

Научная статья
УДК 629.5.065
<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-1/41-55>

Обоснование выбора спускоподъемного устройства для судна-носителя безэкипажных катеров

Кирилл Дмитриевич Овчинников[✉], Антон Валерьевич Митюшин, Максим Олегович Франк

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия
[✉] ovchinnikov_kd@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты анализа применения и эффективности наиболее распространенных типов спускоподъемного устройства (СПУ) для судна-носителя (СН) безэкипажных катеров (БЭК): палубный кран, П-образная рама и слип. Анализ проводился на примере гидрографического лоцмейстерского судна высокого ледового класса неограниченного района плавания. Для оценки эффективности СПУ использовался метод анализа иерархий. Первый уровень иерархий состоял из десяти критериев. В результате расчетов показано, что наиболее важными критериями при оценке эффективности СПУ являются возможность резервирования, использование площади и устойчивость к внешней среде, а также multifunctionality. Наименее значительными критериями являются стоимость и технологичность производства СПУ. Применимость различных типов СПУ анализировалась прямыми построениями на рассматриваемом примере судна-носителя с акцентом на наиболее важные критерии эффективности СПУ. Было рассмотрено более 50 вариантов размещения СПУ и БЭК на рабочей палубе СН. После выполнения анализа применимости различных типов СПУ для БЭК были выполнены итоговые расчеты эффективности. В результате получено, что наилучшим вариантом СПУ для рассматриваемого примера является П-образная рама. СПУ типов палубный кран и слип показали примерно одинаковые результаты. При этом следует отметить, что, несмотря на наличие явного лидера в результатах выполненной оценки, полученные значения являются довольно близкими, что согласуется с применением всех рассматриваемых типов СПУ на научно-исследовательских, гидрографических и других судах.

Ключевые слова: спускоподъемное устройство, безэкипажный катер, БЭК, суда-носители, палубный кран, П-образная рама, слип, критерии эффективности, метод анализа иерархий

Для цитирования: Овчинников К.Д., Митюшин А.В., Франк М.О. Обоснование выбора спускоподъемного устройства для судна-носителя безэкипажных катеров // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 1(58). С. 41–55.

Original article

Study of choice optimal launch and recovery system for USV motherships

Kirill D. Ovchinnikov[✉], Anton V. Mityushin, Maksim O. Frank

State Marine Technical University of St. Petersburg, Saint Petersburg, Russia
[✉] ovchinnikov_kd@mail.ru

Abstract. This paper provides results of the application and effectiveness analysis of most common types of launch and recovery system (LRS) for the unmanned surface vehicle (USV) mothership (MS): a deck-mounted crane, A-frame and stern ramp. The analysis bases on the example of a high ice-class hydrographic survey and navigation service ship. The hierarchy analysis method uses to assess the effectiveness. The first level of hierarchy consists ten criteria. As a result of the research it shows that the most important criteria in assessing the

LRS effectiveness are redundancy capability, usage of area and resistance to the environment, as well as multi-functionality. The most minor criteria are the cost and manufacturability of LRS production. The applicability of various LRS analyzes by designing on MS example with a focus on the most important LRS effectiveness criteria. More than 50 variations of LRS and USV placing on the main deck consider. After performing an analysis of the applicability of various LRS and USV, the total effectiveness calculates. The best LRS variation for the present example is an A-frame. It should be noted that despite the fact that there is one leader after the assessment performed, the obtained values are quite close, which is coherent with appliance of all considered LRS types on research, hydrographic survey and other vessels.

Keywords: launch and recovery system, unmanned surface vehicle, USV, mothership, deck-mounted crane, A-frame, stern ramp, effectiveness criteria, hierarchy analysis method

For citation: Ovchinnikov K.D., Mityushin A.V., Frank M.O. Study of choice optimal launch and recovery system for USV motherships. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2024, no. 1(58), pp. 41–55. (In Russ.).

Введение

В настоящее время многие страны, в том числе Россия, ведут активную работу по созданию безэкипажных катеров (БЭК, англ. USV – unmanned surface vehicle) [1-5]. Выполненный значительный объем работ уже позволил перейти к опытной эксплуатации некоторых образцов, в ходе которой выявляются их конструктивные и тактические недостатки, формулируются дополнительные требования, а также определяются сценарии их использования. Одним из таких сценариев является применение одного и более БЭК в отдаленных морских районах, для чего необходимы специальные суда-носители (СН, англ. MS – mothership) [6, 7].

Для обеспечения нормальной работы БЭК на СН возлагаются различные задачи, наиболее важными из которых являются размещение БЭК и обеспечение их безопасного спуска и подъема. Для этого на СН должны быть предусмотрены свободные площади палуб или специальные ангары и спускоподъемные устройства [8, 9]. Сегодня в качестве таких судов, с определенными ограничениями, используются боевые корабли, суда снабжения и научно-исследовательские суда.

Наиболее близким примером подобного морского базирования являются СН подводных аппаратов (ПА). Изначально их транспортировка и обслуживание производились на верхней палубе переоборудованных транспортных (грузовых) и промысловых судов, но в результате эксплуатации такая практика была признана нерациональной. Таким образом, был принят комплексный подход, заключающийся в том, что ПА и СН составляют единый комплекс, а создание ПА и СН должны выполняться согласованно [7, 10].

Можно полагать, что возрастающее количество БЭК и специализация их применения, по аналогии с СН ПА, также потребуют определения наиболее эффективной конфигурации СН, в том числе определения эффективного СПУ.

Уровень развития СПУ в настоящее время достаточно высок, что позволяет создавать устройства различных габаритов и характеристик. Несмотря на высокий уровень развития и большое количество предложений на рынке, выбору типа и характеристик СПУ уделяется большое внимание в каждом конкретном случае. Так, представлены некоторые результаты моделирования работы СПУ для расположенной на верхней палубе фрегата лодки, аналогом которой можно считать БЭК [11]. Показаны результаты более детального моделирования процесса спуска и подъема объектов на борт судна с учетом натяжения и расположения тросов спускоподъемной системы [12]. [13] Анализируются автоматизированные системы спуска и подъема БЭК, состоящие из механизмов катапультирования, стабилизирования и стыковки, повышающие вероятность успешного проведения грузовой операции. Иногда рассматриваются гибридные схемы, в частности предложена система спуска ПА с помощью БЭК [14].

