

## ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБОВ ПОДОБИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

*А. А. Недоступ, А. О. Ражев, Е. И. Хрусталева*

*Калининградский государственный технический университет,  
Калининград, Российская Федерация*

Рассмотрен вопрос физического моделирования акустических и гидроакустических волн, которые отражаются от гидробионтов в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), а также открытых садках аквакультуры (ОСА). Поведение гидробионтов в УЗВ и ОСА настолько сложно, что математически его трудно описать, т. к. требуется определить временные и пространственные параметры гидробионтов, соблюсти в УЗВ и ОСА условия выращивания, приближенные к естественному ареалу обитания гидробионтов, в том числе и акустический режим. Использование для расчета акустических величин имитационного и физического моделирования позволит применить машинное зрение, что позволит оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ и ОСА, повысить производительность и сократить расходы. Основной задачей подобия акустических величин в УЗВ и ОСА является определение параметров источников звука, отражающей способности гидробионтов, имеющих различные характеристики (длина, объем, плотность и др.). В задачах акустических величин требуется обеспечить совпадение механических и акустических процессов. Следует привести такие зависимые от размерных признаков объекта величины, как длину звуковой волны, звуковую мощность, звуковую энергию, интенсивность звука, скорость звука, частоту и др., к их независимому безразмерному виду. При исследовании поведения гидробионтов в УЗВ и ОСА важно учитывать механическое, гидродинамическое, электродинамическое, оптическое и световое подобия. Предложены дополнительные масштабы подобия для акустических величин, приведены методы их вычисления и графики их зависимости от геометрического масштаба  $C_1$ . Зная масштаб  $C_1$ , можно определить масштабный эффект.

**Ключевые слова:** акустические величины, масштаб, физическое подобие, установка замкнутого водоснабжения, открытый садок аквакультуры, гидробионты, поведение гидробионтов.

**Для цитирования:** Недоступ А. А., Ражев А. О., Хрусталева Е. И. Обоснование масштабов подобия акустических величин в установках для выращивания гидробионтов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 4. С. 29–36. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-29-36.

### Введение

В продолжение публикаций по теме физического подобия процессов, протекающих в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) [1, 2], обоснуем проблемы и пути решения задач физического моделирования акустических и гидроакустических волн, которые отражаются от гидробионтов в УЗВ (рис. 1) и открытых садках аквакультуры (ОСА) (рис. 2).



Рис. 1. Бассейны УЗВ для выращивания гидробионтов



Рис. 2. Автономный садок для выращивания гидробионтов

Индустриальное рыбоводство значительно отличается от традиционных способов выращивания рыбы и других гидробионтов (в прудах, озерах, пастбищного нагула в рыбохозяйственных водоемах) одним из наиболее значимых показателей – величиной рыбопродукции, получаемой с единицы объема воды или единицы площади акватории. В индустриальных рыбоводных системах, каковыми являются УЗВ и ОСА, величина рыбопродукции может достигать 100–500 кг/м<sup>2</sup> и 50–120 кг/м<sup>2</sup> соответственно, тогда как в прудовых хозяйствах этот показатель составляет 0,2–1,0 кг/м<sup>2</sup>, в озерных 0,1–0,5 кг/м<sup>2</sup>, в пастбищных водоемах – 0,0003–0,001 кг/м<sup>2</sup> [3, 4]. Поэтому садковое рыбоводство и выращивание рыбы в УЗВ являются наиболее интенсивно развивающимися направлениями товарного рыбоводства. Очевидно, что с увеличением численности населения в мире и необходимостью повышения в рационе питания людей доли белка животного происхождения интерес к этим направлениям будет возрастать.

