

Научная статья
УДК 639.2.081.1
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-33-42>
EDN IKIPIM

Новая теория проектирования орудий промышленного рыболовства

Александр Алексеевич Недоступ[✉], *Алексей Олегович Ражев*

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, nedostup@klgtu.ru*[✉]

Аннотация. Приводится новая теория проектирования орудий промышленного рыболовства, основанная на использовании теории подобия мультифизических процессов, протекающих в орудиях промышленного рыболовства и их элементах на всех стадиях эксплуатации, а также «цифровых двойниках» рыболовных судов, промысловых механизмах. Новая теория проектирования орудий промышленного рыболовства основана на учете мультифизических процессов, протекающих в рыболовных единицах и объектах лова. Обеспечение мультифизических процессов, оцифровка их на основании «цифровых двойников» позволяет уточнить гидродинамические коэффициенты деталей и элементов орудий промышленного рыболовства. Описана взаимосвязь физических процессов и цифровых аналогов («цифровых двойников»). Уточнение коэффициентов сопряжено с итерационными методами. Обоснован выбор критерия подобия мультифизических процессов орудий промышленного рыболовства. При решении задач проектирования теория подобия позволяет обосновать характеристики орудия промышленного рыболовства, связанные с его размерами, сопротивлением, скоростью движения (движения водных масс для пассивных орудий рыболовства и ловушек), исходя из обеспечения маневренных качеств траловой системы и других систем при известных энергетических и мощностных характеристиках рыболовного судна и ваерной лебедки и других промысловых механизмов; обосновать характеристики ваерной лебедки и других промысловых механизмов, обеспечивающие заданные режимы выполнения промысловых операций (к примеру, спуск/подъем трала) известных конструкций; обосновать характеристики рыболовного судна, исходя из обеспечения рациональной эксплуатации известной (спроектированной и эксплуатируемой) конструкции орудия рыболовства при заданных режимах; исследовать аварийные и критические ситуации, связанные с задевом орудий рыболовства подводных преград, резким возрастанием усилий в ваерах, жгуте кошелькового невода при быстром изменении управляющих воздействий, и т. п.; обосновать характеристики ваерной лебедки и других промысловых механизмов, а также рыболовного судна для разработки системы «Автотрал».

Ключевые слова: трал, проектирование, подобие, «цифровой двойник», орудие промышленного рыболовства, эксплуатация

Благодарности: исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов».

Для цитирования: Недоступ А. А., Ражев А. О. Новая теория проектирования орудий промышленного рыболовства // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 33–42. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-33-42>. EDN IKIPIM.

Original article

New theory for designing commercial fishing gears

Alexander A. Nedostup[✉], *Alexey O. Razhev*

*Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, nedostup@klgtu.ru*[✉]

Abstract. The article presents a new theory of designing commercial fishing gear based on the use of the theory of similarity of multiphysical processes occurring in commercial fishing gear and their elements at all stages of operation, as well as digital twins of fishing vessels, fishing mechanisms. The new theory of designing tools for commercial fishing based on taking into account the multiphysical processes occurring in fishing units and fishing objects. Providing multiphysical processes, digitizing them on the basis of digital twins makes it possible to clarify the hydrodynamic coefficients of parts and elements of commercial fishing gear. There is described the relationship

between physical processes and digital analogues (digital twins). The refinement of the coefficients is associated with iterative methods. The choice of the criterion of similarity of multiphysical processes of commercial fishing gears is justified. When solving design problems, the theory of similarity makes it possible to: substantiate the characteristics of industrial fishing gear related to its size, resistance, movement speed (movement of water masses for passive fishing gear and traps), based on ensuring the maneuverability of the trawl system and other systems with known energy and power characteristics of a fishing vessel and a warp winch and other fishing mechanisms; to substantiate the characteristics of the warp winch and other fishing mechanisms that provide the specified modes of performing fishing operations (for example, lowering and lifting the trawl) of known designs; substantiate the characteristics of a fishing vessel based on ensuring the rational operation of a known (designed and operated) design of a fishing gear under given modes; investigate emergency and critical situations associated with hitting underwater obstacles by fishing gear, a sharp increase in efforts in warps, a purse non-water tourniquet with a rapid change in control actions, etc.; to substantiate the characteristics of the warp winch and other fishing mechanisms, as well as the fishing vessel for the development of the Auto trawl system.

Keywords: trawl, designing, similarity, digital twin, commercial fishing gear, operation

Acknowledgment: the research was carried out within the framework of the state task on the project “Development of physical, mathematical and predictive models of operation processes of bottom and multi-depth trawl complexes”.

For citation: Недоступ А. А., Разев А. О. New theory for designing commercial fishing gears. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2023;2:33-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-33-42>. EDN IKIPIM.

Введение

Проектирование орудий промышленного рыболовства непосредственно связано с созданием теории проектирования, которую разработали профессор Ф. И. Баранов и его ученики [1–3]. Профессором А. Л. Фридманом применена теория подобия с учетом прототипа для проектирования [2]. Специалистами в области промышленного рыболовства данный метод проектирования усовершенствовался и были получены хорошие результаты на промысле гидробионтов с новыми орудиями рыболовства [4, 5].

Теорию нестационарного движения траловой системы разработали А. Л. Фридман и Б. А. Альшуль [2, 6]. Теория должна была послужить продолжением теории проектирования тралов, но в связи с ограниченным использованием ЭВМ в 80-х гг. ее внедрение в практическое использование отложили.