В настоящей статье представлен обзор СПУ, применяемых сегодня для спуска и подъема БЭК с борта СН. Предложен и рассмотрен метод анализа иерархий [15] для решения задачи выбора типа оптимального СПУ на примере СН БЭК для гидрографических работ. Рассмотрены несколько типов СПУ, применимость каждого из которых анализировалась прямыми построениями.

Обзор СПУ

На текущий момент транспортировка и обеспечение работы БЭК в отдаленных морских районах, за исключением специальных БЭК повышенной автономности, в большей степени осуществляются судами снабжения и научно-исследовательскими судами. Как правило на таких судах в кормовой части верхней палубы располагаются СПУ, предназначенные для спуска и подъема различного оборудования.

СПУ представляют собой грузовые устройства специальной конструкции, предназначенные для спуска с судна и подъема на борт плавучих надводных и подводных объектов, таких как глубоководные аппараты, различные поисковые средства, катеров, шлюпок и др. Конструктивное исполнение СПУ разнообразно и определяется типом СН, местом размещения и массой объектов. Важным требованием к таким СПУ является возможность выполнения работ в условиях волнения и ветра. Наиболее совершенные СПУ обеспечивают проведение спускоподъемных работ при волнении моря интенсивностью 5–6 баллов [16].

Наиболее широко используемым грузовым устройством на судах является палубный кран (англ. deck-mounted crane). Он представляет собой грузоподъемное устройство стрелового типа, устанавливаемое на судах у борта. Помимо того, что это наиболее распространенный тип грузового устройства, его явным преимуществом среди других СПУ является большая площадь зоны обслуживания. Его существенным недостатком признана ограниченная работа в условиях волнения, которую, однако, стараются решить путём различных модификаций конструкции [17]. На рис. 1 представлен спуск БЭК «С-WORKER 5», производства L3HARRIS (США), с борта исследовательского судна ВМС США «Nancy Foster» с помощью палубного крана [18].



Рис. 1. Спуск БЭК «С-WORKER 5» с помощью палубного крана

Fig. 1. Launching C-WORKER 5 USV using deck-mounted crane

Вторым по распространенности можно назвать П-образные рамы (англ. A-frame), являющиеся шпартными грузоподъемными устройствами на судах различного назначения. Они представляют собой сварную рамную конструкции с электрическими или гидравлическими приводами. Как правило, СПУ данного типа изготавливается под конкретное судно и необходимую грузоподъемность. Чаще всего П-образные рамы размещаются в кормовой части судна, но встречается размещение и у борта. На рис. 2 представлен процесс спуска БЭК «M80» с СН с помощью П-образной рамы компанией OceanAlpha (Китай) [19].



Рис. 2. Спуск БЭК «M80» с помощью П-образной рамы

Fig. 2. Launching operation of M80 USV using A-frame

Еще одним СПУ, применяемым для спуска-подъема БЭК, схожим по техническим параметрам с П-образной рамой, являются шлюпбалки (англ. davit). Это специальное устройство, предназначенное для спуска шлюпок, аналогом которых можно считать БЭК, устанавливаемые у борта судна. На рис. 3 приведен процесс спуска с помощью такого СПУ БЭК «Drix» компании iXblue (США) [20]. В данном случае для спуска БЭК используется специальное устройство, получившее наименование «плюлька» (англ. cradle), предназначенное для увеличения удобства и защиты объекта при спуске и подъеме. Недостатком шлюпбалок является возможность обслуживания только одного БЭК.

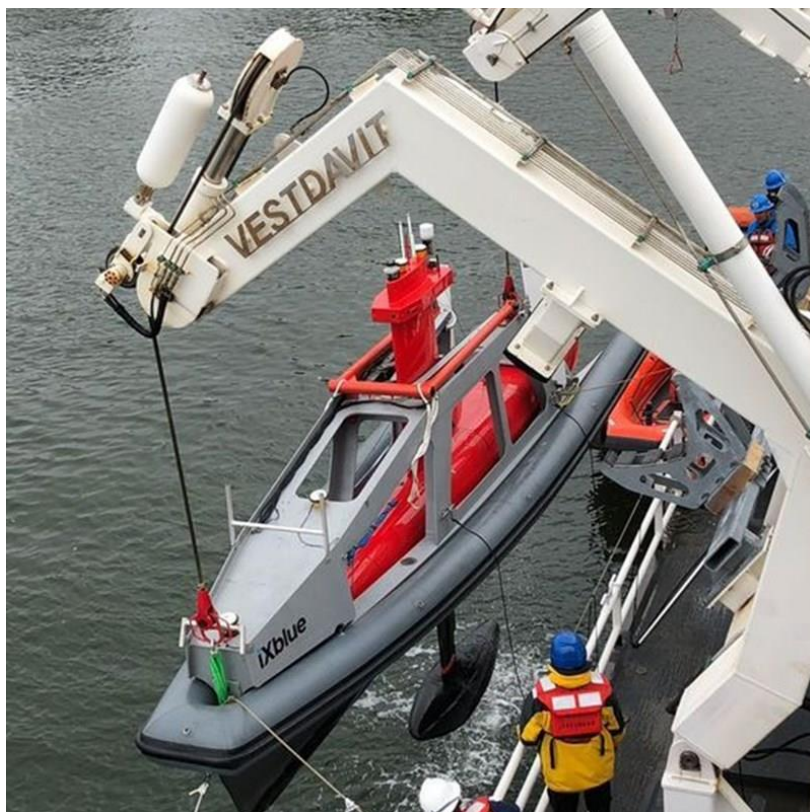


Рис. 3. Спуск с судна БЭК «DRIX» с помощью шлюпбалки

Fig. 3. Launching DRIX USV from the ship using davit

Перспективным устройством для работы с БЭК считается уже давно известное СПУ типа слип (англ. stern ramp). Основным преимуществом этого устройства признана возможность обеспечения подъема аппарата при наличии скорости хода СН, что на самом деле не всегда реализуемо и требует проведения различных исследований [21, 22]. Тем не менее именно слипы чаще остальных встречаются в качестве перспективных СН (рис. 4).



