

ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РАЗНОГЛУБИННЫМИ ТРАЛОВЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ОСНОВАНИИ УРАВНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВодОВ ТРАЛОВЫХ ЛЕБЕДОК

А. А. Недоступ, А. О. Ражев, В. В. Макаров

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Российская Федерация*

В контексте перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта автоматизация процессов рыболовства требует междисциплинарного подхода с использованием современных информационных технологий. Обоснована возможность использования технологий искусственного интеллекта для решения задач предсказательного моделирования поведения траловой системы в процессе лова на самообучающейся нейронной сети. Приведены уравнения электрического и механического приводов траловых лебедок для управления формоизменяемой конструкцией разноглубинного трала. Рассмотрен вопрос о способах улучшения контрольных характеристик разноглубинной траловой системы путем внедрения архитектуры управления, адаптированной для траловой системы с учетом промышленных требований, и путем разработки математической модели траловой системы, включающей точную модель гидродинамических сил на створках трала.

Ключевые слова: управление, разноглубинный трал, траловый комплекс, предсказательное моделирование, траловая система, лебедка.

Для цитирования: Недоступ А. А., Ражев А. О., Макаров В. В. Задачи управления разноглубинными траловыми комплексами на основании уравнений электрического и механического приводов траловых лебедок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 4. С. 93–101. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-93-101.

Введение

Траловый лов, при помощи которого в настоящее время добывается около 40 % мирового улова, сегодня играет важную роль в добыче рыбных ресурсов в рамках укрепления продовольственной безопасности России. По данным ФАО, к 2018 г. общий объем добычи рыбы достиг 96,4 млн т, что является самым высоким показателем за всю историю рыболовства.

Экологическую эффективность траления можно определить как отношение величины улова к величине воздействия на окружающую среду. Воздействие рыболовного судна на окружающую среду в основном измеряется расходом топлива и количеством отходов от эксплуатации, в то время как траловые снасти могут привести к удалению и повреждению бентоса – кораллов и губок. Улучшение управляемости траловым комплексом могло бы сделать возможным прицельный лов косяков рыб, а также улучшить маневрирование вблизи препятствий и контроль формы трала для оптимизации эффективности лова. В связи с этим системы более точного управления траловым комплексом должны приводить:

- к увеличению уловистости;
- снижению воздействия на морское дно и сокращению взаимодействий с препятствиями;
- повышению селективности промысла.

Разноглубинные траловые комплексы являются сложными техническими сооружениями, управление которыми сопряжено с большими трудностями [1]. Авторами статьи в рамках научного исследования рассматривается постановка задачи разработки системы управления траловой лебедкой. Для решения этой задачи необходимо рассмотреть вопрос о том, как можно улучшить характеристики системы управления траловой лебедкой с учетом промышленных требований к энергосистеме судна, внешних факторов и концепции управления; разработать математическую

модель, включающую композицию электродинамической и гидродинамической моделей лебедки. Эта модель должна оценивать как стационарное состояние, так и силы натяжения в ваерах, переходные процессы, временную зависимость нагрузок на двигатель лебедки от сил натяжения,

С развитием технологий искусственного интеллекта все большую популярность приобретают системы управления, основанные на модели предсказательного моделирования. На их основе в ходе решения поставленной задачи эффективного управления траловым ловом будет предложена новая концепция управления траловой лебедкой с учетом требований к энергопотреблению, надежности и эффективности, основанная на сочетании математической и предсказательной модели [2]. Из-за противоречивых требований к производительности, стабильности и энергоэффективности тралового лова концепция управления должна быть улучшена посредством численной оптимизации, основанной на моделировании временной области траловой системы с учетом промышленных ограничений на энергоснабжение траловых лебедок. Система управления, основанная на модели предсказательного моделирования, должна решать сложные задачи и ограничения, в том числе задачи автоматизации наведения трала на скопление гидробионтов [3].

Чтобы проанализировать автоматизированные системы управления разноглубинным тралом (АСУ РТ) [4], мы должны исследовать математические модели управления движением в различных режимах работы разноглубинного трала [4–25]. Движение траловых систем зависит напрямую от промысловых механизмов, которые установлены на палубе рыбопромыслового судна. Чем выше детализация технической системы «судно – разноглубинный трал», тем точнее АСУ РТ (рис. 1).