На современном этапе развития теории проектирования важным переходным этапом от традиционного проектирования орудий промышленного рыболовства и их элементов «по прототипам» к проектированию сложных динамических систем являются прототипы, которые выполняют мультифизическое моделирование [7–9], и «цифровые двойники».

«Цифровой двойник» орудий рыболовства, выполненный с соблюдением всех требований, не просто является набором сведений об инженерном сооружении, которым является орудие промышленного рыболовства, переведенным в электронный формат, а становится важным инструментом при проектировании орудий промышленного рыболовства с учетом мультифизического моделирования (рис. 1).

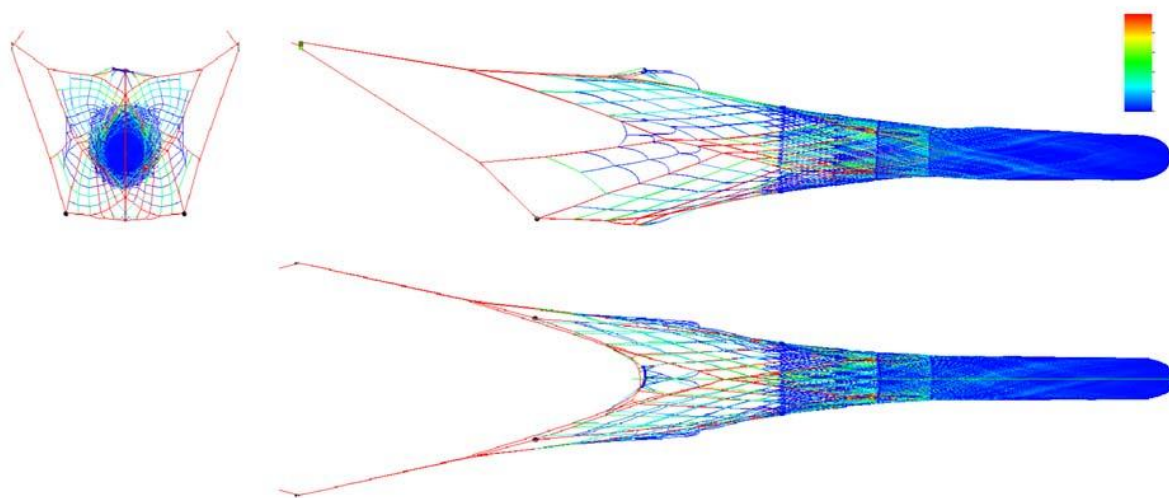


Рис. 1. «Цифровой двойник» разноглубинного трала

Fig. 1. Digital twin of a midwater trawl

«Цифровой двойник» является цифровой копией некоторого объекта или процесса, реализует их имитацию на вычислительном устройстве. В на-

шем случае «цифровой двойник» выполняет цифровую имитацию промышленного комплекса «судно – трал» (рис. 2).

Nedostup A. A., Razhev A. O. New theory for designing commercial fishing gears

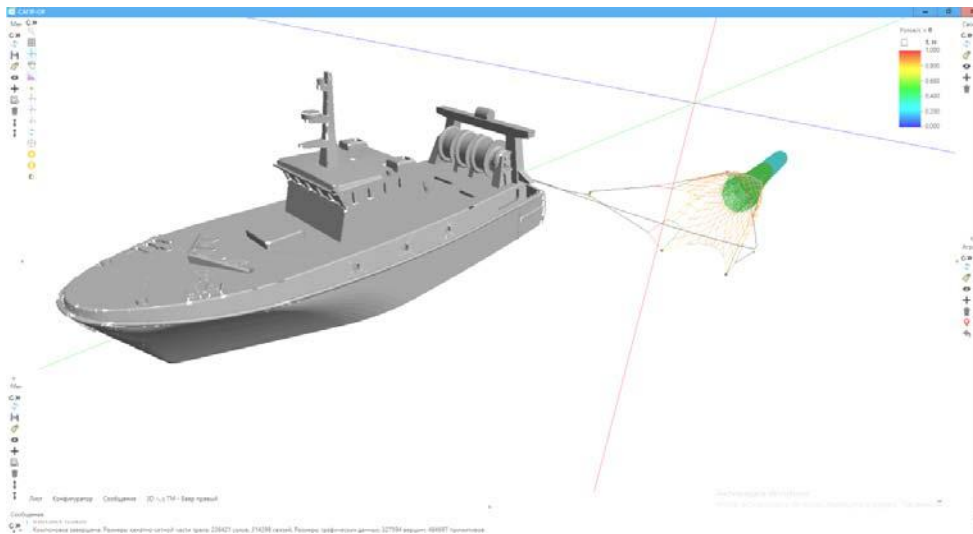


Рис. 2. «Цифровые двойники» рыболовного судна и разноглубинного трала

Fig. 2. Digital twins of a fishing vessel and a midwater trawl

В создании орудия промышленного рыболовства задействованы большие ресурсы, участвуют различные подразделения и подрядчики, поэтому важно использовать теорию мультифизического подобия [10, 11].

Следует отметить, что в настоящее время применение «цифровых двойников» в мире активно раз-

вивается, находясь на начальной стадии, поэтому российские производители систем автоматизированного проектирования (САПР) орудий рыболовства вполне могут опередить зарубежных коллег [12].