Рис. 4. СПУ для БЭК типа слип, предлагаемое компанией Saab [23]

Fig. 4. Stern ramp for USV provided by Saab

Для обеспечения спуска и подъема БЭК сегодня создаются СПУ специальной конструкции. Так, компания Eca Group (Франция) представила СПУ для БЭК «Inspector 125», способное обеспечивать спуск и подъем в условиях волнения с высотой волны $H_{1/3} = 4$ м при размещении на судне водоизмещением 2800 т (рис. 5) [24]. Неотъемлемой частью конструкции является уже упомянутая выше «люлька», являющаяся также опорным устройством при размещении БЭК на палубе судна. Работа данного СПУ предусмотрена при движении СН. Для этого «люлька» одерживается специальным тросом, закрепленным за ее носовую часть.



Рис. 5. Спуск БЭК «Inspector 125» с помощью специализированного СПУ

Fig. 5. Launching Inspector 125 USV using purpose-designed launch and recovery system

Другой специальной конструкцией СПУ можно назвать использование выдвигного мостового крана. На рис. 6 представлен спуск с помощью такого СПУ БЭК производства Textron Systems (США) с корабля ВМС США класса «Independence» [25]. Перед подъемом БЭК размещается на платформе, закрепленной к крану в четырех точках.

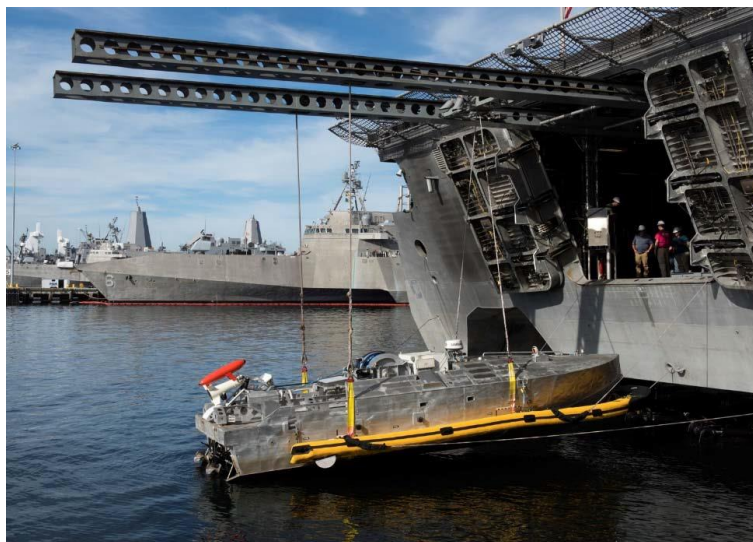


Рис. 6. Спуск БЭК производства Textron Systems с помощью выдвижного мостового крана
 Fig. 6. Launching USV manufactured by Textron Systems using sliding overhead crane

Иногда концепции объединяют. Так, консорциум Sea Naval Solution, сформированный между компаниями Thales, EDR, Chantiers de l'Atlantique и Socarenam в рамках участия тендера по разработке корабля противоминной обороны, предложил свой вариант СПУ для БЭК «Нулсон» производства ASV Ltd (Британия) (рис. 7) [36]. Следует отметить, что победу в тендере одержал проект компании Naval Group (Франция), на борту которого предусмотрены два менее сложных по конструкции СПУ (см. рис. 5).

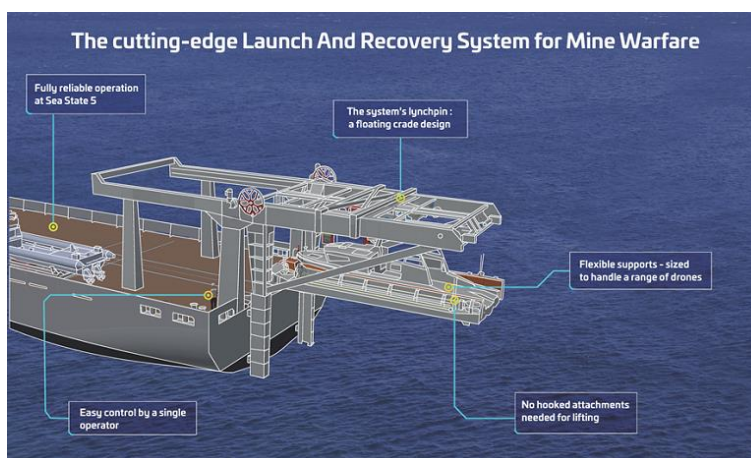


Рис. 7. СПУ, предложенное компанией Sea Naval Solution
 Fig. 7. Launch and recovery system offered by Sea Naval Solution

Помимо приведенных типов СПУ могут быть использованы и принципиально другие устройства, например, заключающиеся в притапливании СН для погружения БЭК с последующей отстыковкой его от платформы, как это реализуется в док-камерах.

Выбор того или иного СПУ для БЭК, а также варианта его компоновки, может в значительной степени повлиять на архитектурный облик СН. При определении возможных вариантов СПУ следует учитывать:

- массогабаритные характеристики БЭК,
- наличие у БЭК ярко выраженных выступающих частей,
- необходимость работы СПУ в условиях качки,
- необходимость спуска и подъема БЭК при движении СН,
- и многое другое.

Для наиболее распространенных типов СПУ хорошо известны основные проектные и эксплуатационные ограничения:

- грузоподъемность палубных кранов сильно зависит от углов крена и дифферента судна, допустимые значения которых редко превышают 10° , и связанной с ними интенсивности волнения, не превышающей трех баллов по шкале ГУГМС;
- классическое расположение П-образной рамы в кормовой части судна перпендикулярно диаметральной плоскости напрямую связано с шириной корпуса и приводит к возможности спуска и подъема БЭК только на стопе;
- применение СПУ типа слип ограничено длиной катеров, составляющей обычно не более 12 м, а сами БЭК не должны иметь ярко выраженных выступающих частей, например измерительных гондол.