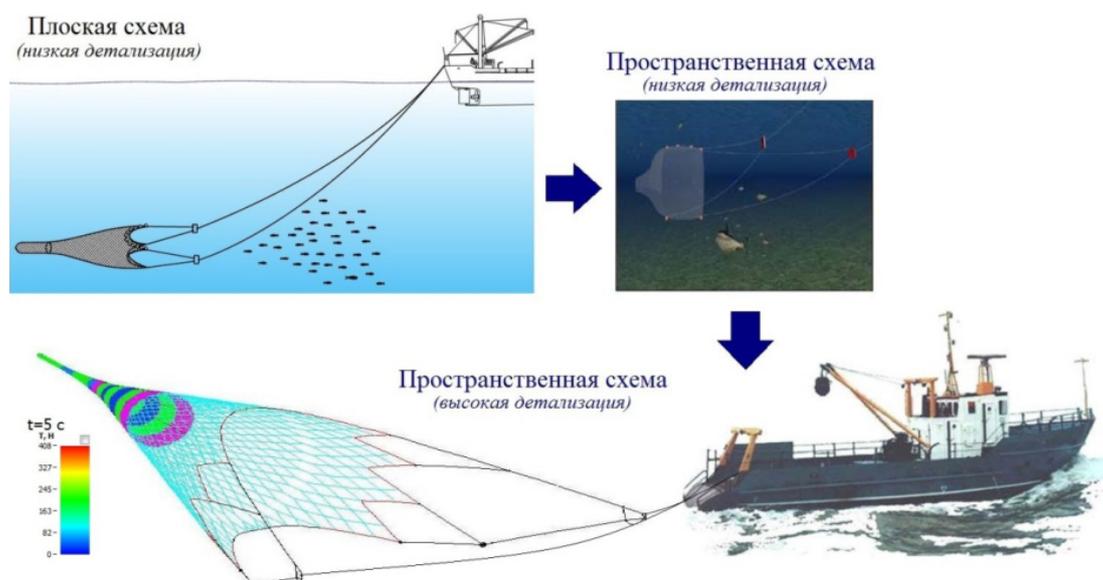


Рис. 1. Разноглубинный траловый комплекс (судно – разноглубинный трал)

Материалы исследования

В данной статье рассмотрены уравнения электрического и механического приводов траловых лебедок для управления формоизменяемой конструкцией разноглубинного трала. Необходимо охарактеризовать силовое взаимодействие объекта и среды величинами, которые не имели бы зависимости от абсолютных размеров объекта, скорости его движения или скорости, плотности среды, вязкости жидкости и других размерных величин [26–30]. Рассмотрим электропривод и механический привод ваерной лебедки.

Ваерная лебедка ПНР WTJ12,5 W290Z1 (номер проекта 4-4015/000) – это электрическая лебедка с червячным редуктором, автоматическими ваероукладчиками и ограничением натяжения ваеров при тралении. Ваерная лебедка ПНР WTJ12,5 W290Z1 установлена на судах типа БМРТ проекта В-408 и БАТ проектов 1396 и 1508. Габариты ваерной лебедки 3790 × 6327 × 1950 мм (длина × ширина × высота). Количество барабанов – 1 ваерный. Канатоемкость барабана L_6 при диаметре ваера $d_в = 28$ мм составляет 4 000 м, а при диаметре ваера $d_в = 31$ мм – 3 200 м.

На рис. 2 изображена ваерная лебедка.

