

Научная статья

УДК 639.2.081, 519.6

DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-61-70

**Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети**

**Алексей Олегович Ражев<sup>1</sup>, Александр Алексеевич Недоступ<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>aleksej.razhev@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0983-834X>

<sup>2</sup>nedostup@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3851-0984>

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема автоматизации управления траловым ловом с целью повышения его эффективности и уменьшения энергетических и экономических затрат при вылове с использованием технологий искусственного интеллекта и предсказательного моделирования на нейронной сети. Поставлены задачи долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозирования по заданным критериям с использованием архивных данных с промысла и текущих выборок эхолокации. Приведены структура системы, методы наполнения централизованной и локальных баз данных статистики уловов, обучения искусственной нейронной сети, систематизации результатов предсказания, расчета и автоматической генерации входных параметров, конфигурирования. Определены входные параметры нейронной сети, задаваемые пользователем (коды района промысла, трала, объекта лова, его размеры, время года, среднесуточные температура воды и воздуха, скорость ветра, сила волнения в момент предполагаемого лова, тип судна); расчетные значения, вычисляемые по математической модели траловой системы (раскрытие трала, глубина траления) и пользовательским критериям (код места промысла, время суток, скорость траления); выходные характеристики (величина улова, расход топлива, финансовые затраты); критерии отбора и группировки выходной информации. Представлены выборки архивных сведений об уловах. Обосновано применение математической модели для связи силовых и геометрических характеристик трала. Предложены области применения полученных результатов – это проектирование, производство, эксплуатация натуральных траловых систем и разработка программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности. Автоматизация позволит определять оптимальные места промысла с учетом энергетических и экономических затрат, собирать статистику уловов, ускорить, уточнить и упростить ее анализ, генерировать аналитические отчеты.

**Ключевые слова:** гидробионт, трал, управление, предсказательное моделирование, нейронная сеть

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

**Для цитирования:** Ражев А. О., Недоступ А. А. Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 61–70. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-61-70.

Original article

### **Development of methods for managing a trawl complex using predictive modeling on a neural network**

**Aleksey O. Razhev<sup>1</sup>, Aleksandr A. Nedostup<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup> aleksej.razhev@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0983-834X>

<sup>2</sup> nedostup@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3851-0984>

**Abstract.** The article considers the problem of automation of trawl fishing management in order to increase its efficiency and reduce energy and economic costs when fishing using artificial intelligence technologies and predictive modeling on a neural network. The tasks of long-term, medium-term "on shore" according to the specified criteria and short-term "on the ship" with the use of echolocation forecasting data have been set. The structure of the system, methods of filling centralized and local databases of catch statistics, artificial neural network learning, systematization of prediction results, calculation and automatic generation of input parameters, configuration are given. The input parameters of the neural network, set by the user (codes of the fishing area, trawl, fishing object, its size, season, average daily water and air temperature, wind speed, wave strength at the time of the intended fishing, vessel type) have been determined together with the calculated values found according to the mathematical model of the trawl system (trawl opening, trawl depth) and user criteria (fishing site code, time of day, trawl speed); output characteristics (catch value, fuel consumption, financial costs); criteria for selecting and grouping output information. The paper presents samples of archived catch data. Application of a mathematical model for the connection of the power and geometric characteristics of the trawl has been justified. The areas of application of the obtained results have been proposed, such as design, production, operation of real trawling systems and development of virtual and augmented reality software and hardware complexes that will allow determining optimal fishing sites taking into account energy and economic costs, collecting catch statistics, automating its analysis, generating analytical reports.

**Keywords:** hydrobionts, trawl, management, predictive modeling, neural network

**Funding:** the research has been carried out with the financial support of the RFBR and the Government of the Kaliningrad region within the framework of scientific project No. 19-48-390004.

**For citation:** Razhev A. O., Nedostup A. A. Development of methods for managing a trawl complex using predictive modeling on a neural network. *Izvestiya KGTU* = *KSTU News*. 2022;(67):61–70.(In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-61-70.