Научные исследования, реализуемые в практике рыбоводства в УЗВ и ОСА, в основном ориентированы на оценку влияния на рыб температуры воды, содержания растворенного в воде кислорода, pH, ряда гидрохимических показателей. В определенной мере учитываются фотопериод и интенсивность освещения, в меньшей – поведение рыб. А оно разнообразно не только с учетом видовых отличий, но и сезонных, возрастных, половых и иных особенностей. Соответственно этому меняется структура обмена веществ у рыб, в том числе доля энергии пищи, направляемая на рост рыб, – важнейший рыбохозяйственный показатель, отражающий эффективность процесса выращивания рыб. Например, клариевый сом, отличающийся наибольшей скоростью роста, на этапе выращивания молоди до массы 100–150 г постоянно активен, далее большую часть времени «отдыхает» на дне или зависает в толще воды. Молодь угря в первые 4 недели круглосуточно активно плавает, далее преимущественно «отдыхает», активизируется только при кормлении. Лососевые рыбы круглые сутки совершают упорядоченное плавание стаями против часовой стрелки (в северном полушарии). Осетровые активно плавают, особенно в светлое время суток, но разнонаправленно. И таких примеров можно привести множество.

Представляется очевидным, что знание особенностей поведения рыб, их учет и организация рыбоводного процесса (установление разных плотностей посадки, режимов кормления и пр.) позволит выйти на более высокий уровень управляемости процессов выращивания, увеличить интенсивность роста рыб, повысить конвертируемость пищи в прирост массы рыб, добиться более высокой величины рыбопродукции. В связи с этим важным представляется выбор метода исследования временной и пространственной структуры популяции рыб, выращиваемых в бассейнах и садках. Таковым, как нам представляется, может стать метод изучения акустических и гидроакустических волн, отражающихся от рыб и других гидробионтов, выращиваемых в УЗВ и ОСА.

Акустическое подобие как метод исследования проблем отражения сигнала от гидробионтов позволяет подобрать необходимые параметры УЗВ и ОСА, это связано с характеристиками поведения гидробионтов в садках (скорость, плотность, реакция на раздражитель и др.). Условием задачи определения подобия акустических и гидроакустических величин применительно к модели УЗВ и ОСА является сохранение физической природы явлений натурального УЗВ и ОСА для основных ее подсистем, выполненных в размерах, отличных от натуральных. Таким образом, эксперименты на основе физического моделирования акустических и гидроакустических волн, отражающихся от гидробионтов в установках УЗВ и ОСА, существенно продвинут исследования в области машинного зрения, в результате чего станет возможной оптимизация технологических процессов, увеличится продуктивность бассейнов УЗВ и ОСА, а также появится возможность создавать автоматизированные УЗВ и ОСА.

### **Постановка задачи**

Обоснование правил подобия физического моделирования УЗВ и ОСА для выращивания гидробионтов является важной задачей для определения характеристик акустических величин. Исследования по изучению проблем физического моделирования акустических и гидроакустических волн, которые отражаются от гидробионтов в УЗВ и ОСА, в настоящее время не проводятся. Это связано с трудоемкостью физического моделирования процессов, связанных с поведением гидробионтов. Поведение гидробионтов в УЗВ и ОСА математически сложно описать: требуется определить временные, температурные и пространственные параметры гидробионтов и районов их обитания.

Соблюсти в УЗВ и ОСА условия выращивания, приближенные к естественному ареалу обитания гидробионтов, в том числе и акустический режим, является важнейшей задачей для

автоматизации выращивания гидробионтов, для «умных» УЗВ и ОСА. Расчет акустических величин имитационного и физического моделирования позволит применить машинное зрение, оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ и ОСА, повысить производительность и сократить расходы. Основной задачей подобия акустических величин в УЗВ и ОСА является определение параметров источников звука, отражающей способности гидробионтов, которые имеют различные характеристики (длина, объем, плотность и др.). В задачах гидроакустики требуется обеспечить идентичность модельных и натуральных механических и акустических величин. Следует привести зависимые от размерных признаков объекта величины (длину звуковой волны, звуковую мощность, звуковую энергию, интенсивность звука, скорость звука, частоту и др.) к их независимому безразмерному виду. При исследовании поведения гидробионтов в УЗВ и ОСА важно учитывать механическое, гидродинамическое, электродинамическое, оптическое и световое подобия. В статье мы предлагаем дополнительные масштабы при динамическом подобию для акустических величин, приводим методы их вычисления и графики их зависимостей от геометрического масштаба  $C_l$ .

