

DOI: 10.24143/2073-5529-2020-3-61-69
УДК 530.17; 639.3; 628.93

ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБОВ ПОДОБИЯ СВЕТОВЫХ ВЕЛИЧИН УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

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

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Российская Федерация*

Рассматриваются проблемы физического моделирования установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) для выращивания гидробионтов, в частности тема обоснования правил подобия световых величин. Применение УЗВ требует соблюдения в них условий выращивания, приближенных к естественному ареалу обитания гидробионтов, в том числе и светового режима. Применение для расчета световых величин имитационного и физического моделирования позволит оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ, повысить производительность и сократить расходы. Основной задачей подобия световых величин УЗВ является определение параметров источников света, имеющих различные технические характеристики, что существенно усложняет теоретический анализ при проектировании УЗВ. Важная составляющая подобия световых величин состоит в сохранении у модели, выполненной в отличных от природы размерах, физической природы явлений оригинала. В задачах световых величин требуется обеспечить совпадение механических и световых процессов. Следует привести такие зависимые от размерных признаков объекта величины, как световой поток, теплоту, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, освещенность и др., к их независимому безразмерному виду. При проектировании УЗВ недостаточно масштабов физических характеристик гидродинамических и термодинамических процессов, протекающих в УЗВ при динамическом подобии, т. к. они не учитывают процессы светового потока и освещенности, протекающие в УЗВ. Предлагаются дополнительные масштабы подобия для световых величин, приводятся методы их вычисления и графики их зависимостей от геометрического масштаба C_l . Однако необходимо понимать, что достижение полного подобия принципиально невозможно, сколь бы ни был велик перечень критериев подобия. Зная масштаб C_l , возможно определить масштабный эффект.

Ключевые слова: световой поток, подобие световых величин, масштаб, физические характеристики, установка замкнутого водоснабжения.

Для цитирования: Недоступ А. А., Ражев А. О., Хрусталева Е. И. Обоснование масштабов подобия световых величин установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 3. С. 61-69. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-3-61-69.

Введение

По подсчетам ученых, к 2050 г. численность населения земного шара приблизится к 10 млрд чел., соответственно, это потребует увеличения объемов производства продуктов питания, в частности, выращивания рыбы не менее чем до 100 млн т.

Уменьшение объемов добычи рыбы в открытом море вынуждает рыболовческие хозяйства переходить на более технологичные методы разведения, которые должны повысить производительность установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) [1, 2] и сократить расходы. В настоящее время идет поиск путей увеличения производства продукции аквакультуры. Учитывая пресс антропогенного воздействия на поверхностные водоисточники, вероятный сценарий развития событий – увеличение масштабов выращиваемой рыбы в УЗВ.

Выращивание рыбы в УЗВ является одним из самых перспективных направлений в современной аквакультуре по следующим причинам:

- максимальная приближенность производства пищевой продукции к потребителю;
- экологичность выращиваемых гидробионтов, поскольку водоснабжение осуществляется из артезианских скважин;
- возможность управления процессами роста, жизнестойкости и созревания гидробионтов;
- возможность многократного использования бассейнов для выращивания гидробионтов в течение года, в основе чего лежат полицикличные технологии, неприемлемые для других направлений аквакультуры.

Несмотря на то, что УЗВ является замкнутой искусственной экосистемой, предназначенной для разведения и выращивания гидробионтов, и факторы, которыми можно управлять, регулируя биотехнический процесс, известны, имеются резервы для повышения эффективности функционирования УЗВ. Применение УЗВ требует соблюдения в них условий выращивания, приближенных к естественному ареалу обитания гидробионтов, и постоянного поддержания оптимальных параметров среды в течение всего технологического цикла.

При выращивании различных видов рыб в УЗВ одним из важных абиотических факторов, оказывающих влияние на рост и развитие рыб, является свет. Его параметрами, которые недостаточно изучены по степени влияния на гидробионты, являются фотопериод и интенсивность освещения. Современный уровень учета влияния данного фактора явно недостаточен в части учета этапов развития гидробионтов в специфичных условиях УЗВ, влияния фактора доместикиции объектов, их видовых особенностей.

Реакция многих рыб на свет меняется в зависимости от интенсивности освещения, фотопериода, его спектрального состава, а также вида и возраста рыб. Известно существенное влияние освещенности на скорость и характер формирования структурно-функциональной организации центральной нервной системы и ряда внутренних и внешних органов рыб. Применение физического моделирования [3, 4] позволит оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ, повысить их производительность и сократить расходы. На рис. 1 изображены основные технические средства УЗВ для выращивания гидробионтов. Все указанные подсистемы крайне важны для нормальной работы УЗВ.

