

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН И ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ПЕРЕДНИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ЗЕМСНАРЯДА

Дубков В.В., Потеряев И.К., Кузнецова В.Н., Сачук А.Ю.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск

Ключевые слова: земснаряд, отказ, стабилизатор, втулочно-пальцевое соединение, сопротивление перемещению, изгибающий момент.

Аннотация. В зависимости от объема работ, производственных и грунтовых условий применение землесосных земснарядов может быть экономически обоснованным как единственный способ проведения работ. Перед запуском землесосных земснарядов согласно инструкции по эксплуатации необходимо проверить все приборы и оборудование, они должны быть в работоспособном состоянии. В процессе эксплуатации земснаряда большое внимание уделяется организации передвижения оборудования по выемочному участку. Но незначительное внимание уделено спуску снаряда в воду и выходу на сушу. Хотя в этот момент возникают сопротивления, преодолевая которые оборудование может выйти из строя и вывести снаряд из эксплуатации. В статье рассматривается причина возникновения отказа вследствие разрушения опорно-поворотного устройства – втулочно-пальцевого соединения переднего стабилизатора универсального земснаряда при выходе его на сушу. Проведен сравнительный анализ нагрузок развиваемых передним стабилизатором и сопротивлений действующих на снаряд при его перемещении, который позволил выявить причину возникновения отказа.

DETERMINATION OF THE CAUSES AND NATURE OF THE DESTRUCTION OF THE PIVOTING DEVICE OF THE FRONT STABILIZERS OF THE DREDGER

Dubkov V.V., Poteryaev I.K., Kuznetsova V.N., Sachuk A.Yu.

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk

Keywords: dredger, failure, stabilizer, sleeve-finger joint, resistance to movement, bending moment.

Abstract. Depending on the scope of work, production and ground conditions, the use of dredging dredgers may be economically justified as the only way to carry out work. Before starting the dredgers, according to the operating instructions, it is necessary to check all devices and equipment, they must be in working condition. During the operation of the dredger, much attention is paid to the organization of the movement of equipment along the dredging site. But little attention is paid to launching the projectile into the water and getting to land. Although at this moment there are resistances, overcoming which the equipment can fail and take the projectile out of service. The article discusses the cause of the failure as a result of the destruction of the support-rotary device – the sleeve-finger connection of the front stabilizer of the universal dredger when it goes on land. A comparative analysis of the loads developed by the front stabilizer and the resistances acting on the projectile during its movement was carried out, which allowed to identify the cause of the failure.

Введение. Земснаряд – это плавучая технологическая машина для подводной разработки грунтов, добычи материалов (песка и гравия) со дна водоёмов, очистки дна водоёмов. При разработке подводного забоя грунт смешивается с водой, и данная водогрунтовая смесь транспортируется в намывное сооружение или отвал. Непрерывность данного технологического процесса обеспечивает высокий темп и производительность средств механизации, входящих в комплект для земляных работ. В основном земснаряды используют на несвязных грунтах, а при работе на связных – применяют рыхлители [1-3].

При разработке подводного забоя применяют различные схемы передвижения плавучего средства для обеспечения технико-экономических показателей производства работ. Рабочий цикл земснаряда можно разделить на три составляющие – спуск на воду, непосредственно разработка грунта и выход его на сушу [4-6].

Номенклатура земснарядов как отечественного, так и импортного производства разнообразна. В качестве приспособлений для перемещения земснарядов по суше применяют слиповые комплексы на основе пневматических ролик-мешков [7] или дополнительные средства перемещения [8]. Универсальные земснаряды могут быть оборудованы самоходной

гусеничной базой или осуществлять выход на сушу при помощи стабилизаторов. Эти рабочие операции могут быть указаны в инструкции по эксплуатации машины.

В процессе эксплуатации земснарядов вследствие изменяющихся нагрузок в узлах и механизмах возникают разрушения и отказы, которые могут вывести машину из эксплуатации [9].

