

Научная статья
УДК 62-822
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-30-36>
EDN MDCKQL

Выбор двигателя для подводного аппарата судовой энергетической установки

**Олег Александрович Городников[✉], Андрей Евгеньевич Аввакумов,
Василий Витальевич Шутов**

*Владивостокский государственный университет,
Владивосток, Россия, gorodnikov.o@vvsu.ru[✉]*

Аннотация. Исследуется направление усовершенствования и обеспечения возможности регулировки движения элементов судовой энергетической установки (подводного аппарата), применяемой для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Проблема аварийных разливов нефти и их устранения актуальна в настоящее время. На всех стадиях нефтепользования, начиная от разведки и добычи нефти и заканчивая утилизацией ее отходов, в той или иной мере за счет разливов нефти, а также выбросов вредных веществ в атмосферу, водную сферу и на сушу происходит загрязнение окружающей среды. С развитием области нефтепользования увеличивается и объем аварийных разливов. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов ведут к труднообратимым последствиям, и на их устранение выделяются большие ресурсы. Использование подводного аппарата судовой энергетической установки для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов позволяет осуществлять распыление сорбирующего вещества в битом и сплошном льду. Разработана опытная модель, имеющая балластирующее устройство и находящаяся при использовании на постоянной глубине, что создает трудности при маневрировании и передвижении ее подо льдом большой толщины, а также в битом льду с обломками больших размеров. Проведенные расчеты позволяют осуществить выбор наиболее оптимального двигателя и гребневого винта для регулирования глубины подъема и погружения аппарата при его работе. Рекомендовано внедрение нового технического устройства, не имеющего в настоящее время аналогов, для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: разливы нефти, судовой энергетической установка, аппарат, сопротивление, сорбент, гребной винт, электромотор, траектория движения

Для цитирования: *Городников О. А., Аввакумов А. Е., Шутов В. В.* Выбор двигателя для подводного аппарата судовой энергетической установки // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2023. № 1. С. 30–36.* <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-30-36>. EDN MDCKQL.

Original article

Choosing propulsion device for underwater apparatus of ship power plant

Oleg A. Gorodnikov[✉], Andrei E. Avvakumov, Vasily V. Shutov

*Vladivostok State University,
Vladivostok, Russia, gorodnikov.o@vvsu.ru[✉]*

Abstract. The article considers the problem of improving and providing the ability to regulate motion of the parts of a ship power plant (underwater apparatus) used to eliminate the emergency spills of oil and petroleum products. The problem of emergency spills of oil and their elimination is urgent today. At all stages of oil use, from oil exploration and production to waste disposal, the environment is polluted due to oil spills, emissions of harmful substances into the atmosphere, water and onshore. As the oil product manufacturing develops, the volumes of accidental spills also increase. Emergency spills of oil and oil products lead to irreversible consequences and large resources are allocated for their elimination. Using the underwater apparatus of the ship power plant for elimination of emergency spills of oil and oil products allows sorbent spraying in broken and solid ice. There has been developed a pilot model with a ballasting device under water at a constant depth, which creates difficulties when maneuvering and moving it under thick ice, as well as in broken ice pieces of a large size. Calculations help choose the most optimal engines and propellers to regulate the

depth of the apparatus's lifting and submersing during its operation. It has been recommended to introduce a new technical device for liquidation of emergency spills of oil and oil products, which has no analogues in the world.

Keywords: oil spills, ship power plant, apparatus, propeller, resistance, sorbent, propeller, electric motor, motion trajectory

For citation: Gorodnikov O. A., Avvakumov A. E., Shutov V. V. Choosing propulsion device for underwater apparatus of ship power plant. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2023;1:30-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-30-36>. EDN MDCKQL.

Введение

В процессе добычи и транспортировки нефти и нефтепродуктов, а также при утечках топлива с судов происходят разливы нефти и нефтепродуктов в акваториях. Существует несколько способов ликвидации пятна на поверхности воды. Если рассматривать сложные условия, битый или сплошной лед, то чаще всего существующие способы либо не подходят, либо являются малоэффективными. Оборудование для локализации и сбора нефтяных разливов необходимо доставить к месту аварии, что занимает определенное количество времени или вовсе является невозможным [1].

Цель настоящей работы состоит в исследовании способов увеличения маневренности устройства для ликвидации аварийных разливов нефти. Актуальность работы заключается в возможности внедрения нового технического устройства, которое позволит в кратчайшие сроки локализовать и ликвидировать нефтяное пятно, что является приоритетной задачей для всех компаний нефтяной отрасли.