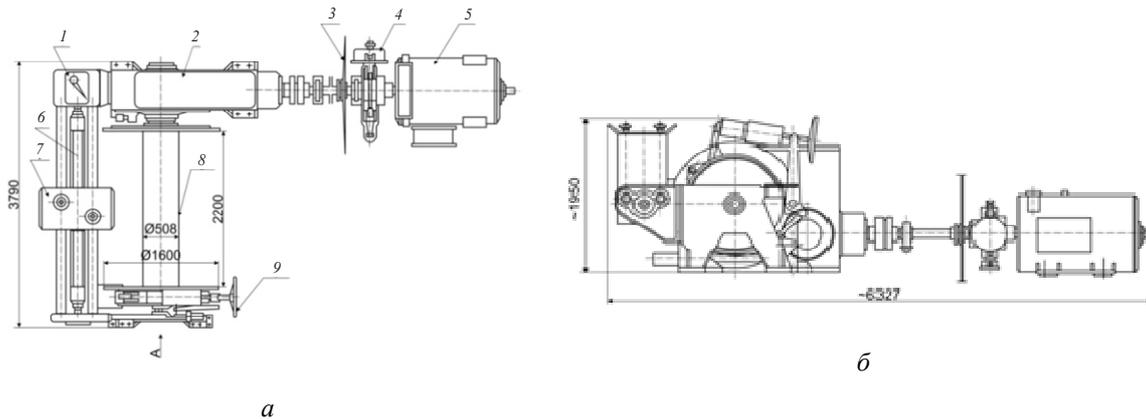


Рис. 2. Ваерная лебедка ПНР WTJ12,5 W290Z1: а – вид сверху: 1 – привод ваероукладчика; 2 – червячный редуктор; 3 – муфта; 4 – стопор; 5 – электродвигатель; б – винт ваероукладчика; 7 – каретка; 8 – барабан; 9 – тормозное устройство; б – вид сбоку

Ваерная лебедка ПНР WTJ12,5 W290Z1 потребляет постоянный ток напряжением 305 В. Тип привода электрический, мощность привода 290 кВт, управление ваерной лебедкой дистанционное. Перегрузочная способность – 1,6. Для управления ваерной лебедкой применяется тиристорный преобразователь. Генератор постоянного тока с помощью реостатов регулирует скорость вращения вала двигателя ваерной лебедки. В режиме торможения он является генератором. Тяговое усилие на среднем витке ваерной лебедки составляет 122,5 кН. Скорость выборки ваеров составляет 1,87 м/с, скорость травления ваеров – 3,6 м/с.

Рассмотрим системы уравнений работы электродвигателя постоянного тока, натяжения в ваере, а также намотки ваера на барабан лебедки. Одним из основных электромеханических преобразователей энергии в регулируемом электрическом приводе является двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) [31–35]. При составлении математической модели ДПТ НВ примем следующие допущения. Считаем, что реакция якоря полностью скомпенсирована (в реальном ДПТ всегда есть компенсационная обмотка либо добавочные полюса), поток возбуждения постоянен, а активное сопротивление якорной цепи не изменяется во время работы двигателя. Уравнение состояния преобразователя не рассматриваем в нашем случае [36, 37]. Динамика вращения барабана лебедки с наматываемым ваером и движения ваера математически задается следующими дифференциальными уравнениями:

$$J_1 \frac{d\omega(t)}{dt} = C I i - S_1 \frac{D + n_c h_n}{2}; \quad \frac{d\psi(t)}{dt} = \omega; \quad (1)$$

$$\frac{dL_1(t)}{dt} = -v(t) \quad (2)$$

при начальных условиях $\psi(0) = 0$; $\omega(0) = 0$; $v(0) = 0$; $L_1(0) = L_0$, где ω – угловая скорость вала; ψ – угол поворота вала; t – время процесса моделирования; D – диаметр барабана; n_c – количество намотанных на барабан слоев ваера; h_n – шаг слоя намотки; S_1 – натяжение в ваере в точке касания барабана; J_1 – момент (приведенный) инерции механизма лебедки с ваером, тралом и уловом; i – передаточное отношение редуктора лебедки; C – коэффициент электродвижущей силы и момента ДПТ НВ, имеющий размерность потока магнитной индукции [Нм/А] = [Вс]; I – ток якорной цепи; v – линейная скорость выборки трала; L_1 – длина невыбранной части ваера; L_0 – общая длина ваера.