## ВВЕДЕНИЕ

Важной составляющей Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации является определение политики в области щадящего рыболовства и реализация его путем продвижения конкурентоспособного, экологически устойчивого и экономически выгодного рыболовства. Особый вклад в развитие устойчивого рыболовства внесут показатели, касающиеся физического воздействия донного тралового промысла на бентос водоема, и данные о том, как он влияет на среду обитания и целостность морского дна. Предполагается, что предложения по донному траловому промыслу будут использоваться для принятия решений в отношении разрешенной промысловой деятельности. Это позволит рыбохозяйственному комплексу Российской Федерации подготовиться к будущим мерам управления и отреагировать на них, модифицировать свои тралы, разработать элементы траловых систем с меньшим воздействием на бентос водоема и соответствующим образом выбрать методы тралового промысла. Таким образом, обеспечиваются постоянный доступ к рыболовным участкам и экологически устойчивая и экономически выгодная эксплуатация скоплений гидробионтов. При рассмотрении любой из физической и биологической систем (а такими являются траловые системы и объекты лова) как объектов исследования целесообразно распределить все переменные, характеризующие систему или имеющие к ней какое-либо отношение (абиотические, биотические и антропогенные факторы воздействия на системы управления тралового комплекса).

В промышленном рыболовстве донные и разноглубинные тралы признаны как одни из наиболее интенсивных орудий активного использования. Донные тралы имеют серьезное воздействие на бентос, который обитает в районе промысла. В результате этого воздействия бентос во взвешенном состоянии образует обширные шлейфы из отложений и растворенных питательных веществ. Кроме того, движение траловых досок по грунту, а также грунтропа и кабелей увеличивает суммарное сопротивление донных тралов и износ этих деталей. Разноглубинные тралы являются орудиями рыболовства с наибольшими производственными мощностями, а также имеют серьезное воздействие на биотические факторы. Следовательно, могут быть последствия для окружающей среды, а также воздействие на эффективность и безаварийность донной траловой системы и промысловых операций с ней, что влияет на выбросы оксидов азота, оксидов серы и парниковых газов. На первоначальном этапе разработки донных траловых систем первоочередной задачей стоит составление списка эксплуатационных требований, которому донный трал должен будет соответствовать. В общем случае список включает функциональные требования, т. е. перечень количественных показателей объекта лова, на который направлено действие донного трала, показателей особых условий промысла и ограничений, при которых выполняется лов, экологичности лова, затрат энергии, затрат на информацию, значение сил и т. п. Понимание данных процессов сможет позволить разработать такие эксплуатационные требования, которым донные тралы смогут полностью удовлетворять. Разработаны модели

процессов эксплуатации донного тралового комплекса с учетом комплексного влияния абиотических, биотических и антропогенных факторов и выявлены воздействия человеческого фактора на системы управления тралового комплекса с применением предсказательного моделирования на нейронной сети. Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети является важнейшим направлением эксплуатации биологических ресурсов разноглубинными и донными тралами, формируемых под воздействием биотических, абиотических и антропогенных факторов, и требует междисциплинарного подхода с использованием современных информационных технологий.

Научная новизна заключается в обосновании применения технологий искусственного интеллекта для автоматизации процесса тралового лова, сбора статистики уловов, поддержки централизованной базы данных промысла [1].

Актуальность определяется "Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года", "Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года".

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С целью улучшения технико-экономических показателей тралового лова поставим две задачи:

1. Долгосрочное (свыше 1 мес) и среднесрочное прогнозирование наиболее эффективных с точки зрения объемов улова и затрат на вылов районов промысла по заданным критериям: вид и размеры объекта лова, время суток и года, прогнозируемые погодные условия (температура воды и воздуха, интенсивность осадков, ветер, волнение и т. д.), место нахождения судна на момент прогнозирования, характеристики тралового комплекса; выполняется "на берегу".