Различают несколько видов разрушения металлических изделий: хрупкое разрушение; усталостное разрушение; вязкое или пластическое разрушение. Хрупким называют такой вид разрушения твердого тела (элемента или всей конструкции), при распространении трещины в котором размер зоны пластической деформации у вершины трещины пренебрежимо мал по сравнению с размером трещины или поперечником твердого тела (элемента конструкции), вязким – когда размер зоны пластической деформации у вершины распространяющейся трещины сравним с величиной трещины или поперечным размером твердого тела.

Физические причины усталостного разрушения материалов достаточно сложны и не до конца изучены. Одной из причин усталостного разрушения принято считать образование и развитие трещин. Поскольку структура всех материалов не является однородной, на границах отдельных включений и вблизи микроскопических пустот и различных дефектов возникает концентрация напряжений, приводящая к появлению микротрещин. В результате действия периодических, в особенности, знакопеременных напряжений микротрещины растут, соединяются, и в результате этот процесс приводит к образованию одной или нескольких макротрещин. Последние и являются причиной усталостного разрушения. Наличие трещин при усталостном разрушении подтверждается натурными наблюдениями и анализом характера места разрушения [10].

Цель исследования состоит в определении влияния сил, действующих на земснаряд при его перемещении по суше на причину вывода машины из эксплуатации.

Материалы и методы исследований. После выполнения работ универсальный земснаряд (рис. 1) начали подготавливать для перевозки автотранспортом. Был осуществлен выход на берег с помощью передних стабилизаторов, в конце подъема сила, сопротивляющаяся перемещению земснаряда, увеличилась до критического значения. В определенный момент времени произошел разрыв корпуса крепления втулочно-пальцевого соединения правого переднего стабилизатора, а также обрыв проушины крепления гидравлического цилиндра земснаряда, что стало причиной невозможности дальнейшего движения, останова и вывода из эксплуатации машины (рис. 2).

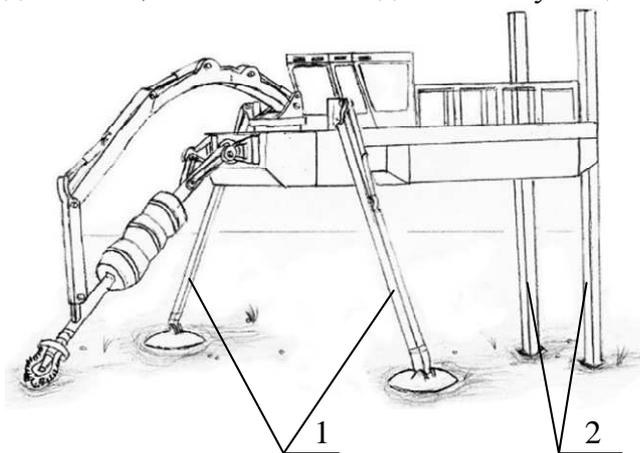


Рис. 1. Универсальный земснаряд: 1 – передние стабилизаторы; 2 – задние стабилизаторы



Рис. 2. Разрушенный правый передний стабилизатор

При осмотре правого переднего поврежденного стабилизатора универсального земснаряда было выявлено, что втулки стабилизатора подверглись нагрузке приведшей к изменению их формы, в частности к овальности. С разных сторон овальность также различна. С правой стороны данного стабилизатора овальность больше (рис. 3,а), чем с левой стороны (рис. 3,б), что свидетельствует о неравномерности нагрузки на данную часть стабилизатора.

Разрушение также началось с правой стороны детали. Это связано со способом выхода на берег данного земснаряда, а именно самостоятельным выходом на берег с помощью стабилизаторов. Палец правого переднего стабилизатора также потерял свою первоначальную форму, что свидетельствует о превышении допустимой нагрузки, определенной заводом-изготовителем (рис. 3,в).

