

ИЗВЕСТИЯ

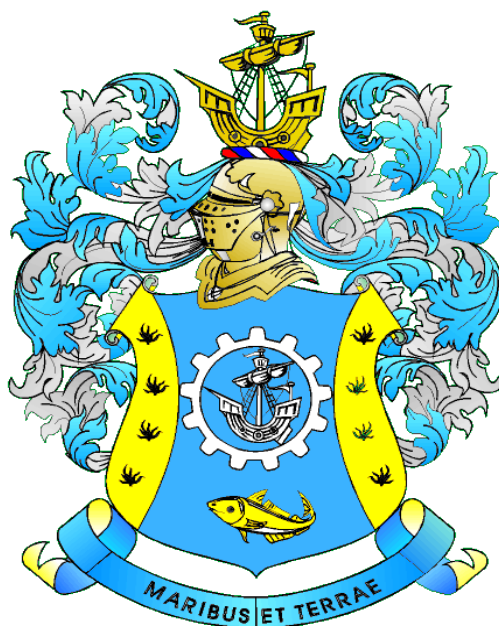
КГТУ

2023

№ 68

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных

*Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых
должны быть опубликованы основные научные результаты диссер-
таций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук*

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

"Известия КГТУ"
Учредитель: ФГБОУ ВО
"Калининградский государственный
технический университет"

Научный журнал
Основан в 2002 г.

Редакционный совет:

Главный редактор: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.
Зам. главного редактора: А. Я. Яфасов, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

- С. Т. Антипов*, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;
- В. Ф. Белей*, д-р техн. наук, проф., Калининградский государственный технический университет, заведующий кафедрой энергетики;
- О. А. Булатов*, д-р биол. наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, директор по научной работе;
- Е. А. Криксунов*, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, заведующий лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии;
- В. А. Панфилов*, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств;
- О. Я. Тимофеев*, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, декан факультета кораблестроения и океанотехники;
- Мирослав Шредер*, д-р экон. наук, проф., Гданьский университет (Польша, г. Гданьск), декан факультета управления;
- А. В. Юров*, д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет имени И. Канта, директор образовательно-научного кластера "Институт высоких технологий";
- Марек Якубовский*, д-р техн. наук, проф., Кошалинский технологический университет (Польша), профессор кафедры процессов и оборудования пищевой промышленности.

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, д-р техн. наук, доц.; *И. С. Александров*, д-р техн. наук, доц.;
М. П. Андреев, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.; *О. А. Анциферова*, д-р с.-х. наук,
доц.; *А. Г. Архипов*, д-р биол. наук, доц.; *О. О. Бабич*, д-р техн. наук, доц.;
А. С. Баркова, д-р вет. наук, доц.; *О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, проф.;
В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
Н. Л. Великанов, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Верхотуров*, д-р биол. наук, проф.;
А. А. Герасимов, д-р техн. наук, проф.; *В. И. Гнатюк*, д-р техн. наук, проф.;
Е. М. Грамузов, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Дорофеева*, д-р экон. наук, проф.;
Л. С. Дышлок, д-р техн. наук, доц.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;
А. В. Иванов, д-р экон. наук, проф.; *И. П. Корнева*, канд. техн. наук, доц.;
О. В. Кригер, д-р техн. наук, доц.; *С. Н. Лябзина*, д-р биол. наук, доц.;
О. Я. Мезенова, д-р техн. наук, проф.; *А. Г. Мнацаканян*, д-р экон. наук, проф.;
А. Б. Муромцев, д-р вет. наук, проф.; *Е. Н. Науменко*, д-р биол. наук, доц.;
В. А. Наумов, д-р техн. наук, проф.; *А. И. Притыкин*, д-р техн. наук, доц.;
Л. И. Сергеев, д-р экон. наук, проф.; *Н. Я. Синявский*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
В. А. Слежкин, канд. хим. наук, доц.; *А. В. Снытников*, д-р техн. наук, проф.;
Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф.; *В. И. Сутырин*, д-р техн. наук, доц.;
А. Б. Тристанов, канд. техн. наук, доц.; *Е. В. Ульрих*, д-р техн. наук, доц.;
Ю. А. Фатыхов, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Федоров*, д-р техн. наук, проф.;
С. В. Шibaев, д-р биол. наук, проф.

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

Адрес редакции: 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1;
тел.: (4012) 99-59-01, 99-59-10, 99-59-74; факс: (4012) 91-68-46;
сайт: www.klgtu.ru; E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

© ФГБОУ ВО "Калининградский государственный технический университет",
2023



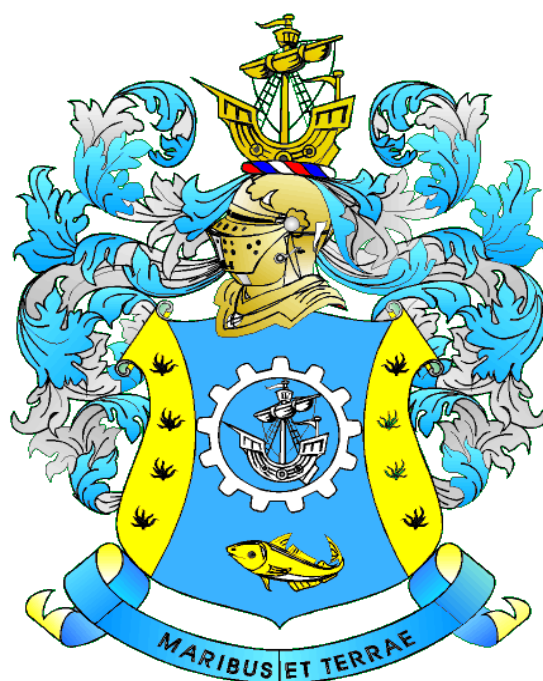
KSTU NEWS

2023

№ 68

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
"KALININGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY"

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

Included in the list of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the candidate of science degree and for the doctor of science degree should be published

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Александров С. В., Смирнова М. М., Сташко А. В.</i> Экологические условия в прибрежной зоне Куршского залива в отсутствие "гиперцветения" вод	11
<i>Верхозина Е. В., Верхозина В. А., Белых О. А.</i> Совершенствование методов квалиметрии природной питьевой воды	24
<i>Недоступ А. А., Насенков П. В., Белозер И. С.</i> Экспериментальные исследования плавучего якоря	35
<i>Пилип Л. В., Сырчина Н. В.</i> Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков	46

Техника и технология пищевых производств

<i>Аверьянова Е. В., Школьникова М. Н., Рожнов Е. Д.</i> Технологические аспекты повышения эффективности фитокомпозиции на основе флавоноидов облепихового шрота	57
<i>Воробьев В. И., Чернега О. П.</i> Получение пищевых дисперсий с использованием высокомолекулярного коллагена чешуи рыб	71
<i>Сукиасов В. Г., Федоров С. В.</i> Анализ напряженного состояния звеньев базового механизма технологической машины	80

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Вольский А. Б., Новоселов К. А.</i> Исследование возможности модернизации судовой электростанции судов иностранного производства в условиях импортозамещения	97
<i>Якута И. В.</i> Исследование влияния изменения отношений главных размеров на мореходные качества контейнеровозов	110

Естественные и математические науки

<i>Артамонов Д. А., Цибульникова А. В., Слежкин В. А.</i> Динамика отражения оксида тулия в комплексе с оксидами иттербия и висмута в видимом диапазоне длин волн	127
---	-----

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Aleksandrov S. V., Smirnova M. M., Stashko A. V.</i> Environmental conditions in the coastal zone of the Curonian Lagoon in the absence of water hyperbloom ...	11
<i>Verkhozina E. V., Verkhozina V. A., Belykh O. A.</i> Improving the methods of qualimetry of natural drinking water	24
<i>Nedostup A. A., Nasenkov P. V., Belozher I. S.</i> Experimental studies of a floating anchor	35
<i>Pilip L. V., Syrchina N. V.</i> The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia	46

Processes and technology of food manufacturing

<i>Aver'yanova E. V., Shkol'nikova M. N., Rozhnov E. D.</i> Technological aspects of improving the efficiency of phytocomposition based on sea buckthorn meal flavonoids	57
<i>Vorobyov V. I., Chernega O. P.</i> Obtaining food dispersions using high-molecular fish scale collagen	71
<i>Sukiasov V. G., Fedorov S. V.</i> The stress state analysis of the links of the technological machine basic mechanism	80

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Volskiy A. B., Novoselov K. A.</i> Study of the possibility of modernization of the ship power plant of foreign-made vessels in the conditions of import substitution	97
<i>Yakuta I. V.</i> Study of the effect of changing the ratio of main dimensions on the seaworthiness of container ships	110

Natural and mathematical sciences

<i>Artamonov D. A., Tsibul'nikova A. V., Slezhkin V. A.</i> Reflection dynamics of tellurium oxide in complex with ytterbium and bismuth oxides in the visible wavelength range	127
---	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья

УДК 574.51

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-11-23

Экологические условия в прибрежной зоне Куршского залива в отсутствие "гиперцветения" вод

Сергей Валерьевич Александров¹, Мария Максимовна Смирнова²,
Андрей Владимирович Сташко³

^{1,3} Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия

^{1,2} Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

¹hydrobio@mail.ru

Аннотация. Куршский залив Балтийского моря относится к самым высокоэвтрофным водоемам (гипертрофного типа) и имеет большое рыбохозяйственное и рекреационное значение. Прибрежная зона выполняет важные функции в экосистеме залива, включая воспроизводство рыб. Ежемесячные исследования в январе–октябре 2022 г. показали отсутствие "гиперцветения" воды. По результатам детального пространственного изучения в августе 2022 г. вдоль Куршской косы на четырех разрезах были получены биологические и гидрохимические характеристики "фоновое" состояния прибрежной зоны без неблагоприятного воздействия на окружающую среду массового развития синезеленых водорослей ("цветения" воды). Содержание кислорода (80–160 % насыщения) было благоприятным для гидробионтов, а величины БПК₅ и аммонийного азота свидетельствовали о небольшом накоплении и разложении органического вещества (в том числе биомассы водорослей). Концентрации хлорофилла "а" составляли 15–43 мкг/л, а численность сапрофитных бактерий – 9–35 тыс. КОЕ/мл. Повышенные концентрации фосфатов и хлорофилла в районе пос. Лесного, возможно, свидетельствуют о локальном антропогенном загрязнении. В прибрежной зоне в 2022 г. показатели экологического состояния по концентрации хлорофилла "а" и численности сапрофитных бактерий были характерны для преимущественно эвтрофных, α-мезосапробных, слабо или умеренно загрязненных вод. Качество их было значительно выше, чем наблюдалось в отдельные годы при "гиперцветении" залива, когда эти показатели соответствовали максимальным гипертрофному и гиперсапробному уровням, неблагоприятно воздействующим на экосистему (заболевание и гибель гидробионтов). Следовательно, в годы отсутствия летнего массового развития синезеленых водорослей и "гиперцветения" вод прибрежная зона характеризуется благоприятными условиями для рыбохозяйственного и рекреационного использования в районе национального парка (НП) "Куршская коса".

Ключевые слова: Куршский залив, прибрежная зона, качество вод, хлорофилл, бактерии, биогенные элементы, БПК₅, растворенный кислород

Благодарности: авторы выражают благодарность сотрудникам Атланти-НИРО С. Н. Архиповскому, Н. П. Дюшкову, Ю. В. Приставко за сбор проб.

Финансирование: экспедиционные исследования и гидрохимические работы выполнены в рамках госзадания ФГБНУ "ВНИРО" №076-00007-22-00, микробиологические работы – в рамках госзадания ИО РАН (тема FMWE-2021-0007).

Для цитирования: Александров С. В., Смирнова М. М., Сташко А. В. Экологические условия в прибрежной зоне Куршского залива в отсутствие "гиперцветения" вод // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 11–23. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-11-23.

Original article

Environmental conditions in the coastal zone of the Curonian Lagoon in the absence of water hyperbloom

Sergey V. Aleksandrov¹, Maria M. Smirnova², Andrey V. Stashko³

^{1,3} Atlantic branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

^{1,2} Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences

¹hydrobio@mail.ru

The Curonian Lagoon of the Baltic Sea is one of the most highly eutrophic water bodies (hypertrophic type) and is of great fishery and recreational importance. The coastal zone has the most important function in the ecosystem of the lagoon. Monthly studies in January–October 2022 showed the absence of algal “hyperbloomings”. Based on the results of a detailed spatial study in August 2022 along the Curonian Spit in 4 sections, hydrobiological and hydrochemical characteristics of the “background” state of the coastal zone were obtained without the adverse effects of Cyanobacteria blooming. The oxygen content (80–160 % saturation) was favorable for hydrobionts, while the values of BOD₅ and ammonium nitrogen indicated a slight accumulation and decomposition of organic matter (including algae biomass). The concentration of chlorophyll "a" was 15–43 µg/l, and abundance of saprophytic bacteria was 9–35 thousand CFU/ml. Increased values of phosphates and chlorophyll in the area of the set. Lesnoy, possibly indicate local anthropogenic pollution. In the coastal zone in 2022, the indicators of the ecological state corresponded mainly to eutrophic, α -mesosaprobity, low or moderately polluted waters in terms of the concentration of chlorophyll “a” and the abundance of saprophytic bacteria. The water quality was significantly higher than was observed in some years during the “hyperbloomings” of the lagoon, when these indicators corresponded to the maximum hypertrophic and hypersaprobic levels that adversely affect the ecosystem (disease and death of aquatic organisms). Consequently, in the years of absence of summer algal “hyperbloomings”, the coastal zone is characterized by favorable conditions for fishery and recreational use in the area of the Curonian Spit National Park.

Keywords: Curonian Lagoon, coastal zone, water quality, chlorophyll, bacteria, nutrients, BOD₅, dissolved oxygen

Acknowledgments: The authors are grateful to specialists of the AtlantNIRO S.N. Arkhipovsky, N.P. Dyushkov, Yu.V. Pristavko for collecting the samples.

Funding: Expedition surveys and hydrochemical research have been carried out within the framework of the government assignment of the "VNIRO" No. 076-00007-

22-00, microbiological research – within the framework of the government assignments of the IO RAS (FMWE-2021-0007).

For citation: Aleksandrov S. V., Smirnova M. M., Stashko A. V. Environmental conditions in the coastal zone of the Curonian Lagoon in the absence of water hyperbloom. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 11–23. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-11-23.

ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив Балтийского моря представляет собой крупнейшую в Европе лагуну и относится к самым высокоэвтрофным водоемам (гипертрофного типа) [1]. Он имеет важное рыбохозяйственное и рекреационное значение, в частности, на Куршской косе, отделяющей залив от моря, расположен национальный парк "Куршская коса" (список Всемирного наследия ЮНЕСКО). Прибрежная зона несет важнейшую функцию в поддержании экологического состояния Куршского залива. Малые глубины, хорошая прогреваемость и эвтрофное состояние вод создают благоприятные условия для развития прибрежно-водной растительности. Сообщества тростника обыкновенного и камыша озерного могут распространяться на расстояние от 20 до 150 м вглубь залива, формируя своеобразные прибрежные экосистемы. Заросли прибрежной зоны – место икрометания и нагула молоди и взрослых рыб, где летом концентрация ихтиопланктона в десятки–сотни раз выше, чем в открытой части [2].

В высокоэвтрофном Куршском заливе ежегодно наблюдается "цветение" воды при летнем массовом развитии синезеленых водорослей. По данным круглогодичного исследования прибрежной зоны у Куршской косы, потенциально-токсичные виды (*Planktothrix agardhii*, *Anabaena* sp. и *Microcystis* sp.) составляют значительную долю фитопланктона, особенно в июле–сентябре, превышая рекомендованный ВОЗ уровень для рекреационного использования [3]. При их разложении выделяются альготоксины (микроцистины), которые регулярно отмечаются в прибрежной зоне летом и осенью [4, 5]. "Цветение" синезеленых водорослей, включая токсичные виды, вызывает комплекс неблагоприятных последствий в экосистеме Куршского залива, в том числе заболевания в зоопланктоне и ихтиофауне [4, 6]. В отдельные годы развитие фитопланктона достигает максимального уровня "гиперцветения" вод, при котором наблюдается сгон водорослей и в район Куршской косы. На участках, покрытых зарослями макрофитов, и в небольших бухтах в этот период биомасса фитопланктона за счет накопления может достигать десятков–сотен кг/м³. В воде резко возрастают процессы разложения, формируются локальные анаэробные зоны и происходит замор рыб и других гидробионтов. Такие явления для прибрежной зоны были описаны ранее [7].

В последние годы уровень "цветений" залива снижается, в частности, в 2022 г. не наблюдалось "гиперцветения" воды и видимого скопления фитопланктона в прибрежной зоне, что может быть признаком улучшения качества вод. Целью работы были комплексное исследование Куршского залива и характеристика "фоновое" состояния прибрежной экосистемы (в том числе условий среды для развития молоди рыб) в отсутствие летнего "гиперцветения" вод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для получения данных об изменениях гидрологических и гидробиологических показателей в прибрежной зоне Куршского залива проводились ежемесячные исследования с января по октябрь 2022 г. в районе научно-экспериментальной базы (НЭБ) "АтлантНИРО" (13-й км Куршской косы). Отбор проб выполнялся на двух стандартных точках: у берега в небольшой бухте, отделенной от залива зарослями макрофитов (глубина 0,8 м), и на свале глубин в 200 м от берега (глубина 3,0 м).

Детальное пространственное исследование прибрежной зоны было проведено в летний период (11 августа 2022 г.) в юго-западной части российской акватории вдоль Куршской косы на четырех разрезах: I) от пос. Лесного, II) от научно-экспериментальной базы "АтлантНИРО", III) от музея НП "Куршская коса", IV) от пос. Рыбачьего. На каждом разрезе исследования выполнялись на трех точках, расположенных соответственно у берега (глубина 0,5–0,8 м), на свале глубин в 150–200 м от берега (глубина 1,4–3,0 м) и в открытой акватории залива в 500–600 м от берега (глубина 3,6–5,4 м).

