

УДК 629.1

DOI: 10.37890/jwt.vi76.399

Особенности разработки системы адаптивного управления специальными судовыми устройствами на примере траловой лебедки рыбопромыслового судна

В.В. Попов

А.В. Ивановская

ORCID: 0000-0002-3548-9083

А.Н. Ивановский

ORCID: 0000-0002-5012-1439

Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия

Аннотация. Траловая лебедка, являясь частью вспомогательной энергетической установки рыбопромыслового судна, во время своей работы в значительной мере влияет на безопасность, надежность, энергоэффективность судна в целом. Это обусловлено особенностью работы траловой лебедки. Кроме действующих внешних гидрометеорологических факторов, таких как ветровая нагрузка, качка, шторм, на динамические показатели машины большое влияние оказывает переменность нагружения со стороны буксируемого и поднимаемого орудия лова с уловом. Такие нестационарные воздействия оказывают негативное влияние на работоспособность и надежность работы оборудования. Данный вид грузоподъемных устройств на рыбопромысловом судне не имеет резерва. Поэтому при его выходе из строя останавливается и технологический процесс промысла, что влечет большие экономические потери. Для плавного регулирования работы лебедки в нестационарных условиях в работе предлагается система адаптивного управления с повышенным уровнем надежности, позволяющая плавно реагировать на перепады нагрузки. Разработана схема системы управления, а также представлена схема самого привода траловой лебедки, чувствительного к изменению нагружения, суть которого заключается в подключении резервного гидромотора при превышении нагружения со стороны буксируемого или поднимаемого объекта.

Ключевые слова: траловая лебедка, адаптивный привод, переменность нагружения, схема

Specific features of the development of an adaptive control system for special ship devices on the example of a trawl winch of a fishing vessel

Vladimir V. Popov

Aleksandra V. Ivanovskaya

ORCID: 0000-0002-3548-9083

Aleksei N. Ivanovskii

ORCID: 0000-0002-5012-1439

Kerch State Maritime Technological University, Russian Federation

Abstract. The trawl winch, being part of the auxiliary power plant of a fishing vessel, during its operation significantly affects the safety, reliability, and energy efficiency of the vessel as a whole. This is due to the peculiarity of the trawl winch. In addition to the existing external hydrometeorological factors, the dynamic performance of the machine is greatly influenced by the variability of the loading from the towed and raised fishing gear with the catch. Such non-stationary impacts have a negative impact on the performance and reliability of the

equipment. Also, this type of lifting devices on a fishing vessel does not have a reserve. Therefore, when it fails, the fishing process also stops, which entails large economic losses. For smooth control of the winch operation in non-stationary conditions, an adaptive control system with an increased level of reliability is proposed in the work, which makes it possible to smoothly respond to load fluctuations. A control system diagram has been developed, as well as a diagram of the trawl winch drive itself, which is sensitive to changes in loading, the essence of which is to connect a backup hydraulic motor when the load from the towed or lifted object is exceeded.

Keywords: trawl winch, adaptive drive, load variability, control system diagram

Введение

Грузоподъемное оборудование рыбопромыслового судна играет важную роль в процессе добычи гидробионтов. От работы вспомогательных механизмов такого вида судов зависит энергоэффективность судна в целом. При траловом лове рыбы задействованы как главный двигатель, работа которого необходима для движения судна, так и вспомогательные дизель-генераторы, входящие в систему привода рыбопромыслового грузоподъемного оборудования. Такое оборудование на судне не дублируется. Поэтому от его надежности и работоспособности зависит успешность всего процесса промысла рыбы. Масса буксируемого объекта – трала с уловом – может достигать порядка 70 тонн в зависимости от района промысла и вида гидробионтов [1-3]. Отсюда, переменность такого нагружения может значительно сказываться на работе оборудования, вызывая нестационарные динамические нагрузки. Обрыв троса в случае резких торможений навивочного барабана может привести к потере орудия лова с уловом и больших экономических потерь [4-6]. Следовательно, исследования, направленные на повышение надежности грузоподъемного оборудования рыбопромыслового судна являются актуальными и вызванными запросами практики.

Целью работы является разработка системы адаптивного управления траловой лебедки, а также его реализация в виде привода, чувствительного к изменению нагружения.

