия, если наверху, то до окончания спуска).

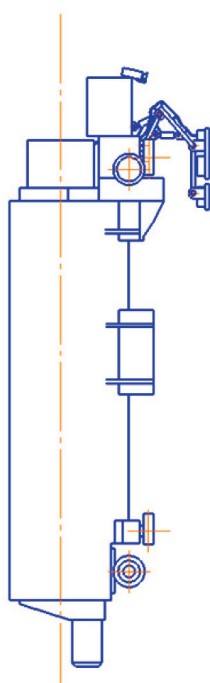
После установления необходимого уровня воды, через заданное время, т. е. необходимое для открытия ворот шлюзовой камеры, ЦУАШУ открывает подачу воздуха в сторону контактной площадки, вакуумное пространство заполняется воздухом и корпус судна освобождается от зацепления. Освобожденное от захвата судно выходит из камеры шлюза.

а)



Вид спереди

б)



Вид сбоку



Рис. 9. Концептуальное изображение конструкции автошвартовного плавучего рыма (а) и патент на полезную модель (б)

Автошвартовное устройство является сложной технической системой, включающей множество элементов, для управления которыми необходима разработка и организация системы управления, интегрированная в систему управления процессом шлюзования. Для разработки сложных технических устройств и систем допустимо использование инженерно-кибернетической методологии, в которой на концептуальном уровне предусмотрен инструментарий для синтеза новой системы в имеющуюся, что, в свою очередь, позволяет сформулировать принципы построения и функционирования автошвартовной системы для обеспечения безопасности судоходства. Исследование систем третьего методологического уровня базируется на системной инженерно-кибернетической методологии, которая может служить способом реализации системного подхода в исследовании проблемы эффективности организационно-технических элементов [16], суть которого заключается в том, что система третьего уровня рассматривается в виде составной части метасистемы, качества элементов которой связаны друг с другом. Системный инженерно-кибернетический подход объединяет исследования третьего и четвертого методологических уровней, используемых на организационном этапе решения задач (рис. 10 [16] и таблица).

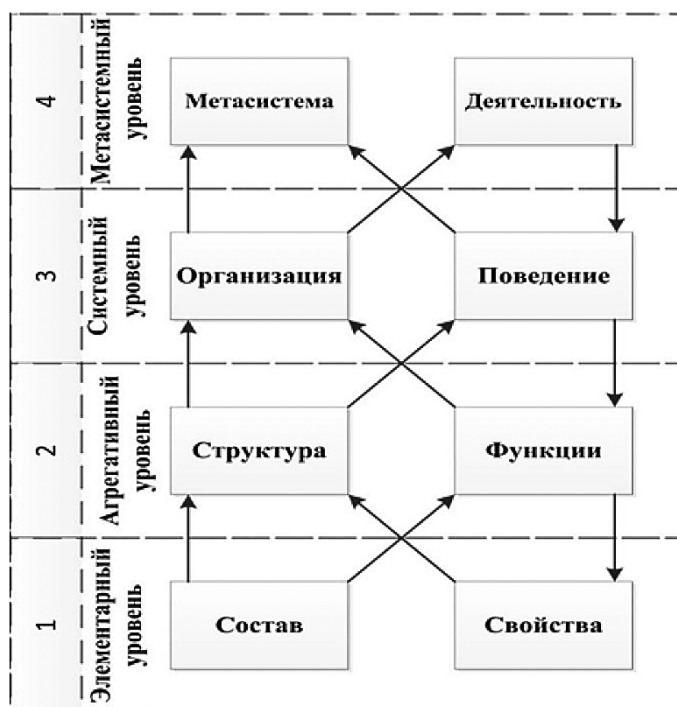


Рис. 10. Уровни анализа системы

Уровни организации автошвартовой системы шлюза

Метасистемный уровень	Метасистема		Деятельность
	Система управления шлюзом, автошвартовая система		Обеспечение безопасности судоходства и управление транспортным процессом
Системный уровень	Организация		Поведение
	Организация управления, мониторинга и контроля шлюзования		Человек-машина, машина-машина
Агрегативный уровень	Структура централизованная		Функции: управление, мониторинг, контроль
Элементарный уровень	Состав		Свойства
	Центр управления автоматизированными швартовными устройствами	Человек	Целостность, упорядоченность, взаимосвязь структуры и среды, эмерджентность, гомеостазис
		Приборы и устройства	Целостность, иерархичность, упорядоченность, множественность, эмерджентность
		Средства связи	Целостность, иерархичность, множественность
		Комплекс управления	Иерархичность, множественность, взаимосвязь структуры и среды, гомеостазис
		Система идентификации	Множественность
		Датчики информации	Множественность, взаимосвязь структуры и среды

В случае если автошвартовой системе шлюза необходимо выполнить целевую функцию по захвату судна, можно построить шаги управления со стороны ЦУАШУ, разделив их на следующие четыре этапа:

1-й этап — определение положения судов для выполнения шлюзования и швартовки;

2-й этап — подход судна в камере шлюза к определенному швартовному устройству или нескольким;

3-й этап — захват и удержание судна;

4-й этап — определение очередности и последующая отшвартовка судна.