Перед данными работами (3 августа 2022 г.) была исследована вся российская акватория Куршского залива. Для получения пространственной изменчивости показателей отбор выполнен на 11 точках.

Проводились натурные измерения и отбор проб в подповерхностном слое для определения гидрологических (температура, соленость, прозрачность), гидрохимических (рН, растворенный кислород, БПК₅, минеральные формы азота и фосфора) и гидробиологических (хлорофилл) показателей. Также в прибрежной зоне на четырех разрезах 11 августа 2022 г. отобраны пробы для определения микробиологических показателей.

Пробы воды на хлорофилл "а" фильтровали через фильтры МФАС-МА-6 и определяли оптические плотности ацетоновой вытяжки спектрофотометрическим методом на спектрофотометре LEKI SS 2109 UV согласно ГОСТ 17.1.04.02-90. Колониеобразующие единицы (КОЕ) сапрофитных бактерий подсчитывали после инкубации посевов при 37 °С согласно МУК 4.2.1884-04. Учет численности бактерий проводили по первому разведению. Содержание в воде растворенного кислорода, величины БПК₅, аммонийного азота, азота нитратов, фосфора фосфатов определяли стандартными методами [8].

Оценку загрязнения вод проводили в соответствии с нормативами предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения, указанных в приказе Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Куршский залив представляет собой мелководную лагуну (средняя глубина 3,8 м, максимальная – 5,8 м), для которой характерна выраженная сезонная динамика гидрологических и гидрохимических показателей, определяющих развитие планктонных сообществ.

Активная вегетация фитопланктона в Куршском заливе начинается после таяния и очищения водоема ото льда, в этот период может происходить интен-

сивное развитие холодноводных диатомовых водорослей, и содержание хлорофилла "а" как показатель обилия фитопланктона может превышать 100 мкг/л [9]. Зимний период 2022 г. характеризовался отсутствием полного замерзания, и пик концентраций хлорофилла "а" (70 мкг/л в открытой части и 91 мкг/л у берега) наблюдался в конце февраля, когда температура воды была 2–3 °С (рис. 1а). Развитию фитопланктона благоприятствовало высокое содержание биогенных элементов за счет зимней аккумуляции (концентрация нитратов достигала максимума – 1007 мкгN/л) (рис. 1б). Пик развития водорослей был достаточно кратковременным, и уже в марте–апреле 2022 г. концентрации хлорофилла "а" были на низком уровне, несмотря на высокое содержание минерального азота в воде. В мае концентрация хлорофилла "а" вновь увеличивалась, особенно на свале глубин до 31 мкг/л, что, вероятно, связано со сменой состава фитопланктона из-за прогрева воды до 14–15 °С. У берега концентрации хлорофилла "а" были в 2–3 раза ниже, возможно, из-за конкурентных взаимодействий с быстро растущими макрофитами (рис. 1а). Весеннее развитие фитопланктона обусловило исчерпание биогенных элементов, накопленных в зимний период, в частности, концентрация нитратов к началу июня снизилась до минимума – 3 мкгN/л, после чего оставалась в пределах 4–25 мкгN/л до конца вегетационного периода. Как следствие, в июне наблюдалось характерное сезонное уменьшение обилия фитопланктона до минимального уровня (хлорофилл "а" 5–7 мкг/л) (рис. 1).

Согласно многолетним исследованиям при прогреве воды выше 20 °С в июле в Куршском заливе начинается массовое развитие синезеленых водорослей, приводящее к длительному "цветению" воды с июня по октябрь. В отдельные годы интенсивного прогрева вод содержание хлорофилла "а" достигает величин, характерных для "гипертрофных" водоемов (более 100 мкг/л), что может приводить к скоплению и разложению фитопланктона в прибрежной зоне и замору рыб [4, 7, 9]. Лето 2022 г. характеризовалось постепенным прогревом воды до 22–23 °С в начале июля, однако особенностью было резкое последующее охлаждение вод ниже 20 °С с 10 июня по 2 августа [10], что, возможно, стало ингибирующим фактором в ключевой сезонный период, когда по многолетним данным может начинаться массовое развитие синезеленых водорослей, ведущее к "гиперцветению" вод Куршского залива.

В июле 2022 г. в прибрежной зоне Куршского залива развитие фитопланктона было низким, и концентрации хлорофилла "а" составляли 27 мкг/л на свале глубин и всего 12 мкг/л – у берега среди зарослей макрофитов. Более интенсивное развитие фитопланктона, соответствующее достаточно низкому уровню "цветения" воды, наблюдалось только в августе 2022 г., когда концентрации хлорофилла "а" на свале глубин превысили 50 мкг/л. В осенний период отмечалось постепенное снижение концентрации хлорофилла "а" до 43 мкг/л в сентябре и 28 мкг/л – в октябре, одновременно с охлаждением воды. Такое сезонное снижение соответствует ранее установленным закономерностям снижения продукции и биомассы фитопланктона, в том числе в прибрежной зоне [9]. Скопления водорослей в прибрежной зоне не наблюдалось. У берега в бухте, отделенной от залива поясом макрофитов, концентрации хлорофилла "а" в июле–сентябре 2022 г. были в 2–3 раза ниже (рис. 1а), вероятно, заросли тростника и камыша выполняли барьерную функцию, задерживающую поступление водорослей. Аналогичное более низкое обилие фитопланктона у берега, включая потенциально-токсичные синезеленые водоросли, отмечалось в районе НЭБ "АтлантНИРО" при круглогодичном мониторинге в 2020 г. [3].

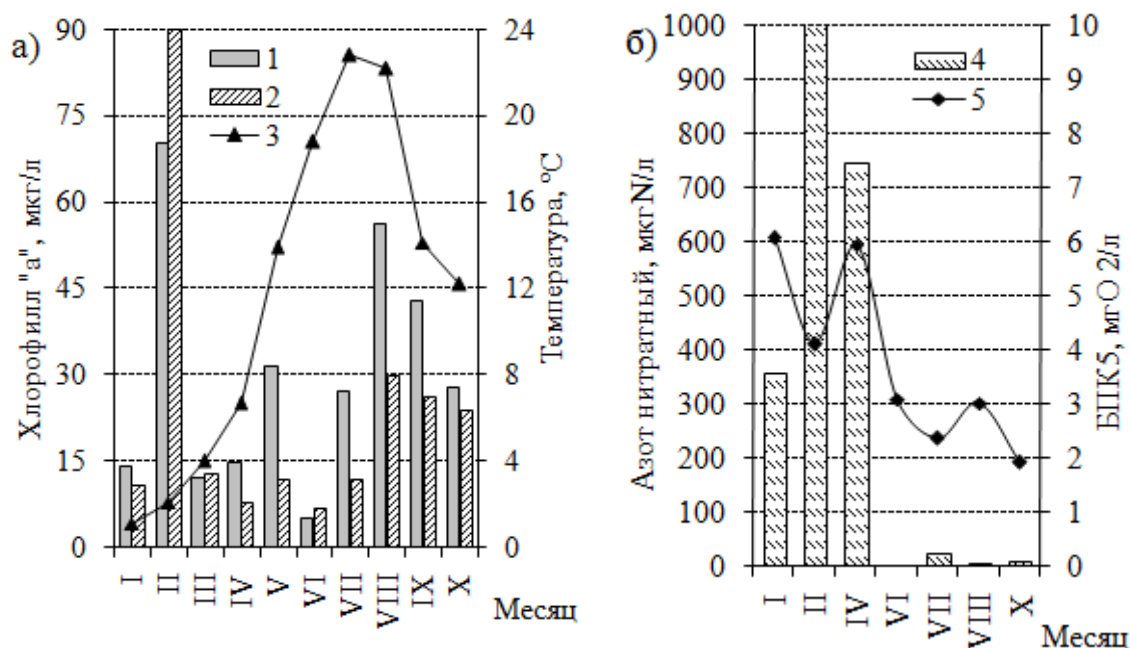


Рис. 1. Сезонная динамика хлорофилла "а" на свале глубин (а) и у берега (2), температуры воды (3), нитратного азота (4), БПК₅ (5) в прибрежной зоне в 2022 г.
 Fig. 1. Seasonal dynamics of chlorophyll "a" at the depth slope (a) and near the coast (2), water temperature (3), nitrate nitrogen (4), BOD₅ (5) in coastal zone in 2022

Изучение всей российской акватории Куршского залива 3 августа 2022 г. также показало отсутствие "гиперцветения" вод. Концентрации хлорофилла "а" в поверхностном слое не превышали 65 мкг/л с максимумом в восточной части залива (рис. 2а). Средняя концентрация хлорофилла "а" была всего 47 мкг/л, что в 3 раза ниже среднегодовой величины за 2000–2021 гг. и многократно ниже, чем в годы "гиперцветения" воды. Вдоль Куршской косы концентрация хлорофилла "а" характеризовалась средним по заливу уровнем, а в корне косы была минимальной (25 мкг/л). На всей акватории залива в фитопланктоне шел активный фотосинтез, и насыщение воды кислородом составляло 121–182 %. Концентрации нитратов, нитритов и фосфатов были на минимальном уровне (1–5 мкгN/л и 1–3 мкгP/л). Показателем низкого уровня "цветения" вод и небольшой биомассы водорослей были относительно невысокие величины БПК₅ (4,4–8,1, в среднем для акватории 6,1 мгO₂/л) для данного периода в Куршском заливе (рис. 2б), тогда как в период "гиперцветения" вод в предыдущие годы величины БПК₅ составляли 14–26, в среднем 15–21 мгO₂/л. Содержание аммонийного азота также было относительно невысоким (10–77, в среднем – 39 мкгN/л), что значительно ниже, чем наблюдается в период "гиперцветения" и последующего разложения водорослей, когда могли наблюдаться концентрации, превышающие ПДК для рыбохозяйственных водоемов (400 мкг/л).

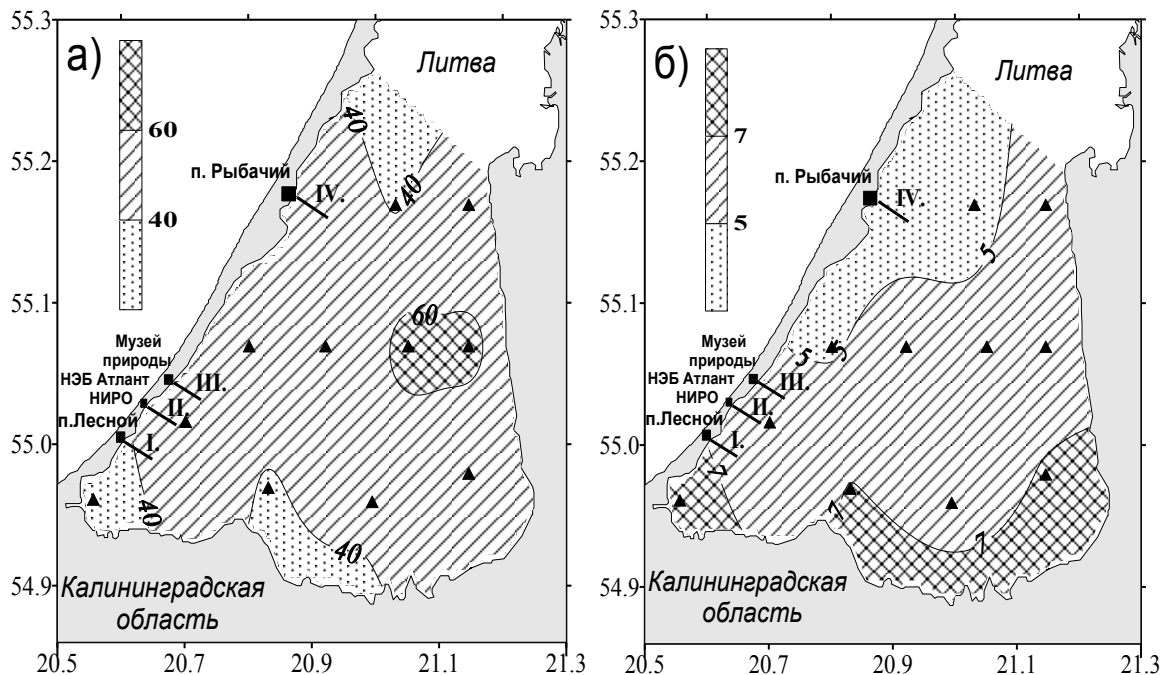


Рис. 2. Пространственное распределение хлорофилла "а" (а) и БПК₅ (б) в российской части Куршского залива в августе 2022 г. (▲ – точки мониторинга, I–IV – разрезы в прибрежной зоне)

Fig. 2. Spatial distribution of chlorophyll "a" (a) and BOD₅ (б) in the Russian part of the Curonian Lagoon in August 2022 (▲ – monitoring points, I–IV – sections in the coastal zone)

Отсутствие "гиперцветения" вод из-за относительно слабого развития фитопланктона летом 2022 г. позволило провести детальные исследования прибрежной зоны вдоль Куршской косы для характеристики ее "фоновое" состояние без неблагоприятного воздействия массового развития потенциально-токсичных синезеленых водорослей.

В период экспедиционных работ 11 августа 2022 г. наблюдался максимальный летний прогрев вод (22,0–23,6 °С), при этом разница между отдельными точками определялась динамикой суточного прогрева вод в заливе.

Концентрации хлорофилла "а" в районе исследования варьировали от 15 до 43, в среднем 26 мкг/л, что соответствует низкому уровню развития летнего фитопланктона Куршского залива (рис. 3). Наибольшие концентрации (40–43 мкг/л) отмечены у открытого берега (без зарослей макрофитов) в районе пос. Лесного и Рыбачьего, которые активно используются для рекреационных целей относительно другой прибрежной территории НП "Куршская коса". Повышенный уровень фитопланктона в этих точках, возможно, обусловлен поступлением биогенных элементов с загрязненными водами с берега. В открытой акватории были близкие значения хлорофилла "а" (21–30 мкг/л), а на свале глубин обычно отмечался промежуточный уровень между берегом и открытой акваторией. Полученный на большинстве точек диапазон хлорофилла "а" был характерен для эвтрофных вод, имеющих слабозагрязненное качество (21–40 мкг/л), а в районе пос. Лесного и Рыбачьего состояние вод

ухудшалось до эвполитрофного уровня с умеренно загрязненными водами (хлорофилл "а" 41–75 мкг/л) [11].

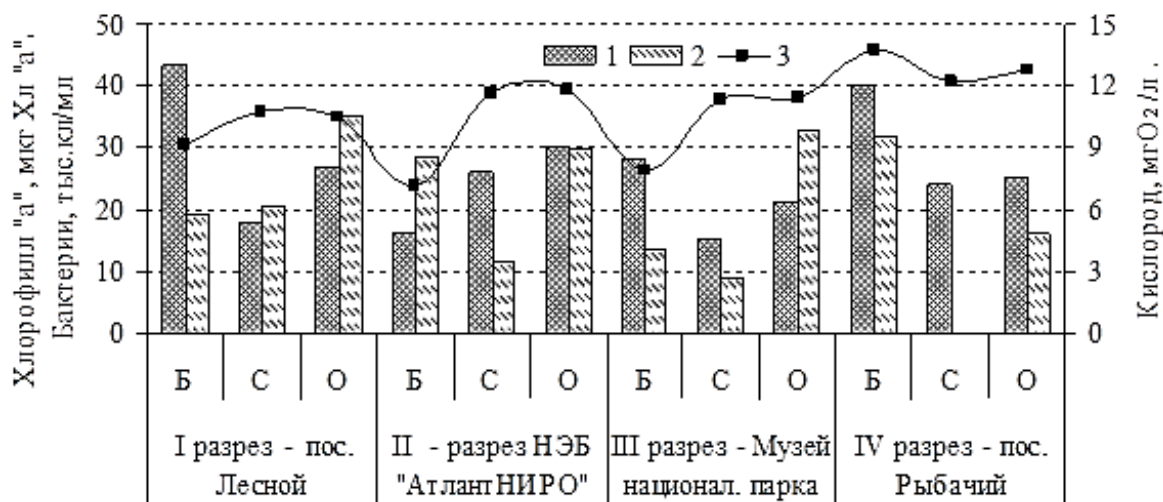


Рис. 3. Распределение хлорофилла "а" (1), сапрофитных бактерий (2) и растворенного кислорода (3) на разрезах в Куршском заливе в августе 2022 г. (Б – у берега, С – свал глубин, О – открытая акватория)

Fig. 3. Distribution of chlorophyll "a" (1), saprophytic bacteria (2) and dissolved oxygen (3) in sections in the Curonian Lagoon in August 2022 (B – near the coast, C – depth slope, O – open water area)

О возможном загрязнении свидетельствуют повышенные концентрации у берега фосфатов, которые часто поступают с бытовыми стоками. В частности, в районе пос. Лесного у берега их содержание (15 мкгР/л) было значительно выше, чем на свале глубин и в открытой акватории (1–3 мкгР/л). В то же время концентрации нитратов (1–16 мкгN/л), нитритов (1–3 мкгN/л) были низкими на всех станциях.

Результатом слабого развития фитопланктона стала достаточно высокая прозрачность воды для Куршского залива: до дна (0,6–0,8 м) в прибрежных бухтах в зарослях макрофитов и 0,8–1,0 м в открытой акватории. Величины БПК₅ составляли 3,6–7,4 мгО₂/л, при этом у берега они были не выше, чем в открытой акватории (рис. 4). Полученные величины БПК₅ превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов (2,1 мгО₂/л), что постоянно отмечается в высокоэвтрофном Куршском заливе, но были многократно ниже, чем у берега в период "гиперцветения". В результате отсутствия скопления и разложения водорослей в прибрежной зоне не формировались анаэробные условия и не было признаков гибели рыб, локально наблюдаемых ранее [4, 7, 9]. Содержание растворенного кислорода (9,11–13,73 мгО₂/л) в воде на большинстве станций превышало 100 % насыщения (104–162 %), что свидетельствовало об активном фотосинтезе водорослей. Лишь на двух станциях, расположенных в небольших бухтах, закрытых зарослями камыша и тростника, отмечался небольшой дефицит кислорода (81–91 %), но концентрации (7,15–7,85 мгО₂/л) были выше ПДК для рыбохозяйственных водоемов (6 мгО₂/л) (рис. 3). Как следствие, на всей прибрежной акватории были благоприятные кислородные условия для рыб и других гидробионтов.