Материалы и методы

Грузоподъемное оборудование, которое эксплуатируется на современных рыбопромысловых судах приводится в движение от электрического, гидравлического двигателей или непосредственно от дизеля. Последний тип привода применяется в основном на маломерных судах. Поэтому при выборе привода грузоподъемного устройства рассматривают в основном электромеханический и гидромеханический. Проведенный динамический анализ показал, что длительность переходного процесса в гидромеханическом приводе в 3 раза меньше, чем у электропривода, коэффициент динамичности у гидропривода также меньше в 2 раза. Отсюда, для снижения динамических усилий в механической системе рассматриваемого вида оборудования целесообразно использовать гидравлический привод [7-9].

Постоянное увеличение рабочей скорости в сочетании с требованиями к бесшумной работе, безударному движению, бесступенчатой регулировке скорости и упрощенному управлению всеми типами машин привели к возникновению проблем в конструкции машин, которые во многих случаях лучше всего решаются с помощью гидравлических систем. При таком расположении введение быстрого силового хода, требующего длинных валов или коробок передач, обеспечивающих ограниченное количество переключений, заменяется гидравлическим насосом и цилиндром, обеспечивающим бесступенчатый диапазон скоростей, бесшумную работу и безударное реверсирование. Машина защищена от поломок, а износ сведен к минимуму, поскольку все детали работают в идеальных условиях в трансмиссионной

среде, а все механические детали, такие как шестерни, винты, рейки и муфты, исключены. Приводное движение достигается с помощью редуктора с регулируемой скоростью, состоящего из двух частей, а именно насосного блока гидравлической трансмиссии и блока гидравлического двигателя, в то время как подающее движение достигается насосом и цилиндром, поршень которого приводится в движение маслом, циркулирующим из насоса и управляемым, трубопроводом и клапаном.

Преимущества гидравлического привода:

- большая гибкость управления и возможность получения бесконечного числа скоростей от нуля до максимума;
- плавный реверс;
- простое и эффективное управление как вручную, так и автоматически;
- бесшумная работа с автоматической смазкой трансмиссионным маслом;
- более низкое энергопотребление, которое автоматически изменяется в зависимости от сопротивления;
- безопасность, обеспечиваемая предохранительными клапанами.

К недостаткам гидравлической системы можно отнести:

- гидравлические жидкости являются основным требованием любой гидравлической системы; утечка этих жидкостей создаст экологические проблемы и проблемы безопасности;
- загрязняющие вещества, присутствующие в гидравлической жидкости, ухудшают рабочие характеристики и производительность системы, следовательно, требуется постоянная фильтрация;
- неправильный выбор гидравлической жидкости для системы приведет к повреждению компонентов; требуется надлежащее техническое обслуживание;
- имеет тенденцию несколько изменяться из-за изменений вязкости масла с изменением температуры; в некоторых случаях этот недостаток можно в значительной степени преодолеть, предусмотрев резервуар достаточной емкости, чтобы масло перед рециркуляцией надлежащим образом охлаждалось.

Для того, чтобы указанные специфические преимущества гидропривода по сравнению с другими видами управления смогли стать полностью эффективным. Следует учитывать особенности гидравлики.

На первоначальном этапе проектирования гидравлического привода грузоподъемного устройства следует собрать все данные, касающиеся последовательности движений вместе с указанием потребности в силе и моменте для каждого движения, а также требуемая динамика и собственная частота. Учет нагрузочной характеристики, таким образом также перерывов, в течение которых не требуется масло и давление или требуется только давление. Поэтому целесообразным является построение диаграммы зависимости перемещения от времени или диаграммы состояния. На диаграмме перемещения изображается взаимодействие элементов, что является удобным для простых последовательностей операций, для проектов или эскиза предложения. Диаграмма состояния содержит функциональную последовательность рассматриваемых рабочих унифицированных узлов в качестве диаграмм движений и их сопряжений с точки зрения техники автоматического управления.

Задачей системы управления является соединение системы привода с системой отвода мощности. При этом осуществляется разделение на:

- поток мощности или поток рабочей среды с направлением, величиной и уровнем давления от гидробака к потребителю, включая требуемые элементы;

- поток сигналов, который служит для приема и переработки всех внешних информации, которые требуются для того, чтобы оказывать воздействие на приборы потока мощности в соответствии с задачей, т.е. имеет функцию переходить плавно в поток мощности (рис. 1).