На основании [5, 6] приведем основные масштабы характеристик гидробионтов (табл. 1).

Таблица 1

Масштабы характеристик гидробионтов

Физические характеристики гидробионта	Обозначение	Преобразование через масштаб $C_l$
Геометрические параметры: длина, высота, ширина и др.	$C_l$	$C_l$
Геометрический параметр: площадь сечения	$C_F$	$C_l^2$
Геометрический параметр: объем тела	$C_V$	$C_l^3$
Масса гидробионта	$C_m$	$C_l^3$
Время	$C_t$	$C_l^{5/4}$
Скорость движения	$C_v$	$C_l^{-1/4}$
Сила (рыбковая, бросковая)	$C_R$	$C_l^{3/2}$
Ускорение	$C_w$	$C_l^{-3/2}$
Объемный вес	$C_\gamma$	$C_l^{-3/2}$
Крутящий момент	$C_{Mб}$	$C_l^{5/2}$
Плотность гидробионта	$C_{\rho г}$	1
Давление	$C_p$	$C_l^{-1/2}$
Частота движения плавников и хвоста	$C_{\omega б}$	$C_l^{-5/4}$
Потенциальная энергия	$C_{Un}$	$C_l^{5/2}$
Кинематическая энергия	$C_{Tн}$	$C_l^{5/2}$
Механическая мощность	$C_N$	$C_l^{5/4}$
Угол поворота	$C_{\omega в}$	1

Рассмотрим размерности основных акустических величин (табл. 2).

Таблица 2

Размерности акустических величин

Величина	Размерность
Скорость звука	$LT^{-1}$
Частота	$T^{-1}$
Интенсивность звука (плотность потока звуковой энергии, сила звука)	$MT^{-3}$
Звуковая мощность (поток звуковой энергии)	$L^2MT^{-3}$
Звуковая энергия	$L^2MT^{-2}$
Звуковое давление	$L^{-1}MT^{-2}$
Площадь	$L^2$
Время реверберации	$T$
Колебательная скорость звука (скорость частиц)	$LT^{-1}$
Объемная скорость звука	$L^3T^{-1}$
Акустическое сопротивление	$L^{-4}MT^{-1}$
Удельное акустическое сопротивление	$L^{-2}MT^{-1}$
Механическое сопротивление	$MT^{-1}$
Коэффициент звукопоглощения	—*
Длина звуковой волны	$L$
Плотность потока энергии волн	$MT^{-3}$
Плотность звуковой энергии	$L^{-1}MT^{-2}$
Круговая частота	$T^{-1}$
Угол отражения	—
Уровень интенсивности звука	—
Уровень звукового давления	—
Уровень звуковой мощности	—
Индекс воздействия шума	—
Уровень звуковой экспозиции	—

\* «—» – размерность Дб (безразмерная единица) [7].

Найдем масштабы подобия акустических величин, исходя из данных табл. 2.

Выразим масштаб скорости звука  $C_c$  через масштаб  $C_l$ :

$$C_c = C_l C_l^{-\frac{5}{4}} = C_l^{-\frac{1}{4}}. \quad (1)$$

Это справедливо, т. к.  $C_c = C_v$ , где  $C_v$  – масштаб скорости [5, 6]. Масштаб скорости звука равен масштабу колебательной скорости (скорости частиц).

Выразим масштаб  $C_f$  частоты  $T^{-1}$  через масштаб  $C_l$ :

$$C_f = C_l^{-\frac{5}{4}}. \quad (2)$$

Масштаб  $C_{I_s}$  интенсивности звука (плотности потока звуковой энергии, силы звука)  $MT^{-3}$ :

$$C_{I_s} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (3)$$

Масштаб  $C_{P_s}$  звуковой мощности (потока звуковой энергии)  $L^2 MT^{-3}$ :

$$C_{P_s} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}. \quad (4)$$

Масштаб  $C_{W_s}$  звуковой энергии  $L^2 MT^{-2}$ :

$$C_{W_s} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} = C_l^{\frac{5}{2}}. \quad (5)$$