Основные этапы проектирования с применением «цифрового двойника» и эксплуатации разноглубинного трала показаны на рис. 3.

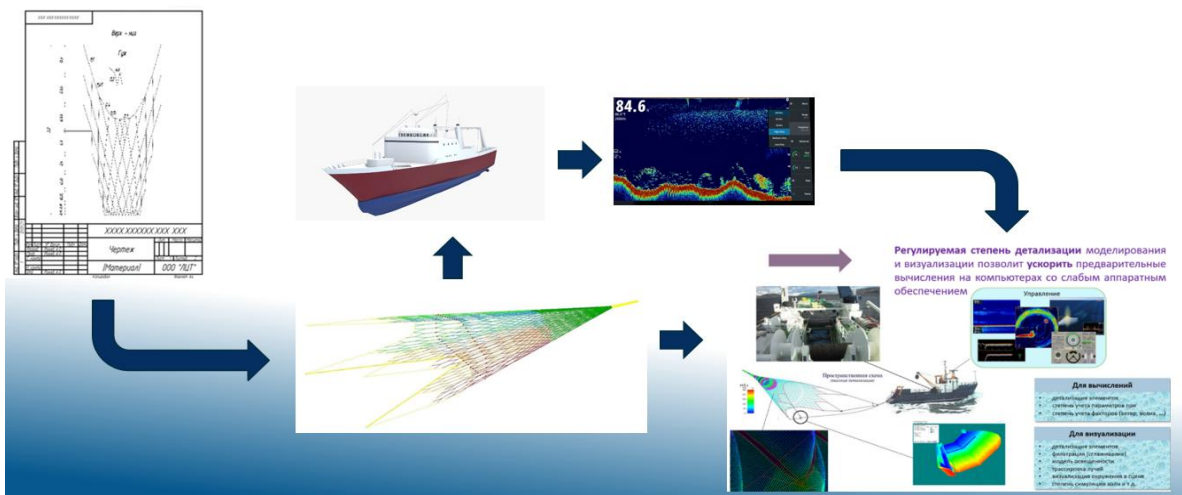


Рис. 3. Основные этапы проектирования с применением «цифровых двойников» и эксплуатации разноглубинного трала

Fig. 3. Main stages of design using digital twins and a midwater trawl

Целевой рынок САПР орудий промышленного рыболовства показан на рис. 4.

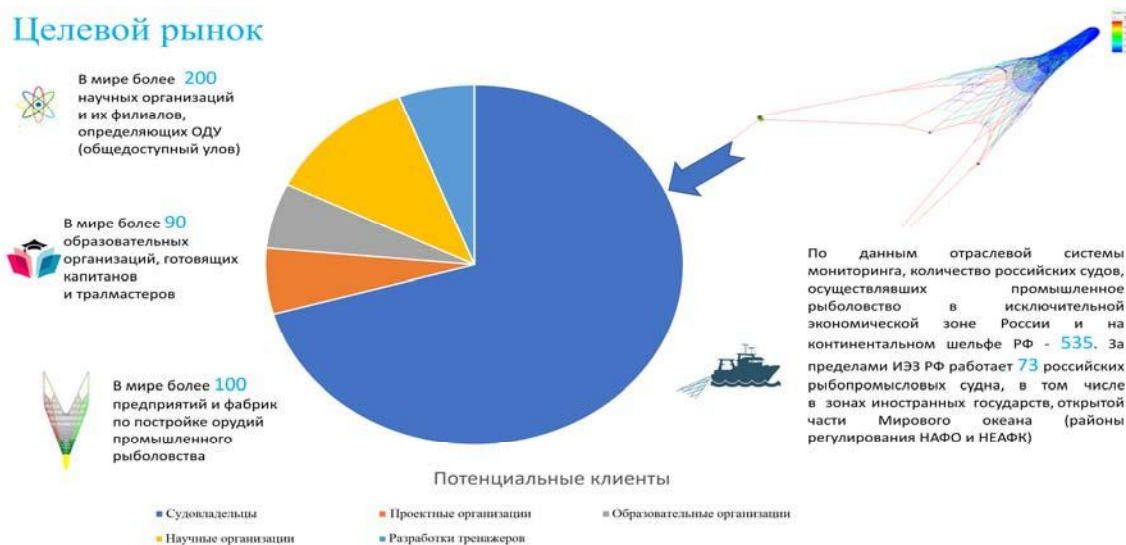


Рис. 4. Целевой рынок САПР

Fig. 4. Target market for CAD

К достоинствам САПР орудий рыболовства относятся:

- внедрение САПР на фабрики по проектированию и постройке орудий промышленного рыболовства;
- использование САПР на рыболовных судах и в организациях по подготовке и контролю промысла;
- внедрение российской САПР в учебный процесс подготовки курсантов (среднее профессиональное образование, СПО) и студентов (высшее образование, ВО);
- актуализация примерной основной образовательной программы СПО и основной образовательной программы ВО в части компетенций;
- внедрение цифровых технологий в учебный процесс;
- разработка дополнительных программ образования;
- стандартизация общих требований конструкторской документации на орудия рыболовства;
- ведение базы данных орудий рыболовства;
- совершенствование и разработка отраслевых стандартов;
- разработка 3D орудий рыболовства;
- загрузка 3D рыболовных судов в САПР;
- статика и динамика (проект) процессов эксплуатации орудий рыболовства (настройка орудий рыболовства);
- разработка тренажера эксплуатации орудий рыболовства.