ЦУАШУ относится к классу автоматизированных систем, поэтому ее функционирование может происходить как под управлением человека для классических судов, так и полностью в автоматическом режиме для безэкипажных судов.

На первом этапе необходимо определять приоритетность шлюзования судов. Здесь следует учитывать, что БЭС передают информацию о себе в автоматическом режиме, а для классических судов необходимо предусмотреть способы взаимодействия с ЦУАШУ. На втором этапе, после того как очередность определена и камера шлюза готова к приему судов, может быть реализован подход судов в камере шлюза к определенному швартовному устройству. Для осуществления этого необходимо достаточно точно позиционировать корпус судна напротив заданного устройства. Кроме того, в автошвартовной системе необходимо предусмотреть учет размеров корпуса судна для определения необходимого количества швартовных устройств в целях обеспечения безопасности судоходства. На третьем этапе, после корректного позиционирования корпуса судна, швартовное устройство осуществляет захват и удержание корпуса судна. Здесь важно предусмотреть наличие достаточного количества вакуумных присосок и наличия датчиков контроля захвата с системой предупреждения в случае недостаточного удерживающего усилия для осуществления безопасного шлюзования. На заключительном четвертом этапе важно предусмотреть очередность выхода судов для обеспечения безопасности судоходства. Например, вначале отключить захват для малых судов, затем крупных или отцеплять суда в порядке их расстановки в камере шлюза.

Для повышения безопасности шлюзования целесообразно использовать систему визуализации, работающую в реальном масштабе времени. Для передачи телеметрии (параметров движения) и команд управления необходимо обеспечить надежные помехозащищенные радиоканалы с пропускной способностью, достаточной для передачи больших объемов информации, снимаемой с датчиков, а также сигнала визуализации. При этом трафик не должен создавать помех для радиообмена и работы радиосистем. Выбор конкретного частотного диапазона, конкретных схем реализации приемопередатчиков осуществляется на четвертом (элементарном) уровне анализа системы, при проектировании автошвартовной системы для конкретных судоходных гидротехнических сооружений.

Важное значение для поддержания высокого уровня безопасности судоходства имеет обязательная идентификация устройств друг с другом, исключающая возможность использования системы неподготовленными лицами или взломщиками, а также использование технически неисправных, не имеющих допуска. Исходя из рассмотренной концепции построения, автошвартовная система должна содержать следующие элементы: модуль идентификации, модуль контроля, модуль аутентификации, интерфейс обмена данными между модулями, модуль датчиков, модуль визуализации, модуль обработки и передачи информации, модуль приборов и устройств.

В результате разработки схемы действий БЭС и ЦУАШУ (рис. 11) и с учетом сформулированной концепции построения было установлено, что существует ряд проблем, которые необходимо решить для осуществления процесса автоматизированной швартовки в камере шлюза. В процессе работы были формализованы некоторые задачи, требующие всестороннего анализа и поэтапного решения следующих вопросов:

- информационное взаимодействие центра управления с судном и судопропускным сооружением;
- управление автошвартовными устройствами;
- расчет удержания присосками судна с учетом способа наполнения и опорожнения камеры шлюза;

- расчет оптимального территориального и количественного расположения швартовных устройств с учетом их востребованности;
- расчеты и алгоритмы оптимизация судопропуска с учетом приоритетности;
- разработка модель расчета усилий для удержания конкретного судна;
- расчет пропускной способности.