Масштаб  $C_{p_s}$  звукового давления  $L^{-1} MT^{-2}$ :

$$C_{p_s} = C_l^{-1} C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} = C_l^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Масштаб  $C_{V_s}$  объемной скорости звука  $L^3 T^{-1}$ :

$$C_{V_s} = C_l^3 C_l^{-\frac{5}{4}} = C_l^{\frac{7}{4}}. \quad (7)$$

Масштаб  $C_{R_s}$  акустического сопротивления  $L^4 MT^{-1}$ :

$$C_{R_s} = C_l^{-4} C_l^3 C_l^{-\frac{5}{4}} = C_l^{-\frac{9}{4}}. \quad (8)$$

Масштаб  $C_{Z_s}$  удельного акустического сопротивления  $L^{-2} MT^{-1}$ :

$$C_{Z_s} = C_l^{-2} C_l^3 C_l^{-\frac{5}{4}} = C_l^{\frac{1}{4}}. \quad (9)$$

Масштаб  $C_{R_m}$  механического сопротивления  $MT^{-1}$ :

$$C_{R_m} = C_l^3 C_l^{-\frac{5}{4}} = C_l^{\frac{7}{4}}. \quad (10)$$

Масштаб  $C_{J_s}$  плотности потока энергии волн  $MT^{-3}$ :

$$C_{J_s} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (11)$$

Масштаб  $C_{w_s}$  плотности звуковой энергии  $L^{-1} MT^{-2}$ :

$$C_{w_s} = C_l^{-1} C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} = C_l^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

### Материалы исследования

С учетом масштабов акустических величин (1)–(12) отобразим их в табл. 3.

Основные масштабы подобию акустических величин

Физические характеристики	Обозначение	Преобразование через масштаб $C_l$
Скорость звука	$C_c$	$C_l^{-1/4}$
Частота	$C_f$	$C_l^{-5/4}$
Интенсивность звука (плотность потока звуковой энергии, сила звука)	$C_{Is}$	$C_l^{-3/4}$
Звуковая мощность (поток звуковой энергии)	$C_{Ps}$	$C_l^{5/4}$
Звуковая энергия	$C_{Ws}$	$C_l^{5/2}$
Звуковое давление	$C_{ps}$	$C_l^{-1/2}$
Площадь	$C_F$	$C_l^2$
Время реверберации	$C_t$	$C_l^{5/4}$
Колебательная скорость звука (скорость частиц)	$C_v$	$C_l^{-1/4}$
Объемная скорость звука	$C_{Vs}$	$C_l^{7/4}$
Акустическое сопротивление	$C_{Rs}$	$C_l^{-9/4}$
Удельное акустическое сопротивление	$C_{Zs}$	$C_l^{-1/4}$
Механическое сопротивление	$C_{Rm}$	$C_l^{7/4}$
Коэффициент звукопоглощения	$C_{as}$	1
Длина звуковой волны	$C_\lambda$	$C_l$
Плотность потока энергии волн	$C_{Js}$	$C_l^{-3/4}$
Плотность звуковой энергии	$C_{ws}$	$C_l^{-1/2}$
Круговая частота	$C_\omega$	$C_l^{-5/4}$
Угол отражения	$C_{\alpha\beta}$	1
Уровень интенсивности звука	$C_{Ls}$	1
Уровень звукового давления	$C_{pA}$	1
Уровень звуковой мощности	$C_{WA}$	1
Индекс воздействия шума	$C_{Lden}$	1
Уровень звуковой экспозиции	$C_{SEL}$	1

На основании масштаба коэффициента звукопоглощения  $C_{as} = 1$ , а также масштаба плотности гидробионтов  $C_{pg} = 1$  делаем вывод, что моделями должны быть гидробионты того же вида, но измененных размеров.

Отобразим на графиках (рис. 3 и 4) зависимости  $C_c = f(C_l)$  и  $C_{Is} = f(C_l)$ .