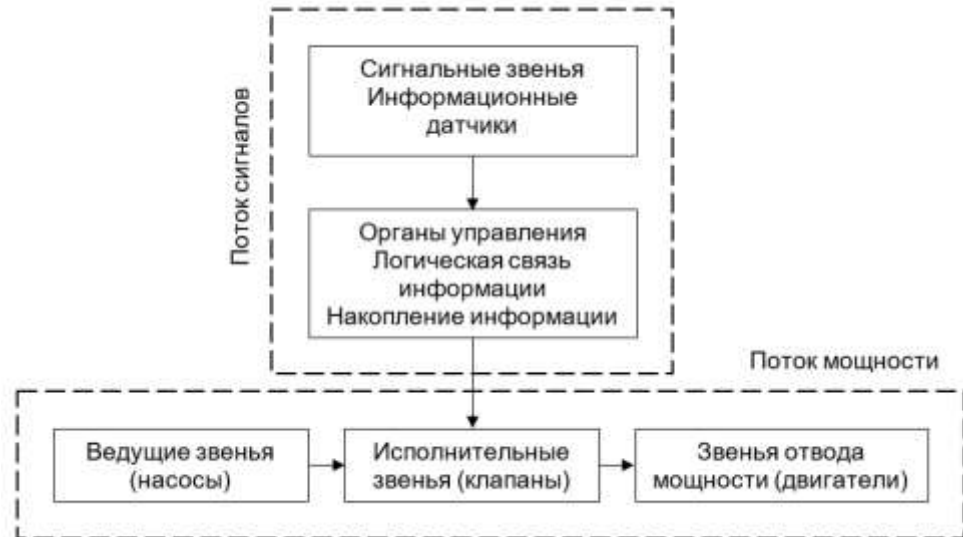


Рис. 1. Взаимодействие потока сигналов с потоком мощности

Если будут известны схема соединений и требуемая энергия для отвода мощности, то тогда будут также установлены номинальные величины отдельных исполнительных звеньев. Свободно может выбираться приведение в действие клапанов, которое может исполняться, как механическая, электрическая, электронная, гидравлическая или пневматическая конструкция, или для обеспечения оптимальной функции, как комбинированная конструкция.

Система управления обычно разрабатывается для «номинальной» регулируемой системы. Однако же в нашем случае мы имеем систему с переменностью нагружения, поэтому зачастую имеем значительное отклонение от номинала в виде вариации параметров. Такие нарушения параметров влияют на эффективность управления системы. Но это ни в коей мере не должно повлиять на стабильность работы оборудования. Поэтому для обеспечения выполнения этих требования предполагается система адаптивного управления. В такой системе поведение системы управления адаптируется к изменениям свойств регулируемой системы и ее сигналов. В нашем случае – это натяжение троса.

Результаты исследования

Для траловой лебедки рыбопромыслового судна была выбрана адаптация системы управления с обратной связью (рис. 2). Знак «+» тут обозначает суммирование управляющих воздействий механизма адаптации и регулирующего контроллера.

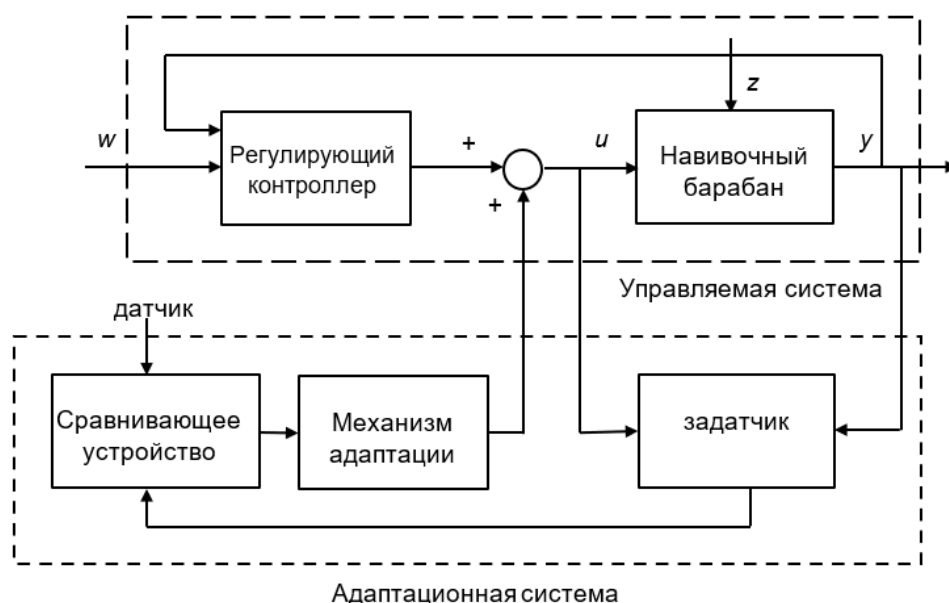


Рис. 2. Адаптивная система управления траловой лебедки
 y – управляемая переменная; w – опорная переменная;
 u – переменное воздействие; z – возмущение