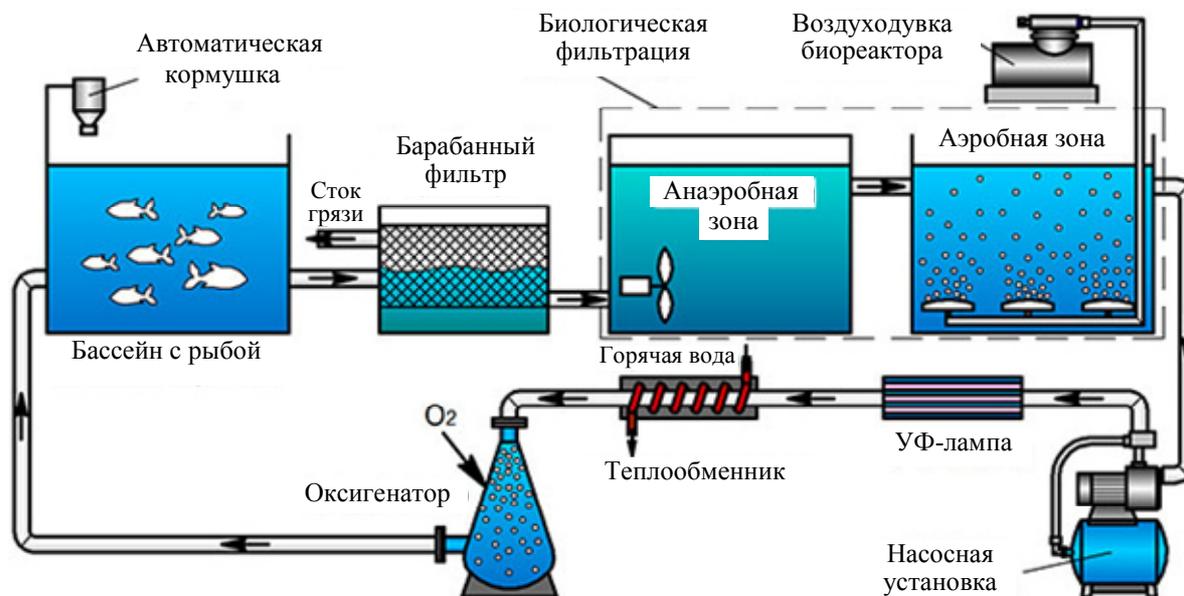


Рис. 1. Установка замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов

В УЗВ используются различные источники освещения: электролюминесцентные источники света, лампы накаливания, газоразрядные источники света, источники смешанного излучения, ультрафиолетовая лампа и др.

Применение подобия световых величин как метода исследования проблем потребления воды, электрической энергии, кислорода позволяет подобрать необходимые для увеличения производительности УЗВ параметры. Условием задачи определения светового подобия применительно к модели УЗВ является сохранение физической природы явлений натурального УЗВ для основных ее подсистем, показанных на рис. 1, выполненных в размерах, отличных от натуральных.

Постановка задачи

Обоснование правил подобия физического моделирования [3, 4] УЗВ для выращивания гидробионтов является важной задачей для определения характеристик светового потока и освещенности. Применение УЗВ требует соблюдения в них условия выращивания, приближенные к естественному ареалу обитания гидробионтов, в том числе и световой режим. Основной задачей

подобия светового потока и освещенности УЗВ является определение параметров источников света, имеющих различные технические характеристики, что существенно усложняет теоретический анализ при проектировании УЗВ. Важное условие подобия светового потока и освещенности состоит в сохранении у модели, выполненной в отличных от природы размерах, физической природы явлений оригинала. В задачах моделирования светового потока и освещенности требуется обеспечить совпадение механических и световых процессов. Следует привести такие зависимые от размерных признаков объекта величины, как световой поток, теплоту, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, освещенность и др., к их независимому безразмерному виду. При проектировании УЗВ недостаточно масштабов физических характеристик гидродинамических и термодинамических процессов, протекающих в УЗВ при динамическом подобии, т. к. они не учитывают процессы светового потока и освещенности, протекающие в УЗВ.

В табл. 1 приведены основные масштабы физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических, механических и трибологических процессов, протекающих в УЗВ.