Указанные ограничения могут стать поводом для разработки СПУ специальной конструкции, применимость и технические характеристики которых являются результатами проектных, а иногда и модельных проработок.

Таким образом, выбирая тип СПУ, проектанту требуется решить многокритериальную задачу. Одним из способов ее решения может быть применение метода анализа иерархий, заключающегося в декомпозиции проблемы на более простые составные части и дальнейшей обработке последовательности суждений эксперта по парным сравнениям.

Пример использования предложенного подхода приведен далее. В рамках примера рассматривается задача периодического оборудования гидрографического судна высокого ледового класса пятью БЭК Inspector производства ECA Group. Поскольку использование БЭК предназначено для увеличения рабочего потенциала судна в течение доступных временных окон, связанных с допустимыми ледовыми и ветро-волновыми условиями, то СН не оборудуется сложными, узко специализированными типами СПУ, а рассматриваются три наиболее популярных типа: палубный кран, П-образная рама и кормовой слип.

Описание метода

В качестве метода оценки эффективности СПУ был выбран метод анализа иерархий [26]. Метод анализа иерархий представляется обоснованным путем решения многокритериальных задач с иерархическими структурами, является замкнутой логической конструкцией, обеспечивающей с помощью простых правил анализ сложных проблем и приводящий к наилучшему решению.

Для выполнения анализа составлена двухуровневая иерархия, представленная на рис. 8, где приняты следующие обозначения:

- R (англ. redundancy) – резервирование, т. е. возможность эффективного расположения резервного СПУ;
- UA (англ. use of area) – использование площади, т. е. общая площадь, занимаемая СПУ и БЭК на рабочей палубе;
- PIC (англ. production and installation cost) – стоимость производства и монтажа, включая варианты при дооборудовании судна;
- LRO (англ. rate of launching and recovering operations) – скорость спускоподъемных операций, т. е. время, необходимое для спуска и подъема БЭК, закрепленного на СПУ;
- RE (англ. resistance to environment) – устойчивость к внешней среде, т. е. возможности использования СПУ при волнении и ветре, а также при наличии скорости хода судна-носителя;
- LRA (англ. launching and recovering operations automation) – автоматизация спускоподъемных операций, т. е. возможность минимизации задействования личного состава судна в спускоподъемных операциях, в том числе для подвода БЭК в рабочую область СПУ;
- CPC (англ. cargo position control) – контроль положения груза, т. е. возможность контролировать положение груза при выполнении спускоподъемных операций;
- IPM (англ. in-place maintainability) – ремонтпригодность «на месте», т. е. возможность отремонтировать СПУ в условиях нахождения судна в суровых погодных условиях при отсутствии возможности захождения в порт с развитой инфраструктурой;

– MF (англ. multi-functionality) – многофункциональность, т. е. возможность применения СПУ для других целей судна;

– MA (англ. manufacturability) – технологичность, т. е. сложность проектирования и производства, приспособленность СПУ к производству, ремонту и эксплуатации.

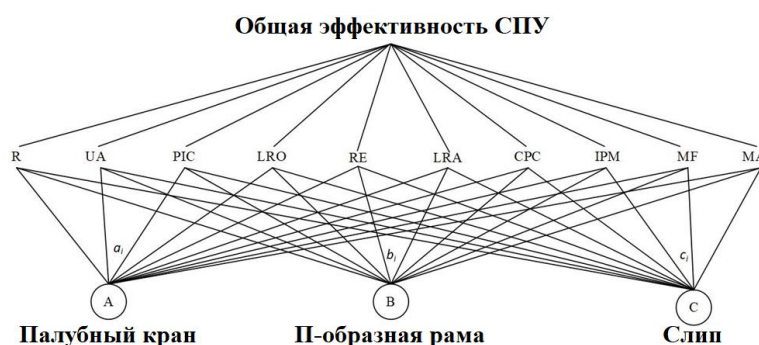


Рис. 8. Иерархия критериев, где a_i , b_i и c_i – вес i -го критерия

Fig. 8. Hierarchy of criteria, where a_i , b_i and c_i are the weight of the i -th criterion

Перед началом анализа применимости различных типов СПУ был выполнен расчет вектора приоритетов первого уровня иерархии, что позволяет выбрать правильные проектные решения при размещении СПУ и БЭК на рабочей палубе. Мнения авторов настоящей работы по некоторым критериям разошлись, поэтому в табл. 1 представлена осредненная матрица. У полученной матрицы оценка согласованности равна 0.05, что значительно меньше допустимого значения 0.10 [15].

Таблица / Table 1

Матрица попарных сравнений первого уровня
The matrix of first-level pairwise comparison

	R	UA	PIC	LRO	RE	LRA	CPC	IPM	MF	MA	Итого
R	1	2.00	4.00	3.00	1.00	2.57	3.33	3.57	2.67	4.33	0.198
UA	0.50	1	5.00	4.33	2.13	3.33	1.67	4.67	1.00	4.33	0.179
PIC	0.25	0.20	1	0.33	0.23	0.40	0.32	0.30	0.22	1.00	0.029
LRO	0.33	0.23	3.00	1	0.33	2.00	1.67	3.67	0.33	3.67	0.087
RE	1.00	0.47	4.33	3.00	1	3.23	3.33	3.13	1.67	3.67	0.163
LRA	0.39	0.30	2.50	0.50	0.31	1	1.00	2.33	0.33	2.33	0.063
CPC	0.30	0.60	3.16	0.60	0.30	1.00	1	2.25	1.00	2.33	0.076
IPM	0.28	0.21	3.33	0.27	0.32	0.43	0.44	1	0.61	2.63	0.052
MF	0.37	1.00	4.62	3.00	0.60	3.00	1.00	1.64	1	4.33	0.123
MA	0.23	0.23	1.00	0.27	0.27	0.43	0.43	0.38	0.23	1	0.031

Крайний правый столбец табл. 1 представляет собой вектор приоритетов первого уровня. В результате получено, что наиболее важными характеристиками СПУ в рассматриваемом примере являются резервирование, использование площади и устойчивость к внешней среде, а также многофункциональность. Наименее значительными критериями, по мнению авторов настоящей работы, являются стоимость и технологичность производства СПУ.