Разрушение стабилизатора происходило следующим образом: отверстие потеряло свою форму и стало овальным, следовательно, произошли структурные изменения в металле и сварном шве данного стабилизатора, а именно произошло растягивание металла и сварного шва. Сварной шов стал тоньше в поперечном сечении и в нем образовались микротрещины, со временем объединившись и ставшие макротрещинами. В определенное время прочность шва уменьшилась до критического значения, и сварной шов разрушился. Из-за разрушения сварного шва прочность всей конструкции уменьшилась, пластическое (вязкое) разрушение продолжилось дальше. Результаты разрушений представлены на рисунке 4. У места разрыва металл меняет свою толщину (истончается), что является отличительной чертой и указывает на пластическое разрушение. Причиной вязкого пластического разрушения является перегрузка.



Рис. 3. Результаты повреждений правого переднего стабилизатора



Рис. 4. Фрагмент правого переднего стабилизатора

При движении вперед с помощью передних стабилизаторов, для преодоления сопротивления перемещению, давление в гидроцилиндрах поворота передних стабилизаторов возросло до максимального значения 200 бар (данные гидравлической схемы земснаряда), вследствие чего возникла большая изгибающая нагрузка в соединении опорно-поворотного устройства и правого стабилизатора. В период действия максимальной изгибающей нагрузки произошли деформация пальца, втулок, излом, разрушение корпуса втулочно-пальцевого соединения правого переднего стабилизатора, а также от изгибающей нагрузки отломило проушину гидроцилиндра подъема и опускания правого стабилизатора (рис. 5).



Рис. 5. Повреждения проушины гидроцилиндра

Результаты исследования. Для определения причины возникновения нагрузки, приведшей к разрушению корпуса втулочно-пальцевого соединения правого переднего стабилизатора, определим нагрузку, создаваемую гидроцилиндром поворота переднего стабилизатора при максимальном давлении 200 бар создаваемого насосом по формуле:

$$F_1 = P \cdot S, \quad (1)$$

где P – давление в гидроцилиндре, $P = 20000000$ Па; S – площадь поршня, м^2 .

Гидравлический цилиндр поворота переднего стабилизатора 120-60-700 №20471 с диаметром поршня 120 мм.

$$F_1 = 20000000 \cdot 0,011302 = 226080 \text{ Н.}$$

Определим изгибающий момент в разрушенном соединении переднего стабилизатора. Расчетная схема представлена на рисунке 6.

Запишем сумму моментов относительно оси поворота переднего стабилизатора в горизонтальной плоскости

$$M_u = F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2, \quad (2)$$

где l_1 – расстояние от оси поворота переднего стабилизатора до оси крепления штока гидроцилиндра, $l_1 = 0,284$ м;

l_2 – расстояние от оси поворота переднего стабилизатора до оси крепления разрушенного соединения стабилизатора, $l_2 = 0,3$ м; F_2 – горизонтальная сила в оси крепления разрушенного соединения переднего стабилизатора, Н.

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} = 214050 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в точке крепления разрушенного соединения переднего стабилизатора, создаваемый гидроцилиндром:

$$M_u = 0,3 \cdot 214050 = 64206 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Для определения момента, при котором разрушится передний стабилизатор земснаряда, был проведен расчет на прочность при изгибе:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (3)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение, МПа; σ_{\max} – нормальное напряжение, МПа.

Для определения марки стали был проведен фотоэлектрический спектральный анализ образца 50x40 мм передней опоры земснаряда. Для стали 14Г2 $[\sigma] = 460$ МПа. Согласно [10-11], для ориентировочной оценки величины предела выносливости материала на основе многочисленных экспериментов предложена следующая эмпирическая формула для стали (30 000...120 000 Н/см² или 300...1200 МПа) $\sigma_{\sigma} = 0,5 \cdot [\sigma]$.

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{W_x}, \quad (4)$$

где M_{\max} – максимальный изгибающий момент, кН·м; W_x – осевой момент сопротивления, м³.