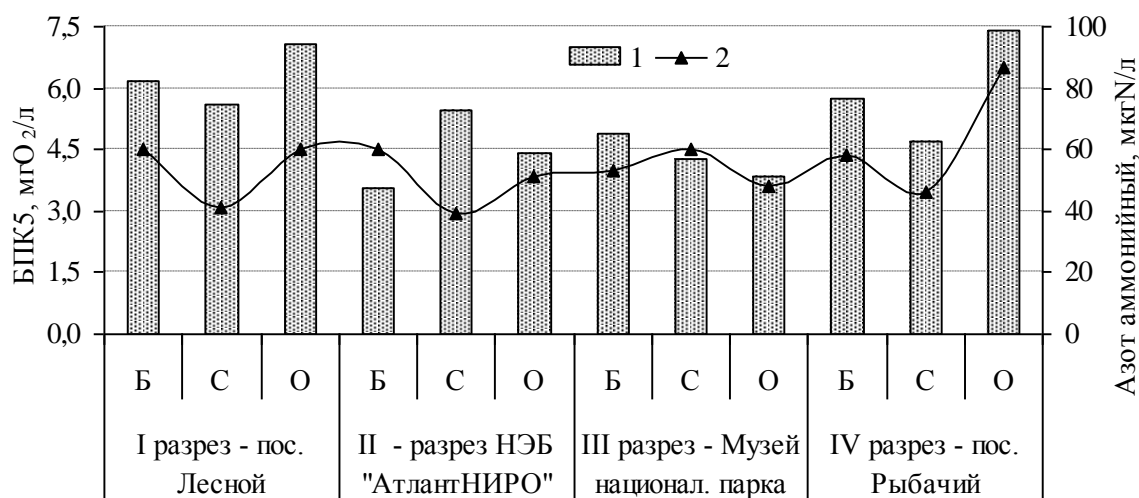


Рис. 4. Распределение БПК₅ (1) и аммонийного азота (2) на разрезах в Куршском заливе в августе 2022 г. (Б – у берега, С – свал глубин, О – открытая акватория)
 Fig. 4. Distribution of BOD₅ (1) and ammonium nitrogen (2) in sections in the Curonian Lagoon in August 2022 (B – near the coast, C – depth slope, O – open water area)

Концентрации аммонийного азота как результат первого этапа разложения органического вещества были относительно низкими (39–87, в среднем 55 мкгN/л). У берега они были не выше, чем в открытой акватории, и в целом соответствовали распределению БПК₅ ($r = 0,48$) (рис. 4). Их величины были близки к среднему уровню в прибрежной зоне за 2022 г. и многократно ниже, чем в период "гиперцветения", скопления и разложения водорослей у берега (более 800 мкгN/л).

Численность сапрофитных бактерий варьировала от 8,8 до 35,3, в среднем 22,5 тыс. КОЕ/мл (рис. 3). Наибольшая их численность (более 30 тыс. КОЕ/мл) была в открытой части, возможно, как результат разложения органического вещества синезеленых водорослей, образующегося при "цветении" залива. Как исключение, на разрезе у пос. Рыбачьего численность сапрофитных бактерий была максимальной у берега без макрофитов наряду с высоким содержанием в воде хлорофилла "а". Наименьшая численность сапрофитных бактерий (менее 13 тыс. КОЕ/мл) отмечена у берега и на свале глубин напротив музея НП. Данный район удален от населенных пунктов и находится в зоне макрофитов, которые, возможно, оказывают деэвтрофирующее влияние. Полученные в прибрежной зоне Куршского залива величины численности сапрофитных бактерий соответствуют α -мезосапробным "загрязненным" водам (10–50 тыс. КОЕ/мл), и только на одной станции у Музея отмечено более высокое качество воды (β -мезосапробность) согласно ГОСТ 17.1.2.04-77. Отмеченный уровень сапробности по численности бактерий соответствует эвтрофному типу вод по хлорофиллу "а" (обилию фитопланктона) в августе 2022 г.

Предыдущие исследования микроорганизмов в прибрежной зоне Куршского залива показали, что летом, когда начинается "цветение" воды, могут наблюдаться их максимальные численности, сохраняющиеся на высоком уровне до осени. Одновременно отмечается значительная межгодовая изменчивость. В частности, в июне–июле 2014 г. численность бактерий составляла 510–1300 тыс. КОЕ/мл,

снижаясь в октябре до 100–410 тыс. КОЕ/мл [12, 13]. Характерно, что в этот период в заливе наблюдалось "гиперцветение" воды (хлорофилла "а" более 100 мкг/л). В июне–июле 2016 г., когда оно не отмечалось, численность бактерий составляла 0,14–2,8 тыс. КОЕ/мл [12], а в 2022 г. была многократно ниже уровня, наблюдаемого при "гиперцветении" в 2014 г., но на порядок выше, чем в июне 2016 г. Возможно, более высокая численность в августе 2022 г., даже в отсутствие "гиперцветения" воды, отражала постепенное накопление органических веществ и влияние гидрометеорологических условий на развитие бактерий в летний период.

В целом при отсутствии интенсивного "цветения" в открытой акватории Куршского залива в прибрежной зоне в августе 2022 г. концентрации хлорофилла "а" и численности сапрофитных бактерий, величины БПК₅ и аммонийного азота были многократно ниже, чем отмечалось ранее при "гиперцветении" воды. В частности, в отдельные годы эти показатели (до 500–800 мкгХл/л в августе 2002 г., до 1300 тыс. КОЕ/мл в июле 2014 г.) соответствовали максимальному гипертрофному и гиперсапробному уровню, неблагоприятно воздействующему на водные экосистемы, а в воде периодически формировались анаэробные условия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные ежемесячные исследования в 2022 г. показали отсутствие "гиперцветения" воды в Куршском заливе и скопление фитопланктона в прибрежной зоне, что позволило получить характеристики ее "фонового" состояния без неблагоприятного воздействия массового развития потенциально-токсичных синезеленых водорослей. В прибрежной зоне в августе 2022 г. показатели экологического состояния соответствовали преимущественно эвтрофным, α-мезосапробным, слабо или умеренно загрязненным водам по концентрации хлорофилла "а" и численности сапрофитных бактерий. Содержание кислорода было благоприятным для гидробионтов, а величины БПК₅ и аммонийного азота свидетельствовали о небольшом накоплении и разложении органического вещества (в том числе биомассы фитопланктона) в прибрежной зоне. Качество вод было значительно лучше, чем наблюдалось ранее при "гиперцветении" залива, когда в отдельные годы эти показатели (в 10–20 раз выше) соответствовали максимальному гипертрофному и гиперсапробному уровням, неблагоприятно воздействующим на экосистему (заболевание и гибель гидробионтов).

Таким образом, в годы отсутствия летнего массового развития синезеленых водорослей и "гиперцветения" вод Куршского залива прибрежная зона характеризуется благоприятными условиями для рыбохозяйственного (нерест рыб и развитие молоди) и рекреационного использования в районе НП "Куршская коса".

Список источников

1. Александров С. В. Многолетние изменения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Биология внутренних вод. 2009. № 4. С. 27–34.
2. Минкявичус А., Пипинис И. Обзор флоры и растительности залива Куршю Марес // Куршю Марес. Вильнюс: АН Лит. ССР, 1959. С. 109–133.
3. Казакова Е. Ю., Дмитриева О.А. Сезонная динамика потенциально-токсичных таксонов фитопланктона прибрежной зоны Куршского залива в 2020 году // Вестник молодежной науки. 2022. № 2 (34). С. 1–8.
4. Вредоносные цветения микроводорослей в Куршском заливе Балтийского моря в 2008–2011 гг. / Е. Е. Ежова [и др.] // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса". Вып. 8. Калининград: Изд-во БФУ имени И. Канта, 2012. С. 81–95.
5. Смирнова М. М. Микроцистины в литорали Куршского залива в 2017 г. по данным иммунохроматографического анализа // Морской биологический журнал. 2019. Т. 4. № 1. С. 109–111.
6. Александров С. В. Влияние "цветения" синезеленых водорослей на экологическое состояние Куршского залива // Вода: химия и экология. 2009. № 4. С. 2–6.
7. Eutrophication and effects of algal bloom in the south-western part of the Curonian Lagoon alongside the Curonian spit / S. Aleksandrov, A. Krek, E. Bubnova, A. Danchenkov // Baltica. 2018. V. 31. No 1. P. 1–12.
8. Сапожников В. В. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. Москва: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
9. Александров С. В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград: АтлантНИРО, 2010. 227 с.
10. Температура воды в Куршском заливе. URL: <https://travel.org.ua/water/maj/litva/kurshskij-zaliv-temperatura-vody> (дата обращения: 25.10.2022).
11. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Москва: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.
12. Цыбалева Г. А., Кузьмин С. Ю., Авдеева Е. В. Характеристика зоопланктона западного побережья Куршской косы в районах антропогенного воздействия // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса". Вып. 14. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 49–58.
13. Смирнова М. М. Осенний бактериопланктон прибрежной части Куршского залива в районе музейного комплекса национального парка "Куршская коса" // Проблемы природопользования, сохранения биоразнообразия и культурного наследия на особо охраняемых природных территориях России: Всерос. научно-практич. конф: материалы. Калининград: Изд-во БФУ имени И. Канта, 2017. С. 98–105.

References

1. Aleksandrov S. V. Mnogoletnie izmeneniya troficheskogo statusa Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltiyskogo morya [Long-term changes in the trophic status of the Curonian and Vistula Gulfs of the Baltic Sea]. *Biologiya vnutrennikh vod*, 2009, no. 4, pp. 27–34. (In Russ.).
2. Minkyavichus A., Pipinis I. *Obzor flory i rastitel'nosti zaliva Kurshyu Mares* [Overview of the flora and vegetation of the Curs-Mares Bay]. Vilnius, USSR Academy of Sciences Publ., 1959, 549 p.
3. Kazakova E. Y., Dmitrieva O. A. Sezonnaya dinamika potentsial'no-toksichnykh taksonov fitoplanktona pribrezhnoy zony Kurshskogo zaliva v 2020 godu [Seasonal dynamics of potentially toxic phytoplankton taxons in the coastal zone of the Curonian Lagoon in 2020]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2022, no. 34, pp. 1–8. (In Russ.).
4. Ezhova E. E. [et al.] Vredonosnye tsveteniya mikrovdorosley v Kurshskom zalive Baltiyskogo morya v 2008–2011 gg. [Harmful blooms of microalgae in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea in 2008–2011]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsional'nogo parka "Kurshskaya kosa"* [Problems of nature management, conservation of biodiversity and cultural heritage in specially protected natural areas of Russia]. Kaliningrad, IKBFU Publ., 2012, no. 8, pp. 81–95. (In Russ.).
5. Smirnova M. M. Mikrotsistiny v litorali Kurshskogo zaliva v 2017 g. po dannym immunokhromatograficheskogo analiza [Presence of microcystins in the littoral zone of the Curonian Lagoon by the data of immunochromatographic analysis in 2017]. *Morskoy biologicheskiy zhurnal*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 109–111. (In Russ.).
6. Aleksandrov S. V. Vliyanie "tsveteniya" sinezelenykh vdorosley na ekologicheskoe sostoyanie Kurshskogo zaliva [Impact of blue-green algae "blooming" on the ecological status of the Curonian Lagoon]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2009, no. 4, pp. 2–6. (In Russ.).
7. Aleksandrov S., Krek A., Bubnova E., Danchenkov A. Eutrophication and effects of algal bloom in the south-western part of the Curonian Lagoon alongside the Curonian spit. *Baltica*, 2018, vol. 31, no. 1, pp. 1–12. (In Russ.).
8. Sapozhnikov V. V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybokhozyaystvennykh vodoyomov i perspektivnykh dlya promysla rayonov Mirovogo okeana* [Guidelines for the chemical analysis of marine and freshwater in the environmental monitoring of fishery bodies of water and areas of the World Ocean promising for fishing]. Moscow, 2003, 202 p. (In Russ.).
9. Aleksandrov S. V. *Pervichnaya produktsiya planktona v lagunakh Baltiyskogo morya (Vislinskiy i Kurshskiy zalivy)* [Primary plankton production in the Baltic Sea lagoons (the Vistula and Curonian Lagoons)]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 2010, 228 p. (In Russ.).
10. *Temperatura vody v Kurshskom zalive* [Curonian Lagoon water temperature]. Available at: <https://travel.org.ua/water/maj/litva/kurshskij-zaliv-temperatura-vody> (Accessed 25 October 2022). (In Russ.).

11. Shitikov V. K., Rozenberg G. S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya* [Quantitative hydroecology: methods, criteria, solutions]. Moscow, Nauka Publ., 2005, vol. 1, 281 p. (In Russ).

12. Tsybaleva G. A., Kuzmin S. Y., Avdeeva E. V. *Kharakteristika zooplanktona zapadnogo poberezh'ya Kurshskoy kosy v rayonakh antropogennogo vozdeystviya* [Characteristics of zooplankton on the western coast of the Curonian Spit in areas of anthropogenic impact]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsional'nogo parka "Kurshskaya kosa"*. [Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the Curonian Spit National Park]. Kaliningrad, BFU im. I. Kanta Publ., 2018, no. 14, pp. 49–58. (In Russ.).

13. Smirnova M. M. *Osenniye bakterio plankton pribrezhnoy chasti Kurshskogo zaliva v rayone muzeynogo kompleksa natsional'nogo parka "Kurshskaya kosa"* [Autumn bacterioplankton of the coastal part of the Curonian Lagoon in the area of the museum complex of the National Park "Curonian Spit"]. *Materialy vseros. nauchno-praktich. konf. "Problemy prirodopol'zovaniya, sokhraneniya bioraznoobraziya i kul'turnogo naslediya na osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriyakh Rossii"* [Proc. All-Russian scientific and practical conference "Problems of nature management, conservation of biodiversity and cultural heritage in specially protected natural areas of Russia"]. Kaliningrad, BFU im. I. Kanta Publ., 2017, pp. 98–105. (In Russ.).

Информация об авторах

С. В. Александров – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией гидробиологии

М. М. Смирнова – младший научный сотрудник

А. В. Сташко – старший инженер

Information about the authors

S. V. Aleksandrov – PhD in Biology, Associate Professor, Head of the Laboratory of Hydrobiology

M. M. Smirnova – scientific researcher

A. V. Stashko – senior engineer

Статья поступила в редакцию 08.11.2022; одобрена после рецензирования 18.11.2022; принята к публикации 25.11.2022.

The article was submitted 08.11.2022; approved after reviewing 18.11.2022; accepted for publication 25.11.2022.

Научная статья
УДК 628.16 (282.256.34)
DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-24-34

Совершенствование методов квалиметрии природной питьевой воды

Елена Владимировна Верховина¹, Валентина Александровна Верховина²,
Ольга Александровна Белых³

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5513-5576>

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6439-5879>

³Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, olga.belykh@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7274-1420>

Аннотация. В рамках научной статьи актуализируется задача определения качества и подлинности воды, поставляемой из природных источников. Рассматривается основа разработки инновационных методов идентификации воды из естественных водоемов на примере оз. Байкал. Приведены органолептические и микробиологические показатели воды из Байкала. Сделан краткий обзор методов определения качества природной воды, из которого следует, что химический состав по ГОСТ не является уникальным свойством воды из природных источников. Рассмотрена редчайшая особенность бактерий образовывать ферменты эндонуклеазы рестрикции (ЭР) – рестриктазы как реакцию на попадание в среду обитания посторонней микрофлоры. Данный метод, широко применяемый в научных исследованиях, практически не реализуется как контроль качества и подлинности воды при ее розливе на продажу. Нами установлено, что в пробах воды, отобранных в районах антропогенного влияния, были выделены штаммы бактерий, обладающих ферментами ЭР, в то время как в чистых фоновых районах (пелагиаль озера, глубоководные осадки) бактерии с ферментами ЭР не обнаруживаются. Таково свойство бактерий – образовывать ферменты ЭР как защиту от аллохтонной (посторонней) микрофлоры. В данной статье обосновывается факт выявления в бактериальных штаммах ферментов ЭР – это свидетельство того, что вода отобрана либо в районах, куда поступает посторонняя микрофлора, либо вода не из природного источника – оз. Байкал. Предложенный метод дает возможность определения качества и подлинности байкальской питьевой воды, а также исключения подделок природной воды на рынке.

Ключевые слова: методы определения качества, питьевая вода, ферменты эндонуклеазы рестрикции (рестриктазы), озеро Байкал, рынок бутилированной воды, антропогенное влияние

Для цитирования: Верховина Е. В., Верховина В. А., Белых О. А. Совершенствование методов квалиметрии природной питьевой воды // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 24–34. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-24-34.

Original article

Improving the methods of qualimetry of natural drinking water

Elena V. Verkhozina¹, Valentina A. Verkhozina², Ol'ga A. Belykh³

¹Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, ORCID 0000-0001-5513-5576

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, ORCID 0000-0002-6439-5879

³Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, olga.belykh@klgtu.ru, ORCID 0000-0001-7274-1420

Abstract. Within the framework of the scientific article, the task of determining the quality and availability of water supplied from natural sources has been foregrounded. The basis for the development of innovative methods for the identification of water from natural waters on the example of Lake Baikal has been considered. Organoleptic and microbiological indicators of water from Lake Baikal are given. A brief overview of methods for determining the quality of natural water is made, from which it follows that determination of the chemical composition according to GOST is not a unique property of water from natural sources. The unique property of bacteria to form restriction endonuclease (ER) enzymes (restrictases) is considered as a reaction to the ingress of extraneous microflora into the environment. This method, widely used in scientific research, is practically not implemented as a control of the quality and availability of water when it is bottled for sale. We found that bacterial strains with ER enzymes were isolated in the samples of water taken in areas of anthropogenic influence. In water samples taken in clean background areas (pelagic lakes, deep-sea sediments), bacteria with the enzyme ER have not been detected. This property of bacteria is to form ER enzymes as protection against allochthonous (extraneous) microflora. This article substantiates the fact that detection of ER enzymes in bacterial strains is evidence that the water has been taken either in areas where the foreign microflora enters, or the water is not from a natural source – Lake Baikal. This method makes it possible to determine the quality and authenticity of Baikal drinking water and to exclude counterfeits of natural water on the market.