Постановка задачи

Проблема проектирования орудий промышленного рыболовства решается с использованием технологий искусственного интеллекта и предсказательных моделей на нейронной сети [13–15]. Для решения обозначенной проблемы ставятся задачи

долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозирования по заданным критериям с использованием архивных данных с промысла и текущих выборок эхолокации. Определяются входные параметры нейронной сети, задаваемые пользователем (коды района промысла, трала, объекта лова, его размеры и др.); расчетные значения, вычисляемые по динамическим математическим моделям и пользовательским критериям (код места промысла, время суток и др.); выходные характеристики (величина улова, расход топлива, финансовые затраты); критерии отбора и группировки выходной информации.

Автоматизация проектирования орудий промышленного рыболовства позволит решать вопросы по определению оптимальных мест промысла с учетом энергетических и экономических затрат, собирать статистику уловов, ускорять, уточнять и упрощать ее анализ, генерировать аналитические отчеты. Важным элементом САПР являются математические модели гидробионтов, на основании которых прогнозируются уловы всех орудий промышленного рыболовства [16]. Так, к примеру, создана программа для ЭВМ для расчета гидродинамики распорных траловых досок [17]. Программа написана на языках программирования C++ и HLSL. Данная компьютерная программа позволяет решать системы дифференциальных уравнений Навье – Стокса итерационно с использованием метода покоординатного расщепления, линеаризации с получением трехдиагональных систем и их последующим решением методом прогонки.

На рис. 5 изображена траловая доска при ее буксировке в воде, точнее, имитационное моделирование процесса обтекания траловой доски потоком воды.

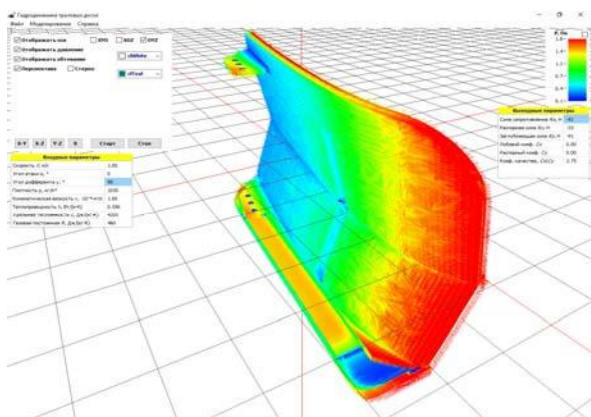


Рис. 5. «Цифровой двойник» траловой доски

Fig. 5. Digital twin of a trawl board

В вышеуказанной программе возможно моделировать любые детали и элементы орудий промышленного рыболовства. На рис. 6 изображено имитационное моделирование кухтыля в форме шара, на рис. 7 изображен процесс обтекания частицами воды крученого каната (его элемента).

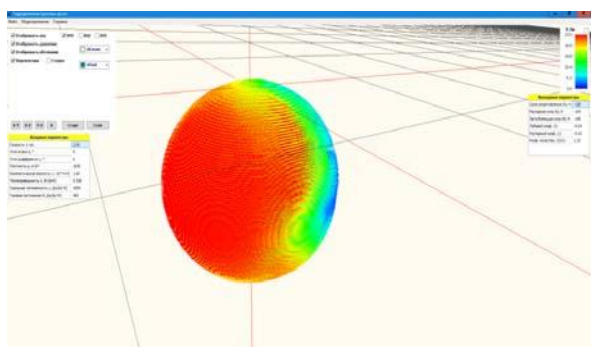


Рис. 6. «Цифровой двойник» кухтыля

Fig. 6. Digital twin of a large float

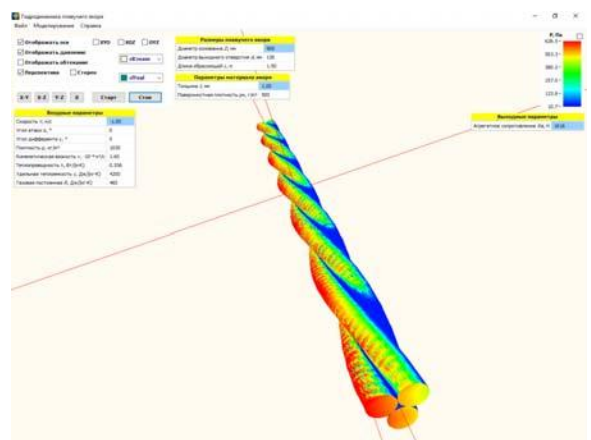


Рис. 7. «Цифровой двойник» крученого каната

Fig. 7. Digital twin of a twisted rope

Отметим, что для «цифровых двойников» нет понятия «преобладающее значение» для условий движения или эксплуатации орудий промышленного рыболовства. Дело в том, что в «цифровых двойниках» моделируются все процессы (значимые и второстепенные), т. к. на разных стадиях эксплуатации они могут поменять первостепенность. Не может идти речи о несущественности того или иного критерия подобия для управления орудиями рыболовства в 6D. Таким образом, проектирование «жизненного цикла» орудий промышленного рыболовства возможно только при использовании теории мультифизического подобия и «цифровых двойников».