Запишем дифференциальное уравнение электрического равновесия якорной цепи двигателя, связывающее силу тока в обмотках якоря с угловой скоростью вращения вала барабана лебедки [29]:

$$L_d \frac{dI(t)}{dt} = -C\omega i - I(t)R + U \quad (3)$$

при начальных условиях $I(0) = 0$, где L_d – суммарная индуктивность якорной цепи; R – суммарное активное сопротивление последовательно включенных обмотки якоря и добавочных полюсов в горячем состоянии (при $t = 75$ °С); U – напряжение, приложенное к обмоткам якоря.

Коэффициент электродвижущей силы C вычисляется по формуле

$$C = c_0 \Phi, \quad (4)$$

где Φ – магнитный поток в зазоре двигателя; c_0 – конструктивная постоянная двигателя:

$$c_0 = \frac{pN}{2\pi a}, \quad (5)$$

где p – количество полюсов электродвигателя; N – число проводников в обмотке якоря; a – число параллельных ветвей обмотки якоря.

Угловая скорость вала и линейная скорость выборки трала связаны следующим уравнением:

$$v = \frac{\omega(D + n_c t_h)}{2}. \quad (6)$$

При вращении барабана лебедки приведенный момент инерции механизма лебедки с ваером, тралом и уловом вычисляется по формуле

$$J_1 = J + (m_1 + m_0 + m_n) \frac{(D + n_c t_h)^2}{8}, \quad (7)$$

где J – момент инерции механизма лебедки (приведенный); m_1 – масса улова; m_0 – масса траловой системы; m_n – присоединенная масса траловой системы с уловом:

$$m_n = (m_1 + m_0) \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (8)$$

где ρ – плотность воды; ρ_0 – усредненная плотность трала с уловом.

В формуле (8) предполагается, что присоединенная масса трала с уловом равна массе воды в объеме всех элементов трала с уловом.

Натяжение ваера в точке касания барабана, вызванное гидродинамической силой, действующей на движущееся орудие с уловом со стороны воды, рассчитывается по формуле

$$2S_1 = (m_1 + m_0 + m_n) \frac{dv(t)}{dt} + R_a, \quad (9)$$

где R_a – агрегатное гидродинамическое сопротивление траловой системы.

Количество намотанных на барабан слоев ваера и шаг слоя h_c зависят от ширины барабана l_b и шага намотки t_h :

$$n_c = \left\lfloor \frac{2\pi l_b}{t_h \Psi} \right\rfloor; \quad (10)$$

$$h = \sqrt{d^2 - \frac{t_h^2}{4}}, \quad (11)$$

где d_b – диаметр ваера.

В соответствии с формулами (1)–(11) возможно выполнить математическое моделирование работы электрической траловой лебедки, тем самым решив задачу управления ее скоростными и силовыми характеристиками.