Выразим из формул (3) и (4) изгибающий момент

$$|M_{\max}| \leq 0,5 \cdot [\sigma] \cdot W_x. \quad (5)$$

Осевой момент сопротивления W_x определим как для прямоугольного поперечного сечения. Расчетная схема представлена на рисунке 7.

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (6)$$

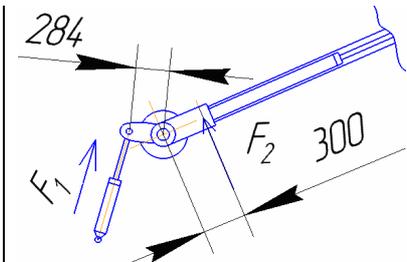


Рис. 6. Расчетная схема

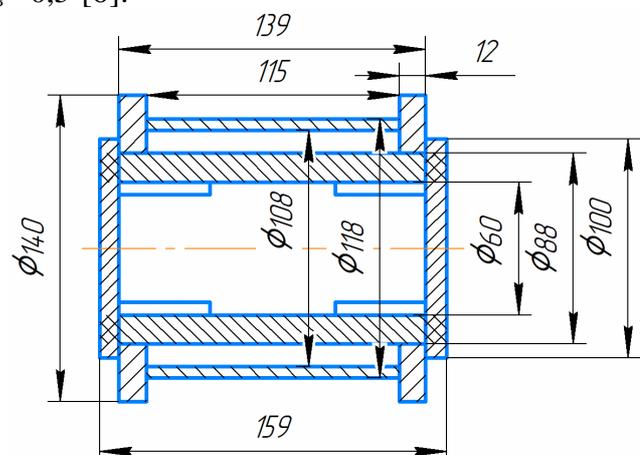


Рис. 7. Поперечное сечение направляющей втулки переднего стабилизатора земляного снаряда

где b – ширина, м; h – высота, м.

$$|M_{\max}| \leq 460 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,00021435 = 49300 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Для разрушения стабилизатора потребуется изгибающий момент более 49,3 кН·м.

Был определен угол подъема земснаряда на берег, который составляет 15° (рис. 8).

Определили сопротивление перемещению земснаряда по берегу на подъем в соответствии с расчетными схемами (рис. 9-10).

$$F_{\Pi} = m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \cdot a, \quad (7)$$

где m – масса земснаряда, 21000 кг; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; f – коэффициент трения стали о грунт, $f = 0,1$; α – угол подъема берега в месте выхода земснаряда на берег, град; a – ускорение прямолинейного движения, $\text{м}/\text{с}^2$.