Методы

Буксировочная мощность рыболовного судна (далее судна) N_b будем рассматривать как мощность траления N_s . Мощность траления, или эффективная мощность рыболовного судна, зависит от секундного расхода энергии двигателя (т. е. его мощности N_d), а также КПД двигателя η_d . При данной скорости траления v сила тяги уравнивается силой сопротивления трения, волнового и вихревого сопротивления, сопротивления воздуха, сопротивления винта, создаваемого как рыболовным судном, так и активным (буксируемым) орудием рыболовства (к примеру, тралом), что в конечном итоге при данной мощности двигателя определяет скорость траления. Грубо для рыболовного судна мощность может быть определена на стадии его проектирования в гидроканале или опытовом бассейне на моделях рыболовного судна и орудия рыболовства (трала).

Мощность траления N_s – мощность, которую необходимо затратить на преодоление сил сопротивления. Мощность траления необходимо затратить непосредственно на движение судна с заданной скоростью. Согласно определению понятия мощности, она равна

$$N_s = (R_{sh} + R_a) v, \quad (1)$$

где R_{sh} – сила сопротивления трения, волнового и вихревого сопротивления воды, сопротивления воздуха, сопротивления винта, создаваемая рыболовным судном (буксировочное сопротивление); R_a – сила сопротивления тралового комплекса (агрегатное сопротивление трала).

Так как силу сопротивления воды движению натурального судна можно определить путем измерения динамометром, включенным в буксирный канат при буксировке его со снятым движителем, то ее называют буксировочным сопротивлением R_{sh} . Для поддержания движения судна необходимо преодолеть силу буксировочного сопротивления и агрегатного сопротивления трала путем приложения равной и противоположно направленной толкающей силы, создаваемой движителем. Таким

образом, при буксировке трала на определенное расстояние совершается работа A_s . Мощность, затрачиваемая на продвижение судна, ввиду непре-

рывности процесса движения, оценивается расходом энергии E_s в единицу времени t . Эффективную и пропульсивную мощности представим на рис. 8.

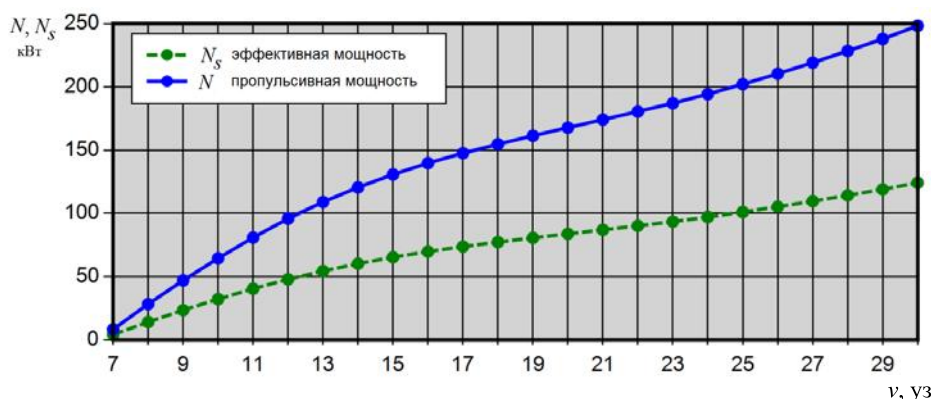


Рис. 8. Зависимости $N = f(v)$ и $N_s = f(v)$

Fig. 8. Dependencies $N = f(v)$ and $N_s = f(v)$

Важным элементом проектирования орудий промышленного рыболовства является связка с параметрами рыболовного судна, такими как мощность траления N_s и располагаемая тяга рыболовного судна P_n . Так как мощность рыболовного судна находится в прямой зависимости от мощности двигателя, разделим выражение (1) на время t процесса тралового лова (эксплуатации):

$$N_s / t = (R_{sh} + R_a) (v / t). \quad (2)$$

Так как производительность сил буксировки рыболовного судна H_s равна [18]

$$H_s = N_s / t, \quad (3)$$

а отношение $w = v / t$ представим как ускорение процесса тралового лова, тогда (2), с учетом, что производительность сил сопротивления рыболовного судна и трала H_a , примет вид

$$H_a = R_{sh} + R_a; \quad (4)$$

$$H_s = H_{sh} + H_a, \quad (5)$$

где $H_{sh} = R_{sh} w$ — производительность сил сопротивления рыболовного судна; $H_a = R_a w$ — производительность сил сопротивления трала (агрегатного сопротивления).

Представим (5) в виде

$$H_s - H_{sh} = H_a, \quad (6)$$

где $H_p = H_s - H_{sh}$ — производительность располагаемой тяги рыболовного судна (100 %), или

$$H_p = H_a. \quad (7)$$

В случае использования не 100 % располагаемой тяги рыболовного судна равенство (7) может быть представлено в виде

$$H_a = k H_p, \quad (8)$$

где k — коэффициент производительности располагаемой тяги рыболовного судна, $k \leq 1$.

Рассмотрим масштаб производительности сил, создаваемых траловой системой

$$C_H = 1, \quad (9)$$

где C_H — масштаб производительности сил.