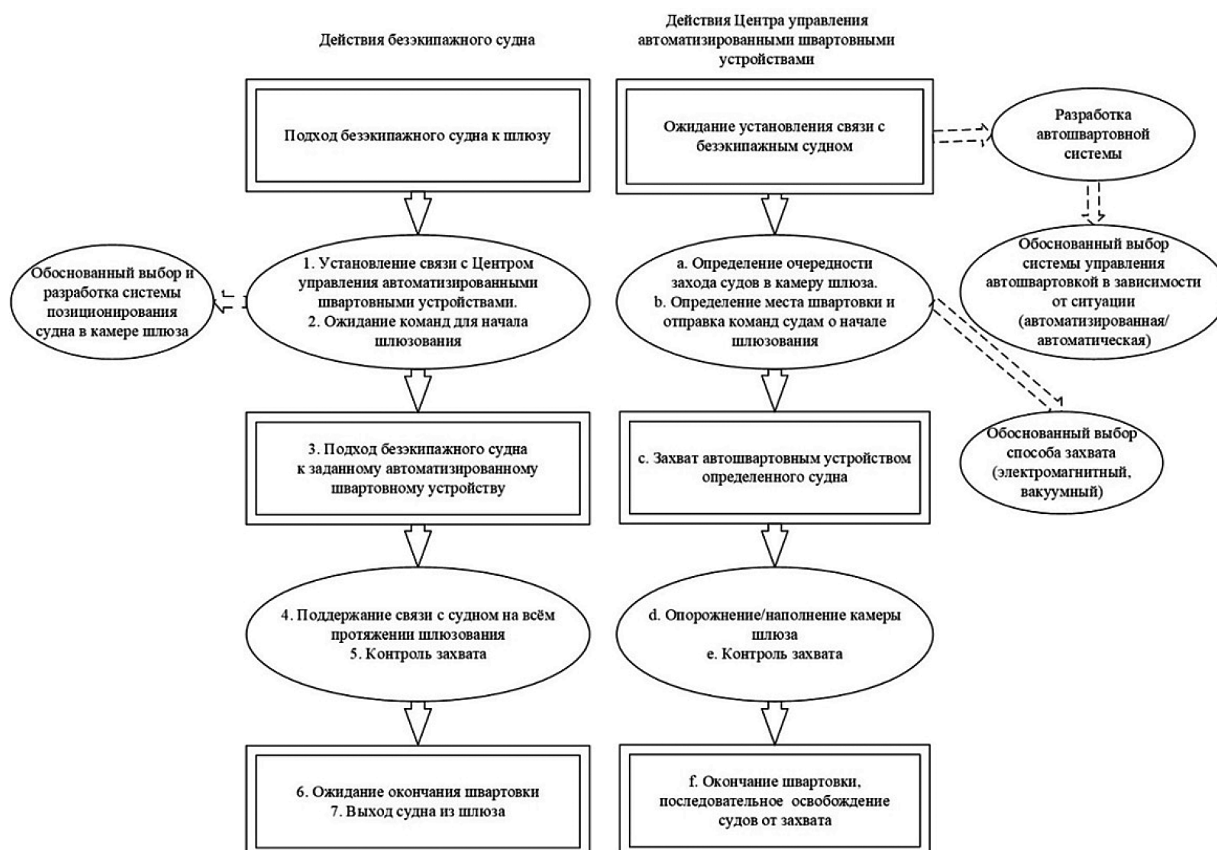


Рис. 11. Концептуальная схема действий БЭС и Центра управления автоматизированными швартовными устройствами и задачи для их построения

Перечень указанных задач не расценивается авторами исследования как исчерпывающий, поскольку требует дальнейшей проработки по мере усовершенствования в процессе исследования проблем построения автоматизированной системы управления швартовных устройств, систем и ЦУАШУ. Следует отметить, что в работе намеренно использован термин «автоматизированная швартовка», несмотря на то, что по некоторым признакам ее можно признать автоматической, поскольку здесь в явном виде не предусмотрена работа оператора системы. Это обусловлено тем, что даже полностью автоматическая система на таких важных объектах должна функционировать под контролем человека до тех пор, пока не будет полной уверенности в отсутствии аварийных ситуаций.

Заключение (Conclusion)

В области внутреннего водного транспорта на территории Российской Федерации формируется сложная эргатическая иерархическая система с автоматизированным управлением: единая система контроля и управления судоходством, находящаяся на первом (главенствующем) уровне, благодаря которой появляется возможность осуществлять мониторинг и контроль всех участников транспортного процесса [17], [18]. На втором уровне находятся региональные информационные службы (РИС) мониторинга судоходства, являющиеся подсистемами единой системы контроля

и управления судоходством. На третьем уровне иерархической системы находятся подсистемы РИС: локальные системы управления движением судов (СУДС) и автоматизированные системы управления движением судов (АСУ ДС), а системы типа автошвартовных будут являться подсистемами СУДС или АСУ ДС. Рассматриваемые в работе системы рассматриваются как подсистемы для СУДС или АСУ ДС.