Заключение

Теория управления разноглубинным тралом является основой для разработки автоматизированных систем управления траловыми комплексами – как разноглубинными, так и донными. Для решения задач управления траловой системой, одной из которых является задача управления траловой лебедкой, была предложена математическая модель взаимодействия траловой лебедки с рыболовным тралом. Для более эффективного управления всей системой «судно – трал» предложено применение предсказательного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Ф. И. Теория и расчет орудий рыболовства. М.: Пищепромиздат, 1948. 436 с.
2. Reite K.-J. Modeling and control of trawl systems. Trondheim: NTNU, 2006. 238 p.
3. Соловьев А. А. Теоретические принципы обеспечения безопасного маневрирования судна при прицельном траловом лове: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1999. 183 с.
4. Волгогон В. А., Недоступ А. А., Ражнев А. О., Кострикова Н. А., Поляко Р. К., Кузин В. И. Обоснование создания тренажерного комплекса по проектированию и моделированию траловых систем // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 4 (38). Т. 2. С. 177–185.
5. Nakasai K., Kawakami T. Mechanical studies on the mid-water trawl gear in operation: bulletin of the faculty of fisheries. Nagasaki university, 1968. N. 26. P. 49–61.
6. Альтикуль Б. А., Фридман А. Л. Динамика траловой системы. М.: Агропромиздат, 1990. 240 с.
7. Lee C.-W., Lee Ju.-H. Modeling of a midwater trawl system // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 1999. 2000. P. 151–161.
8. Зинченко В. П. Численный метод расчета движения траловой системы // Рук. Деп. ВО ВНИЭРХ, реф. опубли. в указат. деп. работ ВИНТИ № 12. 1998.
9. Altschul B. A., Ermakova T. V. The algorithm of ship speed control when carrying the trawl in the predetermined path at a constant length of veered warp // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 2003. 2005. V. 3. P. 137–146.
10. Ермакова Т. В. Математические модели управления движением разноглубинного трала: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Калининград, 2006. 28 с.
11. Altschul B. A., Ermakova T. V. Equations of trawl system movement at its schematization by two-warp model // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 2009. 2010. V. 6. P. 251–258.
12. Кузнецов М. Ю., Шевцов В. И. Использование системы контроля трала SIMRAD FS 20/25 для исследования геометрии трала // Успехи рыболовства: сб. науч. тр., посвящен. 75-летию кафедры пром. рыболовства Дальневосточ. гос. техн. рыбохоз. ун-та. Владивосток: Изд-во Дальневосточ. гос. техн. рыбохоз. ун-та, 2006. С. 73–79.
13. Cha B.-J., Lee C.-W., Cho B.-K. Dynamic simulation of midwater trawl system using a personal computer // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 2001. 2002. V. 2. P. 105–111.
14. Cha B.-J., Lee C.-W., Cho B.-K., Kim H.-Y., Won S.-J. Dynamic simulation of a midwater trawl system using a personal computer // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 2001. 2002. P. 155–161.
15. Choe M.-L., Lee C.-W., Lee G.-H., Cha B.-J., Gyung H.-P. Modeling of the otter board behavior in consideration of the effects of the ship motion // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 2007. 2007. V. 5. P. 77–88.
16. Eiji T., Matuda K., Nobuo H. A simulation model of gear efficiencies of trawlers for flatfish // Nippon suisan gakkaiishi. 1991. N. 57 (6). P. 1019–1028.
17. Ferro RST. Computer simulation of trawl gear shape and loading // World symposium on fishing gear and fishing vessel design. 1988. P. 259–263.
18. Hamuro C. Studies on automation of fishing with otter trawls, Danish seines, midwater trawls and purse seines. Design criteria for a midwater type purse seine // FAO. Technical conference on fish finding, purse seining and aimed trawling. FF/70/49. 1970. N. 5. P. 10.
19. Hu F., Shiode D., Wan R., Tokai T. Accuracy evaluation of numerical simulation for mid-water trawl nets // Methods for the development and evaluation of maritime technologies DEMAT 2005. 2006. Rostock. P. 59–70.
20. Kiyoshi A. Study on dynamical response between a ship's motions and fishing gear (II) // Bull. of the Fac. of fish. Hok. Univ. 1972. V. 23. № 2. P. 102–121.
21. Koyama T. A calculation method for matching trawl gear to towing power of trawlers // FAO. Technical conference on fish finding, purse seining and aimed trawling. FF/70/65. 1970. N. 5. P. 15.
22. Lonnevik M. S. Effects of hanging ratios on trawls // World symposium on fishing gear and fishing vessel design. 1988. P. 314–317.