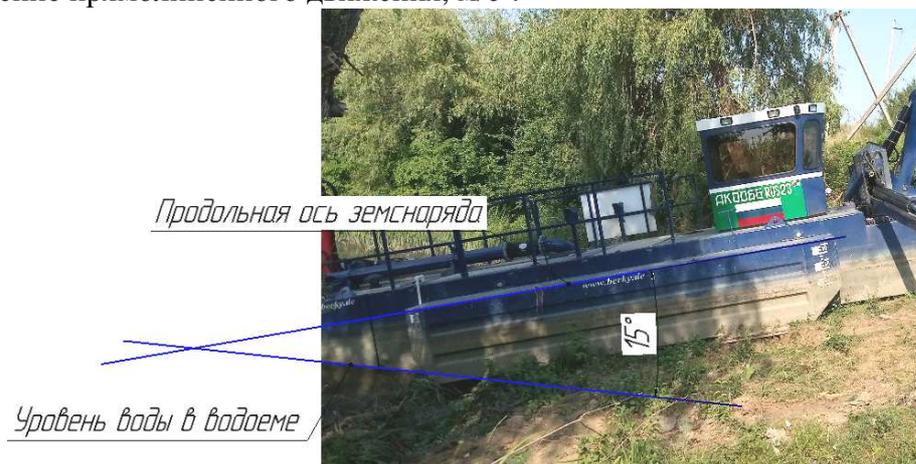


Рис. 8. Угол подъема земснаряда на берег

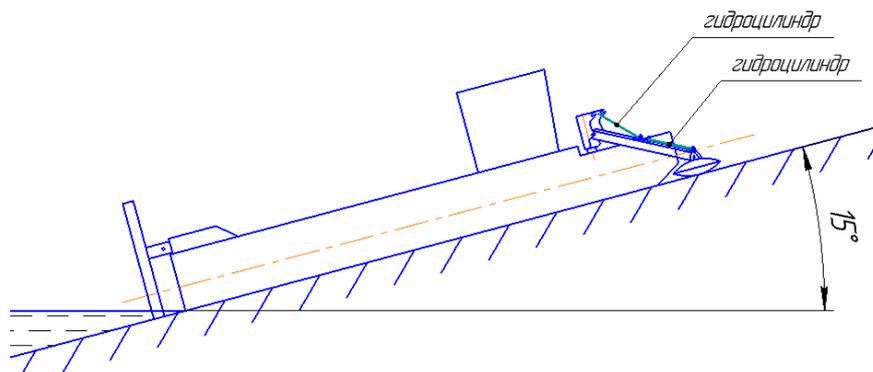


Рис. 9. Вид сбоку на земснаряд во время выхода на берег

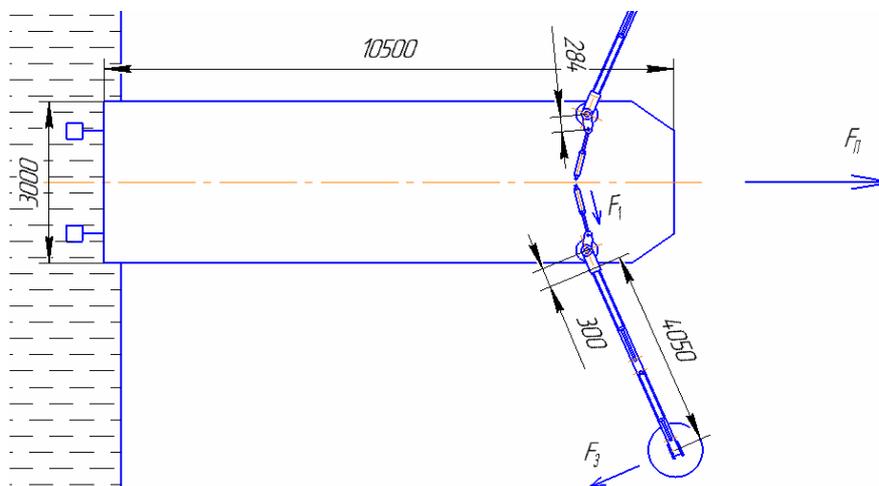


Рис. 10. Вид сверху на земснаряд во время выхода на берег

Т.к. ускорение прямолинейного движения незначительно третье слагаемое не будем рассматривать при расчетах.

$$F_{II} = 73030 \text{ Н.}$$

Для преодоления сопротивления перемещению земснаряда по грунту на подъем с помощью передних стабилизаторов необходимо, чтобы силы, развиваемые передними стабилизаторами, были больше силы сопротивления перемещения земснаряда.

Это условие запишем в виде:

$$F_3^I + F_3^{II} > F_{II}, \quad (8)$$

где F_3^I, F_3^{II} – горизонтальная сила, развиваемая соответственно левым и правым передними стабилизаторами для перемещения земснаряда, Н.

$$\text{Откуда } F_3^I = F_3^{II} > 36515 \text{ Н.}$$

Из этого выражения можно сделать следующий вывод: усилие необходимое для перемещения земснаряда должно равняться 36,5 кН или его превышать.