Поскольку целью выполнения исследования, описанного в данной статье является исследование проблем построения автоматизированной системы управления для обеспечения безопасного пропуска безэкипажных судов через судоходные шлюзы. Для достижения этой цели был выполнен анализ швартовных устройств, используемых на судоходных шлюзах, который подтвердил, что в данный момент для обеспечения безопасности шлюзования применяются неподвижные и подвижные швартовные устройства. Обзор научно-технической литературы об автоматических и автоматизированных системах швартовки позволил разработать предложения по организации автошвартовной системы судоходного шлюза для обеспечения пропуска безэкипажных судов, а также сформулировать основные проблемы и задачи, которые должны быть решены для обеспечения пропуска как безэкипажных, так и обычных самоходных транспортных судов.

Разработка подобного рода систем направлена на повышение эффективности функционирования и развития водного транспорта, что невозможно без внедрения современных технологий в области микроэлектроники, вычислительной техники, радионавигации, связи и в других смежных областях. С помощью компонентов и комплексов программного, технического и информационного обеспечения можно создавать различные системы управления судоходством, которые в перспективе станут частью интеллектуальной транспортной системы Российской Федерации.

Благодарности

Данная статья выполнена в рамках научно-исследовательской работы по теме «Выполнение исследований для определения оптимального технического решения по автоматизации швартовных операций классических и беспилотных судов на судоходных шлюзах» (Приказ от 28.08.2023 № 908).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Триполец О. Ю. Обзор существующих методов расхождения безэкипажных судов / О. Ю. Триполец // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 480–495. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-480-495.
2. Каретников В. В. Перспективы внедрения безэкипажного судоходства на внутренних водных путях Российской Федерации / В. В. Каретников, И. В. Пашенко, А. И. Соколов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 619–627. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-619-627.
3. Каретников В. В. К вопросу разработки основных концептуальных положений системы дистанционного управления техническим флотом / В. В. Каретников, С. В. Рудых, А. А. Буцанец // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 2. — С. 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-7-15.
4. Буцанец А. А. Разработка предложений по типовой структуре системы дистанционного управления беспилотным техническим флотом / А. А. Буцанец // Транспортное дело России. — 2019. — № 4. — С. 100–103.
5. Полонский Г. А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений: учебник для техникумов / Г. А. Полонский. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоиздат, 1982. — 352 с.
6. П-864–88. Пособие по проектированию судоходных шлюзов к СНиП 2.06.07–87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения». — М: Гидропроект, 1988. — 352 с.
7. Михайлов А. В. Судоходные шлюзы / А. В. Михайлов. — М.: Транспорт, 1966. — 532 с.
8. Ярустовский А. А. Механическое оборудование шлюзов / А. А. Ярустовский. — М.: Транспорт, 1967. — 224 с.
9. Онохов П. П. Механическое оборудование шлюзов и судоподъемников / П. П. Онохов. — М.: Транспорт, 1973. — 184 с.

10. Колосов М. А. Механическое оборудование судоводных шлюзов / М. А. Колосов, П. А. Гарибин. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 148 с.
11. Семанов Н. А. Судоводные каналы, шлюзы и судоподъемники / Н. А. Семанов, Н. Н. Варламов, В. В. Баланин. — М.: Транспорт, 1970. — 352 с.
12. Бутин В. П. Автоматизация швартовки судов при их шлюзовании / В. П. Бутин // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 3. — С. 31а-42.
13. Kwok S. New innovative concepts for navigation locks / S. Kwok // 2nd International Workshop, PIANC. — New-Orleans, 2011.
14. Андреева М. В. Современные методы автоматизации швартовки морских судов / М. В. Андреева // Научные исследования XXI века. — 2022. — № 3 (17). — С. 18–23.
15. Пат. 221649 Российская Федерация, МПК E02C 1/10, E02B 3/20, B63B 21/00. Швартовное устройство камеры шлюза / А. А. Буцанец, Н. М. Ксенофонов, К. В. Калужный; заяв. и патентобл. Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — № 2023125103; заявл. 29.09.2023; опубл. 15.11.2023, Бюл. № 32.
16. Буцанец А. А. Организация системы дистанционного управления беспилотным техническим флотом для обеспечения судоходства на внутренних водных путях: дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.22.19 «Эксплуатация водного транспорта, судоходство» / Артем Александрович Буцанец. — СПб.: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», 2021. — 189 с.
17. Каретников В. В. Некоторые аспекты создания телекоммуникационной автоматизированной системы организации движения судов на внутренних водных путях / В. В. Каретников, А. И. Меншиков, С. В. Рудых // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 222–229. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-222-229.
18. Рудых С. В. Системы мониторинга и управления судами технического и вспомогательного флота на внутренних водных путях России: дис. ... д-р техн. наук: 05.13.06. / Сергей Витальевич Рудых. — СПб., 2013. — 308 с.