Обратная связь в основном используется в системах управления для снижения влияния возмущающего воздействия на контролируемые переменные, возвращая их к желаемому значению. Для этого сначала измеряют контролируемые переменные с помощью датчика, затем измерения сравниваются с необходимыми значениями в сравнивающем устройстве, и разница подается в регулирующий контроллер, который будет генерировать соответствующий контроль. Рассматриваемая адаптивная система управления может быть рассмотрена как иерархическая система:

- уровень 1: обычное управление с обратной связью;
- уровень 2: цикл адаптации.

На практике зачастую присутствует и дополнительный уровень 3: мониторинг, который решает выполняются ли условия для корректной работы адаптации.

По принципу управления гидравлические приводы можно классифицировать следующим образом:

- А – системы связи с объемной подачей;
- В – системы связи с давлением.

В свою очередь такие системы имеют следующие подсистемы:

- А1 – управление подачей (регулирование рабочего объема насоса);
- А2 – управление рабочим объемом двигателя (регулирование рабочего объема двигателя);

- А3 – управление подачей насоса и управление рабочим объемом двигателя;
- ВА – управление посредством сопротивления (дрессельное управление)

- ВА1 – дрессельное управление с насосом с постоянным рабочим объемом;
- ВА2 – дрессельное управление с насосом с регулируемым рабочим объемом (система постоянного давления);

- ВА3 – управление по чувствительности к нагрузке;
- ВА3.1 – с насосом с регулируемым рабочим объемом;
- ВА3.2 – с насосом с постоянным рабочим объемом;
- ВВ – управление по принципу вытеснения;
- ВВ1 – регулирование рабочего объема двигателя.

Применительно к системе привода таловой лебедки рыбопромыслового судна наиболее целесообразно применение системы управления посредством сопротивления с регулированием чувствительным к нагрузке и с насосом с регулируемым рабочим объемом. С помощью адаптивной системы обратной связи по давлению нагрузки можно согласовывать давление и объемный расход с требованиями потребителя. В распоряжение предоставляется только незначительно большее количество гидравлической мощности, чем это требуется. Такое управление работает очень чувствительно к регулировке и почти не зависит от давления нагрузки.

Особенностью предлагаемого чувствительного к переменности привода является включение в гидромеханическую систему резервного гидромотора ГМ2, которые при превышении нагрузки стороны системы «трос – буксируемый объект» будет включаться одновременно с основным гидромотором ГМ1 (рис. 3).