Таблица 1

Масштабы подобия физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических, механических и трибологических процессов в УЗВ

Физические характеристики	Обозначение	Преобразование через масштаб C_l
Геометрический параметр (длина, высота, ширина и др.)	C_l	C_l
Геометрический параметр (площадь)	C_F	C_l^2
Геометрический параметр (объем)	C_V	C_l^3
Масса	C_m	C_l^3
Время	C_t	$C_l^{3/4}$
Скорость	C_v	$C_l^{-1/4}$
Сила	C_R	$C_l^{3/2}$
Ускорение	C_w	$C_l^{3/2}$
Объемный вес	C_γ	$C_l^{-3/2}$
Момент	C_{Mb}	$C_l^{3/2}$
Плотность	C_p	1
Динамическая вязкость воды	C_μ	$C_l^{3/4}$
Кинематическая вязкость воды	C_ν	$C_l^{3/4}$
Давление	C_p	$C_l^{-1/2}$
Частота оборотов	$C_{об}$	$C_l^{-3/4}$
Касательное напряжение	C_σ	$C_l^{-1/2}$
Потенциальная энергия	C_{Un}	$C_l^{3/2}$
Кинематическая энергия	C_{Tn}	$C_l^{3/2}$
Поверхностное натяжение	$C_{\sigma n}$	$C_l^{1/2}$
Мощность	C_N	$C_l^{5/4}$
Угол	$C_{\alpha\beta}$	1

В табл. 2 приведены основные масштабы физических характеристик электродинамических процессов [5], протекающих в УЗВ.

Таблица 2

Масштабы подобия физических характеристик электродинамических процессов в УЗВ

Физические характеристики	Обозначение	Преобразование через масштаб C_l
Энергия, работа, количество теплоты	$C_\varepsilon = C_A = C_Q$	$C_l^{3/2}$
Мощность	C_P	$C_l^{5/4}$
Количество электричества, электрический заряд	C_q	$C_l^{11/4}$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	C_U	$C_l^{-1/4}$
Электрическая емкость	C_C	C_l^3
Электрическое сопротивление	C_{Rc}	$C_l^{-7/4}$
Электрическая проводимость	C_G	$C_l^{7/4}$
Поток магнитной индукции	C_Φ	C_l
Магнитная индукция	C_B	C_l^{-1}
Индуктивность	C_L	$C_l^{-1/2}$
Удельное сопротивление материала	C_{pc}	$C_l^{-3/4}$
Сила тока	C_I	$C_l^{3/2}$

В табл. 3 приведены основные масштабы физических характеристик термодинамических процессов, протекающих в УЗВ [6].

Масштабы подобия физических характеристик термодинамических процессов в УЗВ

Физические характеристики	Обозначение	Преобразование через масштаб C_i
Количество теплоты	C_Q	$C_i^{5/2}$
Удельное количество теплоты	C_h	$C_i^{-1/2}$
Тепловой поток	$C_{П}$	$C_i^{5/4}$
Поверхностная плотность теплового потока	C_q	$C_i^{-3/4}$
Температуропроводность	C_a	$C_i^{3/4}$
Объемная плотность теплового потока	C_{av}	$C_i^{-7/4}$
Удельный расход топлива	C_{qfu}	$C_i^{1/2}$
Масштаб разности конечной и начальной температур	C_K	$C_i^{3/2}$
Удельная теплопроводность	C_γ	$C_i^{-5/4}$
Удельная теплоемкость	C_c	C_i^{-2}
Температурный коэффициент	C_{aT}	$C_i^{-3/2}$
Температурный градиент	C_{gradK}	$C_i^{-1/4}$
Теплоемкость	C_C	C_i
Объемная теплоемкость	$C_{c'}$	C_i^{-2}
Коэффициент лучеиспускания	C_{Ck}	$C_i^{-27/4}$
Коэффициент теплообмена	C_{Ca}	$C_i^{-9/4}$
Универсальная газовая постоянная	C_k	C_i^{-2}
Молярная масса	C_M	1
Количество вещества	C_v	C_i^3
Молярная внутренняя энергия	C_{Um}	$C_i^{1/2}$
Удельная молярная энтальпия	C_i	C_i^{-4}
Молярная теплоемкость	C_{Cm}	C_i^{-2}

Материалы исследования

Рассмотрим размерности основных световых величин светового потока, освещенности, силы света и др. [7, 8] (табл. 4).

