

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СИЛ ТРАЛОВОЙ СИСТЕМЫ – II: ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

*А. А. Недоступ, А. О. Ражнев*

*Калининградский государственный технический университет,  
Калининград, Российская Федерация*

Данная статья является продолжением научных изысканий и обоснований возможности технологий искусственного интеллекта для задач предсказательного моделирования поведения траловой системы в процессе лова на самообучающейся нейронной сети. Введено определение производительности сил: вторая производная работы этих сил по времени. Промежуточным результатом проектирования траловой системы является проект – целостная совокупность характеристик, описанных в форме, пригодной для ее эксплуатации с заданной производительностью сил. Для перехода к предсказательному моделированию необходимо определить масштабы подобия траловой системы в разных областях ее взаимодействия. Возникает междисциплинарность, которая проявляется в постановке проблем, в подходах к их решению, в выявлении связей между теориями, в формировании новых дисциплин. Междисциплинарность позволяет проводить исследования с траловой системой в ее целостности, объединять данные различных дисциплин (гидромеханики, электродинамики, термодинамики, акустики, оптики и др.), приводит к возникновению новых постулатов и законов, синтезирующих научные знания, необходимые для самообучающейся нейронной сети управления процессом тралового лова. Для объединения знаний выбрана теория подобия как метод математического моделирования, основанный на переходе от обычных физических величин, влияющих на моделируемую систему, к обобщенным величинам, составленным из исходных физических величин, но в определенных сочетаниях, которые зависят от конкретной природы исследуемого процесса. Комплексный характер этих величин имеет глубокий физический смысл отражения взаимодействия различных влияний. Теория подобия изучает методы построения и применения этих переменных и используется в тех случаях математического моделирования, когда аналитическое решение математических задач моделирования невозможно из-за сложности и требований к точности. Теория подобия применяется в этих случаях для синтеза соотношений, получаемых на основе физического механизма изучаемого процесса и данных численного решения или эксперимента.

**Ключевые слова:** траловая система, физическое моделирование, критерии подобия, теория, производительность сил.

**Для цитирования:** Недоступ А. А., Ражнев А. О. Производительность сил траловой системы – II: физическое моделирование // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 3. С. 86–93. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-3-86-93.

### **Введение**

В продолжение научных изысканий и обоснований возможности использования технологий искусственного интеллекта для задач предсказательного моделирования поведения траловой системы (ТС) в процессе лова на самообучающейся нейронной сети введем определение производительности сил (ПС) – «вторая производная работы этих сил по времени». Промежуточным результатом проектирования ТС является проект как целостная совокупность характеристик, описанных в форме, пригодной для ее эксплуатации с заданной производительностью сил.

Запишем главные постулаты.

*Постулат 1.* Дифференциальный закон движения описывает взаимосвязь между приложенным к материальной точке квадратом силы и получающейся от этого производительностью сил этой точки. Масса материальной точки при этом полагается величиной постоянной во времени и не зависящей от каких-либо особенностей ее движения и взаимодействия с другими телами (второй закон Ньютона).

*Постулат 2.* Производительность сил, действующих на материальную точку, равна второй производной работы этих сил по времени.

*Постулат 3.* Производительность сил одной природы, действующих на материальную точку, суммируется. Производительность системы сил разной природы, действующих на систему, состоящую из материальных точек, называется производительностью сил системы (технической, биологической и др.).

Существует производительность сил механических, электродинамических, термодинамических, акустических, оптических, биологических, химических и др.

Производительность сил ТС напрямую связана с ее КПД  $\eta$ . Коэффициент полезного действия – характеристика эффективности ТС в отношении преобразования или передачи энергии – определяется отношением полезной энергии к полной. Для оценки КПД ТС используется отношение полезной производительности сил к суммарной производительности сил системы.

Отметим, что две ТС подобны при условии

$$\eta_m = \eta_n, \quad (1)$$

где  $\eta_m$  – КПД модели ТС;  $\eta_n$  – КПД натурной ТС.

Для перехода к предсказательному моделированию необходимо определить масштабы подобия ТС в разных областях ее взаимодействия. Возникает междисциплинарность, причем Г. Л. Тульчинский указывает, что междисциплинарность проявляется в постановке проблем, в подходах к их решению, в выявлении связей между теориями, в формировании новых дисциплин [1].