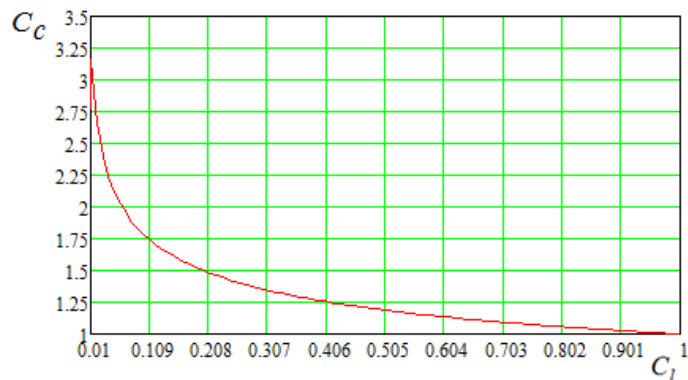


Рис. 3. График зависимости  $C_c = f(C_l)$

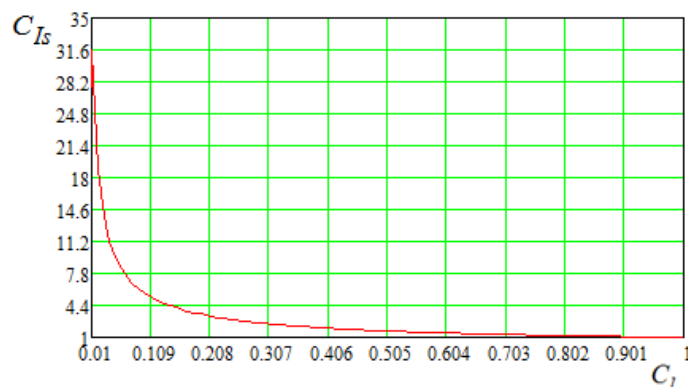


Рис. 4. График зависимости  $C_{Is} = f(C_l)$

Соблюдая масштабы подобия акустических величин (1)–(12) в УЗВ и ОСА, можно приблизить условия моделирования к условиям естественного ареала обитания гидробионтов, в том числе акустическому режиму, в результате чего получить недостающие зависимости для автоматизации выращивания гидробионтов, для «умных» УЗВ и ОСА. Предложены дополнительные масштабы при динамическом подобии для акустических величин, приводятся методы их вычисления и графики их зависимостей от геометрического масштаба  $C_l$ .

### Заключение

Предложены правила физического моделирования акустических и гидроакустических волн, которые отражаются от гидробионтов в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), а также открытых садках аквакультуры (ОСА). Использование для расчета акустических величин имитационного и физического моделирования дает возможность применить машинное зрение, что позволит оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ и ОСА, повысить производительность и сократить расходы. Предложены дополнительные масштабы подобия для акустических величин, приведены методы их вычисления и графики их зависимостей от геометрического масштаба  $C_l$ . Зная масштаб  $C_l$ , можно определить масштабный эффект.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ А. А., Ражев А. О., Хрусталеv Е. И., Бедарева О. М. К теории термодинамического подобия установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов // Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та. 2020. № 57. С. 40–53.
2. Недоступ А. А., Ражев А. О., Хрусталеv 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.
3. Хрусталеv Е. И., Хайновский К. Б. и др. Основы индустриальной аквакультуры: учеб. СПб.: Лань-Пресс, 2019. 280 с.
4. Хрусталеv Е. И., Курапова Т. М. и др. Биологические и технологические основы пастбищной аквакультуры в Калининградской области. Калининград: Изд-во КГТУ, 2015. 398 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. Горелик Г. С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. М.: Физматлит, 2007. 656 с.
8. Недоступ А. А., Ражев А. О. К теории электродинамического подобия промысловых механизмов // Изв. Калинингр. гос. техн. ун-та. 2020. № 56. С. 61–70.

Статья поступила в редакцию 24.04.2020

### 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; progacpp@live.ru.

**Хрусталеv Евгений Иванович** – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; канд. биол. наук, доцент; профессор кафедры аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов; chrustaqua@ Rambler.ru.