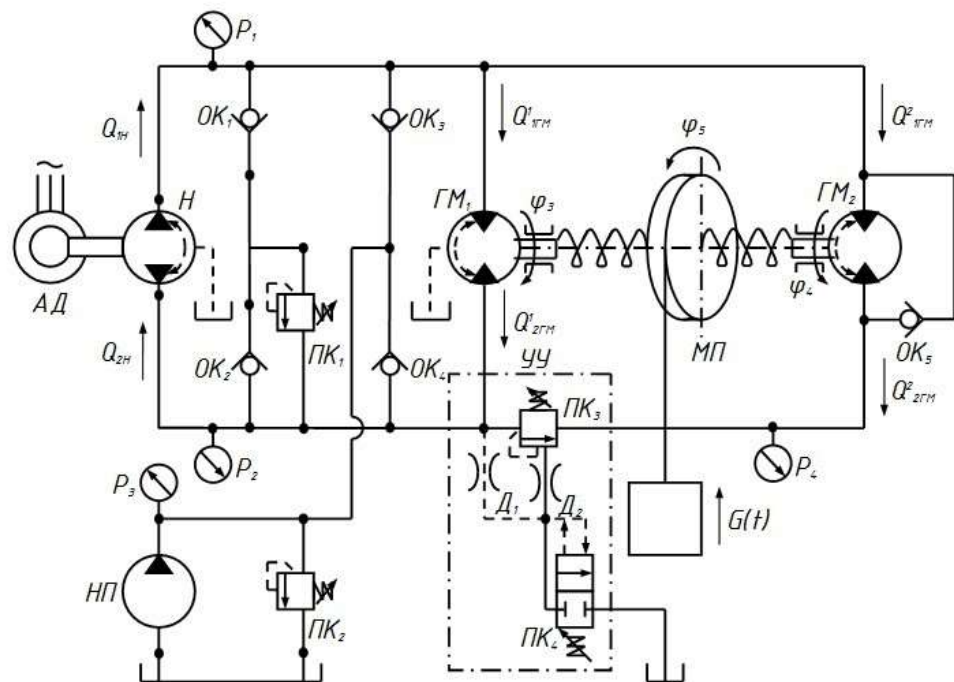


Рис. 3. Схема гидропривода грузоподъемного устройства, адаптивного к переменности нагружения

Данная гидромеханическая система приводится в движение от асинхронного двигателя АД, который в свою очередь связан с вспомогательным дизель-генератором. Максимальное давление, которое создается насосом Н, определяется наложением предохранительного клапана ПК₁, соединенного с нагнетательной линией через обратные клапаны ОК₁ и ОК₂. Реверс всей гидромагистрали осуществляется насосом Н через обратные клапаны ОК₃ и ОК₄. Подпиточный насос НП включен в систему для восполнения утечек, когда при заданном постоянном давлении, которое определяется переливным насосом ПК₂, подается в кольцевую линию рабочая жидкость. В такой системе адаптивного управления в гидромагистрали, которая соединяет напорную полость полусоси с гидромотором ГМ₂, устанавливается управляющее устройство УУ, сигнал от которого идет на резервный гидромотор через обратный клапан ОК₅. Управление гидромотором ГМ₂ осуществляется в зависимости от давления на входе гидросистемы P₄ в случае его

превышения от номинального значения P_1 . Крутящий момент на валу навивочного барабана и скорость подъема регулируется расходом и давлением рабочей жидкости.

Также приняты следующие обозначения:

P_1, P_2 – давления в напорной и сливной магистралях;

P_3 - давление настройки подпиточного клапана ПК₂;

P_4 – давление в магистрали гидродвигателя ГМ₂ после срабатывания управляющего устройства УУ;

$P_{УУ}$ – давление в гидролинии устройства управления;

φ_1 – угол поворота ротора электродвигателя;

φ_2 – угол поворота вала насоса; φ_3 - угол поворота вала гидромотора ГМ₁;

φ_4 – угол поворота вала гидромотора ГМ₂;

φ_5 – угол поворота навивочного барабана;

$Q_{ГМ}^1, Q_{ГМ}^2$ – расход рабочей жидкости гидромотора ГМ₁ через напорную и сливную магистраль соответственно;

$Q_{2ГМ}^1, Q_{2ГМ}^2$ - расход рабочей жидкости гидромотора ГМ₂ через напорную и сливную магистраль соответственно;

$G(t)$ - поднимаемый груз переменной массы.

Заключение

Предлагаемая концепция системы адаптивного управления приводом траловой лебедки позволит значительно повысить уровень надежности оборудования за счет плавного регулирования при работе в условиях переменности. Такая система управления, чувствительная к нагружению, может быть предложена к применению в подобного рода грузоподъемного оборудования.

Список литературы

1. Карпенко В.П., Торбан С.С. Механизация и автоматизация процессов промышленного рыболовства. Москва: Агропромиздат, 1990. 464 с.
2. Тё А.М. Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств. Владивосток: Морской государственный университет, 2014. 178 с.
3. Башуров Б. П., Скиба А.Н., Чебанов В.С. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2009. 192 с.
4. Бурлакова Н.Н., Бурлаков Д.Б., Еремин Ю.В. Проектирование палубного оборудования рыбопромысловых судов с использованием виртуальных тренажеров // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. 2011. № 1 (6). С. 153-160.
5. Антипов В.В., Бобрович В.Ю., Болховитинов В.К., Болисов А.А. Математическое обеспечение и аппаратная реализация задач управления комплексом «рыбопромысловое судно–орудия лова» // Морской вестник. 2011. № 4 (40). С. 45-49.
6. Нино В.П. Диагностика технических средств на рыбопромысловых судах в процессе их эксплуатации // Рыбное хозяйство. 2014. № 4. С. 113-115.
7. Ивановская А. В., Богатырева Е. В., Попов В. В. Обоснование применения гидравлического привода, чувствительного к изменению нагружения // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2018. № 1. С. 62-68.
8. Ivanovskaya A., Popov V., Bogatyreva E., Bidenko S. Development of complex mathematical model of hydraulic drive, sensitive to the loading variations // Vibroengineering Procedia. 2019. Vol. 25. – Pp. 171–176. DOI:10.21595/vp.2019.20797.
9. Ивановская А. В., Жуков В. А., Попов В. В. Исследование динамики приводов грузоподъемных устройств рыбопромыслового судна // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. 2021. Т. 13. № 6. С. 875–886. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-875-886.