Материалы исследования

Для достижения поставленной цели предлагается использовать новую судовую установку, основным элементом которой является подводный аппарат для нанесения сорбента в толще воды. Длина корпуса – 0,4 м; высота корпуса – 0,1 м; осадка корпуса – 0,2 м. Аппаратом можно управлять и регулировать подачу сорбента с борта судна (рис. 1).

Связующим звеном между аппаратом и судном (стационарным объектом) служит гибкий шланг. Особенность данного устройства заключается в том, что почти не требуется установка дополнительного оборудования. Аппарат сможет отдаляться от судна на расстояние от 100 до 150 м. Элементами комплекса являются подводное судовое устройство, пожарный насос и паровой судовой котел на судне. Подводное судовое устройство имеет «чечевичную» форму корпуса, что позволяет обеспечить минимальное сопротивление в толще воды при его движении.

При сравнении эквивалентных сопротивлений гибкого трубопровода и аппарата получены значения, позволяющие определить движение маятникового типа. Такое движение для данной системы возможно при расположении сопел под углом 90°, а для обеспечения движения возвратно-поступательного типа угол расположения сопел варьируется в пре-

делах от 15 до 45°. Таким образом, в зависимости от поставленной задачи и условий применения аппарата возможно осуществлять его движение в толще воды: как движение маятникового типа (рис. 2, а), так и возвратно-поступательное движение вдоль оси трубопровода (рис. 2, б) [2].

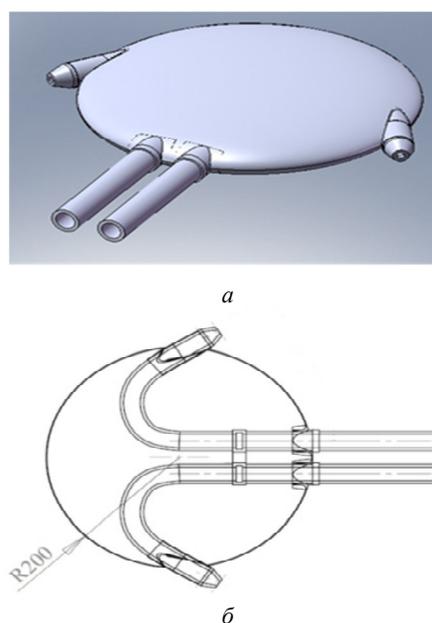


Рис. 1. Модель подводного аппарата для распыления сорбента: а – общий вид модели; б – эскиз внутреннего устройства модели

Fig. 1. Model of an underwater apparatus for sorbent spraying: а – general view of the model; б – sketch of the model on the inside

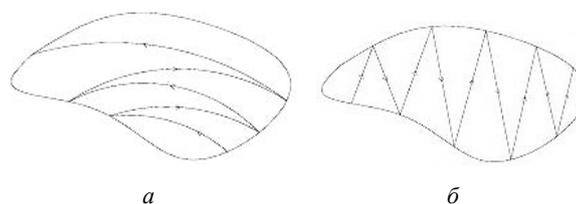


Рис. 2. Траектории движения подводного аппарата: а – движение маятникового типа; б – возвратно-поступательное движение

Fig. 2. Trajectories of the motion of an underwater apparatus: а – pendulum motion; б – reciprocating motion

Модернизация подводного аппарата

Для модернизации подводного устройства, а именно для создания силы тяги и обеспечения поступательного движения подводного устройства, необходимо добавить к его корпусу гребной винт. В задаче стоит определение оптимальных элементов гребного винта [1], потребляемой мощности мотора и частоты вращения гребного винта при заданной скорости.

Рассчитаем коэффициент попутного потока w :

$$w = 0,5\delta - 0,05, \quad (1)$$

где δ – коэффициент общей полноты корпуса.

Коэффициент общей полноты корпуса вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{\Delta}{\rho L B d},$$

где $\Delta = 3,4$ – массовое водоизмещение, кг; $\rho = 1\,025$ – массовая плотность воды, кг/м³; $L = 0,4$ – длина корпуса, м; $B = 0,1$ – высота корпуса, м; $d = 0,2$ – осадка корпуса, м.