Размерности световых величин

Величина	Размерность
Сила света	J
Световой поток	J
Световая энергия	TJ
Освещенность	$L^{-2}J$
Светимость	$L^{-2}J$
Яркость	$L^{-2}J$
Световая экспозиция	$L^{-2}TJ$
Энергия излучения	L^2MT^{-2}
Поток излучения, мощность излучения	L^2MT^{-3}
Поверхностная плотность потока излучения	MT^{-3}
Объемная плотность энергии излучения	$L^{-1}MT^{-2}$
Объемная плотность световой энергии	MT^{-3}
Энергетическая сила света (сила излучения)	L^2MT^{-3}
Энергетическая яркость	MT^{-3}
Энергетическая освещенность (облученность)	MT^{-3}
Энергетическая светимость (излучаемость)	MT^{-3}
Интегральная яркость	$L^{-2}TJ$
Спектральная плотность энергии излучения	$L^{-1}TJ$

Найдем масштабы подобия световых величин.

Выразим масштаб C_{Qe} энергии излучения L^2MT^{-2} через масштаб C_i :

$$C_{Qe} = C_1^2 C_1^3 C_1^{-10} = C_1^5. \quad (1)$$

Это справедливо, т. к. $C_{Um} = C_{Tn} = C_{\Sigma} = C_A = C_Q = C_{Qe}$.

Выразим масштаб $C_{\Phi e}$ потока излучения и мощности излучения L^2MT^{-3} через масштаб C_i :

$$C_{\Phi e} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}; \quad (2)$$

масштаб $C_{\Phi p}$ поверхностной плотности потока излучения MT^{-3} :

$$C_{\Phi p} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}; \quad (3)$$

масштаб C_{Ue} объемной плотности энергии излучения $L^{-1}MT^{-2}$:

$$C_{Ue} = C_l^{-1} C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} = C_l^{-\frac{1}{2}}; \quad (4)$$

масштаб C_{Uv} объемной плотности световой энергии MT^{-3} :

$$C_{Uv} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}; \quad (5)$$

масштаб C_{Le} энергетической силы света (сила излучения) L^2MT^{-3} :

$$C_{Le} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}; \quad (6)$$

масштаб C_{Le} энергетической яркости MT^{-3} :

$$C_{Le} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}; \quad (7)$$

масштаб C_{Ee} энергетической освещенности (облученности) MT^{-3} :

$$C_{Ee} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}; \quad (8)$$

масштаб C_{Me} энергетической светимости (излучаемости) MT^{-3} :

$$C_{Me} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (9)$$

Масштаб светового потока представим в виде

$$C_{\Phi v} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}. \quad (10)$$

Тогда масштаб силы света

$$C_{Iv} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}, \quad (11)$$

а масштаб световой энергии

$$C_{Qv} = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{2}}. \quad (12)$$

Масштаб C_{Ev} освещенности $L^{-2}J$:

$$C_{Ev} = C_l^{-2} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (13)$$

Масштаб C_{Mv} светимости $L^{-2}J$:

$$C_{Mv} = C_l^{-2} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (14)$$

Масштаб C_{Lv} яркости $L^{-2}J$:

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

Масштаб C_{Hv} световой экспозиции $L^{-2}TJ$:

$$C_{Hv} = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^{-2} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{1}{2}}. \quad (16)$$

Масштаб C_{Lv} интегральной яркости $L^{-2}TJ$:

$$C_v = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^{-2} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{1}{2}}. \quad (17)$$

Масштаб C_{Ql} спектральной плотности энергии излучения $L^{-1}TJ$:

$$C_{Ql} = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^{-1} C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{3}{4}}. \quad (18)$$

С учетом (1)–(18) в табл. 5 приведем масштабы подобия основных световых величин.

Таблица 5

Масштабы подобия основных световых величин

Физические характеристики	Обозначение	Преобразование через масштаб C_l
Сила света	C_{Iv}	$C_l^{5/4}$
Световой поток	$C_{Фv}$	$C_l^{5/4}$
Световая энергия	C_{Qv}	$C_l^{3/2}$
Освещенность	C_{Ev}	$C_l^{-3/4}$
Светимость	C_{Mv}	$C_l^{-3/4}$
Яркость	C_{Lv}	$C_l^{-3/4}$
Световая экспозиция	C_{Hv}	$C_l^{1/2}$
Энергия излучения	C_{Qe}	$C_l^{3/2}$
Поток излучения, мощность излучения	$C_{Фe}$	$C_l^{5/4}$
Поверхностная плотность потока излучения	$C_{Фp}$	$C_l^{-3/4}$
Объемная плотность энергии излучения	C_{Ue}	$C_l^{-1/2}$
Объемная плотность световой энергии	C_{Uv}	$C_l^{-3/4}$
Энергетическая сила света (сила излучения)	C_{Ie}	$C_l^{5/4}$
Энергетическая яркость	C_{Le}	$C_l^{-3/4}$
Энергетическая освещенность (облученность)	C_{Ee}	$C_l^{-3/4}$
Энергетическая светимость (излучаемость)	C_{Me}	$C_l^{-3/4}$
Интегральная яркость	C_{Lv}	$C_l^{1/2}$
Спектральная плотность энергии излучения	C_{Ql}	$C_l^{3/2}$