Keywords: quality determination methods, drinking water, restriction endonuclease enzymes (restrictases), Lake Baikal, bottled water market, anthropogenic impact

For citation: Verkhozina E. V., Verkhozina V. A., Belykh O. A. Improving the methods of qualimetry of natural drinking water. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 24–34. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-24-34.

ВВЕДЕНИЕ

В природных источниках сосредоточено огромное количество пресной воды, одним из важных ее резервуаров является оз. Байкал. Ежегодно через глубинные скважины озера российский производитель байкальской воды "Байкалси" поставляет на международный рынок продукт премиум-сегмента. Компания производит бренды воды из артезианских источников: природная вода "Жемчужина Байкала" (BAIKAL PEARL), лечебно-столовая минеральная вода

(BAIKAL RESERVE), а также "Минеральная вода Иркутская". Ее интересы лежат в области изучения влияния выбросов в пелагиаль озера бытовых и сельскохозяйственных смывов, представляющих угрозу как для региональной и глобальной окружающей среды, так и для жителей региона. С этой целью были получены данные о природе микробиомов озера в районе расположения туристических путей, проходящих через Малое море. Большие количества пресной воды используются также в сельском хозяйстве и почти во всех отраслях промышленности. Проблема обеспечения человечества чистой питьевой водой связана с усиливающимся ростом народонаселения планеты. К тому же, во многих странах существуют такие проблемы, как изношенность водопроводных сетей и загрязнение открытых водоемов. На всемирном форуме (март 2006 г.) по проблемам воды отмечалось, что в будущем более половины человечества будет испытывать нехватку питьевой воды. Потребность в ней станет постоянно возрастать. Возможно, что в ближайшем будущем оз. Байкал будет одним из основных источников чистой пресной питьевой воды. Байкальская вода имеет слабую минерализацию и не содержит токсических веществ. Насыщенность кислородом (12 мг/л) и низкая минерализация придают ей уникальный вкус свежести. Кроме того, такой ее состав очень полезен для оздоровления и очищения организма человека. Как известно, вода – уникальный растворитель любых веществ, попавших в организм, и позволяет очищать его от токсинов. Показатель кислотности байкальской воды (рН) близок к крови человека, поэтому она хорошо усваивается организмом. Существующие и используемые в промышленности методы квалиметрии не позволяют решить вопрос подлинности товара. К тому же, немаловажен факт подтверждения санитарно-гигиенической безопасности глубинной питьевой воды Байкала. Проведенные многолетние исследования показали необходимость поиска способов определения подлинности и качества байкальской воды, что имеет большое научно-практическое значение [1–3].

Природная питьевая вода – едва ли не один из самых востребованных товаров. Ее фальсификация – весьма несложный процесс, поэтому идентификация байкальской питьевой воды является важным объектом исследования. Ценообразование подлинной байкальской воды определяется трудоемкостью ее добычи и уникальными природными свойствами: мягкостью и отсутствием каких-либо примесей абиогенного или биогенного происхождения. Качественное распознавание бутилированной воды "начинают с идентификации сведений, указанных на этикетке: название товара, содержание газа, наименование или номер скважины, по которой можно определить ее принадлежность, химический состав"¹. Товароведческая квалиметрия бутилированной воды предусматривает оценку вкусовых и визуальных показателей по 25-балльной шкале (не ниже 16 баллов, когда товар признается неудовлетворительного качества). Данные сведения лежат в основе ассортиментной идентификации, определяющей характерные органолептические и физико-химические свойства напитка. Важными органолептическими свойствами байкальской питьевой воды являются ее прозрачность, бесцветность, отсутствие осадка, букет и благородное благоухание. Квалиметрия по многим вопросам

¹ Идентификация и фальсификация минеральной воды [Электронный источник]. – URL: https://znaytovar.ru/s/Identifikaciya_i_falsifikaciya10.html (Дата обращения 10.08.2022)

смыкается с различными физико-химическими и биологическими науками и приобретает междисциплинарный характер. Исследование "только одного показателя "общая минерализация" не является достаточным для установления видовой принадлежности воды, поскольку нет принципиальных отличий по этому показателю у воды минеральной питьевой (столовой) и у столовой воды, не обладающей свойствами минеральной"¹. Таким образом, все эти признаки не могут гарантировать потребителю подлинности получения питьевой воды именно из глубинной байкальской скважины.

Целью данного исследования является определение микробиологическим методом наличия специальных белков рестрикции в штаммах бактерий, изолированных из оз. Байкал, и использование их индикаторных свойств для установления подлинности глубинной воды. Это был следовой индикатор распределения бактериальных сообществ по фотической зоне и их динамики вдоль основных водотоков Байкала для оценки воздействия речных и сточных вод на микробиоту. С этой целью проведены оригинальные эксперименты с применением методов молекулярной биологии, которые позволяют решить вопрос качества и подлинности бутилированной природной питьевой воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили штаммы бактерий, отобранные из экологических ниш оз. Байкал, различающихся по глубине и местонахождению. Пробы воды были взяты в прибрежной зоне озера в районах антропогенного влияния: пос. Листвянка, г. Байкальск и Слюдянка. Схемы отбора проб представлены в работе [4]. В литоральной части озера воду отбирали батометром с разных глубин, донные отложения – специальным пробоотборником.

Использовались способы глубинного посева, донные отложения засеивали методом предельных разведений. Питательной средой являлся мясо-пептонный агар. Культивирование бактерий проводили при температуре 22 °С в течение 48 ч. Выросшие колонии расчищали и отсеивали в пробирки на поверхность питательного агара, инкубировали 20 ч при 25 °С. Для поиска белков рестрикции бактерии пересеивали на новую чашку Петри с питательным агаром и выращивали 10 ч при 22 °С. Штаммы, в которых обнаруживали рестриктазную активность, рассеивали штрихом для получения клонов и их последующего исследования. Поиск рестриктаз проводили в культурах после экспозиции, равной 12 ч. Методика определения ферментов рестриктаз описана в работе [5]. При исследовании проб воды на санитарно-микробиологический анализ использовали стандартные методики МУК 4.2.671-97, основанные на разработках СанПиН 2.1.4.559-96 "Питьевая вода", а также "Гигиена окружающей среды" [6, 7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В условиях структурных преобразований в экономике особую актуальность приобретает инновационная деятельность. Все инвестиционные решения

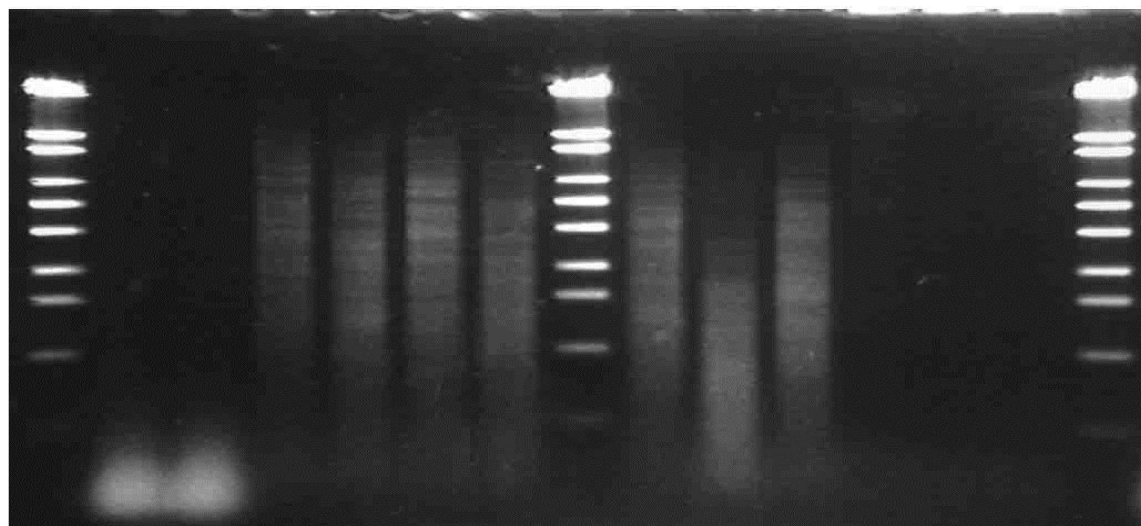
¹ Идентификация и фальсификация минеральной воды [Электронный источник]. – URL: https://znaytovar.ru/s/Identifikaciya_i_falsifikaciya10.html (Дата обращения 10.08.2022)

связаны с долгосрочным развитием какого-либо вида деятельности. Любая инвестиционная поддержка обусловлена социальными, политическими и эколого-экономическими решениями. В современном мире пресная вода становится важнейшим фактором геополитики и в дальнейшем, по-видимому, будет более значимым ресурсом, чем углеводороды, поэтому поиск индикаторов антропогенного влияния при разливе пресной питьевой воды особенно злободневен.

На протяжении многих лет (начиная с 1990 г.) рядом ученых проводятся поисковые работы по выявлению роли микроорганизмов в биогеохимических процессах, влияющих на формирование квалитетических свойств воды Байкала. Нашими исследованиями было установлено, что в бактериальных штаммах, изолированных из проб воды, отобранных в прибрежье (районы антропогенного влияния), выявляются ферменты ЭР. Обнаружены новые штаммы, среди которых встречаются продуценты рестриктаз, не выявленные ранее в природных водоемах [8, 9].

За время экспериментов в ходе скрининга штаммов было проверено более 1500 бактерий из коллекции водных микроорганизмов экосистемы Байкала. В эту коллекцию, которая создавалась в течение 20 лет, входят штаммы бактерий, выделенные из различных экологических ниш водного тела и донных отложений. Изолированные из экосистемы Байкала бактерии оказались не только хорошими индикаторами, но и продуцентами уникальных ферментов с возможностью использования их в биотехнологических исследованиях. Среди них выявлены микроорганизмы, дающие специфическую фрагментацию ДНК (рис.). Определение микроорганизмов, лизаты которых расщепляют ДНК, позволило отнести их к видам *Flavobacterium aquatilis*.

M 1 2 3 4 5 6 M 7 8 9 10 11 12 M



Flavobacterium aquatile 1012

Рис. Эндонуклеаза рестрикции Fau2I из *Flavobacterium aquatile* 1012 узнает сайт 5'-CCGG-3'

Fig. Restriction endonuclease Fau2I from *Flavobacterium aquatile* 1012 recognizes the site 5'-CCGG-3'

Многолетние исследования микробных сообществ крупнейших водоемов Восточной Сибири, в том числе и оз. Байкал, показали, что в условиях усиливающегося антропогенного воздействия на окружающую среду происходят структурные изменения сложившихся биоценозов водных объектов. Повышается количество условно-патогенных грамотрицательных микроорганизмов, увеличивается доля антибиотико-резистентных [4, 10]. Бактериальные штаммы, устойчивые к антибиотикам, были обнаружены даже в пробах, изолированных из байкальских губок [11].

Проведенные нами исследования показали, что в прибрежной части Байкала, находящейся под антропогенным прессингом, наблюдается ухудшение качества воды. Кроме того, с 2001 по 2014 гг. количество бактерий в литорали оз. Байкал возросло в 16 раз, а в истоке р. Ангары (район пос. Листвянка) – до 5 раз. Отмечено, что в прибрежных пробах воды, начиная с 2003 г., выделяется кишечная палочка, не обнаруживаемая там ранее [12]. Байкал также испытывает на себе воздействие множества рек и ручьев, в которые впадают бытовые стоки множества гостиниц и закусочных. Это привносит в его экосистему большое количество как веществ биологической направленности, так и химических элементов [13].

Предложены в работе специальные таксономические исследования в экологических задачах с использованием методов молекулярной биологии. В их основу легла гипотеза, учитывающая то, что прокариоты являются одноклеточными организмами, еще не получившими в процессе эволюции иммунной системы, которая бы выполняла функцию защиты от чужеродных бактерий и вирусов. В этом случае белок рестриктаза – агент, способный уничтожить любую попавшую внутрь клетки постороннюю молекулу ДНК. Рестриктаза разрывает незнакомую ДНК по определенной последовательности, после чего становится не способной к воспроизводству и погибает. Поэтому там, где есть проникновение посторонних вирусов или бактерий, аборигенная микрофлора начинает синтезировать белки рестриктазы для уничтожения посторонних микроорганизмов, не специфичных для водоема. Это особенная степень защиты водных бактерий от интродуцентов [14]. Проведенным статистическим анализом микробного сообщества в литоральной зоне экосистемы Байкала подтверждено, что условием синтеза ферментов рестриктаз (ЭР) служит антропогенное влияние, особенно в виде бытовых стоков [15]. Высокое содержание ЭР выявляется в бактериальных штаммах, выделенных из проб, вблизи антропогенных агентов влияния на прибрежных акваториях с объектами туристической и рекреационной инфраструктуры напротив пос. Листвянка и на Малом море. В пелагиали озера, а также в донных осадках, белки ЭР не установлены, а значит, здесь все еще сохраняется автохтонная микробиота.

В настоящее время из-за нехватки питьевой воды или ее плохого качества в мире развивается крупнотоннажный рынок питьевой воды. Известно, что на Аляске ежегодно экспортируется 18,2 млн м³ воды на завод по розливу бутилированной воды в Китае [16]. В связи с дефицитом пресной воды в Израиле им заключен договор на 20 лет с Турцией. Израиль будет импортировать воду из Турции по цене \$35 млн за 50 млн м³ в год. С помощью специальной установки вода будет отводиться из р. Манавгат на западе Турции [17].

С началом 1990-х в России начинает развиваться рынок бутилированной воды. Его формирование происходит в двух направлениях: добытие воды из скважин (производство) и доставка воды потребителю. Лидерами на российском

рынке стали компании с западным капиталом: "Святой источник", "Чистая вода", "Бон Аква" и "Аква Минерале". Десять лет назад на выставке "Продэкспо" появилась компания "Байкалси" с новыми брендами – "Жемчужина Байкала" и "Байкал Резерв", а через три года она предложила новинку – глубинную воду "Baikal430 0,5 л". Продавать воду "Байкалси" решила через HoReCa – в премиальном сегменте. Основатель бизнеса подчеркивает, что любой из этих продуктов – самый дорогой в своем сегменте среди российских, и Baikal430 – не исключение. Национальный бренд должен присутствовать на полках магазинов от Калининграда до Владивостока, точность исполнения заказов и расчет затрат на логистику имеют здесь огромное значение. В настоящее время компания "Байкалси" является сподвижником дирекции ФГБУ "Заповедное Прибайкалье", которая стоит на страже сохранения флоры и фауны уникального природного объекта. У Байкала в водоохранной 200-метровой зоне расположена только станция добычи глубинной воды [18]. Проблема чистоты оз. Байкал и сохранения высококачественной пресной питьевой воды всегда озадачивала ученых и привлекала общественность. Обсуждение Байкальской концепции о включении нашего уникального озера в Список всемирного наследия, о принятии на себя нашей страной юридической ответственности перед мировым сообществом за сохранение Байкала как достояния общепланетарного масштаба в духе экологического мышления было начато еще в 1989 г. [19]. Позже, в 1996 г., оз. Байкал было занесено в Список всемирного наследия ЮНЕСКО как уникальный мировой объект природы. К сожалению, экологические и экономические интересы часто не совпадают. В последние годы на экосистему озера крайне негативно воздействуют развитие туристической индустрии, судоходство, расширение земель поселений в прибрежной зоне, особенно в летний период. Водный транспорт часто не имеет емкостей для сточных бытовых вод, которые состоят из пищевых отходов, моющих веществ и фекальных стоков. Это приводит к поступлению и развитию в воде Байкала различных антропогенных бактерий и вирусов, что не может не сказаться на ее качестве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе обосновывается свойство бактерий образовывать ферменты ЭР – рестриктазы как защиту от внешних биотических факторов. Если в бактериальных штаммах будут выявлены рассматриваемые ферменты, это станет свидетельствовать о том, что вода отобрана либо в районах, куда поступает посторонняя микрофлора, либо вода не из природного источника – оз. Байкал.

Полученные результаты указывают на нахождение белков ЭР в штаммах бактерий, выделенных из проб воды, в антропогенных районах (прибрежная часть – литораль озера). В чистых фоновых районах (глубинная вода – литораль озера) штаммы микроорганизмов не имеют таких ферментов. Данное свойство микроорганизмов положено в основу разработки инновационных методов определения качества питьевой воды, поставляемой из оз. Байкал. Установление в штаммах микроорганизмов наличия ферментов ЭР будет свидетельствовать о том, что вода отобрана либо в антропогенно загрязненных районах, либо не из Байкала. Таким образом, появится возможность решения проблем разработки диагностики антропогенного влияния на качество воды оз. Байкал на ранних стадиях. Этот метод позволяет определить подлинность байкальской питьевой воды, а

также решить вопрос о подлинности бутилированной питьевой воды из оз. Байкал и исключении ее подделок.