2. Краткосрочное прогнозирование траекторий движения, глубины лова с использованием данных эхолокации в районе промысла; выполняется "на судне" непосредственно в процессе промысла.

В данной статье опишем предлагаемые методы и подходы для решения задачи долгосрочного и среднесрочного прогнозирования. Краткосрочное прогнозирование с применением технологий искусственного интеллекта (нейронной сети), эхозаписей [2, 3], математической модели движения косяка рыб [4] в статье не рассмотрено.

Задачу прогнозирования предлагается решать при помощи нейронной сети [1], обученной по централизованной базе данных уловов, пополняемой в автоматическом режиме сведениями об осуществленных уловах всеми рыбодобытчиками, подключенными к системе (рис. 1).

Информация по осуществленным выловам накапливается в процессе промысла в локальных базах данных уловов, находящихся на вычислительном оборудовании, расположенном на судах, и при появлении технической возможности (наличия каналов связи) автоматически загружается в централизованную базу уловов.

Входными данными нейронной сети являются время суток и года, район и место промысла (в закодированном виде), среднесуточная температура водоема и воздуха, сила волнения (в баллах), скорость ветра, тип судна, требуемые размеры

(дискретная величина) и тип объекта лова, величины раскрытия трала  $H$  и  $L$ , скорость и глубина траления. Выходные данные – величина улова ( $t$ ), скорость вылова ( $t/ч$ ), расход топлива, финансовые затраты.

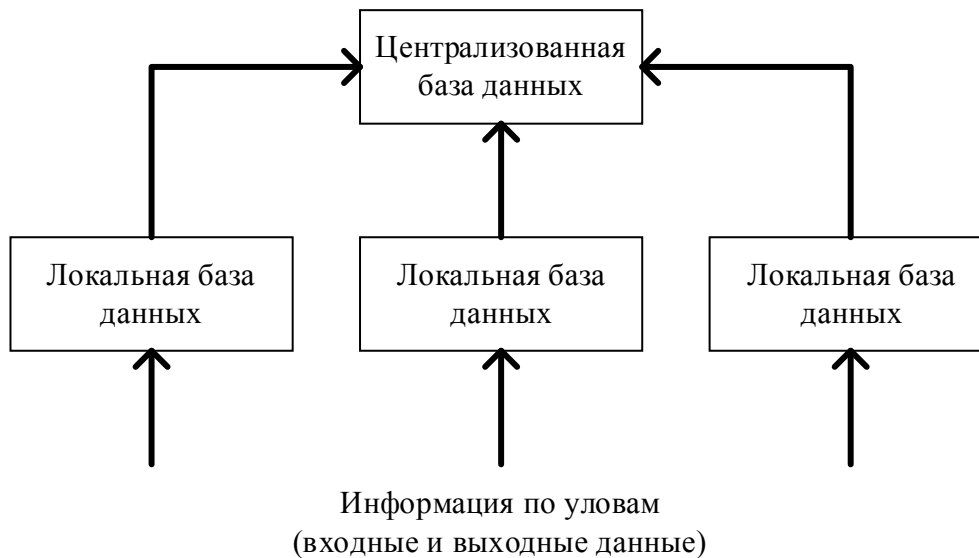


Рис. 1. Схема баз данных уловов  
Fig. 1. Catch databases diagram

Скорость ветра, сила волнения, температура водоема и окружающего воздуха (среднесуточные значения) определяются по прогнозам метеослужб на дату предполагаемого промысла. Требуемые размеры рыбы представляют собой диапазон дискретных значений (конечное множество значений), например, очень мелкая, мелкая, средняя, крупная, очень крупная.