Отообразим на графиках (рис. 2 и 3) зависимости $C_{Iv} = f(C_l)$ и $C_{Qv} = f(C_l)$.

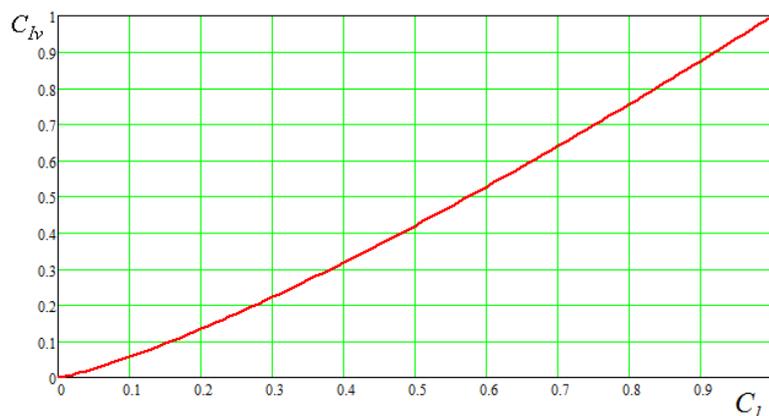


Рис. 2. График зависимости $C_{Iv} = f(C_l)$

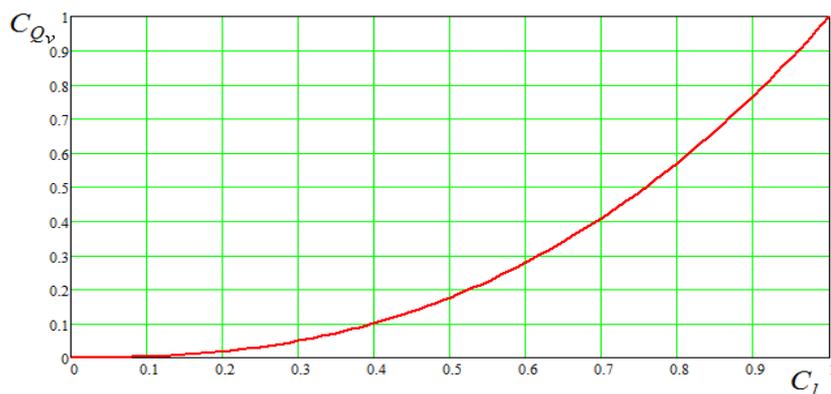


Рис. 3. График зависимости $C_{Qv} = f(C_l)$

Применение масштабов подобия световых величин (табл. 5) и теории подобия при физическом моделировании [3–6] для обоснования правил подобия световых величин позволяет без проведения натуральных экспериментов на УЗВ определять их основные свойства, необходимые для моделирования технических средств рыбоводства.

Заключение

В статье предложены дополнительные к масштабам подобия физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических, механических, трибологических, электродинамических, термодинамических процессов, происходящих в УЗВ, масштабы подобия для световых величин, необходимые для увеличения производительности УЗВ. Приводятся методы вычисления масштабов подобия для световых величин и графики их зависимостей от геометрического масштаба C_l . Таким образом, зная масштаб C_l , возможно определить масштабный эффект. Однако необходимо понимать, что достижение полного подобия принципиально невозможно, сколь бы ни был велик перечень критериев подобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрусталева Е. И. Основы индустриальной аквакультуры: учеб. СПб.: Лань-Пресс, 2019. 280 с.
2. Разведение рыбы в УЗВ. URL: http://fish-agro.ru/fish-agro/what_about/337-razvedenie-ryby-v-uzv.html (дата обращения: 02.12.2019).
3. Недоступ А. А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2012. № 3 (19). С. 55–67.
4. Недоступ А. А. Физическое моделирование орудий и процессов рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2012. 375 с.
5. Недоступ А. А., Ражева А. О. К теории электродинамического подобия промысловых механизмов // Изв. КГТУ. 2020. № 56. С. 61–70.
6. Недоступ А. А., Ражева А. О., Хрусталева 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.
7. Гуревич М. М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 272 с.
8. Учебное пособие по курсу «Основы оптики». URL: http://aco.ifmo.ru/el_books/basics_optics/glava-2/glava-2-2.html (дата обращения: 02.12.2019).