Тогда

$$\delta = \frac{3,4}{1\,025 \cdot 0,4 \cdot 0,1 \cdot 0,2} = 0,83.$$

Коэффициент попутного потока находим по формуле (1):

$$w = 0,5 \cdot 0,83 - 0,05 = 0,365.$$

Коэффициент засасывания находим по формуле

$$t = 0,8w;$$

$$t = 0,8 \cdot 0,365 = 0,292.$$

Устанавливаем предельно допустимый диаметр $D_{\text{пред}}$ гребного винта, число его лопастей z и минимально допустимое значение дискового отношения Θ .

Предельно допустимый диаметр винта, м, рассчитывается по формуле

$$D_{\text{пред}} = 0,75d,$$

где $d = 0,2$ – осадка устройства, м;

$$D_{\text{пред}} = 0,75 \cdot 0,2 = 0,150.$$

$$\Omega = Ld \left[1,97 + 1,37(\delta - 0,274) \frac{B}{d} \right];$$

$$\Omega = 0,4 \cdot 0,1 \cdot \left[1,97 + 1,37 \cdot (0,83 - 0,274) \cdot \frac{0,1}{0,1} \right] = 0,109.$$

Вычислим сопротивление движению, Н, согласно (4):

$$R = 0,5 \cdot 1\,025 \cdot 0,1^2 \cdot 0,109 \cdot (2,6 \cdot 10^3 + 0,3 \cdot 10^3 + 0,45 \cdot 10^3 + 1,22) = 1,12.$$

Число лопастей z гребного винта зависит от нагрузки на него, частоты вращения, возможности возникновения недопустимой вибрации. Принимаем $z = 3$, поскольку трехлопастные винты обладают рядом преимуществ:

- наиболее широко распространены;
- эффективные выходные характеристики;
- наивысшая максимальная скорость;
- слаженная работа в целом.

Минимально допустимое значение дискового отношения $\Theta_{\text{мин}}$ устанавливается из условия обеспечения возможно высокого КПД винта при одновременном отсутствии кавитации [3].

Допустимое значение дискового отношения находится по формуле

$$\Theta_{\text{мин}} = 0,065 \cdot \sqrt[3]{P \left(\frac{Z}{D_{\text{пред}}} \right)^2}, \quad (2)$$

где P – упор винта, кг.

Упор винта:

$$P = \frac{R}{Z(1-t)}, \quad (3)$$

где R – сопротивление движению, Н.

Сопротивление движению находим по формуле

$$R = 0,5\rho v^2 \Omega (\xi_f + \xi_n + \xi_a + \xi_r), \quad (4)$$

где $\rho = 1\,025$ – плотность морской воды, кг/м³; $v = 0,1$ – скорость устройства, м/с; $\Omega = 0,109$ – смоченная поверхность корпуса устройства; $\xi_f = 2,6 \cdot 10^3$ – коэффициент сопротивления трения эквивалентной, технически гладкой пластины, равновеликой с аппаратом по величине смоченной поверхности, определяется в зависимости от числа Рейнольдса; $\xi_n = 0,3 \cdot 10^3$ – надбавка на шероховатость принимается в зависимости от длины устройства [4]; $\xi_a = 0,45 \cdot 10^3$ – коэффициент сопротивления выступающих частей; $\xi_r = 1,22$ – коэффициент остаточного сопротивления [4].

Находим смоченную поверхность корпуса, м², по формуле

Определим упор винта, кг, по формуле (3):

$$P = \frac{1,12}{3 \cdot (1 - 0,292)} = 0,395.$$

Находим дисковое отношение по формуле (2):

$$\Theta_{\min} = 0,065 \cdot \sqrt[3]{0,395 \cdot \left(\frac{3}{0,075}\right)^2} = 0,68.$$

Оптимальные значения элементов винта зависят:

- от относительной поступи винта;
- КПД;
- шагового отношения.

Значения снимаем с выбранной расчетной диаграммы, построенной на осях $K_2 = f(\lambda_p)$, в точках пересечения отрезков кривых k_n'' с линией $D_{\text{опт}}$ [5].

Так как заданной является скорость хода v_s , подсчитывается коэффициент упора – диаметра:

$$k_a^i = D_{\text{перед}} \cdot 0,514 \cdot (1 - w) \cdot v_s \cdot \sqrt{\frac{P}{P}},$$

где $P = 0,395$ – упор, развиваемый винтом, кг; $v_s = 0,196$ – скорость хода, м/с.