Применимость различных типов СПУ

Рассмотрение применения различных типов СПУ для БЭК осуществлялось на примере гидрографического лоцмейстерского судна высокого ледового класса. Применение БЭК на гидрографическом судне позволит увеличить скорость проводимых работ при наличии подходящих погодных условий. Поскольку рассматриваемое судно имеет высокий ледовый класс, то в данном примере БЭК является не основным рабочим инструментом, а дополняющим

функционалом. В связи с этим на судне не предусматривается, например, ангар для хранения БЭК, а сами БЭК располагаются на открытой рабочей кормовой палубе. Для перемещения БЭК на судно используется стационарный судовой палубный кран, необходимый для повседневной эксплуатации судна. Этот палубный кран будет рассматриваться в дальнейшем как резервное СПУ для БЭК в случае выхода из строя основного. В настоящей работе рассматриваются вопросы выбора основного СПУ и размещения БЭК таким образом, чтобы характеристики хранения, спуска и подъема БЭК были наилучшими.

Следует отметить, что использование площади является одним из наиболее важных критериев для оценки эффективности СПУ. В связи с этим, помимо прочего, была поставлена задача размещения на рабочей палубе СН не менее пяти БЭК. По мнению авторов, указанное минимально возможное количество БЭК позволит значительно увеличить эффективность судна-носителя при выполнении гидрографических и подобных работ при ограничении рабочего времени в реальных ветро-волновых условиях.

Основные данные рассматриваемого судна следующие: длина габаритная 66,99 м, ширина 15,00 м, осадка по КВЛ 6,00 м, высота борта на миделе 8,20 м, водоизмещение ~5000 т. На судах рассматриваемого типа под рабочую кормовую открытую палубу выделяется от 35 до 50 % длины судна, а среднее значение равно 40 %. Для рассматриваемого судна площадь рабочей палубы равна $0,4 \cdot 69,99 \cdot 15,0 \approx 420 \text{ м}^2$. Поскольку для размещения БЭК на судне-носителе используется открытая часть рабочей палубы, при всех расчетах и построениях необходимо учитывать размещение швартовного судового оборудования, которое уменьшит фактическую площадь рабочей палубы, предназначенную для БЭК.

Естественно, что при выборе типа СПУ важную роль играют не только характеристики и назначение судна-носителя, но и параметры БЭК. В качестве базового БЭК выбраны катера Inspector производства ECA Group. Катера имеют следующие характеристики: длина 9,00 м, ширина 2,90 м, полное водоизмещение 5,2 т, максимальная скорость хода 35 уз. Катера Inspector являются многоцелевой и легко конфигурируемой платформой; установленное на них научно-исследовательское оборудование позволяет производить качественное обследование дна, а также проводить гидрографические и океанографические работы.

Для размещения одного БЭК Inspector на палубе судна-носителя требуется прямоугольная площадь размерами $10,6 \cdot 4,50 = 47,7 \text{ м}^2$, учитывающая не только фактическую площадь, занятую БЭК, но и дополнительное пространство, необходимое для прохода и обслуживания катеров. При параллельном размещении нескольких БЭК дополнительное пространство между катерами может быть принято как для одного катера в целях экономии общей рабочей площади.

При анализе применения палубных кранов были рассмотрены типовые случаи их размещения на рабочей палубе судна. Палубный кран позволяет производить спускоподъемные операции в зоне своей работы вне зависимости от расположения БЭК вдоль или поперек диаметральной плоскости судна. При рассмотрении возможностей применения СПУ типа палубный кран было проработано более 15 вариантов. Вариант применения палубного крана при размещении максимально возможного количества БЭК показан на рис. 9.

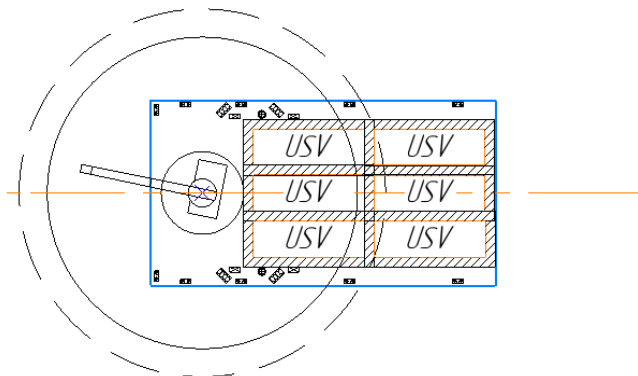


Рис. 9. Один из рассмотренных вариантов компоновок СПУ типа палубный кран

Fig. 9. One of deck-mounted crane LRS variations examples

При применении СПУ типа П-образная рама определяющим фактором является расположение БЭК параллельно раме, потому что иное расположение потребует как временных, так и территориальных затрат при эксплуатации БЭК. Очевидными преимуществами П-образной рамы являются гибкость характеристик СПУ при проектировании и возможность удержания спускаемого груза на нескольких гаках. При рассмотрении возможностей применения СПУ типа П-образная рама было проработано более 12 вариантов. Наиболее очевидный и, как показал анализ, эффективный способ размещения П-образной рамы и БЭК показан на рис. 10.

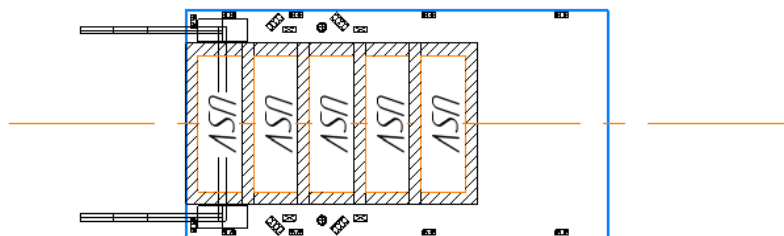


Рис. 10. Один из рассмотренных вариантов компоновок СПУ типа П-образная рама

Fig. 10. One of A-frame LRS variations examples

Применение слипов в теории позволяет увеличить устойчивость СПУ к внешней среде, а главной особенностью слипов является возможность работы при наличии скорости хода судна-носителя без применения «плюек». Однако в условиях ограниченности площади рабочей палубы ключевым недостатком слипов является занимаемая ими полезная площадь рабочей палубы. Помимо этого, следует обратить внимание на то, что слип является узкоспециализированным спусковым устройством. Один из наиболее применимых вариантов размещения двух слипов и БЭК показан на рис. 11, при котором два БЭК штатно базируются в зоне слипов.