Критерий подобия мультифизических процессов в масштабном виде в соответствии с теорией подобия соответствует критерию производительности сил Nd

$$Nd \rightarrow \frac{C_R C_w C_t}{C_N} = \frac{C_R C_v}{C_N}, \quad (10)$$

где C_R — масштаб сил; C_w — масштаб ускорения процессов тралового комплекса; C_t — масштаб времени; C_N — масштаб мощности располагаемой тяги рыболовного судна; C_v — масштаб скорости.

При этом для рыболовного судна

$$C_H = C_N / C_t, \quad (11)$$

для траловой системы

$$C_H = C_R C_w = C_m C_w^2, \quad (12)$$

где C_m — масштаб массы.

Необходимо отметить, что при изменении параметров орудий промышленного рыболовства в течение времени (переходные процессы, спуск и выборка орудий промышленного рыболовства и т. п.) нет необходимости пересчитывать масштабы подобия, т. к. они в динамике остаются равными и не зависят от продолжительности процесса во времени.

Для обеспечения подобия необходимо задаться линейным масштабом C_t . В некоторых случаях возможно задаваться и другими масштабами подобия. Так, к примеру, из выражения масштаба скорости

$$C_v = C_l^{-1/4}$$

получим

$$C_l = C_R^{2/3};$$

$$C_l = C_R^{-4},$$

или

$$C_R^{2/3} = C_v^{-4} \Rightarrow C_R = C_v^{-6}.$$

По аналогии выполним те же действия для выражения масштаба сил C_R через масштаб массы C_m :

$$C_R = C_m^{1/2},$$

и для выражения масштаба эффективной (полезной) мощности рыболовного судна (лодки и другого плавсредства) C_N :

$$C_R = C_N^{6/5}. \quad (13)$$

Выраженный через соответствующие масштабы масштаб сил C_R позволяет обосновывать необходимые проектные характеристики тралового или другого активного комплекса. Вышеуказанные действия при необходимости возможно выполнять и с другим масштабом, отличным от C_R , к примеру масштаб мощности C_N в зависимости от масштаба скорости C_v :

$$C_N = C_v^{-5}.$$

Следует отметить, что решение задач проектирования орудий промышленного рыболовства с учетом (1)–(12) базируется на условиях полного подобия, которое необходимо при использовании «цифрового двойника». Возможность отклонения от ряда требований геометрического и силового подобия управляется величиной масштабного эффекта, величина которого по искомым проектным характеристикам прогнозируема.

В «цифровых двойниках» моделируются все процессы, т. к. на разных стадиях эксплуатации они могут поменять первостепенность. Зная C_l , из приведенных формул можно определить все масштабы, причем возможно первоначально задать силовой масштаб C_R , а далее из (13) определить значение C_l и все остальные масштабы. Также можно задать любой необходимый масштаб, а затем найти значение C_l и другие масштабы.

Результаты и обсуждение

В процессе проектирования орудий промышленного рыболовства необходимо использовать математический аппарат, а именно математические, имитационные и предсказательные модели процессов эксплуатации орудий промышленного рыболовства. В процессе проектирования необходимо использовать теорию мультифизического подобия орудий и процессов рыболовства. Важно понимать, что все процессы эксплуатации орудий промышленного

рыболовства описать математически и имитационно невозможно, т. к. такие процессы очень сложны в описании. Это такие процессы, как спуск и выборка трала, выборка кошелькового невода (движение на поверхности неводовыборочного барабана слоев сетной части невода и др.), выборка донного невода и другие динамические процессы, не говоря уже о процессах износа и т. п., которые протекают в заданные промежутки эксплуатации орудий промышленного рыболовства. При этом все критерии подобия известны и представлены в индикаторном виде, и в этой связи теория мультифизического подобия обеспечивает схожесть процессов, протекающих в натурном орудии рыболовства и его модели. С помощью симуляции процессов возможно добиться наилучших результатов проектирования орудий промышленного рыболовства.

«Цифровые двойники» позволяют обеспечить оптимальные варианты проектов орудий промышленного рыболовства, критерии оптимизации позволяют достичь максимального соответствия поставленным требованиям.

Производительность сил рыболовной единицы, которой является рыболовное судно, промысловый механизм и орудие промышленного рыболовства, сопряжена с КПД [18]. Таким образом, увеличение КПД или производительности лова возможно при проектировании эффективных орудий промышленного рыболовства на основании теории мультифизических процессов и «цифровых двойников». Математические модели орудий и процессов рыболовства, используемые при проектировании, являются адекватными, они получены теоретическими и экспериментальными методами [19, 20].

Заключение

Изложенная теория находит применение при решении различных задач промышленного рыболовства. Эти задачи можно разделить на два класса: задачи, связанные с проектированием орудий промышленного рыболовства, и задачи, связанные с их эксплуатацией. В обоих случаях теория подобия позволяет еще на стадии проектирования проанализировать взаимозависимость параметров, характеризующих данную систему (к примеру, траловую систему), и выбрать их так, чтобы обеспечить максимальную эффективность орудия промышленного рыболовства в процессе его эксплуатации.