23. *Niedzwiedz G.* Computer-aided simulation of shape and strength of trawls after changes in design and operational condition // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 1999. 2000. P. 119–135.
24. *Vincent B.* A new generation of tools for trawls. Dynamic numerical simulation // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 1999. 2000. P. 99–107.
25. *Yoon H.-K., Lee C.-W., Cha B.-J., Lee Ji.-H., Lee M.-K.* A fishing effort appreciation method of the fishing gears using a computer simulation // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. DEMaT 2003. 2005. V. 3. P. 37–49.
26. *Фесенко В. И.* Электрические приводы промысловых судов: учеб. М.: Пищ. пром-сть, 1973. 224 с.
27. *Усольцев А. А.* Общая электротехника: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2009. 301 с.
28. *Фираго Б. И., Павлячик Л. Б.* Теория электропривода: учеб. пособие. Минск: Техноперспектива, 2007. 585 с.
29. *Гуляев И. В.* Обобщенная электромеханическая система. Саранск: Изд-во Средневолж. мат. о-ва, 2004. Препринт № 69. 12 с.
30. *Ковчин С. А., Сабинин Ю. А.* Теория электропривода: учеб. для вузов. СПб.: Энергоатомиздат, 1994. 496 с.
31. *Егоров В. Н., Шестаков В. М.* Динамика систем электропривода. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 216 с.
32. *Андреенко Л. А.* Оптимальное проектирование электромеханических приводов // Динамика систем, механизмов и машин: тез. докл. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. Омск, 1999. С. 92.
33. *Богатырева Е. В., Ивановская А. В.* Совершенствование методов расчета электромеханического привода с учетом переменности нагрузки // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2016. Т. 18. № 1 (2). С. 218–223.
34. *Бойко А. А., Герасимьяк Р. П., Лецев В. А.* Анализ и синтез крановых электромеханических систем: учеб. пособие. Одесса: СМИЛ, 2008. 192 с.
35. *Вейц В. Л., Куценко Б. Н.* К анализу динамических характеристик управляемых электромеханических приводов // Повышение эксплуатационных свойств деталей машин технологическими методами. Иркутск: ИЛИ, 1980. С. 179–185.
36. *Ильинский Н. Ф., Козаченко В. Ф.* Общий курс электропривода: учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1992. 544 с.
37. *Рассудов Л. Н., Мяздель В. Н.* Электроприводы с распределенными параметрами механических элементов. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 143 с.

Статья поступила в редакцию 27.04.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Недоступ Александр Алексеевич – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой промышленного рыболовства; nedostup@klgtu.ru.

Ражев Алексей Олегович – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; младший научный сотрудник УНИД; progaspp@live.ru.

Макаров Вячеслав Валерьевич – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры промышленного рыболовства; vyacheslav.makarov@klgtu.ru.



PROBLEMS OF CONTROL OF MIDWATER TRAWL COMPLEXES USING EQUATIONS OF ELECTRIC AND MECHANICAL DRIVES OF TRAWL WINCHES

A. A. Nedostup, A. O. Razhev, V. V. Makarov

Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russian Federation

Abstract. The paper touches upon the problems of transition to advanced digital, intelligent manufacturing technologies, robotic systems, new materials and design methods, the creation of systems for processing large amounts of data, machine learning and artificial intelligence. Automation of fishing process requires an interdisciplinary approach using modern information technologies. The possibility of using artificial intelligence technologies for solving the problems of predictive modeling of the behavior of a trawl system while fishing on a self-learning neural network has been proved. The equations of electric and mechanical drives of trawl winches for controlling the shape-changing design of a midwater trawl are given. The question of improving the control characteristics of a midwater trawl system by introducing a control architecture adapted for the trawl system taking into account the industrial requirements and by developing a mathematical model of the trawl system, including an accurate model of hydrodynamic forces on the trawl flaps is considered.

Key words: control, midwater trawl, trawl system, dynamics, predictive modeling, trawl system, winch.

For citation: Nedostup A. A., Razhev A. O., Makarov V. V. Problems of control of midwater trawl complexes using equations of electric and mechanical drives of trawl winches. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020;4:93-101. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-93-101.