## SUBSTANTIATION OF SCALES OF ACOUSTIC VALUES SIMILARITY IN RECIRCULATION AQUATIC SYSTEMS FOR GROWING HYDROBIONTS

A. A. Nedostup, A. O. Razhev, E. I. Khrustalyov

Kaliningrad State Technical University,  
Kaliningrad, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to studying the problems of physical modeling of acoustic and hydroacoustic waves, which are reflected from hydrobionts in recirculation aquatic systems (RAS), as well as open aquaculture cages (OAC). The behavior of aquatic organisms in RAS and OAC is so complex that it is difficult to be described mathematically because it is necessary to determine the temporal and spatial parameters of hydrobionts and to provide favourable conditions for aquatic organisms in RAS and OAC close to the natural habitat, including the acoustic regime. The use of simulation and physical modeling for calculating the acoustic quantities will make it possible to use machine vision to and optimize technological processes, to increase the productivity of the ultrasonic and ultrasonic treatment pools, to raise productivity and to reduce costs. The aim of acoustic quantities similarity in RAS and OAC is to determine the parameters of sound sources, the reflecting ability of hydrobionts with different characteristics (length, volume, density and others). In the problems of acoustic quantities it is required to ensure the coincidence of mechanical and acoustic processes. It is necessary to reduce the quantities dependent on the dimensional attributes of the object (length of a sound wave, sound power, sound energy, sound intensity, speed of sound, frequency, etc.) to their independent dimensionless form. When studying the behavior of aquatic organisms in RAS and OAC it is important to take into account mechanical, hydrodynamic, electrodynamic, optical and light similarities. There have been proposed the additional similarity scales for acoustic values, the methods for their calculation and the graphs of their dependence on the geometric scale  $C_l$ . Knowing the scale of  $C_l$ , it is possible to determine the scale effect.

**Key words:** acoustic quantities, scale, physical similarity, recirculation aquatic system, open aquaculture cage, hydrobionts, behavior of hydrobionts.

**For citation:** Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalyov E. I. Substantiation of scales of acoustic values similarity in recirculation aquatic systems for growing hydrobionts. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020;4:29-36. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-29-36.

### REFERENCES

1. Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalyov E. I., Bedareva O. M. K teorii termodinamicheskogo podobiia ustanovok zamknutogo vodosnabzheniia dlia vyrashchivaniia gidrobiontov [On theory of thermodynamic similarity of recirculating aquatic systems for hydrobionts growing]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 57, pp. 40-53.
2. Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalyov E. I. Obosnovanie masshtabov podobiia svetovykh velichin ustanovok zamknutogo vodosnabzheniia dlia vyrashchivaniia gidrobiontov [Substantiation of scales of light values similarity in closed water supply units for growing aquatic organisms]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 3, pp. 61-69.
3. Khrustalyov E. I., Khainovskii K. B. i dr. *Osnovy industrial'noi akvakul'tury: uchebnik* [Fundamentals of industrial aquaculture: textbook]. Saint-Petersburg, Lan'-Press, 2019. 280 p.
4. Khrustalyov E. I., Kurapova T. M. i dr. *Biologicheskie i tekhnologicheskie osnovy pastbishchnoi akvakul'tury v Kaliningradskoi oblasti* [Biological and technological basis of pasture aquaculture in Kaliningrad region]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2015. 398 p.
5. Nedostup A. A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniia orudii rybolovstva [Physical modeling of hydrodynamic processes of fishing tools 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 tools and processes: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2012. 375 p.
7. Gorelik G. S. *Kolebaniia i volny. Vvedenie v akustiku, radiofiziku i optiku* [Oscillations and waves. Introduction to acoustics, radiophysics and optics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 656 p.

8. Nedostup A. A., Razhev A. O. K teorii elektrodinamicheskogo podobiiia promyslovykh mekhanizmov [On theory of electrodynamic similarity of commercial mechanisms]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 56, pp. 61-70.

The article submitted to the editors 24.04.2020

#### 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 Activities; progacpp@live.ru.

**Khrustalyov Evgeniy Ivanovich** – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Professor of the Department of Aquaculture, Biology and Diseases of Hydrobionts; chrustaqua@rambler.ru.