В мировой практике существуют различные методы отбора и доставки питьевой воды до потребителя. Как нам видится, для Байкала более приемлем метод ее розлива. Поскольку на озере существуют несколько фирм по розливу воды, важно создать централизованный контроль ее отбора, качества и подлинности.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. Киреенко А. П., Русецкая Г. Д., Горбунова О. И. Ущерб здоровью населения от загрязнения окружающей среды: оценка и механизмы компенсации // Регион: Экономика и Социология. 2013. № 2(78). С. 294–308.
2. Здоровье среды и здоровье населения: модели, прогноз, ущербы / Н. В. Лазарева [и др.] // Вестник медицинского института "РЕАВИЗ": реабилитация, врач и здоровье. 2020. № 2(44). С. 112–122.
3. Урманова Л. Д., Бекмуратова С. Б. Проблемы качества питьевой воды // Fogсіре. 2021. Т. 4. № 1. С. 237–238.
4. Верховзина Е. В., Верховзина В. А., Белых О. А. Устойчивость бактерий озера Байкал к антибиотикам как показатель антропогенной нагрузки на экосистему // Известия Байкальского государственного университета. 2021. Т. 31. № 2. С. 241–247.
5. Белавин Н. А., Дедков В. С., Дегтярев С. Ч. Метод определения эндонуклеаз рестрикции в колониях // Прикладная биохимия и микробиология. 1988. Т. 24. В. 1. С. 129–132.
6. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы санитарно-микробиологического анализа питьевой воды. Методические указания МУК 4.2.671-92. Минздрав России. Москва, 1997. 35 с.
7. Методические указания 2.1.4.559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Указание государственного комитета санитарно-эпидемиологического надзора РФ. Москва, 1998. 20 с.
8. Выявление штаммов-продуцентов эндонуклеаз рестрикции среди водных микроорганизмов озера Байкал / В. С. Дедков [и др.] // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия биологическая. 1990. № 1. С. 35–37.
9. Гончар Д. А., Дедков В. С., Верховзина В. А. Эндонуклеаза рестрикции Sse91 из штамма *Sporosarcina* sp. 9D узнает последовательность 5'-AATT-3' // Молекулярная генетика. 1998. № 1. С. 32–34.
10. Условно-патогенные микроорганизмы в водных экосистемах Восточной Сибири и их роль в оценке качества вод / Е. Д. Савилов [и др.] // Бюллетень СО РАМН. 2008. № 1 (129). С. 47–51.
11. Зименс Е. А. Антибиотикоустойчивость гетеротрофных бактерий, изолированных из различных биотопов литоральной зоны озера Байкал // Известия Байкальского государственного университета. 2019. Т. 29. № 4. С. 513–522.

12. Мониторинговые исследования микробного сообщества литоральной зоны в районе южного Байкала / В. А. Верховзина [и др.] // Вода: химия и экология. 2014. № 3. С. 66–70.
13. Современное состояние водотоков в устьевых областях восточного побережья озера Байкал / И. Б. Воробьева [и др.] // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 86–92.
14. Поиск штаммов-продуцентов новых эндонуклеаз рестрикции / Н. Н. Соколов [и др.] // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 1988. Т. 65. № 9. С. 86–89.
15. Анализ микробного сообщества в литоральной зоне южной части экосистемы озера Байкал / Е. В. Верховзина [и др.] // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 3. С. 99–113.
16. Рогов В. Ю. О направлениях инновационных разработок по идентификации и крупнотоннажному розливу природной байкальской воды // Вестник ИГТУ, 2013. № 13. С. 44–50.
17. Новые тренды мировой торговли и их влияние на развитие международных морских перевозок / О. Н. Бабурина [и др.] // Международная торговля и торговая политика. 2022. Т. 8. № 2 (30). С. 5–19.
18. Компания "Байкалси" в Прибайкалье // Сайт BAIKALSEA Company. URL: <https://baikalsea.com/news/BAIKALSEA-Company-i-FGBU-zapovednoe-pribaikal'e-ob'edinyaut-usiliya-po-sohraneniyu-baikala> (дата обращения: 12.09.2022).
19. Галазий Г. И. Да будет вечен на Земле! // Восточно-Сибирская правда. 1989. № 196. 30 июня.

References

1. Kireenko A. P., Ruseckaya G. D., Gorbunova O. I. Ushcherb zdorov'yu naseleniya ot zagryazneniya okruzhayushchey sredy: otsenka i mekhanizmy kompensatsii [Damage to public health from environmental pollution: assessment and compensation mechanisms]. *Region: Ekonomika i Sotsiologiya*. 2013, no. 2(78), pp. 294–308.
2. Lazareva N. V. [et al.]. Zdorov'e sredy i zdorov'e naseleniya: modeli, prognoz, ushcherby [Environmental health and public health: models, forecast, damages]. *Vestnik meditsinskogo instituta "REAVIZ": rehabilitatsiya, vrach i zdorov'e*. 2020, no. 2(44), pp. 112–122.
3. Urmanova L. D., Bekmuratova S. B. Problemy kachestva pit'evoy vody [Drinking water quality issues]. *Forcipe*. 2021, vol. 4, no. 1, pp. 237–238.
4. Verkhovina E. V., Verkhovina V. A., Belykh O. A. Ustoychivost' bakteriy ozera Baykal k antibiotikam kak pokazatel' antropogennoy nagruzki na ekosistemu [Resistance of bacteria from Lake Baikal to antibiotics as an indicator of anthropogenic load on the ecosystem]. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 241–247.
5. Belavin N. A., Dedkov V. S., Degtyarev S. Ch. Metod opredeleniya endonukleaz restriksii v koloniyakh [Method of determination of restriction endonucleases in colonies]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 1988, no. 24, vol. 1, pp. 129–132.
6. Metody kontrolya. Biologicheskie i mikrobiologicheskie faktory. Metody sanitarno-mikrobiologicheskogo analiza pit'evoy vody [Methods of control. Biological

and microbiological factors. Methods of sanitary and microbiological analysis of drinking water]. Metodicheskie ukazaniya MUK 4.2.671-92. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 1997, 35 p.

7. Metodicheskie ukazaniya 2.1.4.559-96. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva [Hygienic requirements for the water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control]. Ukazanie gosudarstvennogo komiteta sanitarno-epidemiologicheskogo nadzora RF. Moscow, 1998, 20 p.

8. Dedkov V. S. [et al.]. Vyyavlenie shtammov – produtsentov endonukleaz restriksii sredi vodnykh mikroorganizmov ozera Baykal [Identification of endonuclease restriction producing strains among aquatic microorganisms of Lake Baikal]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya AN SSSR, seriya biologicheskaya*. 1990, vol. 1, pp. 35–37.

9. Gonchar D. A., Dedkov V. S., Verkhozina V. A. Endonukleaza restriksii Sse91 iz shtamma Sporosarcina sp. 9D uznaet posledovatel'nost' 5'-AATT-3' [Restriction endonuclease Sse91 from the strain Sporosarcina sp. 9D recognizes the sequence 5'-AATT-3']. *Molekulyarnaya genetika*. 1998, vol. 1, pp. 32–34.

10. Savilov E. D. [et al.]. Uslovno-patogennyye mikroorganizmy v vodnykh ekosistemakh Vostochnoy Sibiri i ikh rol' v otsenke kachestva vod [Conditionally pathogenic microorganisms in aquatic ecosystems of Eastern Siberia and their role in water quality assessment]. *Byulleten' SO RAMN*. 2008, vol. 1(129), pp. 47–51.

11. Zimens E. A. Antibiotikoustoychivost' geterotrofnykh bakteriy, izolirovannykh iz razlichnykh biotopov litoral'noy zony ozera Baykal [Antibiotic resistance of heterotrophic bacteria isolated from various biotopes of the littoral zone of Lake Baikal]. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019, vol. 29, no. 4, pp. 513–522.

12. Verkhozina V. A. [et al.]. Monitoringovye issledovaniya mikrobnogo soobshchestva litoral'noy zony v rayone yuzhnogo Baykala [Monitoring studies of the microbial community of the littoral zone in the area of southern Baikal]. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2014, vol. 3, pp. 66–70.

13. Vorob'eva I. B. [et al.]. Sovremennoe sostoyanie vodotokov v ust'evykh oblastyakh vostochnogo poberezh'ya ozera Baykal [The current state of watercourses in the estuaries of the eastern coast of Lake Baikal]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018, no. 1, pp. 86–92.

14. Sokolov N. N. [et al.]. Poisk shtammov-produtsentov novykh endonukleaz restriksii [Search for producing strains of new restriction endonucleases]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 1988, vol. 65, no. 9, pp. 86–89.

15. Verkhozina E. V. [et al.]. Analiz mikrobnogo soobshchestva v litoral'noy zony yuzhnoy chasti ekosistemy ozera Baykal [Analysis of the microbial community in the littoral zone of the southern part of the Lake Baikal ecosystem]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2017, no. 3, pp. 99–113.

16. Rogov V. Yu. O napravleniyakh innovatsionnykh razrabotok po identifikatsii i krupnotonnazhnomu rozlivu prirodnoy baykal'skoy vody [About the directions of innovative developments on identification and large-capacity bottling of natural Baikal water]. *Vestnik IGTU*, 2013, no. 13, pp. 44–50.

17. Baburina O. N. [et al.]. Novye trendy mirovoy trgovli i ikh vliyanie na razvitie mezhdunarodnykh morskikh perevozok [New trends in the world trade and their

impact on the development of international maritime transport]. *Mezhdunarodnaya trgovlya i trgovaya politika*. 2022, vol. 8, no. 2(30), pp. 5–19.

18. Kompaniya "Baykalsi" v Pribaykal'e [Baikal Company in the Baikal region]. Available at: <https://baikalsea.com/news/BAIKALSEA-Company-i-FGBU-zapovednoe-pribaikal'e-ob'edinyaut-usiliya-po-sohraneniyu-baikala> (Accessed 12 September 2022).

19. Galaziy G. I. Da budet vechen na Zemle! [May he be eternal on Earth!]. *Vostochno-Sibirskaya pravda*. 1989, no. 196, 30 June.

Информация об авторах

Е. В. Верхозина – кандидат биологических наук

В. А. Верхозина – доктор технических наук, профессор

О. А. Белых – доктор биологических наук, доцент

Information about the authors

E. V. Verkhozina – PhD in Biology

V. A. Verkhozina – Doctor of Engineering, Professor

O. A. Belykh – Doctor of Biology, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 13.10.2022; одобрена после рецензирования 02.11.2022; принята к публикации 03.11.2022.

The article was submitted 13.10.2022; approved after reviewing 02.11.2022; accepted for publication 03.11.2022.

Научная статья

УДК 639.2

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-35-45

Экспериментальные исследования плавучего якоря

Александр Алексеевич Недоступ¹, Павел Владимирович Насенков²,
Иван Сергеевич Белозер³

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹nedostup@klgtu.ru

²pavel.nasenkov@klgtu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований, связанных с определением (расчетом) агрегатного сопротивления плавучего якоря. Как известно, это приспособление удерживает маломерное судно на месте при сильном течении, ветре, высоких волнах. В данном эксперименте плавучий якорь необходим для оценки располагаемой тяги судна в условиях полигона, т. е. его буксировки и определения скорости траления моторной лодкой модели "Ока-4". Опыты выполняли в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис" г. Калининграда и на полигоне в Березовском карьере, находящемся в Гвардейском районе Калининградской области. В исследованиях принимали участие студенты четвертого курса бакалавриата, которые часть полученных экспериментальных данных использовали для написания своих выпускных квалификационных работ. Проведенные опыты позволили обосновать тяговые характеристики двух спаренных моторных лодок "Ока-4" с двигателями мощностью 25 л. с. каждый. Исследования проходили как в лабораторных, так и при прочих равных условиях в окружающей обстановке. Возможность использования тралового лова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком является одной из приоритетных задач региона в области рыбного промысла, очень важного с точки зрения обоснования общего допустимого улова (ОДУ) этого вида рыб, поскольку спроектированный трал обеспечит существенное приращение улова ценного вида гидробионтов в оз. Виштынецком.

Ключевые слова: плавучий якорь, эксперименты, гидроканал, полигон, лодка, сопротивление, тяга

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания по теме "Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов".

Для цитирования: Недоступ А. А., Насенков П. В., Белозер И. С. Экспериментальные исследования плавучего якоря // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 35–45. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-35-45.

Original article

Experimental studies of a floating anchor

Aleksandr A. Nedostup¹, Pavel V. Nasenkov², Ivan S. Belozher³

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹nedostup@klgtu.ru

²pavel.nasenkov@klgtu.ru

Abstract. The paper presents the results of experimental studies related to the determination (calculation) of the aggregate resistance of a floating anchor. As you know, a floating anchor is a device that keeps a small vessel in place in strong currents, wind, high waves. In our study, a floating anchor is necessary to assess the available thrust of the vessel in the conditions of the landfill, i.e. its towing and determination of the speed of trawling (towing) by a motor boat model "Oka-4". The experiments were carried out in the water channel of LLC "Fishing Service" in Kaliningrad and at the Berezovsky quarry test site, which is located in the Gvardeisk district of the Kaliningrad region. Fourth-year undergraduate students took part in the experimental research. They used part of the experimental data obtained to write their final qualifying theses. The experimental studies carried out by us made it possible to substantiate the traction characteristics of two paired motor boats "Oka-4" with engines, each with a power of 25 hp. The studies were carried out under both laboratory and other environment conditions being equal. Trawling of such a prey as vendace (*Coregonus albula*) in Lake Vishtynetskoye is one of the priority tasks for the Kaliningrad region in the field of fishing. This type of fishery is important from the point of view of substantiating the total allowable catch (TAC) for catching vendace, since the designed trawl for catching this fish species will be operated and will significantly increase the catch of a valuable species of hydrobionts in Lake Vishtynetskoye.

Keywords: *floating anchor, experiments, hydrochannel, test site, boat, resistance, thrust*

Funding: The study was carried out as part of the state assignment on the topic "Development of physical, mathematical and predictive models for the operation of bottom and mid-water trawl systems".

For citation: Nedostup A. A., Nasenkov V. P., Belozher S. I. Experimental studies of a floating anchor. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 35–45. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-35-45.

ВВЕДЕНИЕ

Задача проектирования трала сводится к обоснованию агрегатного сопротивления траловой системы R_a с учетом располагаемой тяги судна P_p [1]. Причем последняя должна обеспечиваться соответствующей скоростью траления, иначе рыбу не поймать:

$$R_a \leq P_p, \quad (1)$$

$$P_p = f(k, v), \quad (2)$$

где k – коэффициент использования тяги, $k \leq 1$; v – скорость траления.

Оценить располагаемую тягу судна P_p возможно благодаря нескольким методам [2]:

- непосредственно рассчитать P_p по данным двигателя, гребного винта и характеристик корпуса судна, а также его генератора;
- экспериментально измерить P_p .

Остановимся на втором методе определения P_p , связанном с задачей проектирования разноглубинного трала для вылова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком. Разработка проекта имеет первостепенное значение для Калининградской области в плане обоснования общего допустимого улова (ОДУ) данного вида рыб, поскольку в результате использования трала существенно возрастает добыча ценного вида гидробионтов.

В связи с тем, что предполагается эксплуатировать разноглубинный трал на оз. Виштынецком совместно с лодкой "Ока-4", ее располагаемую тягу P_p оценим с помощью плавучего якоря (рис. 1).

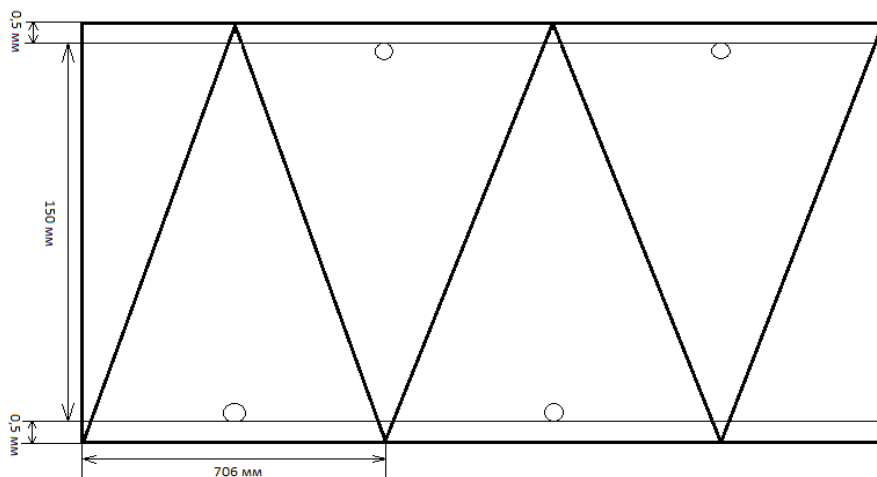


Рис. 1. Плавучий якорь (развертка)
 Fig. 1. Floating anchor (development drawing)

Характеристики плавучего якоря приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики плавучего якоря
 Table 1. Characteristics of a floating anchor

Диаметр основания D , мм	Диаметр выходного отверстия d , мм	Длина образующей L , м	Материал
900	130	1,5	Брезент

Плавучий якорь – это приспособление, главной задачей которого является удержание маломерного судна на месте, невзирая на сильное течение, ветер, высокие волны и т. д. Важное значение имеют размеры якоря, поскольку от них зависит эффективность его использования, равно как и при выборе обычного основного параметра – веса, который должен быть достаточным для удержания судна на месте. Плавучий якорь (рис. 1) имеет усеченную конусовидную форму, изготавливается из брезента. В основание его вшивается металлический обруч: это делается с целью укрепления конструкции. По сути, он представляет собой

сачок с отрезанным концом, но ручка заменена на четыре стропа, которые крепятся к основному канату, соединяющему устройство с лодкой. Также к его основанию присоединяется трос для вытягивания из воды. Конструкция оснащена буйком, указывающим на его местоположение в воде относительно судна [3].

Плавающий якорь служит оценкой располагаемой тяги судна P_p в условиях полигона, т. е. его буксировки и определения скорости траления.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для обоснования располагаемой тяги судна P_p были поставлены задачи определения агрегатного сопротивления:

- плавучего якоря R_a в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис";
- плавучего якоря и располагаемой тяги P_p лодки "Ока-4" на полигоне в Березовском карьере.

Первая задача по определению агрегатного сопротивления плавучего якоря R_a в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис" необходима для построения зависимости вида

$$R_a = f(v), \quad (3)$$

причем $k=1$.