Трал одной модели может иметь различную оснастку, ловить на разных глубинах с различной скоростью траления, регулируемые длины канатно-веревочных элементов, что оказывает влияние на выходные параметры предсказательной модели (объем улова, затраты при вылове). Поэтому для прогнозирования недостаточно знать только модель трала. В связи с этим к входным добавляются вычисляемые при помощи математических моделей параметры раскрытия трала  $H$ ,  $L$  и глубины траления, расчет которых производится по заданным параметрам трала, траловых досок, деталей оснастки, длинам ваеров, кабелей и голых концов, скорости траления. Расчет выполняется с использованием разработанной авторами статьи системы автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства [5], сокращенно названной САПР-ОР (рис. 2). С помощью этой системы рассчитывают и представляют в табличной форме зависимости параметров раскрытия от текущих длин регулируемых канатно-веревочных элементов, скорости траления, параметров траловых досок и оснастки.

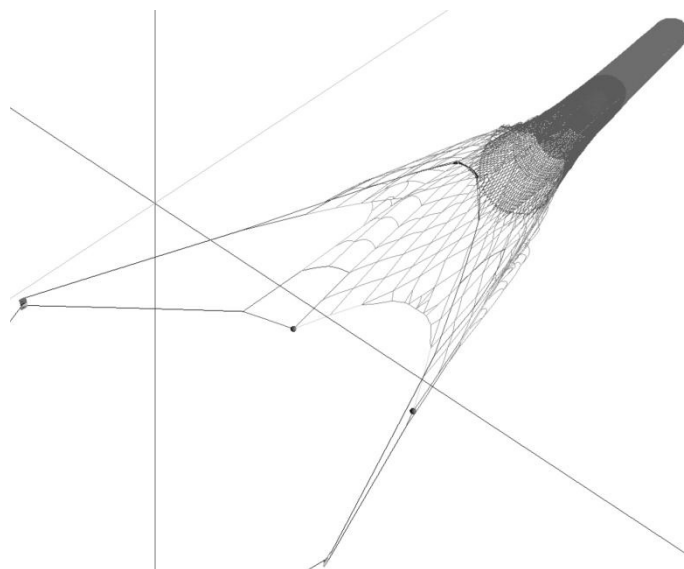


Рис. 2. Расчет формы трала при помощи математической модели  
Fig. 2. Calculation of the trawl shape using a mathematical model

Обучение нейронной сети [6] выполняется "на берегу", в процессе входные и выходные выборки извлекаются из централизованной базы данных уловов. Полученная конфигурация нейронной сети (весовые коэффициенты) сохраняется в централизованной базе данных уловов, откуда переносится в локальную. Перенос производится либо вручную по команде оператора перед началом промысла, либо автоматически при наличии технической возможности. На рис. 3 показана схема процесса.