Статья поступила в редакцию 04.04.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Разев 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 LIGHT VALUES SIMILARITY OF RECIRCULATING AQUATIC SYSTEMS FOR GROWING HYDROBIONTS

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

*Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russian Federation*

Abstract. The article discusses the problems of physical modeling of recirculated aquatic systems (RAS) for cultivating hydrobionts, in particular, the problem of substantiating the rules for similarity of light quantities. The use of ultrasonic testing requires the special growing conditions that are close to the natural habitat of the aquatic organisms, including the light regime. The use of simulation and physical modeling for calculating the light quantities will make it possible to optimize technological processes, increase the productivity of ultrasonic treatment basins, increase efficiency and reduce costs. The main task of the similarity of light values of the ultrasonic ultrasound is to determine the parameters of light sources having different technical characteristics, which greatly complicates the theoretical analysis in developing the ultrasound. An important component of the similarity of light values is preserving the physical nature of the phenomena of the original in a model executed in a size different from natural. In problems of light values it is required to ensure the coincidence of mechanical and light processes. It is necessary to reduce such values, depending on the dimensional characteristics of the object, as luminous flux, heat, heat capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity, illumination, etc. to their independent dimensionless form. When designing the ultrasonic ultrasound, the scales of physical characteristics of the hydrodynamic and thermodynamic processes that occur in the ultrasound with dynamic similarity are not enough, as they do not take into account the processes of light flux and illumination that occur in the ultrasound. There have been proposed the additional similarity scales for light quantities, given methods for their calculation and graphs of their dependences on the geometric scale C_l . However, it must be understood that achieving complete similarity is fundamentally impossible, no matter how large the list of similarity criteria is. Knowing the scale of C_l , it is possible to determine the scale effect.

Key words: luminous flux, similarity of light values, scale, physical characteristics, recirculating aquatic system.

For citation: Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalyov E. I. Substantiation of scales of light values similarity of recirculating aquatic systems for growing hydrobionts // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2020;3:61-69. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-3-61-69.

REFERENCES

1. Khrustalev E. I. *Osnovy industrial'noi akvakul'tury: uchebnik* [Fundamentals of industrial aquaculture: textbook]. Saint-Petersburg, Lan'-Press, 2019. 280 p.
2. *Razvedenie ryby v UZV* [Fish farming using ultrasound]. Available at: http://fish-agro.ru/fish-agro/what_about/337-razvedenie-ryby-v-uzv.html (accessed: 02.12.2019).
3. Nedostup A. A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniia orudii rybolovstva [Physical modeling of hydrodynamic processes of movement of fishing tools]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*, 2012, no. 3 (19), pp. 55-67.

4. 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.
5. Nedostup A. A., Razhev A. O. K teorii elektrodinamicheskogo podobiiia promyslovykh mekhanizmov [To the theory of electrodynamic similarity of field mechanisms]. *Izvestiia KGTU*, 2020, no. 56, pp. 61-70.
6. Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalev E. I., Bedareva O. M. K teorii termodinamicheskogo podobiiia ustanovok zamknutogo vodosnabzheniia dlia vyrashchivaniia gidrobiontov [To the theory of thermodynamic similarity of recirculating aquatic systems for growing aquatic organisms]. *Izvestiia KGTU*, 2020, no. 57, pp. 40-53.
7. Gurevich M. M. *Fotometriia. Teoriia, metody i pribory* [Photometry. Theory, methods and instruments]. Leningrad, Energoatomizdat, 1983. 272 p.
8. *Uchebnoe posobie po kursu «Osnovy optiki»* [The textbook for the course “Principles of optics”]. Available at: http://aco.ifmo.ru/el_books/basics_optics/glava-2/glava-2-2.html (accessed: 02.12.2019).

The article submitted to the editors 04.04.2020

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 Commercial Fishery; nedostup@klgtu.ru.

Razhev Alexey Olegovich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Junior Researcher 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.