Вторая задача по определению располагаемой тяги P_p лодки "Ока-4" на полигоне в Березовском карьере сводится к поиску на зависимости (3) располагаемой тяги P_p лодки и агрегатного сопротивления R_a . Причем, v и R_a являются входными и первостепенными параметрами при проектировании разноглубинного трала для вылова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком.

МЕТОДЫ

Опыты в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис" с плавучим якорем для определения его агрегатного сопротивления R_a проходили в ноябре 2021 г. В табл. 2 сведены размеры экспериментальной конструкции.

Таблица 2. Размеры экспериментальной конструкции
 Table 2. Dimensions of the experimental design

Длина строп l_c , м	Длина оттяжек l , м	Расстояние между креплениями оттяжек L_d , м	Горизонт расположения крепления тензодатчика h , м
1,3	5,0	2,12	0,5

На рис. 2 изображены экспериментальная конструкция и плавающий якорь.

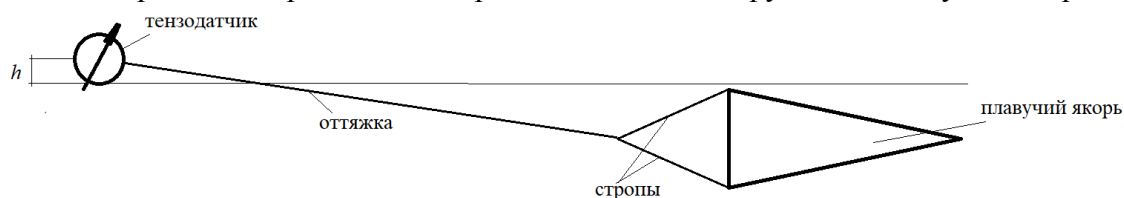


Рис. 2. Экспериментальная конструкция и плавающий якорь
 Fig. 2. Experimental design and afloat anchor

На рис. 3 показаны гидроканал ООО "Фишеринг Сервис" и испытания плавучего якоря, на рис. 4 и 5 – плавучий якорь в ходе экспериментов. В процессе исследований снимались показания тензодатчика измерительной станции МПС-200 (см. рис. 6) и углы ориентации оттяжек. Все данные занесены в табл. 3. Значения агрегатного сопротивления плавучего якоря R_a получены по формуле [4]:

$$R_a = NT \cos\left(\arcsin\left(\frac{L_d - D}{2(l + l_c)}\right)\right) \cos\left(\arcsin\left(\frac{h}{l + l_c}\right)\right), \quad (4)$$

где N – количество оттяжек, $N=2$; T – натяжение в оттяжке (показание тензодатчика).

Угол ориентации оттяжки в горизонтальной плоскости α определяется по выражению

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{L_d - D}{2(l + l_c)}\right), \quad (5)$$

угол ориентации оттяжки в вертикальной плоскости β вычисляется по формуле

$$\beta = \arcsin\left(\frac{h}{l + l_c}\right). \quad (6)$$



Рис. 3. Гидроканал ООО "Фишеринг Сервис"
Fig. 3. LLC "Fishing Service" hydrochannel

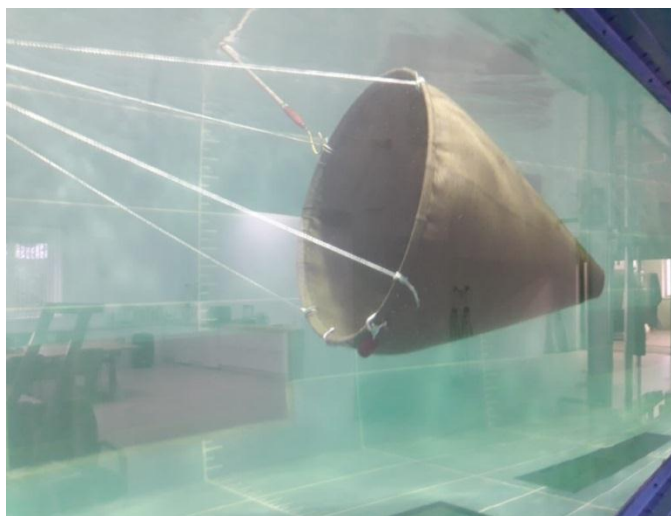


Рис. 4. Плавающий якорь в ходе экспериментов
Fig. 4. Floating anchor during experiments



Рис. 5. Плавающий якорь в ходе экспериментов
Fig. 5. Floating anchor during experiments



Рис. 6. Тензометрическая станция MIC-200
Fig. 6. Tenometric station MIC-200

Таблица 3. Экспериментальные данные
 Table 3. Experimental data

№ п/п	Скорость потока воды v , м/с	Угол ориентации оттяжки в горизонтальной плоскости α , град	Угол ориентации оттяжки в вертикальной плоскости β , град	Натяжение в оттяжке T , Н	Агрегатное сопротивление плавучего якоря R_a , Н
1	0,5	2,7	4,5	90	179
2	1,0			510	1016
3	2,0			1500	2987
4	2,5			2010	4003

На основании экспериментальных данных табл. 3 построим график зависимости (3), который приведен на рис. 7.

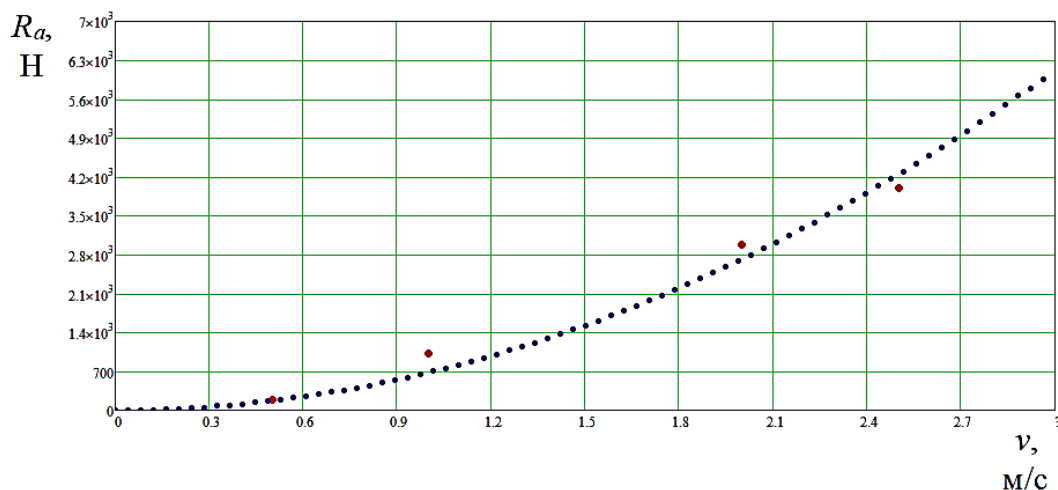


Рис. 7. График зависимости $R_a=f(v)$

Fig. 7. Dependency graph $R_a=f(v)$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным табл. 3 определена эмпирическая формула для расчета агрегатного сопротивления плавучего якоря (ошибка не более 10 %):

$$R_a = 1060 \frac{\pi D^2}{4} v^2, \quad (7)$$

где показатель 1060 имеет размерность плотности "кг/м³".

На основании формулы для расчета гидродинамического сопротивления плавучего якоря R_x [1]

$$R_a = R_x = 900 \frac{\pi D^2}{4} v^2, \quad (8)$$

где у показателя 900 размерность плотности "кг/м³" при условии, что гидродинамическое сопротивление обруча, оттяжек и строп равно 0. Разница в показателях формул (7) и (8) обусловлена размерами выходного отверстия плавучего якоря.

Сопоставим экспериментальные и расчетные данные сопротивления плавучего якоря (рис. 8).

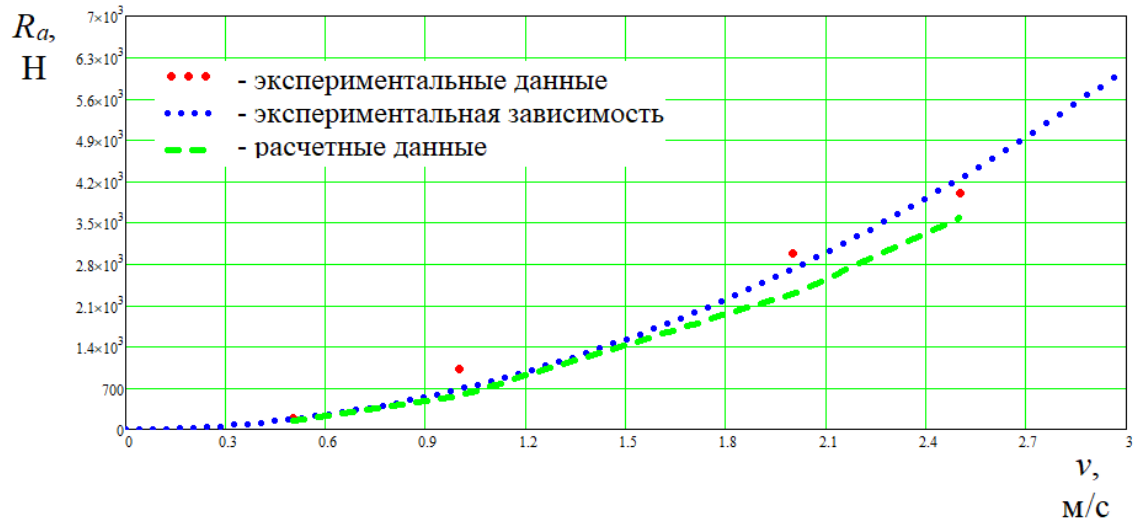


Рис. 8. График зависимости $R_a=f(v)$
Fig. 8. Dependency graph $R_a=f(v)$

Вторая задача по определению располагаемой тяги P_p лодки «Ока-4» на полигоне в Березовском карьере Гвардейского района Калининградской области, где проходили эксперименты (рис. 9), свелась к поиску на зависимости $P_p=R_a=f(v)$ максимальной скорости буксировки.



Рис. 9. Эксперименты на полигоне в Березовском карьере
Fig. 9. Experiments at the test site in the Berezovsky quarry

На рис. 10 изображена схема проведения опытов. В лодке находились три человека.

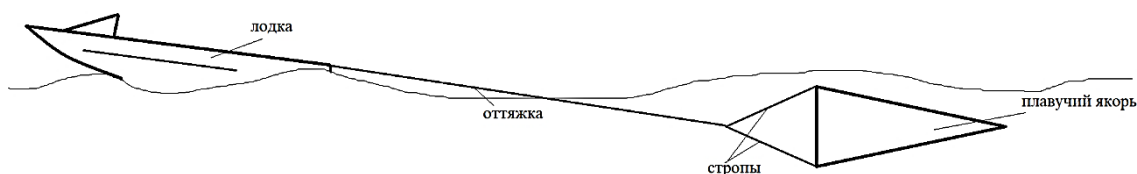


Рис. 10. Схема проведения экспериментов на полигоне
Fig. 10. Scheme of conducting experiments at the test site

В ходе исследований на полигоне получены данные по скорости буксировки плавучего якоря, а именно $v=1,5$ м/с. Таким образом, по формуле (7) определим значение агрегатного сопротивления:

$$R_{\alpha} = 1060 \frac{\pi 0,9^2}{4} 1,5^2 = 1517 \text{ Н.}$$

Благодаря программному обеспечению "Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства" для обоснования проектных характеристик разноглубинного трала выяснилось, что при скорости траления $v=1,5$ м/с и $R_{\alpha}=1517$ Н облавливать ряпушку (*Coregonus albula*) не имеет смысла, так как бросковая скорость у рыбы имеет значения более 2 м/с.

Таким образом, было принято решение использовать при облове ряпушки (*Coregonus albula*) разноглубинным тралом две спаренные лодки "Ока-4" с моторами мощностью 25 л. с. каждый. Выполним соответствующие расчеты. На скорости $v=1,5$ м/с, соответственно, $R_{2\alpha}=3035$ Н – агрегатное сопротивление двух плавучих якорей одинаковых размеров, тогда на основании формулы (7) получим

$$D_2 = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{2R_{2\alpha}}{1060\pi}} = 1,273 \text{ м.} \quad (9)$$

Определяем максимально возможное агрегатное сопротивление при $v=2,0$ м/с для двух спаренных лодок «Ока-4»:

$$R_{\alpha} = 1060 \frac{\pi 1,273^2}{4} 2,0^2 = 5,39 \text{ кН.}$$

На основании расчетов с помощью программного обеспечения "Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства" для обоснования проектных характеристик разноглубинного трала были получены основные геометрические параметры раскрытия устья трала при $v=2,0$ м/с: $L=10$ м – горизонтальное и $H=11$ м – вертикальное.

Обработка опытных данных велась по общепринятой методике [5, 6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения экспериментальных исследований получена формула для вычисления сопротивления плавучего якоря (7), точность расчетов по формуле (7) соответствует 95 %. Определены агрегатное сопротивление плавучего якоря R_{α} в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис", агрегатное сопротивление плавучего якоря и располагаемая тяга P_p лодки "Ока-4" на полигоне в Березовском карьере.

В соответствии с полученными данными по скорости траления и агрегатному сопротивлению плавучего якоря и расчетами с помощью программного обеспечения "Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства" обоснованы проектные характеристики разноглубинного трала, которые соответствовали при $v=2,0$ м/с: $L=10$ м – горизонтальное и $H=11$ м – вертикальное раскрытие устья трала.

Разработка проекта разноглубинного трала для лова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком является приоритетной задачей для Калининградской области с точки зрения обоснования общего допустимого улова (ОДУ) данного вида рыб, поскольку при эксплуатации он окажет существенное воздействие на увеличение добычи ценного вида гидробионтов.

Список источников

1. Розенштейн М. М., Недоступ А. А. Механика орудий рыболовства. Москва: Моркнига, 2011. 528 с.
2. Радциг А. Н. Экспериментальная гидромеханика. Москва: Изд-во МАИ, 2004. 296 с.
3. Шибанов Г. П. Эксплуатация и безопасность парашютных систем. Москва: Машиностроение, 2005. 288 с.
4. Недоступ А. А. Экспериментальная гидромеханика орудий рыболовства. Москва: Моркнига, 2014. 363 с.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 564 с.
6. Щиголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 344 с.

References

1. Rozenshtein M. M., Nedostup A. A. *Mekhanika orudiy rybolovstva* [Fishing gear mechanics]. Moscow. Morkniga Publ., 2011. 528 p.
2. Radtsig A. N. *Eksperimental'naya gidromekhanika* [Experimental hydromechanics]. Moscow. MAI Publ., 2004. 296 p.
3. Shibanov G. P. *Ekspluatatsiya i bezopasnost' parashyutnykh system* [Operation and safety of parachute systems]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 2005. 288 p.
4. Nedostup A. A. *Eksperimental'naya gidromekhanika orudiy rybolovstva* [Experimental hydromechanics of fishing gear]. Moscow. Morkniga Publ., 2014. 363 p.
5. Venttsel' E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow. Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1962. 564 p.
6. Shchigolev B. M. *Matematicheskaya obrabotka nablyudeniy* [Mathematical processing of observations]. Moscow. Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1962. 344 p.

Информация об авторах

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

П. В. Насенков – заведующий учебно-исследовательской лабораторией САПР техники промышленного рыболовства, младший научный сотрудник

И. С. Белозер – студент кафедры промышленного рыболовства

Information about the author

A. A. Nedostup – PhD, Associate Professor, head of the Department of Commercial Fisheries

P. V. Nasenkov – Head of the Educational and Research Laboratory of CAD for I Commercial Fishing Techniques, Junior Researcher

I. S. Belozer – student of the Department of Commercial Fisheries

Статья поступила в редакцию 17.05.2022; одобрена после рецензирования 07.12.2022; принята к публикации 15.12.2022.

The article was submitted 17.05.2022; approved after reviewing 07.12.2022; accepted for publication 15.12.2022.

Научная статья
УДК 631.147:502.55
DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54

Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков

Лариса Валентиновна Пилип¹, Надежда Викторовна Сырчина²

¹Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

²Вятский государственный университет, Киров, Россия

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Аннотация. Экологическая безопасность функционирования животноводческих и птицеводческих промышленных комплексов является приоритетным направлением успешного развития сельского хозяйства. При хранении органических отходов (навоз, навозные стоки, помет) в лагунах в течение 6–12 мес. происходит эмиссия N-содержащих соединений, в том числе аммиака. К негативным экологическим последствиям образования данных соединений относятся изменение биоразнообразия флоры и фауны водных водоемов, химическая и микробная деградация пахотных земель сельскохозяйственных угодий и загрязнение атмосферного воздуха, в том числе запаховое. Существенная роль в микробиологическом разложении органических компонентов навозных стоков принадлежит микроорганизмам-аммонификаторам родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Proteus*. Изучение их функции в эмиссии аммиака, а также влияния различных условий хранения на видовое разнообразие и численность аммонификаторов является перспективным направлением, позволяющим контролировать эмиссию N-содержащих соединений. В ходе наших исследований обнаружено, что в свежих навозных стоках доминируют аммонификаторы *Peptostreptococcus anaerobius*. Количественный и качественный состав микроорганизмов изменяется в зависимости от сроков и условий хранения (подкисление навозных стоков). При хранении наибольшей численности аммонификаторы достигают на 14-й день. На 7-й день отмечено превалирование *Clostridium spp.*, а на 14-й – *E. Coli*. Подкисление навозных стоков 10%-ным раствором серной кислоты до pH 5,3±0,2 значительно снижает численность микроорганизмов-аммонификаторов на 98,89 % на 7-й и 89,05 % – на 14-й дни, соответственно, в сравнении с исходными значениями. Активность *Proteus spp.* подавляется полностью, что приводит к абсолютному исчезновению микроорганизма из навозных стоков. Наиболее устойчивыми к подкислению оказались *Clostridium spp.* Применение технологии подкисления навозных стоков позволит уменьшить негативное воздействие свиноводческих предприятий на экосистемы благодаря значительному снижению NH₃, попадающего в окружающую среду.