Для решения поставленной научной проблемы, безусловно, междисциплинарность может способствовать. Междисциплинарность позволяет проводить исследования с ТС в ее целостности, объединять данные различных дисциплин (гидромеханики, электродинамики, термодинамики, акустики, оптики и др.), приводит к возникновению новых постулатов и законов, синтезируя научные знания, необходимые для самообучающейся нейронной сети ТС.

Для объединения знаний воспользуемся теорией подобия, т. к. она является методом математического моделирования, основанным на переходе от обычных физических величин, влияющих на моделируемую систему, к обобщенным величинам, составленным из исходных физических величин, но в определенных сочетаниях, зависящих от конкретной природы исследуемого процесса. Комплексный характер этих величин имеет глубокий физический смысл отражения взаимодействия различных влияний. Теория подобия изучает методы построения и применения этих переменных и применяется в тех случаях математического моделирования, когда аналитическое решение математических задач моделирования невозможно из-за сложности и требований к точности. Теория подобия применяется в этих случаях для синтеза соотношений, получаемых на основе физического механизма изучаемого процесса и данных численного решения или эксперимента [2–4].

Физическое моделирование – ответственный научный метод решения, имеющий общее принципиальное и познавательное значение, но его нужно рассматривать только как исходную базу для главной задачи. Последняя состоит в фактическом определении законов природы, в отыскании общих свойств и характеристик различных классов явлений, в разработке экспериментальных и теоретических методов исследования и разрешения различных проблем, наконец, в получении систематических материалов, приемов, правил и рекомендаций для решения конкретных практических задач [5, 6]. При физическом моделировании необходимо, чтобы процессы, протекающие с моделями ТС, соответствовали натурным. Это означает, что различные характеристики движения ТС, которые имеют место в модели и в реальной системе, должны описываться одинаковыми закономерностями, хотя их численные значения могут существенно различаться. Поэтому необходимо иметь критерии, которые позволяли бы «масштабировать» реальную систему. Критерии устанавливаются в теории подобия. Рассмотрим сами подобия, встречаемые в траловых системах.

Механическое подобие – подобие механической системы, включающее в себя подобия статическое, кинематическое и динамическое. Определение таких параметров ТС, как тяговое усилие промысловых механизмов, разрывное усилие канатно-веревочных и нитевидных элементов, изгибная прочность канатно-веревочных и нитевидных изделий, размеры промысловых механизмов, скорость травления и выборки ваера, скорость траления, момент на валу лебедки, является неотъемлемой частью проектирования ТС [5, 7–9].

Гидродинамическое подобие – это подобие потоков несжимаемой жидкости, включающее в себя подобию геометрическое, статическое, кинематическое и динамическое [5–7]. Определенные такие параметры ТС, как гидродинамическое сопротивление канатно-сетной части трала, гидродинамическое сопротивление оснастки, траловых досок, ваера, распорная сила траловой доски и других элементов, является неотъемлемой частью проектирования ТС. Следует также учесть гидродинамические поля скоростей и поля давлений вблизи ТС (под водой), которые также необходимо обеспечить в критериальном виде.

Электродинамическое подобие – подобие электромагнитных явлений, электромагнитного излучения, электрического тока [10]. Основной задачей электродинамического подобия ваерных лебедок (траловых лебедок), канатно-сетных барабанов является определение силовых параметров элементов их конструкций, имеющих различные технические характеристики, что существенно усложняет теоретический анализ при проектировании. Электродинамическое подобие как метод исследования проблем потребления энергии траловых лебедок, канатно-сетных барабанов позволяет подобрать необходимые параметры промышленных механизмов. В электродинамических задачах требуется обеспечить совпадение механических и электромагнитных процессов. Определение таких параметров электрической системы промышленных механизмов ТС, как сила тока, мощность, напряжение, характеристики силовой установки, является неотъемлемой частью проектирования элементов ТС.

Термодинамическое подобие – раздел физики и физической химии, в основе которого лежит применение принципов теории подобия к расчетному определению свойств веществ. Согласно основной идее теории термодинамического подобия зависимость между физико-химическими свойствами химических соединений, выраженными в безразмерной форме, справедлива для большой совокупности подобных химических соединений. Основной задачей термодинамического подобия ТС является подобие траловых лебедок и канатно-сетных барабанов с гидравлическим приводом. Определение таких параметров термодинамической системы промышленных механизмов ТС, как давление жидкости, температура жидкости, объем жидкости, характеристики силовой установки, является неотъемлемой частью проектирования элементов ТС [11].