При решении задач проектирования теория подобия позволяет:

– обосновать характеристики орудий промышленного рыболовства, связанные с его размерами, сопротивлением, скоростью движения (движения водных масс для пассивных орудий рыболовства и ловушек), исходя из обеспечения маневренных качеств траловой системы и других систем при известных энергетических и мощностных характеристиках рыболовного судна и ваерной лебедки и других промысловых механизмов;

– обосновать характеристики ваерной лебедки и других промысловых механизмов, обеспечивающие заданные режимы выполнения промысловых операций (к примеру, спуск/подъем трала) известных конструкций;

– обосновать характеристики рыболовного судна, исходя из обеспечения рациональной эксплуатации известной (спроектированной и эксплуатируемой) конструкции орудия рыболовства при заданных режимах;

– исследовать аварийные и критические ситуации, связанные с задевом орудием рыболовства подводных преград, резким возрастанием усилий в ваерах, жгуте кошелькового невода при быстром изменении управляющих воздействий и т. п.;

– обосновать характеристики ваерной лебедки и других промысловых механизмов, а также рыболовного судна.

При решении задач эксплуатации орудий промышленного рыболовства теория позволяет:

– исследовать различные режимы спуска и подъема трала, донного невода и других орудий рыболовства при заданных энергетических и мощностных характеристиках рыболовного судна и ваерной лебедки и других промысловых механизмов;

– исследовать режимы перевода трала с одного горизонта на другой путем изменения скорости рыболовного судна (шагового отношения) или длины вытравленных ваеров (крутящего момента на барабане ваерной лебедки), а также путем одновременного проведения обеих указанных операций;

– осуществлять заранее заданные режимы движения трала или других элементов облавливающего комплекса, например проведение трала по заданной траектории с целью обхода подводной пре-

грады или облова на склоне, спуск трала с минимально допустимой горизонтальной составляющей скорости, ограничение усилий в ваерах и др.;

– решать задачи прицельного наведения трала на косяк;

– находить для тралового комплекса предельные значения различных эксплуатационных параметров (глубины хода трала, его скорости при тралении или выборке и др.);

– определять время перевода траловой системы при заданном законе управления;

– определять объем улова.

Кроме того, на базе данной теории возможно обоснованно и грамотно решать вопросы оптимизации проектирования и управления. В задачах проектирования это означает создание методики, позволяющей так выбрать конструктивные параметры орудий рыболовства, чтобы обеспечить наибольшую эффективность ее работы в процессе эксплуатации. В задачах управления это означает разработку методов наиболее рационального осуществления промысловых операций (к примеру, прицельного наведения трала на косяк, спуска или подъема трала и др.).

В статье приводится отличная от всех существующих подходов методика проектирования орудий промышленного рыболовства, основанная на использовании теории подобия мультифизических процессов, протекающих с орудиями рыболовства и их элементами на всех стадиях эксплуатации, а также «цифровых двойников» рыболовных судов (промысловых механизмов), орудий рыболовства и их элементов. Обоснован выбор критерия подобия мультифизических процессов орудий промышленного рыболовства.

Список источников

1. Баранов Ф. И. Избранные труды. Техника промышленного рыболовства. М.: Пищ. пром-сть, 1969. Т. 1. 719 с.
2. Фридман А. Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1981. 327 с.
3. Розенштейн М. М. Проектирование орудий рыболовства: учеб. М.: Колос, 2009. 400 с.
4. Левченко С. В. Гибридная модель процесса лова атлантической сельди разноглубинным тралом // Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та. 2010. № 20. С. 187–194.
5. Левченко С. В. Гибридная модель процесса лова окуня-клевача в море Ирмингера // Рыбное хозяйство. 2012. № 3. С. 94–97.
6. Альтшуль Б. А., Фридман А. Л. Динамика траловой системы. М.: Агропромиздат, 1990. 237 с.
7. Недоступ А. А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2012. № 3 (19). С. 55–67.
8. Недоступ А. А. Физическое моделирование орудий и процессов рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2012. 375 с.
9. Недоступ А. А., Ражев А. О. Производительность сил траловой системы – II: физическое моделирование // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2021. № 3. С. 86–93.
10. Недоступ А. А., Ражев А. О. Создание правил мультифизического подобия тралового комплекса // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1, № 1. С. 132–137.
11. Недоступ А. А., Ражев А. О. Критерии мультифизического подобия тралового комплекса // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1, № 4. С. 237–242.
12. ООО «ЛЦТ»: официальный сайт. URL: <https://digitechlab.ru> (дата обращения: 12.12.2022).
13. Недоступ А. А., Ражев А. О., Насенков П. В., Коновалова К. В. Производительность сил траловой системы – V: предсказательное моделирование // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2022. № 2. С. 23–33.
14. Недоступ А. А., Ражев А. О. Применение нейронной сети для управления траловым промыслом // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 31–37.

15. Ражев А. О., Недоступ А. А. Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети // Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та. 2022. № 67. С. 61–70.

16. Недоступ А. А., Альтшуль Б. А., Ражев А. О., Дятченко С. В., Бедарева О. М., Багрова А. А. Математическое моделирование поведенческих характеристик стаи рыб при облове разноглубинным тралом // Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т. 4, № 4 (46). С. 181–185.

17. Недоступ А. А., Ражев А. О. Математическая модель взаимодействия распорной траловой доски с вод-

ной средой // Морские интеллектуальные технологии. 2017. Т. 1, № 3 (37). С. 154–157.

18. Недоступ А. А., Ражев А. О. Производительность сил траловой системы: постановка задачи // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2021. № 2. С. 55–65.

19. Недоступ А. А., Ражев А. О. Моделирование орудий и процессов рыболовства. Часть I: учеб. пособие. Калининград: Изд-во КГТУ, 2019. 433 с.