Коэффициент упора определяется по формуле

$$k_a^i = 0,075 \cdot 0,514 \cdot (1 - 0,365) \cdot 0,195 \cdot \sqrt{\frac{1025}{0,395}} = 0,24.$$

Находим относительную поступь винта $\lambda_p = f(k_a^i)$, выбираем данную диаграмму исходя из следующих данных [6]:

- число лопастей винта $Z = 3$;
- дисковое отношение $\Theta = 0,68$;
- относительная поступь винта $v_p = 0,63$.

В свободной воде КПД винта принимают в зависимости $\eta_p = f(k_a^i)$:

$$\eta_p = 0,59;$$

КПД винта, работающего за корпусом устройства, находят по формуле

$$\eta_g = \eta_p \frac{1 - t}{1 - w};$$

$$\eta_g = 0,59 \cdot \frac{1 - 0,292}{1 - 0,365} = 0,66.$$

Шаговое отношение вычисляем по формуле

$$\frac{H}{D} = f(k_a^i); \quad \frac{H}{D} = 0,6.$$

Шаг – теоретическое расстояние, на которое винт продвинется на один полный оборот [7].

Частоту вращения гребного винта находим по формуле

$$n_c = \frac{v_p}{D \lambda_p}, \quad (5)$$

где $\eta_p = 0,064$ – скорость гребного винта, м/с; $D = 0,075$ – диаметр гребного винта, м; $\lambda_p = 0,63$ – относительная поступь винта.

Скорость гребного винта, м/с, определяем по формуле

$$v_p = 0,514 \cdot (1 - w) v_s;$$

$$v_p = 0,514 \cdot (1 - 0,365) \cdot 0,195 = 0,064.$$

Частота вращения гребного винта, об/с, согласно формуле (5):

$$n_c = \frac{0,064}{0,075 \cdot 0,63} = 33,3.$$

Основываясь на подсчитанных параметрах гребного винта, выбираем его из стандартного ряда гребных металлических винтов согласно ГОСТу (таблица) [4].

Механические свойства материалов, применяемых для изготовления гребных винтов и лопастей

Mechanical properties of materials used for manufacturing the propellers and blades

Материал гребного винта	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа (кгс/мм ²)	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	Относительное удлинение δ_s , %	Относительное сужение ϕ , %	Ударная вязкость при 0 °С, Дж/см ² (кгс · м/см ²)	Работа удара при –10 °С, Дж (кгс · м)
Специальные бронзы	607 (62)	245 (25)	16	–	–	–

Материал гребного винта	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа (кгс/мм ²)	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	Относительное удлинение δ_s , %	Относительное сужение ϕ , %	Ударная вязкость при 0 °С, Дж/см ² (кгс·м/см ²)	Работа удара при -10 °С, Дж (кгс·м)
Специальные латуни	460 (47)	176 (18)	20	–	–	–
Нержавеющие стали	637 (65)	510 (52)	15	40	–	21 (2,1)
Углеродистые стали	412 (42)	235 (24)	20	30	39,2 (3,92)	–

При выборе материала для гребного винта мы основываемся на факторах прочности материала, стойкости к коррозии и его эффективности. Исходя из того, что мы учитываем ускорение, скорость и эффективность, то следует выбрать гребной винт из нержавеющей стали [8].

Для осуществления движения устройства по вертикали нужно смонтировать электромотор. При выборе подходящего для нас электромотора мы учитываем такие его параметры, как потребляемая мощность, частота вращения и КПД электромотора. Опытным путем находим минимально допустимую потребляемую мощность электромотора. Для выбора электромотора необходимо задать потребляемую мощность мотора по формуле

$$N_e = \frac{1,2N_b}{z_p \eta_g \eta_p}, \quad (6)$$

где $N_b = 0,112$ – буксировочная мощность; $z_p = 1$ – число винтов; $\eta_g = 0,66$ – КПД винта, работающего за корпусом судна; $\eta_p = 0,59$ – КПД винта в свободной воде [9].

Потребляемая мотором мощность, кВт, вычисляется по формуле (6):

$$N_e = \frac{1,2 \cdot 0,112}{1 \cdot 0,66 \cdot 0,59} = 0,35.$$

Кроме того, для нормального функционирования вес электромотора не должен оказывать сильного влияния на общую массу устройства. Габариты электромотора должны быть подобраны таким образом, чтобы он мог свободно помещаться в устройстве.