Акустическое подобие – подобие потоков звуковых волн в различных средах. Основной задачей акустического подобия ТС является подобие сигналов, звуковых волн, создаваемых ТС и ее элементами. Определение таких параметров ТС, как скорость распространения звуковой волны, длина звуковой волны, мощность акустического потока, является неотъемлемой частью проектирования элементов ТС.

Световое подобие – подобие светового и радиопотока. Основной задачей подобия является определение параметров источников излучения, имеющих различные технические характеристики, что существенно усложняет теоретический анализ при проектировании ТС. Важная составляющая задачи подобия светового и радиоизлучения состоит в сохранении у модели, выполненной в отличных от натуры размерах, физической природы явлений оригинала [12].

Оптическое подобие – подобие электромагнитных волн. Оптика описывает свойства света и объясняет связанные с ним явления. Основной задачей оптического подобия ТС является подобие характеристик и траекторий лучей при их прохождении сквозь ТС (отражение, преломление, реверберация, дисперсия, дифракция, интерференция, поляризация и др.). Определение таких параметров ТС, как подводное отображение ТС и ее элементов, оптическая дисперсия, является неотъемлемой частью проектирования элементов ТС.

Существует биологическое, химическое и другие виды подобия, которые в данной статье не рассматриваются.

Натурные тралы, промышленные механизмы, положения ТС, ее элементов, накопления улова и др. слишком сложны и дорогостоящи для того, чтобы их можно было всякий раз испытывать только в натуральных условиях. Кроме того, необходимость в испытании различных вариантов каждого из перечисленных выше натуральных траловых систем возникает тогда, когда самой ТС еще не существует, а именно на стадии ее проектирования и расчета. При физическом моделировании исследуемая модель обычно выполняется в меньшем масштабе, чем оригинал (натура), и воспроизводит изучаемое явление с сохранением его физической природы.

Таким образом, управление ТС возможно на основе предсказательного моделирования производительности механических, электродинамических, термодинамических, акустических, оптических и других сил и искусственного интеллекта.

### Постановка задачи

Выполнить при физическом моделировании ТС все критерии подобия (их более 70) по всем процессам нереально. В этом случае следует воспользоваться оптимизацией физического моделирования ТС. Под оптимизацией понимается процесс максимизации выгодных характеристик, соотношений (например, оптимизация производственных процессов и производства) и минимизации расходов. При физическом моделировании ТС под оптимизацией будем понимать процесс минимизации величин масштабных эффектов. Масштабный эффект – отклонение от критерия подобия (ошибка физического моделирования). Задача оптимизации физического моделирования ТС сформулирована, если заданы критерий оптимальности (экономический, технологические требования – модель ТС); варьирующие параметры (например, сопротивление, сила тока, напряжение, температура, давление, величины входных потоков в процессах добычи гидробионтов и др.), изменение которых позволяет влиять на эффективность процесса физического моделирования ТС; математические модели процессов (механического, гидродинамического, электродинамического, термодинамического, акустического, оптического); ограничения, связанные с экономическими и конструктивными условиями, возможностями экспериментального оборудования и др.

### Материалы исследования

Для минимизации масштабного эффекта принимаем, что КПД ТС  $\eta$  модели и природы равны (1). Масштаб производительности сил  $C_H$  равен [5–11]

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

где  $C_m$  – масштаб массы;  $C_w$  – масштаб ускорения;  $C_R$  – масштаб сил;  $C_p$  – масштаб импульса;  $C_j$  – масштаб рывка. При этом

$$C_H = C_p / C_t = C_A / C_t^2 = (C_R C_v) / C_t, \quad (3)$$

где  $C_p$  – масштаб мощности;  $C_t$  – масштаб времени;  $C_A$  – масштаб работы;  $C_v$  – масштаб скорости.

Исходя из (3) получим отношение

$$(C_H C_t) / (C_R C_v) = 1. \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой критерий подобия, который характеризует отношение производительности сил к изменению мощности.