10. Богатырева, Е.В., Ивановская А. В. Влияние переменных нагрузок на методику расчета силового привода // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2018. № 4. С. 61-72.

References

1. Karpenko V.P., Torban S.S. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya protsessov promyshlennogo rybolovstva [Mechanization and automation of industrial fishery processes]. - Moscow.: Agropromizdat, 1990. 464 p.
2. Tyo A. M. Eksploatatsiya sudovykh vspomogatel'nykh mekhanizmov, sistem i ustroystv. [Operation of ship auxiliary mechanisms, systems and devices]. – Vladivostok.: Morskoy gosudarstvennyj universitet, 2014. 178 p.
3. Bashurov B. P., Skiba A. N., Chebanov V.S. Funktsional'naya nadezhnost' i kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sudovykh vspomogatel'nykh mekhanizmov [Functional reliability and monitoring of the technical condition of ship auxiliary mechanisms]. Novorossiysk: MGA imeni admirala F. F. Ushakova, 2009, 192 p.
4. Burlakova N. N., Burlakov D. B., Yeregin Yr.V. Proektirovanie palubnogo oborudovaniya rybopromyslovykh sudov s ispolzovaniem virtualnykh trenazherov [Design deck equipment of fishing vessels using the virtual simulation] Vestnik Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011, no.1(6), pp.153-160, (In Russ).
5. Antipov V.V., Bobrovich V.Yu., Bolkhovitinov V.K., Bolisov A.A. Matematicheskoe obespechenie i apparatnaya realizatsiya zadach upravleniya kompleksom «rybopromyslovoe sudno–orudiya lova» [Mathematical support and hardware implementation of the tasks of controlling the complex "fishing vessel - fishing gear]. Morskoi vestnik. 2011, no 4(40), pp. 45-49. (In Russ).
6. Nino V.P. Diagnostika tehniceskikh sredstv na rybopromyslovykh sudah v processe ih ekspluatatsii [Diagnostics of technical means on fishing vessels during their operation]. Rybnoe hozyajstvo, 2014, no 4, pp. 113-115. (In Russ).
7. Ivanovskaya A. V., Bogatyreva E. V., Popov V. V. Obosnovanie primeneniya gidravlicheskogo privoda, chuvstvitelnogo k izmeneniyu nagruzheniya [Rationale for using hydraulic drive sensitive to changes in loading]. Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2018, no. 1, pp. 62-68. (In Russ).
8. Ivanovskaya A., Popov V., Bogatyreva E., Bidenko S. Development of complex mathematical model of hydraulic drive, sensitive to the loading variations // Vibroengineering Procedia. 2019. Vol 25, Pp. 171-176. DOI:10.21595/vp.2019.20797.
9. Ivanovskaia A. V., Zhukov V. A., Popov V. V. Issledovanie dinamiki privodov gruzopodemnykh ustrojstv rybopromyslovogo sudna [Studying dynamics of drives of load-lifting devices of fishing vessel]. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 875-886. (In Russ). DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-875-886.
10. Bogatyreva E.V., Ivanovskaya A.V. Vliyanie peremennykh nagruzok na metodiku rascheta silovogo privoda [Influence of variable loads on the method of calculation of the power drive]. Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2018, no. 4, pp. 61-72. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Попов Владимир Владимирович, старший преподаватель кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, kamushburun@gmail.com

Vladimir V. Popov, Senior Lecturer of the Department of of marine power plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: kamushburun@gmail.com

Ивановская Александра Витальевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок «Керченский

Aleksandra V. Ivanovskaya, PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Department of of marine power plants, Kerch

государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, invkerch@yandex.ru

Ивановский Алексей Николаевич, ассистент кафедры судовождения и промышленного рыболовства «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, aleksei.ivanovskii@yandex.ru

State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: invkerch@yandex.ru

Aleksei N. Ivanovskii, professor assistant of Department of Navigation and Industrial Fishing, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: aleksei.ivanovskii@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.
Received 10.06.2023; published online 20.09.2023.