Согласно вышеперечисленным данным был подобран электродвигатель марки M5308 KV450, полностью подходящий для его применения в данном устройстве. Электродвигатель имеет массу 0,196 кг, подходит габаритами и обладает мощностью 0,57 кВт [10].

Отметим проблему возможного выхода из строя электромотора при попадании воды в корпус

устройства. Для выхода из данной ситуации следует использовать гидроизоляцию. Она представляет собой водонепроницаемый кожух, смонтированный поверх электромотора. Также нужно обеспечить теплоотвод от мотора, но поскольку устройство будет использоваться в воде, температура которой зачастую приближена к 0 °С, вода самостоятельно будет отводить теплоту.

Для уплотнения момента стыка кожуха электромотора и вращающегося вала, который выходит из электромотора, используются торцевые сальниковые уплотнения. Отверстие в нижней части корпуса устройства уплотняется плотно прижимающимися резиновыми кольцами, материал которых не теряет своих свойств при контакте с холодной морской водой.

Питание к мотору подается с судна. Электродвигатель и блок питания будут соединяться электропроводом, проходящим внутри трубы, через которую подается вода, смешанная с сорбентом. Провод имеет стандартное изоляционное покрытие, которое не пропускает воду [11].

Заключение

Разработана опытная модель, имеющая балластирующее устройство и находящаяся при использовании на постоянной глубине. Модернизировав устройство, мы получаем возможность его свободного маневрирования подо льдом большой толщины, а также в битом льду с обломками больших размеров. Управление устройством будет осуществляться на судне, а устройство на расстоянии от судна может выполнять поставленную задачу с наибольшим КПД. Представленное устройство способно решить проблему разливов нефти в северных районах, где активно добывается нефть. Использование подводного аппарата судовой энергетической установки для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов позволяет осуществлять распыление сорбирующего вещества в битом и сплошном льду. В настоящий момент аналогов данного метода распыления сорбента во льду не существует.

Список источников

1. Артемов А. В. Современные технологии очистки нефтяных загрязнений // Нефть. Газ. Пром-сть. 2004. № 4 (9). С. 28–31.
2. Пат. 144489 U1 Рос. Федерация, МПК E02B 15/04, E02B 15/10. Устройство для подводного введения сорбента / Городников О. А., Монинец С. Ю., Петрашев С. В. № 2013147318/13; заявл. 09.01.2014; опубл. 20.08.2014.
3. Владимиров А. М. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 2007, 224 с.
4. Емельянов Н. Ф., Огай С. А. Расчет ходкости и гребного винта морского транспорта судна. Владивосток: Изд-во ДВВИМУ, 1984. 65 с.
5. Городников О. А., Петрашев С. В. Способ распыления сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти с помощью подводного аппарата // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2016. № 3. С. 15–17.
6. Городников О. А., Петрашев С. В. Способ распыления сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти с помощью подводного аппарата // Актуал. вопр. науки. 2016. № 27. С. 92–98.
7. Городников О. А. Способ распыления сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти с помощью подводного аппарата // Научно-технический прогресс:

актуальные и перспективные направления будущего: сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х т. (Кемерово, 10–11 августа 2016 г.). Кемерово: Изд-во ЗапСибНЦ, 2016. Т. 2. С. 115–117.

8. Городников О. А. Разработка подводного аппарата для нанесения сорбентов при ликвидации разливов нефти в замерзающих акваториях // Концепт. 2016. № 11. С. 2706–2710.
9. Городников О. А., Петрашев С. В., Иушин П. С. Разработка подводного аппарата для нанесения сорбентов в замерзающих акваториях при ликвидации аварийных разливов нефти // Приоритетные направления развития науки и технологий: тез. докл. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. (Тула, 20 ноября 2015 г.). Тула: Инноват. технологии, 2015. С. 96–100.
10. Другов Е. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007, 270 с.
11. Городников О. А., Блиновская Я. Ю. Разработка экологически безопасных технологий для ликвидации разливов нефти в ледовых условиях // Гидротехника. 2017. № 1. С. 94–97.