Так как для любой подобной ТС необходимо соблюдать условие (1), что соответствует равенству производительности сил ТС  $C_H = 1$ , получим

$$C_t / (C_R C_v) = 1,$$

или

$$C_t = C_R C_v,$$

или

$$C_H = C_m C_w^2 = C_R C_w = 1. \quad (5)$$

Выражение (5) характеризует то, что производительности сил одной природы ТС подобны при условии равенства произведения действующих сил одной природы в ТС на ускорение у природы и модели. Следует также отметить, что закон сохранения массы должен выполняться для ТС.

Отметим, что вводимое понятие «одной природы» характеризует также междисциплинарность при рассмотрении соответствующих законов.

Выражение (5) представим в виде [1]:

$$mH = m^2 w^2 = F^2, \quad (6)$$

где  $m$  – масса;  $H$  – производительность сил;  $w$  – ускорение;  $F$  – сила.

Представим (6) в масштабном виде:

$$C_m C_H = C_R^2. \quad (7)$$

Исходя из (7) получим отношение

$$(C_m C_H) / C_R^2 = 1. \quad (8)$$

Выражение (7) представляет собой критерий подобия, или дифференциальный закон движения [13], описывающий взаимосвязь между приложенным к материальной точке квадратом силы  $F$  и получающейся от этого производительностью сил  $H$  этой точки. Или, согласно критерию подобия (8), отношения между приложенным к материальной точке квадратом силы  $F$  и производительностью сил  $H$  этой точки должны быть одинаковыми для природы и модели.

Так как обязательным условием подобия производительности сил  $C_H = 1$  является выполнение условия (1), что является одним и тем же, получаем из (8)

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

или

$$C_m = C_R^2,$$

или

$$C_R = \sqrt{C_m}.$$

В общем виде следует записать

$$C_R = \sqrt{C_m C_H}.$$

Также представим (2) в виде

$$(C_H C_P) / C_I = 1,$$

или, с учетом  $C_H = 1$ ,

$$C_P = C_I.$$

Итак, на основании подобия ТС, а это выполнение механического, гидродинамического, электродинамического, термодинамического, акустического, светового и оптического подобий, необходимо обосновать когнитивность данной научной направленности. Термин «когнитивность» также используется в более широком смысле, обозначая сам «акт» познания или само знание. В этом контексте он может быть интерпретирован в культурно-социальном смысле как обозначающий появление и «становление» знания и концепций, связанных с этим знанием, выражающих себя как в мысли, так и в действии. Когнитивная наука – совокупность наук о познании как приобретение, хранение, преобразование и использование знания живыми и искусственными системами [13].

### Результаты и их обсуждение

Для оценки производительности сил ТС  $H$ , обосновав ее через КПД ТС  $\eta$ , необходимо выразить ее для всех процессов, протекающих в ТС (внутренние и внешние) – механических, гидродинамических, электродинамических, термодинамических, акустических, световых и оптических.

На основании критерия подобия ТС (8), или дифференциального закона движения, описывающего взаимосвязь между приложенным к материальной точке квадратом силы  $F$  и получающейся от этого производительностью сил  $H$  этой точки, а также выводов масштабов подобия вышеуказанных процессов [5, 10–12], представим масштаб сил:

- механический процесс  $C_R$ ;
- гидродинамический процесс  $C_R$ ;
- электродинамический процесс  $C_R = C_I$ , где  $C_I$  – масштаб силы тока;
- термодинамический процесс  $C_R = C_K$ , где  $C_K$  – масштаб разности конечной и начальной температур;
- акустический процесс  $C_R = C_{Q\chi}$ , где  $C_{Q\chi}$  – масштаб спектральной плотности звуковой энергии;

– световой процесс  $C_R = C_{Q_s}$ , где  $C_{Q_s}$  – масштаб спектральной плотности световой и радиоэнергии излучения;

– оптический процесс  $C_R = C_{Q_e}$ , где  $C_{Q_e}$  – масштаб спектральной плотности энергии излучения.

Таким образом, выраженные масштабы сил  $C_R$  для всех процессов в рамках ТС обеспечивают междисциплинарность и когнитивность, т. к.  $C_R = C_l^{3/2}$ , где  $C_l$  – масштаб геометрических размеров ТС.