REFERENCES

1. Baranov F. I. *Teoriia i raschet orudii rybolovstva* [Theory and analysis of fishing tools]. Moscow, Pishchepromizdat, 1948. 436 p.
2. Reite K.-J. *Modeling and control of trawl systems*. Trondheim, NTNU, 2006. 238 p.
3. Solov'ev A. A. *Teoreticheskie printsipy obespecheniia bezopasnogo manevrirovaniia sudna pri pritsel'nom tralovom love. Dissertatsiia ... d-ra tekhn. nauk* [Theoretical principles of ensuring safe vessel maneuvering in targeted trawl fishing. Diss. ... Dr.Tech.Sci.]. Saint-Petersburg, 1999. 183 p.
4. Volkogon V. A., Nedostup A. A., Razhev A. O., Kostrikova N. A., Poliako R. K., Kuzin V. I. Obosnovanie sozdaniia trenazhernogo kompleksa po proektirovaniu i modelirovaniu tralovykh sistem [Justification for building training complex for modeling trawl systems]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2017, no. 4 (38), vol. 2, pp. 177-185.
5. Nakasai K., Kawakami T. Mechanical studies on the mid-water trawl gear in operation: bulletin of the faculty of fisheries. *Nagasaki university*, 1968. No. 26. Pp. 49-61.
6. Al'tshul' B. A., Fridman A. L. *Dinamika tralovoi sistemy* [Trawl system dynamics]. Moscow, Agropromizdat, 1990. 240 p.
7. Lee C.-W., Lee Ju.-H. Modeling of a midwater trawl system. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 1999*, 2000, pp. 151-161.
8. Zinchenko V. P. *Chislennyi metod rascheta dvizheniia tralovoi sistemy* [Numerical method for calculating trawl system movement]. Ruk. Dep. VO VNIERKh, ref. opubl. v ukazat. dep. rabot VINITI № 12. 1998.
9. Al'tschul' B. A., Ermakova T. V. The algorithm of ship speed control when carrying the trawl in the pre-determined path at a constant length of veered warp. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 2003*, 2005, vol. 3, pp. 137-146.
10. Ermakova T. V. *Matematicheskie modeli upravleniia dvizheniem raznoglubinnogo trala. Avtoreferat dissertatsii ... kand. tekhn. nauk* [Mathematical models for controlling midwater trawl motion. Diss.Abstr. ... Cand.Tech.Sci.]. Kaliningrad, 2006. 28 p.
11. Al'tschul' B. A., Ermakova T. V. Equations of trawl system movement at its schematization by two-warp model. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 2009*, 2010, vol. 6, pp. 251-258.
12. Kuznetsov M. Iu., Shevtsov V. I. Ispol'zovanie sistemy kontroliia trala SIMRAD FS 20/25 dlia issledovaniia geometrii trala [Using trawl control system SIMRAD FS 20/25 to study trawl geometry]. *Uspekhi rybolovstva: sbornik nauchnykh trudov, posviashchennyi 75-letiiu kafedry promyshlennogo rybolovstva Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo rybokhoziaistvennogo universiteta*. Vladivostok: Izd-vo Dal'nevostochn. gos. tekhn. rybokhoz. un-ta, 2006. Pp. 73-79.