Ключевые слова: микроорганизмы-аммонификаторы, свиные навозные стоки, серная кислота, эмиссия аммиака

Для цитирования: Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 46–54. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54.

Original article

The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia

Larisa V. Pilip¹, Nadezhda V. Syrchina²

¹Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

²University Vyatka State University, Kirov, Russia

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Abstract. Organic waste from livestock and poultry complexes (manure, manure drains, manure) should be environmentally safe for the environment. Negative environmental consequences of the emission of N-containing compounds include changes in the biodiversity of flora and fauna of water bodies, chemical and microbial degradation of arable lands of agricultural lands and atmospheric air pollution, including odorous. When storing organic waste in lagoons for 6–12 months, the emission of N-containing compounds, including ammonia, occurs. Microbiological processes in manure runoff occur with the participation of microorganisms-ammonifiers. There are *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Proteus*. In the course of our research, it has been found that *Pep-tostreptococcus anaerobius* ammonifiers dominate in fresh manure drains. The quantitative and qualitative composition of ammonifiers varies depending on the terms and conditions of storage (acidification of manure drains). During storage, the largest number of ammonifiers is reached on the 14th day. On the 7th day, the prevalence of *Clostridium spp.* was noted, and on the 14th day- *E. Coli* prevailed. Acidification of manure effluents with a 10 % solution of sulfuric acid to a pH of 5.3 ± 0.2 significantly reduces the number of microorganisms-ammonifiers by 98.89 % on the 7th and 89.05 % and 14th days, respectively, in comparison with the initial values. The activity of *Proteus spp.* is completely suppressed, which leads to the complete disappearance of the microorganism from the manure drains. The most resistant to acidification were *Clostridium spp.* Application of the technology of acidification of manure effluents will reduce the negative impact of pig breeding enterprises on ecosystems due to a significant reduction in NH_3 entering the environment from manure effluents.

Keywords: microorganisms-ammonifiers, pig manure effluents, sulfuric acid, ammonia emission

For citation: Pilip L. V., Syrchina N. V. The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 46–54. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54.

ВВЕДЕНИЕ

При обращении с органическими отходами (навоз, помет) животноводства на первый план выходят вопросы экологической безопасности отрасли [1, 2]. Отходы животноводства (навоз, помет) входят в число важнейших источников антропогенного загрязнения окружающей среды аммиаком (NH_3) [3, 4]. Выбросы NH_3 приводят к повышению содержания в окружающей среде органически связанного азота и нитритов, что сопряжено с интенсификацией процессов эвтрофи-

кации водоемов, подкислением почв и поверхностных вод, изменением видового состава растительности. Образование твердых кристаллов солей аммония в воздухе оказывает негативное воздействие на здоровье человека, так как способствует развитию сердечно-сосудистых, респираторных и онкологических заболеваний [5]. На международном уровне выбросы NH_3 регулируются Гетеборгским протоколом к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1999 г.). В декабре 2014 г. в Женеве на совещании государств-участников Конвенции был принят Рамочный кодекс по аммиаку, направленный на сокращение выбросов этого газа из сельскохозяйственных источников. Соответствующий документ стал дополнением к Протоколу о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном. В РФ до настоящего времени выбросы NH_3 не нормируются [6]. Контролю и нормированию по содержанию NH_3 подлежат лишь показатели микроклимата животноводческих объектов при наличии в помещениях животных, так как аммиак обладает токсическим действием на организм, снижая продуктивность, и увеличивает себестоимость продукции [7].

Продуцирование NH_3 в органогенных отходах в основном обусловлено процессами метаболизма аминокислот, пептидов, белков такими микроорганизмами-аммонификаторами, как *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium sporogenes*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Mycobacterium*, *Proteus* и др. [8, 9]. Разложению с выделением NH_3 также подвергаются содержащиеся в навозных стоках (НС) и помете птиц мочевины, гиппуровая и мочевиная кислоты. Активное участие в деструкции мочевины принимают микроорганизмы – продуценты уреазы: *Micrococcus ureae*, *Sporosarcina ureae*, *Bacillus pasteurii* и др. [10]. Помимо бактерий, в процессах аммонификации (гниения) участвуют актиномицеты и плесневые грибы [11].

Процесс аммонификации может протекать в широком интервале рН как в аэробных, так и анаэробных условиях, причем потери азота за счет эмиссии NH_3 из навоза в аэробных условиях значительно выше, чем в анаэробных [12]. Наилучшие условия для развития соответствующих процессов в НС создаются при температуре 30–40 °С в интервале рН от 6 до 8.

Для снижения эмиссии NH_3 из НС используют приемы, направленные на подавление активности микроорганизмов-аммонификаторов. К таким приемам можно отнести регулирование рН, влажности и температуры субстрата, внесение в субстрат ингибиторов уреазы или бактерицидных препаратов и т. п. [13]. Следует отметить, что данных, позволяющих судить о влиянии рН на наличие и динамику численности микроорганизмов в свином навозе и НС, опубликовано крайне недостаточно, что существенно затрудняет разработку технологий эффективного управления этим отходом.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния рН на видовое разнообразие и численность микроорганизмов аммонификаторов свиных навозных стоков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились образцы свиных навозных стоков из цеха доращивания с самотечной системой удаления навоза периодического действия. Образующиеся в результате жизнедеятельности животных НС через щелевые полы стекают в подпольные навозные ванны объемом 33,54 м³. Срок нахождения

НС в ваннах – 10–14 дней с частичным или полным опорожнением по мере заполнения за счет открытия заслонок пробкового типа.

Пробы НС отбирали непосредственно из навозосборных ванн в стерильные 5-литровые емкости и доставляли в лабораторию для проведения исследований. В процессе эксперимента НС хранили в затемненном месте при температуре 21 ± 2 °С в закрытых емкостях с газоотводными трубками (условия хранения примерно соответствовали условиям, складывающимся в навозосборных ваннах).

Химические и микробиологические исследования НС проводили в 1, 7 и 14-е сутки после отбора проб, что соответствовало периодичности заполнения и слива стоков из ванн (1-е сутки – начало заполнения; 7-е и/или 14-е – слив стоков). Содержание сухого вещества в отобранных пробах НС составляет 2,1 %, рН $6,8 \pm 0,1$.

Для подкисления НС использовали 10%-ный раствор серной кислоты (H_2SO_4). рН подкисленных проб доводили до $5,3 \pm 0,2$. При более низких значениях рН начинается активная коррозия оборудования, что недопустимо в производственных условиях.

Для определения содержания NH_3 в выделяемых из навоза газах образцы НС помещали в емкости, герметично закрытые пробками с газоотводными трубками. Выделяющийся газ через газоотводную трубку поступал в хемоабсорбер, в котором NH_3 поглощался 0,01 Н раствором H_2SO_4 . Непоглощенный газ (преимущественно смесь CO_2 и CH_4), выходящий из абсорбера, собирали методом вытеснения воды и измеряли его объем. Не вступившую в реакцию с аммиаком кислоту титровали 0,01 Н раствором гидроксида натрия. Расчет содержания NH_3 проводили с учетом поправочного коэффициента (приведение к нормальным условиям). Кислотно-основное титрование осуществляли трехкратно, расчет производили по среднему значению.

Микробиологические исследования, включающие серийные десятикратные разведения, с дальнейшим посевом исследуемых проб на стандартные и специализированные питательные среды и их инкубированием при 37 °С в течение 24–48 ч проводили трехкратно. Для идентификации микроорганизмов использовали анаэротест и энтеротест (Lachema, Чехия).

Статистическую обработку результатов осуществляли стандартными методами с применением встроенного пакета программ EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты эксперимента показали, что наиболее интенсивное выделение NH_3 из НС наблюдается в первые сутки после отбора проб. Подкисление НС до рН $5,3 \pm 0,2$ привело к существенному снижению эмиссии NH_3 , наиболее отчетливо это проявилось в конце периода наблюдений.

Динамика эмиссии аммиака из НС с разным значением рН представлена в табл. 1.

Таблица 1. Динамика эмиссии NH₃ в подкисленных и неподкисленных НС, мг/л
 Table 1. Dynamics of the emissions of NH₃ in acidified and non-acidified manure effluents, mg/l

№ п/п	Период сбора выделяющегося NH ₃	Средняя концентрация NH ₃ в выделяющихся из НС газов, мг/л	
		подкисленные НС (рН 5,3±0,2)	неподкисленные НС (рН 6,8±0,2)
1	1-й день	1,44±0,21	1,51±0,10
2	2–7-й день	0,77±0,09	1,15±0,06**
3	8–14-й день	0,38±0,03	0,71±0,03***

Примечание. **P < 0,01; ***P < 0,001 – в сравнении с неподкисленными стоками.

Динамика численности микроорганизмов-аммонификаторов в зависимости от сроков и условий хранения приведена в табл. 2.

Таблица 2. Динамика численности микроорганизмов-аммонификаторов в подкисленных и неподкисленных НС, КОЕ/мл
 Table 2. Dynamics of the number of microorganisms-ammonifiers in acidified and non-acidified manure effluents, CFU/ml

№ п/п	Микроорганизмы	Исходное число микроорганизмов в НС	Подкисленные НС рН 5,3±0,2		Неподкисленные НС рН 6,8±0,2	
			1-й день	7-й день	14-й день	7-й день
1	<i>Escherichia coli</i>	(5±0,7)×10 ⁶	(5±0,2)×10 ⁶	(6±0,2)×10 ⁷ *	(7±0,6)×10 ⁷ *	(8±0,5)×10 ⁹ **
2	<i>Proteus spp.</i>	(6±0,5)×10 ⁵	0		(6±0,8)×10 ⁷ *	(6±0,8)×10 ⁷ **
3	<i>Clostridium spp.</i>	(7±0,9)×10 ⁵	(6±0,7)×10 ⁷ **	(7±0,5)×10 ⁸ **	(7±0,9)×10 ⁹ ***	(6±0,9)×10 ⁹ **
4	<i>Bacteroides fragilis</i>	(5±0,3)×10 ⁶	(6±0,4)×10 ⁶ *	(7±0,6)×10 ⁶ *	(7±0,3)×10 ⁷ *	(8±0,2)×10 ⁷ *
5	<i>Peptostreptococcus sp. (P. anaerobius)</i>	(7±0,6)×10 ⁹	(7±0,9)×10 ⁶	(6±0,7)×10 ⁵ ***	(8±0,3)×10 ⁷ *	(6±0,5)×10 ⁷ **

Примечание. *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001 – в сравнении с исходной численностью микроорганизмов.

Согласно полученным результатам в свежих НС среди микроорганизмов-аммонификаторов доминируют *Peptostreptococcus anaerobius*, численность которых составляет 7×10⁹ КОЕ/мл, а остальных аммонификаторов – лишь 0,16 %. Следует отметить, что в свежем свином навозе идентифицируется постоянный обитатель желудочно-кишечного тракта животных *Lactobacillus spp.*, численность которого достигает 7×10⁸ КОЕ/мл, однако в НС эти микроорганизмы не были выявлены.

При хранении НС численность микроорганизмов-аммонификаторов возрастает на 3,83 % на 7-й день и более чем в 2 раза – на 14-й (соответствует технологическому сроку полного опорожнения навозных ванн). На 7-й день в НС преобладают *Clostridium spp.*, а на 14-й – *Clostridium spp.* и *E. Coli*. Клостридии сбраживают большое число субстратов, включая полисахариды, белки, аминокислоты и пурины. Наиболее высока их роль в дезаминировании аминокислот с образованием аммиака и летучих жирных кислот, преимущественно масляной кислоты.

Подкисление значительно снижает численность микроорганизмов-аммонификаторов на 98,89 и 89,05 % на 7 и 14-й дни соответственно в сравнении с исходными значениями. Особенно губительным смещение pH до 5,3 являлось для *Proteus spp.* По опубликованным данным [14], именно микроорганизмы рода *Proteus* способны активно расщеплять мочевины за счет уреазы, причем для синтеза фермента не требуется индукции мочевиной, а аммиак не подавляет ее синтез, в связи с чем *Proteus* могут расщеплять всю имеющуюся мочевины до NH_3 . Создание условий, не благоприятных для жизнедеятельности *Proteus spp.* в НС, позволит существенно снизить эмиссию аммиака.

Наиболее устойчивыми в кислой среде оказались факультативные и облигатные анаэробы *Clostridium spp.* В процессе хранения подкисленных НС их численность несколько увеличивается, но остается ниже, чем в не обработанных кислотой образцах. Этот факт, по всей видимости, связан с тем, что оптимальным значением pH для их жизнедеятельности является 7,2–7,4.

Численность анаэробного микроорганизма *Bacteroides fragilis* в неподкисленных образцах постепенно возрастает до 7×10^6 КОЕ/мл, а в подкисленных практически не изменяется. *Bacteroides* принимает участие в реакциях дезаминирования аминокислот с образованием летучих жирных кислот и аммиака.

Количество факультативного анаэроба *E. Coli* по мере хранения нативных НС существенно увеличивается (оптимальное значение pH 7,2–7,5), в подкисленных образцах этот процесс протекает значительно медленнее. Следует отметить, что бактерии *E. Coli* являются условно-патогенными микроорганизмами и в определенных условиях могут вызывать различные заболевания животных и человека.

Численность *Peptostreptococcus* снижается как в подкисленных, так и в неподкисленных НС, однако в подкисленных – значительно. Эти микроорганизмы принимают активное участие в дезаминировании аминокислот с выделением аммиака.

Нужно подчеркнуть, что на поверхности подкисленных НС к концу эксперимента сформировалась достаточно устойчивая и плотная биопленка, в составе которой были обнаружены плесневые грибы. На поверхности неподкисленных НС устойчивая пленка не формировалась.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования показывают, что подкисление НС до pH $5,3 \pm 0,2$ является эффективным приемом, позволяющим снизить эмиссию аммиака за счет связывания этого газа в нелетучие соединения – соли аммония, ингибирования фермента уреазы, а также подавления активности микроорганизмов-аммонификаторов.

Особенно существенно в подкисленных НС снижается численность *Proteus spp.*, принимающих активное участие в расщеплении мочевины. Наиболее устойчивыми в кислой среде оказались факультативные и облигатные анаэробы *Clostridium spp.*

Несмотря на то, что общая численность аммонификаторов в период хранения НС постепенно нарастает, эмиссия NH_3 из этого отхода снижается. Установленный факт позволяет предположить, что основной причиной, влияющей на ко-

личество выделяемого из НС аммиака, является состав субстрата, а именно баланс в субстрате азотсодержащих органических и неорганических веществ.

Перевод органически связанного азота в минеральную форму в процессе жизнедеятельности аммонификаторов создает благоприятные условия для развития плесневых грибов, способных к активному метаболизму в кислой среде. Об их влиянии на эмиссию NH_3 из биогенных отходов до настоящего времени известно очень мало. Систематическое изучение этого вопроса может создать теоретическую базу для разработки новых технологий, позволяющих снизить потери азота и опасность загрязнения окружающей среды аммиаком.

Список источников

1. Тарасов С. Скандинавский опыт снижения экологических рисков при интенсивном применении органических удобрений // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 3. С. 32–37.
2. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения // Региональная экология. 2017. № 1 (47). С. 37–43.
3. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т., Шведов А. А. Эмиссия аммиака и ее последствия для окружающей среды // Вестник ВНИИМЖ. 2018. №1 (29). С. 42–49.
4. Влияние подкисления на численность и состав продуцентов аммиака в навозных стоках свиноферм / Н. В. Сырчина, Л. В. Филип, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров, 2020. С. 54–57.
5. Какарека С. В., Мальчихина А. В. Аммиак в атмосферном воздухе: источники поступления, уровни содержания, регулирование: монография. Минск: Беларуская навука, 2016. 253 с. URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=467627 (дата обращения: 16.05.2022).
6. Reducing Ammonia Emissions from Agriculture. URL: <https://www.yara.com/globalassets/pure-nutrient-ammonia/reducing-ammonia-emissions-from-agriculture.pdf> (дата обращения: 16.05.2022).
7. РД–АПК 1.10.15.02–17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. URL: <http://docs.cntd.ru/document/495876346> (дата обращения: 16.05.2022).
8. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2000. V. 78. P. 93–106.
9. Мушина М. В., Телятникова Н. В. Микрофлора навоза // Молодежь и наука. 2016. №. 8. С. 8–18.
10. Криволапов И. П. Анализ биохимических процессов при компостировании // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2010. №1. С. 65–68.
11. Хакимова Н. Х., Исломова У. Биологическая активность старых орошаемых луговых почв хозяйства "Мирзоджамшид" Шафирканского района Бухарской области // Современные научные исследования. Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС "Наука и Просвещение", 2021. С. 26–28.

12. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: An incubation experiment / S. Mahimairaja, N. S. Bolan, M. J. Hedley, A. N. Macgregor // *Bioresource Technology*. 1994. V. 47. N 3. P. 265–273. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90190-2](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90190-2).

13. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // *Иппология и ветеринария*. 2018. №. 4 (30). С. 99–106.

14. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики / Л. В. Пилип, В. А. Козвонин, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 3. С. 161–167.

References

1. Tarasov S. Skandinavskiy opyt snizheniya ekologicheskikh riskov pri intensivnom primenenii organicheskikh udobreniy [Scandinavian experience of reducing environmental risks with the intensive use of organic fertilizers]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*, 2017, no. 3. pp. 32–37.

2. Bryukhanov A. Yu., Vasiliev E. V., Shalavina E. V. Problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodstva i nailuchshie dostupnye metody ikh resheniya [Challenges of environmental safety in livestock farming and best available methods to address them]. *Regionalnaya ekologiya*, 2017, no. 1 (47), pp. 37–43.

3. Gridnev P. I., Gridneva T. T., Shvedov A. A. Emissiya ammiaka i ee posledstviya dlya okruzhayushchey sredy [Emission of ammonia and its consequences for the environment]. *Vestnik VNIIMZH*, 2018, no. 1 (29), pp. 42–49.