С другой стороны, силу $F_{3(2)}$ можно определить через сумму моментов сил F_1 и F_3 относительно точки вращения переднего стабилизатора по формуле:

$$F_1 \cdot l_1 = F_{3(2)} \cdot l_3, \quad (9)$$

где l_3 – длина переднего стабилизатора, $l_3 = 4,05$ м.

$$F_{3(2)} = 15853 \text{ Н.}$$

Полученное расчетное значение силы $F_{3(2)}$ меньше значения силы F_3^I и F_3^{II} .

$$15853 \text{ Н} < 36515 \text{ Н.}$$

Таким образом, при максимальном развиваемом давлении в гидроцилиндре поворота переднего стабилизатора, горизонтального усилия, развиваемого им недостаточно для перемещения земснаряда в таких условиях.

Выводы. Исходя из проведенных расчетов, можно заключить, что в момент выхода земснаряда на берег возникло максимальное давление и усилие в гидроцилиндре поворота передних стабилизаторов, вызванное значительным сопротивлением его перемещению вызванное силой трения между днищем корпуса и поверхностью берега. Этой силы достаточно для создания запредельной величины изгибающего момента, полученного с учетом величины предела выносливости материала, а именно марки стали 14Г2, в соединении опорно-поворотного устройства и правого переднего стабилизатора земснаряда, которое привело к разрушению рассматриваемого соединения.

Также было установлено, что для разрушения опорно-поворотного устройства требуется момент величиной 49,3 кН·м, а гидроцилиндр поворота переднего стабилизатора может развивать момент 64,2 кН·м в рассматриваемом соединении и при значительном сопротивлении перемещению земснаряда (т.к. сила, развиваемая поворотным устройством, оказалась меньше необходимой силы для перемещения) возникает нагрузка, приводящая к разрушению самого слабого элемента опорно-поворотного устройства – корпуса переднего стабилизатора.

При использовании по назначению земснаряда одним из обязательных требований является соблюдение правил, указанных в инструкции по эксплуатации, в которой в числе прочих особенностей должны подробно указываться правила не только спуска, но и его подъема на берег. Т.е. при передвижении земснаряда необходимо осуществлять подъем или отрыв корпуса от опорной поверхности с целью исключения силы трения скольжения в процессе его перемещения, что в свою очередь, исключит повышенную нагруженность корпуса, втулочно-пальцевого соединения передних стабилизаторов. Изучение инструкции по эксплуатации данного универсального земснаряда не содержит рекомендаций или требований по обязательному отрыву корпуса земснаряда от опорной поверхности при перемещении по суше, вследствие этого, в процессе эксплуатации не придавали значения возникающим предельным нагрузкам, что и привело к перегрузке втулочно-пальцевого соединения и разрушению корпуса стабилизатора.

Список литературы

1. Румянцев Э.Г., Роннов Е.П. Определение элементов и характеристик речных землесосных снарядов на начальных стадиях проектирования // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 62. – С. 71-80. – doi: 10.37890/jwt.vi62.50.
2. Мазанов Р.Р. Расчет элементов гидравлической установки // Известия Дагестанского ГАУ. – 2021. – № 11. – С. 37-42.
3. Лаптев В.С. Глубокая подводная разработка грунтов земснарядами традиционной постройки: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2005. – 24 с.
4. Казаков С.Е., Липин А.А., Могин А.В. Рабочие перемещения земснаряда // Транспортные системы. – 2017. – №2(5). – С. 1-4. - doi: 10.46960/62045_2017_2_1.
5. Белецкий Б. Ф., Булгакова И. Г. Строительные машины и оборудование: учебное пособие. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2022. – 608 с.
6. А.с. №1602939 СССР. Устройство для перемещения земснаряда / И.В. Сапожников. – Заявка № 4416089/29-03 от 25.04.1988; опубл. 30.10.1990, Бюл. №40.
7. Проектирование стапель-площадок для подъема судов на ролик-мешках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://akvalaitproekt.ru/proektirovanie-stapel-ploshhadok-dlya-podema-sudov-na-rolik-meshkax-2/>
8. Патент №2098564 РФ. Способ эксплуатации земснаряда / Г.Д. Вавилин, Н.И. Аксенов, В.И. Бражников, В.А. Шапошников, Ю.А. Большаков, В.Ф. Желтобрюхов. – Заявка №95116484/03 от 22.09.1995; опубл. 10.12.1997.
9. Кравченко С.М., Слепченко В.А. Эксплуатация и надежность подъемнотранспортных, строительных и дорожных машин: учебное пособие. – Томск: ТГАСУ, 2018. – 292 с.
10. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учебник. – 3-е изд., перераб. и доп.; репринтное изд. – М.: Альянс, 2013. – 528 с.
11. Павлов П.А., Паршин Л.К., Мельников Б.Е., Шерстнев В.А. Сопротивление материалов: учебник / под редакцией Б. Е. Мельникова. – 5-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2022. – 556 с.