13. Cha B.-J., Lee C.-W., Cho B.-K. Dynamic simulation of midwater trawl system using a personal computer. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 2001*, 2002, vol. 2, pp. 105-111.
14. Cha B.-J., Lee C.-W., Cho B.-K., Kim H.-Y., Won S.-J. Dynamic simulation of a midwater trawl system using a personal computer. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 2001*, 2002, pp. 155-161.
15. Choe M.-L., Lee C.-W., Lee G.-H., Cha B.-J., Gyung H.-P. Modeling of the otter board behavior in consideration of the effects of the ship motion. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 2007*, 2007, vol. 5, pp. 77-88.
16. Eiji T., Matuda K., Nobuo H. A simulation model of gear efficiencies of trawlers for flatfish. *Nippon suisan gakkaiishi*, 1991, no. 57 (6), pp. 1019-1028.
17. Ferro RST. Computer simulation of trawl gear shape and loading. *World symposium on fishing gear and fishing vessel design*, 1988, pp. 259-263.
18. Hamuro C. Studies on automation of fishing with otter trawls, Danish seines, midwater trawls and purse seines. *Design criteria for a midwater type purse seine. FAO. Technical conference on fish finding, purse seining and aimed trawling. FF/70/49*, 1970, no. 5, pp. 10.
19. Hu F., Shiode D., Wan R., Tokai T. Accuracy evaluation of numerical simulation for mid-water trawl nets. Methods for the development and evaluation of maritime technologies. *DEMAT 2005*, 2006, Rostock, pp. 59-70.
20. Kiyoshi A. Study on dynamical response between a ship's motions and fishing gear (II). *Bull. of the Fac. of fish. Hok. Univ.*, 1972, vol. 23, no. 2, pp. 102-121.
21. Koyama T. A calculation method for matching trawl gear to towing power of trawlers. *FAO. Technical conference on fish finding, purse seining and aimed trawling. FF/70/65*, 1970, no. 5, pp. 15.
22. Lonnevik M. S. Effects of hanging ratios on trawls. *World symposium on fishing gear and fishing vessel design*, 1988, pp. 314-317.
23. Niedzwiedz G. Computer-aided simulation of shape and strength of trawls after changes in design and operational condition. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 1999*, 2000, pp. 119-135.
24. Vincent B. A new generation of tools for trawls. Dynamic numerical simulation. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 1999*, 2000, pp. 99-107.
25. Yoon H.-K., Lee C.-W., Cha B.-J., Lee Ji.-H., Lee M.-K. A fishing effort appreciation method of the fishing gears using a computer simulation. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. *DEMaT 2003*, 2005, vol. 3, pp. 37-49.
26. Fesenko V. I. *Elektricheskie privody promyslovykh sudov: uchebnyk* [Electric drives for fishing vessels: textbook]. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1973. 224 p.
27. Usol'tsev A. A. *Obshchaia elektrotehnika: uchebnoe posobie* [General electrical engineering: tutorial]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPbGU ITMO, 2009. 301 p.
28. Firago B. I., Pavliachik L. B. *Teoriia elektroprivoda: uchebnoe posobie* [Electric drive theory: tutorial]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2007. 585 p.
29. Guliaev I. V. *Obobshchennaia elektromekhanicheskaja sistema* [Generalized electromechanical system]. Saransk, Izd-vo Srednevolzh. mat. o-va, 2004. 12 p.
30. Kovchin S. A., Sabinin Iu. A. *Teoriia elektroprivoda: uchebnyk dlia VUZov* [Theory of electric drive: textbook for universities]. Saint-Petersburg, Energoatomizdat, 1994. 496 p.
31. Egorov V. N., Shestakov V. M. *Dinamika sistem elektroprivoda* [Dynamics of electric drive systems]. Leningrad, Energoatomizdat, 1983. 216 p.
32. Andrienko L. A. Optimal'noe proektirovanie elektromekhanicheskikh privodov [Optimal design of electromechanical drives]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin: tezisy dokladov 3-i Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii*. Omsk, 1999. P. 92.
33. Bogatyreva E. V., Ivanovskaia A. V. Sovershenstvovanie metodov rascheta elektromekhanicheskogo privoda s uchetom peremennosti nagruzheniia [Improvement of methods for calculating electromechanical drive taking into account load variability]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016, vol. 18, no. 1 (2), pp. 218-223.
34. Boiko A. A., Gerasimiak R. P., Leshchev V. A. *Analiz i sintez kranovykh elektromekhanicheskikh sistem: uchebnoe posobie* [Analysis and synthesis of crane electromechanical systems: tutorial]. Odessa, SMIL, 2008. 192 p.
35. Veits V. L., Kutsenko B. N. K analizu dinamicheskikh kharakteristik upravliaemykh elektromekhanicheskikh privodov [To analysis of dynamic characteristics of controlled electromechanical drives]. *Povyshenie ekspluatatsionnykh svoistv detalei mashin tekhnologicheskimi metodami*. Irkutsk, ILI, 1980. Pp. 179-185.
36. Il'inskii N. F., Kozachenko V. F. *Obshchii kurs elektroprivoda: uchebnyk dlia vuzov* [General course of electric drive: textbook for universities]. Moscow, Energoatomizdat, 1992. 544 p.

37. Rassudov L. N., Miazdel' V. N. *Elektroprivody s raspredelennymi parametrami mekhanicheskikh elementov* [Electric drives with distributed parameters of mechanical elements]. Leningrad, Energoatomizdat, 1987. 143 p.

The article submitted to the editors 27.04.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nedostup Alexander Alekseevich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Industrial Fishery; nedostup@klgtu.ru.

Razhev Alexey Olegovich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Junior Researcher of the Department of Management of Research; progacpp@live.ru.

Makarov Vyacheslav Valerevich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Commercial Fishery; vyacheslav.makarov@klgtu.ru.