### **Заключение**

Принято определение производительности сил – «вторая производная работы этих сил по времени». Для решения поставленной научной проблемы, безусловно, междисциплинарность может способствовать. Междисциплинарность позволяет проводить исследования с траловой системой в ее целостности, объединять данные различных дисциплин (гидромеханики, электродинамики, термодинамики, акустики, оптики и др.), приводит к возникновению новых постулатов и законов, синтезируя научные знания, необходимые для самообучающейся нейронной сети траловой системы. Для объединения знаний мы воспользовались теорией подобия, т. к. она является методом математического моделирования, основанным на переходе от обычных физических величин, влияющих на моделируемую систему, к обобщенным величинам, составленным из исходных физических величин, но в определенных сочетаниях, зависящих от конкретной природы исследуемого процесса. Комплексный характер этих величин имеет глубокий физический смысл отражения взаимодействия различных влияний. Теория подобия изучает методы построения и применения этих переменных и используется в тех случаях математического моделирования, когда аналитическое решение математических задач моделирования невозможно из-за сложности и требований к точности. Теория подобия применяется в этих случаях для синтеза соотношений, получаемых на основе физического механизма изучаемого процесса и данных численного решения или эксперимента.

Выражение (4) представляет собой критерий подобия, который характеризует отношение производительности сил к изменению мощности.

Выражение (5) характеризует то, что производительности сил одной природы ТС подобны при условии равенства произведения действующих сил одной природы в ТС на ускорение у природы и модели. Следует также отметить, что закон сохранения массы должен выполняться для ТС.

Согласно критерию подобия (8) отношение между приложенным к материальной точке квадратом силы  $F$  и производительностью сил  $H$  этой точки должно быть одинаковым для природы и модели.

Для оценки КПД ТС используется отношение полезной производительности сил к суммарной производительности сил системы.

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. *Тульчинский Г. Л.* Расширение возможностей семиотического анализа: источники и содержание концепции «глубокой семиотики» // *Вопр. философии.* 2019. № 11. С. 115–125.
2. *Седов Л. И.* Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. 423 с.
3. *Гухман А. А.* Введение в теорию подобия. М.: Высш. шк., 1973. 296 с.
4. *Клайн С. Дж.* Подобие и приближенные методы. М.: Мир, 1968. 302 с.
5. *Недоступ А. А.* Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // *Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика.* 2012. № 3 (19). С. 55–67.
6. *Недоступ А. А.* Физическое моделирование орудий и процессов рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2012. 375 с.
7. *Недоступ А. А.* Критерии и масштабы динамического подобия физических процессов рыболовства // *Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та.* 2013. № 28. С. 227–235.
8. *Недоступ А. А., Насенков П. В., Ражев А. О., Коновалова К. В., Федоров С. В.* Обоснование правил подобия разрывной нагрузки рыболовных крученых изделий // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство.* 2020. № 1. С. 38–45.
9. *Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Ражев А. О., Федоров С. В.* Обоснование правил подобия изгибной жесткости рыболовных крученых изделий // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство.* 2020. № 1. С. 77–85.
10. *Недоступ А. А., Ражев А. О.* К теории электродинамического подобия промышленных механизмов // *Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та.* 2020. № 56. С. 61–70.

11. Недоступ А. А., Ражев А. О. К теории термодинамического подобия установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов // Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та. 2020. № 57. С. 40–53.
12. Недоступ А. А., Ражев А. О., Хрусталева Е. И. Обоснование масштабов подобия световых величин установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2020. № 3. С. 61–69.
13. Лакофф Дж. Когнитивное моделирование. Язык и интеллект. М.: Прогресс, 1996. 416 с.

Статья поступила в редакцию 12.11.2020

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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