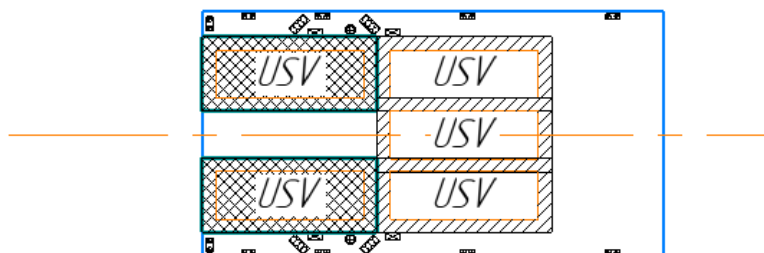


Рис. 11. Один из рассмотренных вариантов компоновок СПУ типа слип

Fig. 11. One of stern ramp LRS variations examples

После выполнения анализа применимости различных типов СПУ для БЭК были выполнены расчеты вектора приоритетов второго уровня. Для получения матрицы приоритетов второго уровня выполнялись расчеты матриц попарных сравнений для трех типов СПУ по каждому из критериев первого уровня (табл. 2).

Данные, представленные в табл. 2, отражают субъективное мнение авторов применительно к рассматриваемому примеру размещения СПУ и БЭК на судне-носителе. Так, согласно выполненному анализу наилучшим СПУ с точки зрения использования площади является П-образная рама, с точки зрения скорости операций – слип, а с точки зрения многофункциональности – палубный кран.

После перемножения матрицы приоритетов второго уровня с вектором приоритетов первого уровня получены итоговые значения оценки эффективности СПУ:

1. СПУ типа палубный кран 0,29;
2. СПУ типа слип 0,30;
3. СПУ типа П-образная рама 0,41.

В результате исследования получено, что наилучшим вариантом СПУ для рассматриваемого примера является П-образная рама. СПУ типов палубный кран и слип показали

примерно одинаковые результаты. Следует отметить, что, несмотря на наличие явного лидера в результатах выполненной оценки, полученные значения являются довольно близкими, что согласуется с применением всех рассматриваемых типов СПУ на научно-исследовательских, гидрографических и других судах

Таблица / Table 2

Матрица приоритетов второго уровня
Second-level priorities matrix

Критерий первого уровня	СПУ типа палубный кран	СПУ типа П-образная рама	СПУ типа слип
R – резервирование	0,27	0,64	0,09
UA – использование площади	0,30	0,61	0,09
PC – стоимость	0,53	0,34	0,13
LRO – скорость операций	0,32	0,13	0,55
RE – устойчивость к внешней среде	0,11	0,30	0,59
LRA – автоматизация	0,17	0,24	0,59
CPC – контроль положения груза	0,12	0,35	0,53
IPM – ремонтпригодность «на месте»	0,12	0,31	0,57
MF – многофункциональность	0,64	0,28	0,08
MA – технологичность	0,57	0,28	0,15

Заключение

В настоящей работе представлены результаты анализа применения и эффективности наиболее распространенных типов СПУ для судна-носителя БЭК: палубный кран, П-образная рама и слип. Анализ проводился на примере гидрографического лоцмейстерского судна высокого ледового класса неограниченного района плавания.

Для оценки эффективности СПУ использовался метод анализа иерархий. Первый уровень иерархий состоял из десяти критериев. В результате расчетов показано, что наиболее важными критериями при оценке эффективности СПУ являются возможность резервирования, использование площади и устойчивость к внешней среде, а также многофункциональность. Наименее значительными критериями являются стоимость и технологичность производства СПУ.

Применимость различных типов СПУ анализировалась прямыми построениями на рассматриваемом примере судна-носителя с акцентом на наиболее важные критерии эффективности СПУ. Было рассмотрено более 50 вариантов размещения СПУ и БЭК на рабочей палубе судна-носителя. В работе показаны некоторые компоновочные решения.

После выполнения анализа применимости различных типов СПУ для БЭК были выполнены итоговые расчеты эффективности в соответствии с методом анализа иерархий. В результате получено, что наилучшим вариантом СПУ для рассматриваемого примера является П-образная рама. СПУ типов палубный кран и слип показали примерно одинаковые результаты. Тем не менее полученные результаты оценки являются довольно близкими, что соответствует практике использования всех трех типов СПУ на научно-исследовательских, гидрографических и прочих судах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Быстров Б.В., Светлов М.А., Кулешов К.В. Методологические подходы по обоснованию места и роли безэкипажных катеров в системе вооружения ВМФ РФ // Морской сборник. 2018. № 12(2061). С. 69–74. EDN: YOLRZJ