REFERENCES

1. Tripolets, Oleg Y. “Overview of existing methods of autonomous vessels collision avoidance.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.4 (2021): 480–495. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-480-495.
2. Karetnikov, Vladimir V., Ivan V. Pashchenko, and Andrei I. Sokolov. “Prospects of introducing unmanned navigation on inland waterways of the Russian Federation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.3 (2017): 619–627. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-619-627.
3. Karetnikov, V. V., S. V. Rudykh, and A. A. Butsanets. “On the issue of developing conceptual statements of technical fleet remote control system.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2019): 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-7-15.
4. Butsanets, A. “Proposals development for the typical structure of a remote control system for unmanned technical fleet.” *Transport business of Russia* 4 (2019): 100–103.
5. Polonskij, G. A. *Mehanicheskoe oborudovanie gidrotehnicheskikh sooruzhenij*. 3^d edition. M.: Jenergoizdat, 1982.
6. *Posobie po proektirovaniyu sudohodnyh shljuzov k SNIIP 2.06.07–87 «Podpornye steny, sudohodnye shljuzy, rybopropusknye i rybozashhitnye sooruzhenija»*. M.: Gidroproekt, 1988.
7. Mihajlov, A. V. *Sudohodnye shljuzy*. M.: Transport, 1966.
8. Jarustovskij, A. A. *Mehanicheskoe oborudovanie shljuzov*. M.: Izdatel'stvo «Transport», 1967.
9. Onohov, P. P. *Mehanicheskoe oborudovanie shljuzov i sudopod#emnikov*. M.: Izdatel'stvo «Transport», 1973.
10. Kolosov, M. A., and P. A. Garibin. *Mehanicheskoe oborudovanie sudohodnyh shljuzov*. SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2017.
11. Semanov, N. A., N. N. Varlamov, and V. V. Balanin. *Sudohodnye kanaly, shljuzy i sudopod#emniki*. M.: Izdatel'stvo «Transport», 1970.
12. Butin, V.P. “Automation of the mooring of ships during their locking through.” *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy* 3 (2010): 31a-42.
13. Kwok, S. “New innovative concepts for navigation locks.” *2nd International Workshop, PIANC*. New-Orleans, 2011.

14. Andreeva, M. V. "Modern methods of approach to berthing and automatization of mooring of sea vessels." *Nauchnye issledovaniya XXI veka* 3(17) (2022): 18–23.

15. Butsanets, A. A., N. M. Ksenofontov, and K. V. Kalyuzhnyy. RU 221 649 U1, IPC E02C 1/10, E02B 3/20, B63B 21/00. Shvartovnoye ustroystvo kamery shlyuza. Russian Federation, assignee. Publ. 15 Nov. 2023.

16. Butsanets, A. A. Organizatsiya sistemy distantsionnogo upravleniya bespilotnym tekhnicheskim flotom dlya obespecheniya sudokhodstva na vnutrennikh vodnykh putyakh: PhD diss. SPb.: Gosudarstvennyy universitet morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova, 2021.

17. Karetnikov, Vladimir V., Aleksandr I. Menshikov, and Sergey V. Rudy'kh. "Some aspects of creating a telecommunication automated system for organizing the vessels traffic on inland waterways." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 222–229. DOI: 10.21821/2309–5180–2019–11–2–222–229.

18. Rudykh, S. V. Sistemy monitoringa i upravleniya sudami tekhnicheskogo i vspomogatel'nogo flota na vnutrennikh vodnykh putyakh Rossii. Dr. of Technical Sciences Diss. SPb., 2013.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буцанец Артем Александрович —

кандидат технических наук,
начальник отдела НТИ и ИС
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru

Ксенофонтов Николай Михайлович —

кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: ksenofontovnm@gumrf.ru

Волкова Тамара Александровна —

кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: volkovata@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Butsanets, Artem A. —

PhD,
Head of the Department
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru

Ksenofontov, Nikolay M. —

PhD
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: ksenofontovnm@gumrf.ru

Volkova, Tamara A. —

PhD
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: volkovata@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2023 г.

Received: November 23, 2023.