References

1. Rumyantsev E.G., Ronnov E.P. Determination of elements and characteristics of river dredging shells at the initial stages of design // Russian Journal of Water Transport. 2020, no. 62, pp. 71-80. doi: 10.37890/jwt.vi62.50.
2. Mazanov, R.R. Calculation of elements of a hydraulic installation // News of Dagestanskiy SAU. 2021, no. 11, pp. 37-42.
3. Laptev V.S. Deep underwater development of soils by dredgers of traditional construction: Abstract. diss. ...cand. of tech. sc. – Novosibirsk: NSASU (Sibstrin), 2005. – 24 p.
4. Kazakov S.E., Lipin A.A., Mogin A.V. Working movements of the dredger // Transport systems. 2017, no. 2(5), pp. 1-4. DOI: 10.46960/62045_2017_2_1.
5. Beletsky V.F., Bulgakova I.G. Construction machinery and equipment: textbook. – 3rd ed., erased. – SPb.: Lan, 2022. – 608 p.
6. A.s. 1602939 USSR. Device for moving a dredger / I.V. Sapozhnikov. – Appl. No. 4416089/29-03 from 04/25/1988; publ. 30.10.1990, Bul. No. 40.
7. Design of slipways-platforms for lifting vessels on roller bags [Electronic resource]. – Access mode: <https://akvalaitproekt.ru/proektirovanie-stapel-ploshhadok-dlya-podema-sudov-na-rolik-meshkax-2/>
8. Patent No. 2098564 RU. Method of dredger operation / G.D. Vavilin, N.I. Aksenov, V.I. Brazhnikov, V.A. Shaposhnikov, Yu.A. Bolshakov, V.F. Zheltobryukhov. – Appl. No. 95116484/03 from 22.09.1995; publ. 10.12.1997.
9. Kravchenko S.M., Slepchenko V.A. Operation and reliability of lifting, construction and road vehicles: textbook. – Tomsk: TSASU, 2018. – 292 p.
10. Lakhtin Yu.M., Leontieva V.P. Materials science: textbook. – 3rd ed., reprint. and additional; reprint edition. – M.: Alliance, 2013. – 528 p.
11. Pavlov P.A., Parshin L.K., Melnikov B.E., Sherstnev V.A. Resistance of materials: textbook / edited by B.E. Melnikov. – 5th ed., erased. – SPb.: Lan, 2022. – 556 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Дубков Валерий Витальевич – кандидат технических наук, доцент	Dubkov Valery Vitalievich –candidate of technical sciences, associate professor
Потеряев Илья Константинович – кандидат технических наук, доцент	Poteryaev Ilya Konstantinovich –candidate of technical sciences, associate professor
Кузнецова Виктория Николаевна – доктор технических наук, профессор	Kuznetsova Victoria Nikolaevna – doctor of technical sciences, professor
Сачук Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент	Aleksey Yurievich Sachuk – candidate of technical sciences, associate professor
a.u.sachuk@gmail.com	

Получена 27.11.2023