2. Пушкарёв И.И. Российские безэкипажные катера: существующие проекты и их особенности // Сборник докладов 69-й международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации», 8–10 декабря 2021 г. В 2 томах. Владивосток: Морской государственный университет, 2022. Т. 1. С. 15–21.
3. Франк М.О., Овчинников К.Д. Ретроспективный анализ проектных характеристик безэкипажных судов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. Специальный выпуск 2. С. 160–164. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-2-S-I-160-164>
4. Викторов Р.В., Кнуров М.В. Безэкипажный катер. Обучающий робототехнический комплекс с модульной полезной нагрузкой // Вестник военного образования. 2022. № 4(37). С. 79–82. EDN: NYHQNK
5. Vikranth T., Srinivasan R., Krishna S., Rajesh K. Design and development of remotely operated unmanned surface vehicle for oceanographic studies // Global oceans, 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast Biloxi, MS, USA, 05-30 October 2020. IEEE, 2021. 522 p. <http://doi.org/10.1109/ieeecnf-38699.2020.9389023>
6. Илларионов Г.Ю., Лаптев К.З., Шмаков А.С., Дмитриев С.С. К вопросу создания плавучей базы морских робототехнических комплексов // Технические проблемы освоения мирового океана. 2019. Т.8. С. 16–22. EDN: MJMXZI
7. Франк М.О., Овчинников К.Д. Обзор применения безэкипажных катеров и перспективности использования для них специализированных судов-носителей // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 3, часть 2. С. 19–29. <http://doi.org/10.37220/МИТ.2023.61.3.023>
8. Marks A.W., Fahlman G.H. Ships and handling equipment for support of subsea work system // Ocean: Proc. OCEAN '74, Halifax, NS, Canada, 21–23 August 1974. Canada: IEEE, 1974. P. 316–327. <http://doi.org/10.1109/OCEANS.1974.1161377>
9. McTaggart K., Hendriks S., Nimmo-Smith I., Oydegard A., Pattison J., Stuntz N. Considerations in development of naval ship design criteria for launch and recovery. Ottawa: Defence R&D Canada, 2016. 15 p.
10. Lee K.Y. Consideration of launch and recovery systems for operation of underwater robot from manned platform // Journal of Ocean Engineering and Technology. 2016. № 30(2). P. 141–149. <http://dx.doi.org/10.5574/KSOE.2016.30.2.141>
11. McTaggart K. Hydrodynamic interactions during launch and recovery of a small boat from a ship in a seaway. USA: Defense Technical Information Center, 2014. 9 p.
12. Roy A., Steine D., Nicoll R. Simulation of launch and recovery of small craft including cable collisions and cable tensions from deck personnel. Canada: Defence R&D Canada – Atlantic, 2013. 70 p.
13. Zheng S., Yang Y., Peng Y., Cui J., Chen J., Jiang X., Feng Y. An automated launch and recovery system for usvs based on the pneumatic ejection mechanism // Intelligent Robotics and Applications: 12th International Conference, ICIRA 2019, Shenyang, China, August 8–11, 2019. Springer Nature Switzerland AG, 2019. P. 289–300. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27535-8_27
14. Sarda E.I., Dhanak M.R. A USV-based automated launch and recovery system for AUVs // Journal of Oceanic Engineering. 2016. Vol. 42, № 1. P. 37–55. <https://doi.org/10.1109/JOE.2016.2554679>
15. Саати Т. Принятие решений, метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
16. USV Launch & Recovery System successfully tested at rough sea states. URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2019/12/usv-launch-recovery-system-successfully-tested-at-rough-sea-states/> (дата обращения: 17.01.2024).
17. Кипер А.В., Давлюд И.И. Перспективные грузоподъемные устройства с системами компенсации качки для передачи боеприпасов в открытом море // I-methods. 2019. Т. 11, № 4. EDN: ELUDKR
18. Unmanned surface vehicles evaluated for hydrographic survey. URL: <https://nautical-charts.noaa.gov/updates/unmanned-surface-vehicles-evaluated-for-hydrographic-survey/> (дата обращения: 17.01.2024).
19. China's first test base for unmanned ships to be operational. URL: http://xinhuanet.com/english/2019-09/16/c_138395800.htm (дата обращения: 17.01.2024).
20. Cradle. URL: <https://www.vestdavit.no/launch-recovery-systems-lars/launch-and-recovery-systems-usv-uuv/cradle> (дата обращения: 17.01.2024).

21. Chun H.H., Kim M.C., Lee I., Kim K., Lee J.K., Jung K.H. Experimental investigation on stern-boat deployment system and operability for Korean coast guard ship // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2012. Vol. 4, Iss. 4. P. 488–503. <http://dx.doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0113>
22. Sheinberg R., Minnick P.V., Beukema T.G., Kauczynski W., Silver A.L., Cleary C. Stern boat deployment systems and operability // *World Maritime Technology Conference*, October 17–20, 2003, San Francisco, USA. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003.
23. Saab MCMV 80: Next generation multi-function mine counter measure vessel. URL: <https://navyrecognition.com/index.php/focus-analysis/naval-technology/5760-saab-mcmv-80-next-generation-multi-function-mine-counter-measure-vessel.html> (дата обращения: 17.01.2024).
24. LARS for future Belgian and Dutch MCM motherships successfully tested. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/01/lars-for-future-belgian-and-dutch-mcm-motherships-successfully-tested/> (дата обращения: 17.01.2024).
25. Small P. Unmanned maritime systems update. Unmanned maritime systems (PMS 406). Presentation. January 15, 2019. URL: <https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/Exhibits/SNA-2019/UnmannedMaritimeSys-Small.pdf> (дата обращения: 17.01.2024).
26. Sea naval solutions details proposal for the Belgian-Dutch MCM program. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2019/02/sea-naval-solutions-details-proposal-for-the-belgian-dutch-mcm-program/> (дата обращения: 17.01.2024).