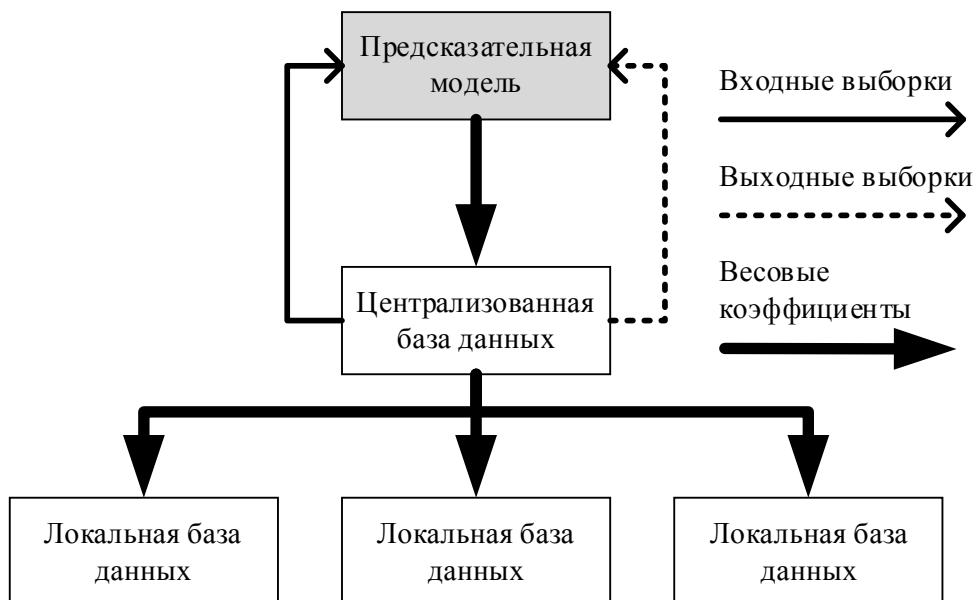


Рис. 3. Схема обучения нейронной сети  
Fig. 3. Neural network learning diagram

Обученная нейронная сеть на входе принимает параметры запроса от оператора, а на выходе формирует оценочный прогноз. На рис. 4. показана схема работы предсказательной модели.

Таким образом, для предоставления возможности выбора оптимального варианта прогноза рыбодобытчиком, включая не учитываемые предсказательной моделью критерии, необходимо формировать группу запросов с последующей сортировкой оценок в разрезе каждого выходного оценочного прогноза.

Критериями запроса могут служить абиотические и антропогенные факторы: код района промысла, время года, среднесуточные температура воды и воздуха, скорость ветра, сила волнения в момент планируемого промысла, тип судна, код трала, код и размеры объекта лова. Критерии определяются оператором системы автоматизации и являются статическими входными параметрами нейронной сети.

Для заданных критериев система автоматизации методом вложения циклов по одному для каждого параметра осуществляет перебор остальных входных динамических параметров нейронной сети с необходимой пользователю степенью дискретизации, а именно: кодов места промысла, времени суток, скоростей траления, значений раскрытия трала  $H$  и  $L$ , глубины траления. В итерации внутреннего цикла выполняется запрос к нейронной сети.

Результаты выполнения всех запросов отражает таблица, часть столбцов которой соответствуют входным, а часть – выходным данным. Она сортируется по заданным критериям и предоставляется оператору для дальнейшего анализа с целью выбора подходящего места лова по критериям, не учитываемым в системе автоматизации.

Для обучения нейронной сети [6] использованы архивные данные с промыслов по уловам [7, 8], из которых сформирована обучающая выборка.

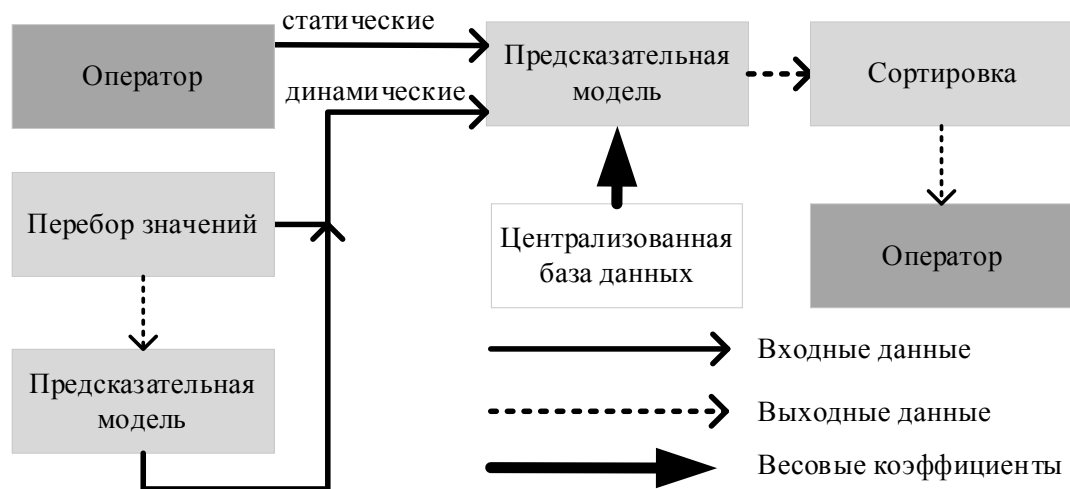


Рис. 4. Схема предсказательной модели  
Fig. 4. Predictive model diagram

Представим схему управления траловым промыслом в блочном виде, все блоки отвечают за свой функционал (рис. 5). Серым цветом выделены блоки, размещенные на рыболовном судне и траловом комплексе. Блоки, обозначенные бе-