## FORCES PERFORMANCE OF TRAWL SYSTEM – II: PHYSICAL MODELING

*A. A. Nedostup, A. O. Razhev*

*Kaliningrad State Technical University,  
Kaliningrad, Russian Federation*

**Abstract.** The article is a continuation of scientific research and justification of the possibility of artificial intelligence technologies for the tasks of predictive modeling of the behavior of a trawl system in the process of fishing on a self-learning neural network. The definition of the productivity of forces is introduced - the second time derivative of the work of these forces. The intermediate result of the design of the trawl system is a project - an integrated set of characteristics described in a form suitable for its operation with a given performance of forces. To proceed to predictive modeling, it is necessary to determine the extent of similarity of the trawl system in different areas of its interaction. There is inter-discipline, which is manifested in the formulation of problems, in approaches to their solution, in revealing the connections between theories, in the formation of new disciplines. Interdisciplinarity allows conducting research with the trawl system in its entirety, combining data from various disciplines (hydromechanics, electrodynamics, thermodynamics, acoustics, optics, etc.), leading to the emergence of new postulates and laws that synthesize the scientific knowledge necessary for a self-learning neural network of fishing for the trawl system. To combine the knowledge there was chosen the similarity theory as a mathematical modeling method based on the transition from ordinary physical quantities that affect the system being modeled to generalized complex-type quantities composed of original physical quantities, but in certain combinations, depending - from the specific nature of the process under study. The complex nature of these quantities has a deep physical meaning of reflecting the interaction of various influences. The similarity theory studies the methods of constructing and applying these variables and is used in cases of mathematical modeling when an analytical solution of mathematical modeling problems is impossible due to complexity and accuracy requirements. The similarity theory is used in these cases to synthesize relations obtained on the basis of the physical mechanism of the process under study and data of a numerical solution or experiment.

**Key words:** trawl system, physical modeling, similarity criteria, theory, forces performance.

**For citation:** Nedostup A. A., Razhev A. O. Forces performance of trawl system – II: physical modeling. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2021;3:86-93. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2021-3-86-93.

REFERENCES

1. Tul'chinskii G. L. Rasshirenie vozmozhnostei semioticheskogo analiza: istochniki i sodержanie kontseptsii «glubokoi semiotiki» [Expansion of possibilities of semiotic analysis: sources and content of concept of deep semiotics]. *Voprosy filosofii*, 2019, no. 11, pp. 115-125.
2. Sedov L. I. *Metody podobiia i razmernosti v mekhanike* [Similarity and dimension methods in mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 423 p.
3. Gukhman A. A. *Vvedenie v teoriu podobiia* [Introduction to theory of similarity]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 1973. 296 p.
4. Klain S. Dzh. *Podobie i priblizhennye metody* [Similarity and approximate methods]. Moscow, Mir Publ., 1968. 302 p.
5. Nedostup A. A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniia orudii rybolovstva [Physical modeling of hydrodynamic processes of fishing gear movement]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*, 2012, no. 3 (19), pp. 55-67.
6. Nedostup A. A. *Fizicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva: monografiia* [Physical modeling of fishing gear and fishing processes: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2012. 375 p.
7. Nedostup A. A. Kriterii i masshtaby dinamicheskogo podobiia fizicheskikh protsessov rybolovstva [Criteria and scales of dynamic similarity of physical processes of fishing]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 28, pp. 227-235.
8. Nedostup A. A., Nasenkov P. V., Razhev A. O., Konovalova K. V., Fedorov S. V. Obosnovanie pravil podobiia razryvnoi nagruzki rybolovnykh kruchenykh izdelii [Substantiation of rules for similarity of breaking load of fishing twisted tackles]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 1, pp. 38-45.
9. Nedostup A. A., Konovalova K. V., Nasenkov P. V., Razhev A. O., Fedorov S. V. Obosnovanie pravil podobiia izgibnoi zhestkosti rybolovnykh kruchenykh izdelii [Substantiation of rules for similarity of bending stiffness of fishing twisted tackles]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 1, pp. 77-85.
10. Nedostup A. A., Razhev A. O. K teorii elektrodinamicheskogo podobiia promyslovykh mekhanizmov [To theory of electrodynamic similarity of field mechanisms]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 56, pp. 61-70.
11. Nedostup A. A., Razhev A. O. K teorii termodinamicheskogo podobiia ustanovok zamknutogo vodosnabzheniia dlia vyrashchivaniia gidrobiontov [To theory of thermodynamic similarity of closed water supply units for growing aquatic organisms]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 57, pp. 40-53.
12. Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalev E. I. Obosnovanie masshtabov podobiia svetovykh velichin ustanovok zamknutogo vodosnabzheniia dlia vyrashchivaniia gidrobiontov [Substantiation of similarity scales of light values of recirculating aquaculture systems for hydrobionts growing]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 3, pp. 61-69.
13. Lakoff Dzh. *Kognitivnoe modelirovanie. Iazyk i intellekt* [Cognitive modeling. Language and intelligence]. Moscow, Progress Publ., 1996. 416 p.

The article submitted to the editors 12.11.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