REFERENCES

1. Bistrov B., Svetlov M., Kuleshov K. Methodological approaches to substantiate the place and role of unmanned surface vehicle in the armament system of the Russian Navy. *Morskoj sbornik*. 2018, no. 12(2061), pp. 69–74. (In Russ.).
2. Pushkarev I.I. Russian unmanned surface vehicle: existing projects and their features. *International Conference “Molodezh’. Nauka. Innovacii”*, Vladivostok, Russia, December 8–10, 2021. Vladivostok, vol. 1, 2022. (In Russ.).
3. Frank M., Ovchinnikov K. Design parameters of unmanned vessels: retrospective analysis. *Transactions of the Krylov State Research Centre*. 2020, Special Edition 2, pp. 160–164. (In Russ.). <https://doi.org/10.24937/-2542-2324-2020-2-S-I-160-164>
4. Viktorov R., Knurov M. Unmanned boat training robotics complex with modular replaceable payload. *Bulletin of the military education*. 2022, no. 4(37), pp. 79–82. (In Russ.).
5. Vikranth T., Srinivasan R., Krishna S., Rajesh K. Design and development of Remotely Operated Unmanned Surface Vehicle for oceanographic studies. *Global oceans, 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast Biloxi, MS, USA, 05-30 October 2020*. IEEE, 2021. 522 p. <http://doi.org/10.1109/ieeecnf-38699.-2020.9389023>
6. Illarionov G.Ju., Laptev K.Z. Shmakov A.S., Dmitriev S.S. To the issue of creating a floating base for marine robotic systems. *Technical problems of world ocean exploration*, 2019, vol. 8, pp. 16–22. (In Russ.).
7. Frank M.O., Ovchinnikov K.D. Review of the use of unmanned surface vehicle and the prospects for using specialized mothership for them. *Marine intellectual technologies*, 2023, no. 3, part 2, pp. 19–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.37220/MIT.2023.61.3.023>
8. Marks A.W., Fahlman G.H. Ships and Handling Equipment for Support of Subsea Work System. *Ocean: Proc. OCEAN '74, Halifax, NS, Canada, 21–23 August 1974*. Canada, IEEE, 1974. P. 316–327. <http://doi.org/10.1109/OCEANS.1974.1161377>
9. McTaggart K., Hendriks S., Nimmo-Smith I., Oydegard A., Pattison J., Stuntz N. Considerations in development of naval ship design criteria for launch and recovery. Ottawa, Defence R&D Canada, 2016. 15 p.
10. Lee K. Y. Consideration of launch and recovery systems for operation of underwater robot from manned platform. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 2016, vol. 30, no. 2, pp. 141–149. <http://dx.doi.org/10.5574/KSOE.2016.30.2.141>
11. McTaggart K. Hydrodynamic interactions during launch and recovery of a small boat from a ship in a seaway. USA, Defense Technical Information Center, 2014. 9 p.
12. Roy A., Steine D., Nicoll R. Simulation of launch and recovery of small craft including cable collisions and cable tensions from deck personnel. Canada, Defence R&D Canada – Atlantic, 2013. 70 p.

13. Zheng S., Yang Y., Peng Y., Cui J., Chen J., Jiang X., Feng Y. An automated launch and recovery system for usvs based on the pneumatic ejection mechanism. *Intelligent Robotics and Applications: 12th International Conference, ICIRA 2019, Shenyang, China, August 8–11, 2019*. Springer Nature Switzerland AG, 2019. P. 289–300. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27535-8_27
14. Sarda E.I., Dhanak M.R. A USV-based automated launch and recovery system for AUVs. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2016, vol. 42, no. 1, pp. 37–55. <https://doi.org/10.1109/JOE.2016.2554679>
15. Saati T. Decision making, a hierarchy analysis method. Translated from English by R.G. Vachnadze. Moscow, Radio and Communication Publ., 1993. 278 p. (In Russ.).
16. USV Launch & Recovery System successfully tested at rough sea states. URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2019/12/usv-launch-recovery-system-successfully-tested-at-rough-sea-states/> (17.01.2024).
17. Kiper A.V., Davljud I.I. Promising hoisting devices with pitch compensation systems for the transfer of ammunition on the high seas. *I-methods*. 2019, vol. 11, no. 4. (In Russ.).
18. Unmanned surface vehicles evaluated for hydrographic survey. URL: <https://nautical-charts.noaa.gov/updates/unmanned-surface-vehicles-evaluated-for-hydrographic-survey/> (accessed: January 17, 2024).
19. China's first test base for unmanned ships to be operational. URL: http://xinhuanet.com/english/2019-09/16/c_138395800.htm (accessed: January 17, 2024).
20. Cradle. URL: <https://www.vestdavit.no/launch-recovery-systems-lars/launch-and-recovery-systems-usv-uuv/cradle> (accessed: January 17, 2024).
21. Chun H.H., Kim M.C., Lee I., Kim K., Lee J.K., Jung K.H. Experimental investigation on stern-boat deployment system and operability for Korean coast guard ship. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2012, no. 4, pp. 488–503. <http://dx.doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-011>
22. Sheinberg R., Minnick P.V., Beukema T.G., Kauczynski W., Silver A.L., Cleary C. Stern boat deployment systems and operability. *World Maritime Technology Conference, October 17–20, 2003, San Francisco, USA*. Jersey City, Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003.
23. Saab MCMV 80: Next generation multi-function mine counter measure vessel. URL: <https://navyrecognition.com/index.php/focus-analysis/naval-technology/5760-saab-mcmv-80-next-generation-multi-function-mine-counter-measure-vessel.html> (accessed: January 17, 2024).
24. LARS for future Belgian and Dutch MCM motherships successfully tested. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/01/lars-for-future-belgian-and-dutch-mcm-motherships-successfully-tested/> (accessed: January 17, 2024).
25. Small P. Unmanned maritime systems update. Unmanned maritime systems (PMS 406). Presentation. January 15, 2019. URL: <https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/Exhibits/SNA-2019/UnmannedMaritimeSys-Small.pdf> (accessed: January 17, 2024).
26. Sea naval solutions details proposal for the Belgian-Dutch MCM program. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2019/02/sea-naval-solutions-details-proposal-for-the-belgian-dutch-mcm-program/> (accessed: January 17, 2024).

Информация об авторах

Овчинников Кирилл Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования судов, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Санкт-Петербург, Россия), ovchinnikov_kd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8753-6243>

Митюшин Антон Валерьевич – выпускник специалитета, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Санкт-Петербург, Россия), tokha.m.74@mail.ru

Франк Максим Олегович – выпускник аспирантуры, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Санкт-Петербург, Россия), frankmaks95@mail.ru

Information about the authors

Kirill D. Ovchinnikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Ship Design, State Marine Technical University in St. Petersburg (Saint Petersburg, Russia), ovchinnikov_kd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8753-6243>

Anton V. Mityushin, Graduate Student, State Marine Technical University in St. Petersburg (Saint Petersburg, Russia), tokha.m.74@mail.ru

Maksim O. Frank, Graduate Student, State Marine Technical University in St. Petersburg (Saint Petersburg, Russia), frankmaks95@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.01.2024; одобрена после рецензирования 09.02.2024; принята к публикации 15.03.2024.

Information about the article

The article was submitted: January 30, 2024; approved after reviewing: February 9, 2024; accepted for publication: March 15, 2024.