лым цветом, находятся на берегу у главного специалиста по флоту, отвечающего за промысел гидробионтов. Блок "Математическая модель" выполняет связь силовых и геометрических характеристик трала. Входными значениями для математической модели являются точные показания задатчиков, время получения которых определяется долями секунд, что обеспечивается эффективностью работы управляющего сегмента траловой системы в целом. Выходные параметры математической модели – это данные для обеспечения необходимых рабочих параметров судомеханических (главных и вспомогательных) и промысловых механизмов рыбодобывающего судна.

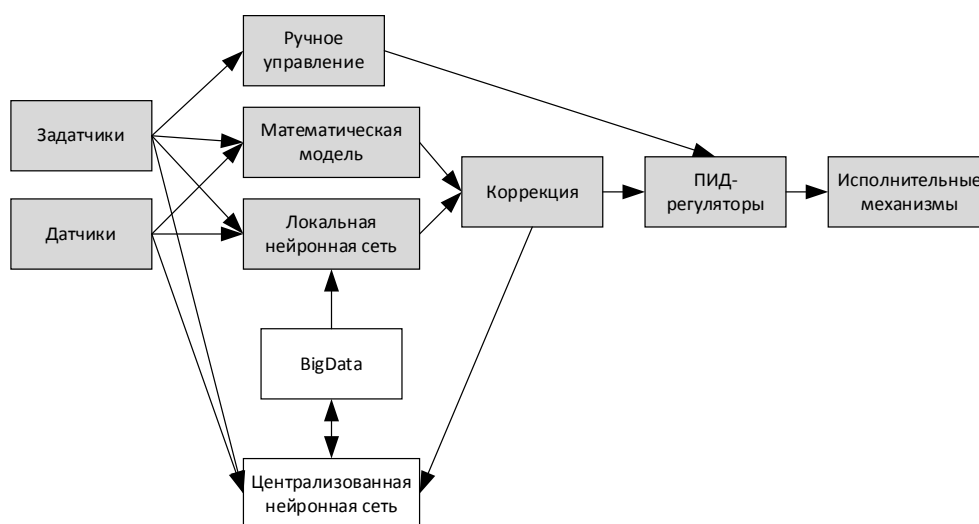


Рис. 5. Схема управления траловым промыслом  
Fig. 5. Trawl management diagram

Для выбора оптимального значения рабочих параметров с возможным учетом биотического, абиотического и антропогенного воздействия перед поступлением на ПИД-регулятор выходные значения математической модели корректируются на основании значений, полученных на выходе локальной нейронной сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования предполагается применять как в процессе проектирования, производства и эксплуатации натуральных траловых систем, так и при разработке программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности (тренажеров для обучения, тренировки, проверки знаний студентов, курсантов и добытчиков гидробионтов, проведения всевозможных конкурсов). С помощью полученных результатов представляется возможным определять оптимальные места промысла с учетом энергетических (расход топлива) и экономических затрат, а также собирать накопленную в базе данных статистику уловов на всей территории России и мира, которую возможно применять для автоматизации различного рода анализа, генерации аналитических отчетов.