References

1. Artemov A. V. Sovremennye tekhnologii ochildki nefnyanykh zagriaznenii [Modern technologies for purifying oil pollution]. *Neft'. Gaz. Promyshlennost'*, 2004, no. 4 (9), pp. 28-31.
2. Gorodnikov O. A., Moninets S. Yu., Petrashev S. V. *Ustroistvo dlia podvodnogo vvedeniia sorbenta* [Unit for underwater introducing sorbent]. Patent RF, no. 2013147318/13, 20.08.2014.
3. Vladimirov A. M. *Okhrana okruzhaiushchei sredy* [Environmental protection]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 2007, 224 p.
4. Emel'ianov N. F., Ogai S. A. *Raschet khodkosti i grebnogo vinta morskogo transporta sudna* [Analysis of propulsion and propeller of sea-going ship]. Vladivostok, Izd-vo DVVIMU, 1984. 65 p.
5. Gorodnikov O. A., Petrashev S. V. Sposob raspyleniia sorbentov pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti s pomoshch'iu podvodnogo apparata [Method of spraying sorbents for elimination of emergency oil spills by using submersible]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2016, no. 3, pp. 15-17.
6. Gorodnikov O. A., Petrashev S. V. Sposob raspyleniia sorbentov pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti s pomoshch'iu podvodnogo apparata [Method of spraying sorbents for elimination of emergency oil spills by using submersible]. *Aktual'nye voprosy nauki*, 2016, no. 27, pp. 92-98.
7. Gorodnikov O. A. Sposob raspyleniia sorbentov pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti s pomoshch'iu podvodnogo apparata. Nauchno-tekhnicheskii progress: aktual'nye i perspektivnye napravleniia budushchego [Method of spraying sorbents for liquidation of emergency oil spills by using submersible.

Scientific and technological progress: current and future promising directions]. *Sbornik materialov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2-kh tomakh (Kemerovo, 10–11 avgusta 2016 g.)*. Kemerovo, Izd-vo ZapSibNTs, 2016. Vol. 2. Pp. 115-117.

8. Gorodnikov O. A. Razrabotka podvodnogo apparata dlia naneseniia sorbentov pri likvidatsii razlivov nefiti v zamerzaiushchikh akvatoriiakh [Development of submersible for applying sorbents during oil spills in freezing waters]. *Kontsept*, 2016, no. 11, pp. 2706-2710.
9. Gorodnikov O. A., Petrashev S. V., Iushin P. S. Razrabotka podvodnogo apparata dlia naneseniia sorbentov v zamerzaiushchikh akvatoriiakh pri likvidatsii avariinykh razlivov nefiti. Prioritetnye napravleniia razvitiia nauki i tekhnologii [Development of submersible for applying sorbents in freezing water areas during oil spills. Priority directions of development of science and technology]. *Tezisy dokladov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Tula, 20 noiabria 2015 g.)*. Tula, Innovatsionnye tekhnologii Publ., 2015. Pp. 96-100.
10. Drugov E. S., Rodin A. A. *Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefiti i nefteproduktov* [Ecological analyzes during oil and oil product spills]. Moscow, Binom. Laboratoriia znaniia Publ., 2007, 270 p.
11. Gorodnikov O. A., Blinovskaia Ia. Yu. Razrabotka ekologicheskii bezopasnykh tekhnologii dlia likvidatsii razlivov nefiti v ledovykh usloviakh [Development of environmentally friendly technologies for oil spills in ice conditions]. *Gidrotekhnika*, 2017, no. 1, pp. 94-97.

Статья поступила в редакцию 16.11.2022; одобрена после рецензирования 09.12.2022; принята к публикации 12.01.2023
The article was submitted 16.11.2022; approved after reviewing 09.12.2022; accepted for publication 12.01.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Олег Александрович Городников – старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологий; Владивостокский государственный университет; gorodnikov.o@vvsu.ru

Андрей Евгеньевич Аввакумов – магистрант кафедры транспортных процессов и технологий; Владивостокский государственный университет; Andrei2000ava@yandex.ru

Василий Витальевич Шутов – магистрант кафедры транспортных процессов и технологий; Владивостокский государственный университет; vasilij.vl.20000@gmail.com

Oleg A. Gorodnikov – Senior Lecturer of the Department of Transport Processes and Technologies; Vladivostok State University; gorodnikov.o@vvsu.ru

Andrei E. Avvakumov – Master's Course Student of the Department of Transport Processes and Technologies; Vladivostok State University; Andrei2000ava@yandex.ru

Vasilij V. Shutov – Master's Course Student of the Department of Transport Processes and Technologies; Vladivostok State University; vasilij.vl.20000@gmail.com