20. Недоступ А. А., Ражев А. О. Моделирование орудий и процессов рыболовства. Часть II: учеб. пособие. Калининград: Изд-во КГТУ, 2019. 444 с.

References

1. Baranov F. I. *Izbrannye trudy. Tekhnika promyshlennogo rybolovstva* [Selected works. Industrial fishing technique]. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1969. Vol. 1. 719 p.

2. Fridman A. L. *Teoriia i proektirovanie orudii promyshlennogo rybolovstva* [Theory and design of tools for industrial fishing]. Moscow, Legkaia i pishchevaia promyshlennost' Publ., 1981. 327 p.

3. Rozenstein M. M. *Proektirovanie orudii rybolovstva: uchebnik* [Designing fishing tools: textbook]. Moscow, Kolos Publ., 2009. 400 p.

4. Levchenko S. V. Gibridnaia model' protsessa lova atlanticheskoi sel'di raznoglubinnym tralom [Hybrid model of fishing Atlantic herring with mid-depth trawl]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, no. 20, pp. 187-194.

5. Levchenko S. V. Gibridnaia model' protsessa lova okunia-kliuvacha v more Irmingera [Hybrid model of fishing beaked perch in Irminger Sea]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2012, no. 3, pp. 94-97.

6. Al'tshul' B. A., Fridman A. L. *Dinamika tralovoi sistemy* [Dynamics of trawl system]. Moscow, Agropromizdat, 1990. 237 p.

7. Nedostup A. A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniia orudii rybolovstva [Physical modeling of hydrodynamic processes of movement of fishing gear]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*, 2012, no. 3 (19), pp. 55-67.

8. Nedostup A. A. *Fizicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva: monografiia* [Physical modeling of fishing tools and processes: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2012. 375 p.

9. Nedostup A. A., Razhev A. O. Proizvoditel'nost' sil tralovoi sistemy – II: fizicheskoe modelirovanie [Productivity of the trawl system – II: physical modeling]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2021, no. 3, pp. 86-93.

10. Nedostup A. A., Razhev A. O. Sozdanie pravil mul'tifizicheskogo podobiiia tralovogo kompleksa [Creating rules for multiphysical similarity of trawl complex]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2021, vol. 1, no. 1, pp. 132-137.

11. Nedostup A. A., Razhev A. O. Kriterii mul'tifizicheskogo podobiiia tralovogo kompleksa [Criteria for multiphysical similarity of trawl complex]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2021, vol. 1, no. 4, pp. 237-242.

12. *ООО «LTS»: ofitsial'nyi sait* [LCT, LLC: official website]. Available at: <https://digitechlab.ru> (accessed: 12.12.2022).

13. Nedostup A. A., Razhev A. O., Nasenkov P. V., Konovalova K. V. Proizvoditel'nost' sil tralovoi sistemy – V: predkazatel'noe modelirovanie [Productivity of trawl system – V: predictive modeling]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2022, no. 2, pp. 23-33.

14. Nedostup A. A., Razhev A. O. Primenenie neironnoi seti dlia upravleniia tralovym promyslom [Application of neural network to control trawl fishing]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2021, no. 1, pp. 31-37.

15. Razhev A. O., Nedostup A. A. Razrabotka metodov upravleniia tralovym kompleksom s primeneniem predkazatel'nogo modelirovaniia na neironnoi seti [Developing methods of controlling trawl complex using predictive modeling on neural network]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2022, no. 67, pp. 61-70.

16. Nedostup A. A., Al'tshul' B. A., Razhev A. O., Diatchenko S. V., Bedareva O. M., Bagrova A. A. Matematicheskoe modelirovanie povedencheskikh kharakteristik stai ryb pri oblove raznoglubinnym tralom [Mathematical modeling of behavioral characteristics of fish school in fishing with mid-water trawl]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2019, vol. 4, no. 4 (46), pp. 181-185.

17. Nedostup A. A., Razhev A. O. Matematicheskaia model' vzaimodeistviia raspornoii tralovoi doski s vodnoi sredoi [Mathematical model of interaction of spacer trawl door with aquatic environment]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2017, vol. 1, no. 3 (37), pp. 154-157.

18. Nedostup A. A., Razhev A. O. Proizvoditel'nost' sil tralovoi sistemy: postanovka zadachi [Productivity of trawl system: problem statement]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2021, no. 2, pp. 55-65.

19. Nedostup A. A., Razhev A. O. *Modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva. Chast' I: uchebnoe posobie* [Modeling fishing tools and processes. Part I: tutorial]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2019. 433 p.

20. Nedostup A. A., Razhev A. O. *Modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva. Chast' II: uchebnoe posobie* [Modeling fishing tools and processes. Part II: tutorial]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2019. 444 p.

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Алексеевич Недоступ – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой промышленного рыболовства; Калининградский государственный технический университет; nedostup@klgtu.ru

Alexander A. Nedostup – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Commercial Fishery; Kaliningrad State Technical University; nedostup@klgtu.ru

Алексей Олегович Ражев – кандидат технических наук; ведущий научный сотрудник; Калининградский государственный технический университет; progacpp@live.ru

Alexey O. Razhev – Candidate of Technical Sciences; Leading Researcher; Kaliningrad State Technical University; progacpp@live.ru