### Список источников

1. Недоступ А. А., Ражев А. О. Применение нейронной сети для управления траловым промыслом // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань: ФГБОУ ВО "АГТУ". 2021. № 1. С. 31–37.
2. Кузнецов М. Ю., Кузнецов Ю. А. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 2. Методы и средства промысловой биогидроакустики // Известия ТИНРО. 2016. № 184 (1). С. 264–294.
3. Электронный атлас типовых акустических изображений промысловых видов рыб дальневосточных морей России / М. Ю. Кузнецов, И. А. Убарчук, В. И. Поляничко, В. И. Шевцов, Е. В. Сыроваткин // Известия ТИНРО. 2018. № 193. С. 57–67.
4. Математическое моделирование поведенческих характеристик стаи рыб при облове разноглубинным тралом / А. А. Недоступ, Б. А. Альтшуль, А. О. Ражев, С. В. Дятченко, О. М. Бедарева, А. А. Багрова // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4 (46). Т. 4. С. 181–185.
5. Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства на примере трала: пат. 2021619269 Рос. Федерация. № 2021618323 / Ражев А. О., Недоступ А. А., Львова Е. Е.; заявл. 01.06.21; опубл. 07.06.21. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
6. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview // Neural Networks. 2015. V. 61. P. 85–117.
7. Рыбное хозяйство: обзор. информ. Комплексные сравнительные испытания промысловых тралов в районе ЦВА / под ред. Э. А. Карпенко. Вып. ДСП-1. М.: ЦНИИТЭИРХ, 1987. 114 с.
8. Николаев В. В. Совершенствование математической модели процесса лова рыбы разноглубинным тралом: дис. ... канд. техн. наук: утв. 05.18.17. Калининград, 2004. 189 с.

### References

1. Nedostup A. A., Razhev A. O. Primenenie neyronnoy seti dlya upravleniya tralovym promyslom [Application of a neural network for trawl management]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, Astrakhan', 2021, no. 1, pp. 31–37.
2. Kuznetsov M. Yu., Kuznetsov Yu. A. Gidroakusticheskie metody i sredstva otsenki zapasov ryb i ikh promysla [Hydroacoustic methods and means of assessing fish stocks and their fishery]. *Metody i sredstva promyslovoy biogidroakustiki*, 2016, part 2, no. 184 (1), pp. 264–294.
3. Kuznetsov M. Yu., Ubarchuk I. A., Polyanychko V. I., Shevtsov V. I., Syrovatkin E. V. Elektronnyy atlas tipovykh akusticheskikh izobrazheniy promyslovyykh vidov ryb dal'nevostochnykh morey Rossii [Electronic atlas of typical acoustic images of commercial fish species of the Far Eastern seas of Russia]. *Izvestiya TINRO*, 2018, no. 193, pp. 57–67.
4. Nedostup A. A., Al'tshul' B. A., Razhev A. O., Dyatchenko S. V., Bedareva O. M., Bagrova A. A. Matematicheskoe modelirovanie povedencheskikh kharakteristik

stai ryb pri oblove raznoglubinnym tralom [Mathematical modeling of behavioral characteristics of a flock of fish when fishing with a midwater trawl]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2019, no. 4 (46), pp. 181–185.

5. Razhev A. O., Nedostup A. A., L'vova E. E. Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya orudiy promyshlennogo rybolovstva na primere trala [Computer-aided design system for industrial fishing gears on the example of a trawl]. Patent RF, no. 2021619269, 2021.

6. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 2015, no. 61, pp. 85–117.

7. Karpenko E. A. *Rybnoe khozyaystvo: obzor. inform. Kompleksnye sravnitel'nye ispytaniya promyslovykh tralov v rayone TSVA* [Fisheries: comprehensive comparative tests of fishing trawls in the CVA area]. Moscow, TSNIITEIRX, 1987, iss. DSP-1, 114 p.

8. Nikolaev V. V. *Sovershenstvovanie matematicheskoy modeli protsessa lova ryby raznoglubinnym tralom. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improvement of the mathematical model of the fishing process with a midwater trawl. Dis. cand. techn. sci.]. Kaliningrad, 2004, 189 p.

#### Информация об авторах

**А. О. Ражев** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

**А. А. Недоступ** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства

#### Information about the authors

**A. O. Razhev** – PhD in Engineering, Leading Researcher

**A. A. Nedostup** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Commercial Fishery

Статья поступила в редакцию 30.08.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022; принята к публикации 16.09.2022.

The article was submitted 30.08.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for publication 16.09.2022.