4. Syrchina N. V., Pilip L. V., Kozvoin V. A., Kolevatykh E. P. Vliyanie podkisljeniya na chislennost' i sostav produktentov ammiaka v navoznykh stokakh svinoferm [The effect of acidification on the number and composition of ammonia producers in pig farm manure effluents]. *Trudy XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem"* [Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation "Biodiagnotics of the state of environmental and technogenic systems"]. Kirov, 2020, pp. 54–57.

5. Kakareka S. V., Malchikhina A. V. *Ammiak v atmosfernom vozdukh: istochniki postupleniya, urovni sodержaniya, regulirovanie: monografiya* [Ammonia in atmospheric air: sources of intake, levels of content, regulation]. Minsk, Belaruskaya navuka, 2016. 253 p., available at: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=467627 (Accessed 16 May 2022).

6. Reducing Ammonia Emissions from Agriculture. Available at: <https://www.yara.com/globalassets/pure-nutrient-ammonia/reducing-ammonia-emissions-from-agriculture.pdf> (Accessed 16 May 2022).

7. RD – APK 1.10.15.02–15. Guidelines for the technological design of systems for the removal and preparation for use of manure and poultry manure, available at: <http://docs.cntd.ru> (Accessed 16 May 2022).

8. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2000, vol. 78, pp. 93–106.

9. Mushina M. V., Telyatnikova N. V. Mikroflora navoza [Microflora of manure]. *Molodezh i nauka*, 2016, no. 8, pp. 8–18.

10. Krivolapov I. P. Analiz biokhimicheskikh protsessov pri kompostirovanii [Analysis of biochemical processes during composting]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, no. 1, pp. 65–68.

11. Khakimova N. Kh., Islomova U. Biologicheskaya aktivnost starykh oroshayemykh lugovykh pochv khozyaystva "Mirzodzhamshid" Shafirkanskogo rayona Bukharskoy oblasti [Biological activity of old irrigated meadow soils of the Mirzozhamshid farm in Shafirkan district of Bukhara region]. *Sbornik statey XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennye nauchnye issledovaniya. Aktualnye voprosy, dostizheniya i innovatsii"* [Collection of articles of the XXII International Scientific and Practical Conference "Modern scientific research. Topical issues, achievements and innovations"]. Penza, ICNS "Science and Education", 2021, part 1, pp. 26–28.

12. Mahimairaja S., Bolan N. S., Hedley M. J., Macgregor A. N. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: An incubation experiment. 1994, *Bioresource Technology*. 1994, vol. 47, no. 3, pp. 265–273, [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90190-2](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90190-2).

13. Pilip L. V., Syrchina N. V. Novye podkhody k dezodoratsii svinogo navoza [New approaches to deodorization of pig manure]. *Ippologiya i veterinariya*, 2018, no. 4 (30), pp. 99–106.

14. Pilip L. V., Kozvonin V. A., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya. Vliyanie podkisljeniya navoznykh stokov na ikh mikrobiologicheskie kharakteristiki [Effects of acidifying manure effluent on its microbiological characteristics]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2020, no. 3, pp. 161–167.

Информация об авторах

Л. В. Пилип – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии

Н. В. Сырчина – кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, старший научный сотрудник лаборатории биомониторинга ВятГУ и Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Information about the authors

L. V. Pilip – PhD in Veterinary sciences, Associate Professor of the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry

N. V. Syrchina – PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemistry Teaching Methods, Senior Researcher of the Laboratory of Biomonitoring of Vyatka State University and Komi of the research center of Ural division of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию 07.10.2022; одобрена после рецензирования 11.10.2022; принята к публикации 03.11.2022.

The article was submitted 07.10.2022; approved after reviewing 11.10.2022; accepted for publication 03.11.2022.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Научная статья

УДК 577:634.7

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-57-70

**Технологические аспекты повышения эффективности фитокомпозиции
на основе флавоноидов облепихового шрота**

**Елена Витальевна Аверьянова¹, Марина Николаевна Школьникова²,
Евгений Дмитриевич Рожнов³**

^{1,3}Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова, Бийск, Алтайский край, Россия

²Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

¹averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

²shkolnikova.m.n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

³red@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Аннотация. В настоящее время остающийся после переработки плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) многотоннажный отход – шрот – не находит промышленного применения, несмотря на содержащиеся в нем макро- и микроэлементы и другие биологически активные вещества, в частности, флавоноиды. Состав шрота определяет его высокую биологическую ценность и возможность получения фармацевтической фитокомпозиции противовоспалительного действия, что в сложившейся ситуации распространения COVID-19 важно и своевременно. Наряду с этим, 80 % населения мира рассматривают растительные лекарственные средства как альтернативу синтетическим препаратам благодаря известному перечню их свойств. Однако лишь небольшая часть полифенолов всасывается в тонком кишечнике, а большая, не абсорбируясь, достигает области толстой кишки. Поэтому требуется эффективная система их доставки с целью достижения терапевтического эффекта. Для решения поставленных в работе задач разработан способ микронизации очищенной флавоноидной фракции облепихового шрота. Определен рациональный режим ультразвуковой микронизации: обработка в течение 10 мин при мощности 50 Вт, в ходе чего получены наименьшего размера частицы – 1400 нм и менее. Микронизированный образец представляет собой однородный тонкодисперсный порошок коричнево-желтого цвета, нейтрального вкуса, без запаха и посторонних примесей, с содержанием основного вещества 96 %, массовой долей влаги порядка 5 %, массовой долей золы – 0,04 %; токсичные элементы и посторонняя микрофлора не обнаружены, что свидетельствует не только о высоком качестве полученного образца, но и проявляемых антибактериальных эффектах фенольных веществ и УЗ-обработки. Анализ степени микронизации и эффективности биологического действия подтвержден на примере антиоксидантной активности и флеботропного действия, косвенно доказывающего Р-витаминную активность. Способ микронизации обеспечивает уменьшение размера частиц в 4,5 раза, увеличение прооксидантной активности на модели восстановления сульфгидрильных групп глутатиона при постоянстве химического состава комплекса.

© Аверьянова Е. В., Школьникова М. Н., Рожнов Е. Д., 2023

Ключевые слова: облепиховый шрот, флавоноиды, фитокомпозиция, эффективность, технологические приемы, микронизация

Для цитирования: Аверьянова Е. В., Школьникова М. Н., Рожнов Е. Д. Технологические аспекты повышения эффективности фитокомпозиции на основе флавоноидов облепихового шрота // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 57–70. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-57-70.

Original article

Technological aspects of improving the efficiency of phytocomposition based on sea buckthorn meal flavonoids

Elena V. Aver'yanova¹, Marina N. Shkol'nikova², Evgeniy D. Rozhnov³

^{1,3}Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Altai region, Russia

²Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

¹averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

²shkolnikova.m.n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

³red@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Abstract. Currently, the multi-tonnage waste – meal – remaining after processing the fruits of buckthorn buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) does not find industrial use, despite the macro- and micro-elements and other biologically active substances contained in it, in particular – flavonoids. The composition of the meal determines its high biological value and the possibility of obtaining a pharmaceutical phytocomposition of anti-inflammatory action, which is important and timely in the current COVID-19 situation. Along with this, 80% of the world's population consider herbal medicines as an alternative to synthetic drugs, thanks to the well-known list of their properties. However, only a small part of polyphenols is absorbed in the small intestine, and the large part reaches the colon area without being absorbed. Therefore, an effective system of their delivery is required to achieve a therapeutic effect. To solve the tasks set in the work, a method of micronization of the purified flavonoid fraction of sea buckthorn meal has been developed. A rational mode of ultrasonic micronization has been determined: processing for 10 minutes at a power of 50 watts, during which the smallest particle size has been obtained – 1400 nm or less. The micronized sample is a homogeneous fine powder of brown-yellow color, neutral taste, odorless and foreign impurities, with a base substance content of 96 %, a moisture content of about 5 %, ash content of 0,04 %, toxic elements and extraneous microflora have not been detected, which indicates not only the high quality of the sample obtained, but also the manifested antibacterial effects of phenolic substances and ultrasonic treatment. Analysis of the micronization degree and the effectiveness of biological action has been confirmed by the example of antioxidant activity and phlebotropic action, indirectly proving P-vitamin activity. The micronization method provides a 4,5-fold reduction in particle size, an increase in prooxidant activity on the model of reduction of sulfhydryl groups of glutathione with a constant chemical composition of the complex.

Keywords: sea buckthorn meal, flavonoids, phytocomposition, efficiency, technological techniques, micronization

For citation: Aver'yanova E. V. Shkol'nikova M. N., Rozhnov E. D. Technological aspects of improving the efficiency of phytochemical composition based on sea buckthorn meal flavonoids. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 57–70. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-57-70.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционным направлением растениеводства на территории Сибири является выращивание и переработка плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.). В первую очередь это связано с тем, что в условиях значительного колебания температур, характерных для резко континентального климата, данная культура является одной из значимых для экономики региона. Стоит отметить, что для Алтайского края облепиха крушиновидная особо важна – на сегодня ее выращиванием и переработкой занимаются более 20 предприятий региона. Плоды, семена и листья достаточно широко используются в фармацевтической, пищевой, косметической промышленности, в меньшей степени это касается практического применения коры и древесной части (рис. 1).

Также не находит промышленного применения остающийся после переработки плодов шрот (до 200 т/год), в котором, наряду с минеральными веществами, остается ряд природных БАВ – витамины, органические кислоты и одни из ценнейших и востребованных компонентов ряда лекарственных препаратов и БАД – флавоноиды [1, 2].

В связи с этим промышленная переработка облепихового шрота требует особого внимания по двум причинам. Во-первых, это эффективное использование биоресурсов, снижающее нагрузку на окружающую среду. Подобного рода отходы традиционно перерабатываются в ходе:

- термохимической конверсии с получением активированных углей, используемых для адсорбции в химической и фармацевтической промышленности, и топливного газа;

- биохимической обработки (раздельный гидролиз, компостирование и ферментация) – для производства молочной кислоты и кормов для животных; ферментативный гидролиз и последующее производство этанола и др. [3].

Во-вторых, химический состав облепихового шрота определяет его высокую биологическую ценность и возможность получения фармацевтической фитоконпозиции для ослабления цитокинового шторма, что в сложившейся ситуации распространения COVID-19 важно и своевременно. Так, активность некоторых флавоноидов была доказана путем ингибирования различных провоспалительных цитокинов. Например, нарингин, выделенный из кожуры цитрусовых, способен ингибировать экспрессию провоспалительных цитокинов (*COX-2*, *iNOS*, *IL-1 β* и *IL-6*), индуцированных эндогенной интоксикацией бактериальным липополисахаридом (*LPS*) *in vitro*, и сдерживает цитокиновую реакцию путем ингибирования экспрессии амфотерина (*HMGBI*, белок медиатор цитокиновой реакции) в модели ишемического (реперфузионного) повреждения миокарда. Результат молекулярной стыковки показал, что нарингин и гесперетин обладают более сильным потенциалом к связыванию АПФ2, кроме того, нарингин может потенциально предотвращать цитокиновый шторм COVID-19 [4].

Предположительно аналогичный противовоспалительный эффект при цитокиновом шторме присущ и флавоноидному комплексу (рутин, кверцетин, кемпферол и изорамнетин), выделенному из шрота плодов облепихи. Имеются данные о высокой активности экстрактов облепихи против вирусов гриппа А в сравнении с противовирусными средствами [5]. Результаты собственных исследований также подтверждают противовоспалительную активность флавоноидов облепихового шрота *in vitro* и *in vivo* [6, 7].

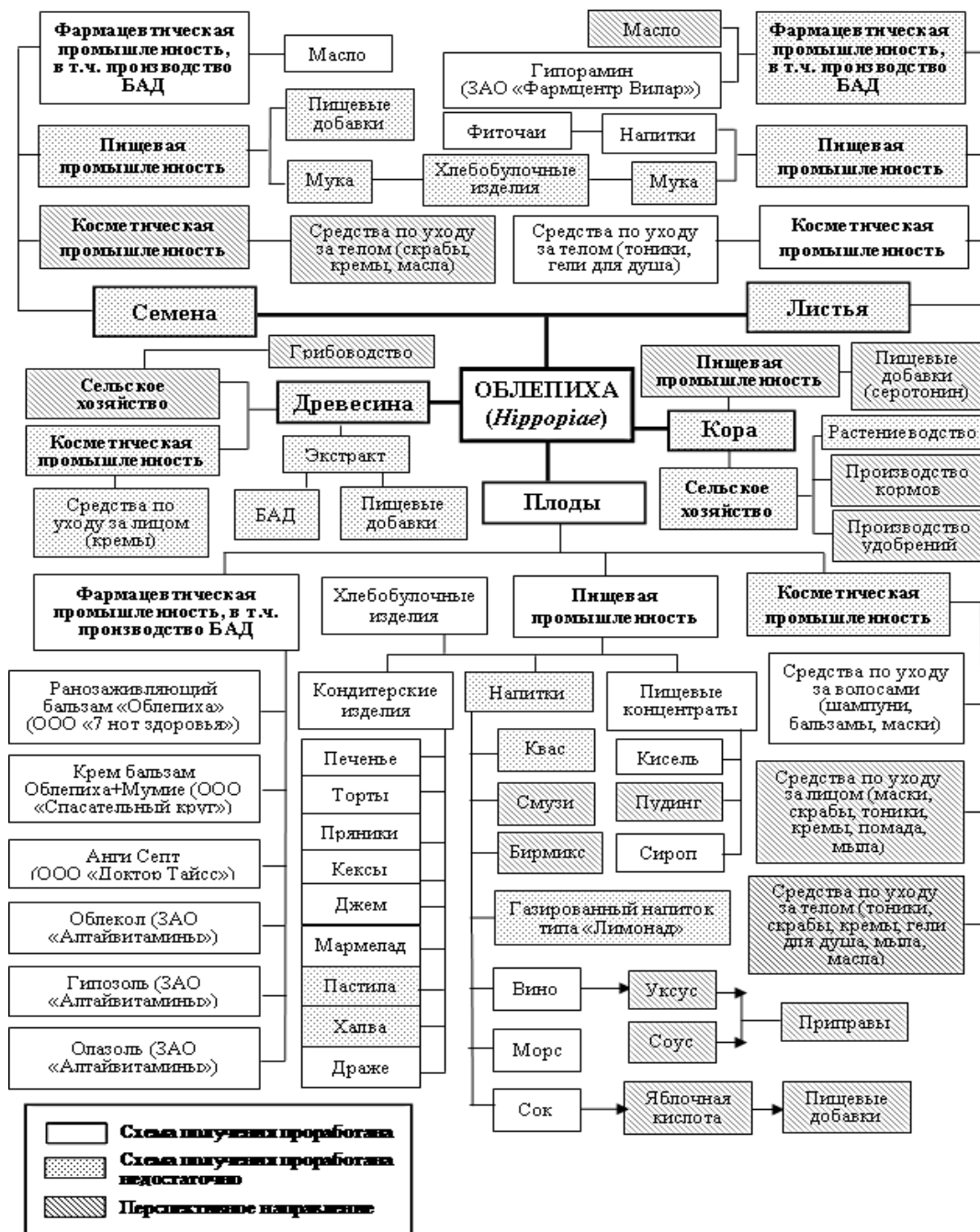


Рис. 1. Направления комплексной переработки облепихи (составлено авторами)
 Fig. 1. Directions for the complex processing of sea buckthorn (compiled by the authors)

Стоит отметить следующий факт: в отчете ВОЗ отражено, что 80 % населения мира рассматривают традиционную фитотерапию как альтернативу фармакологии, а в развитых странах набирают популярность лечение травами и производство новогаленовых препаратов. Фитотерапия практиковалась тысячи лет назад, и сегодня во многих странах мира на нее нацелено пристальное внимание ввиду известных преимуществ – эффективность, безопасность, хорошая переносимость и меньшее количество побочных эффектов [8].

Так как флавоноиды (рутин, кверцетин, дигидрокверцетин и др.) относятся к IV классу веществ по показателю растворимости по критериям "проницаемость стенок ЖКТ – растворимость" [9], целесообразно рассмотреть эффективные методы повышения растворимости флавоноидов облепихового шрота и, как следствие, их биодоступности в ЖКТ человека.

Вопрос повышения растворимости и биодоступности флавоноидов в организме человека привлекает внимание многих исследователей. Так, известно, что около 5–10 % полифенолов всасываются в тонком кишечнике, в то время как 90–95 % от их общего количества, не абсорбируясь, достигают области толстой кишки, поэтому для достижения желаемого терапевтического действия полифенолов в органах и тканях требуется эффективная система доставки в кишечник. Таким образом, флавоноиды должны быть максимально биодоступными, что достигается различными способами, например, такими как липосомирование, микронизация, инкапсуляция в наноэмульсионную систему и другие физические, химические и физико-химические способы [10].

Вышеизложенное обусловило **цель настоящего исследования**: разработку простого и доступного метода повышения эффективности флавоноидной фракции, выделенной из облепихового шрота, в условиях ультразвукового воздействия.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка задачи. Для повышения эффективности действия флавоноидов применяют различные технологические приемы. Однако на сегодняшний день единственным способом, достоверно повышающим эффективность их действия, является микронизация физическими методами с использованием высокотехнологичного оборудования, в то время как традиционное измельчение (например, гранулирование) не оказывает влияния на физиологическую активность и их абсорбцию в ЖКТ. Микронизация способствует растворимости флавоноидов и приводит к усилению антиоксидантной активности, а также Р-витаминного действия [11]. Таким образом, в задачи исследования входила разработка способа микронизации очищенной флавоноидной фракции облепихового шрота с последующим анализом степени микронизации и эффективности биологического действия, подтвержденного на примере антиоксидантной активности и флеботропного действия, косвенно доказывающего Р-витаминную активность.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования, проводимого в период с 2019 по 2022 г., являлась очищенная флавоноидная фракция, выделенная из предварительно подготовленного облепихового шрота, полученного с действующего фармацевтического предприятия и соответствующего по основным

показателям качества и безопасности ТУ предприятия и требованиям ТР ТС 021/2011.

Анализ качественного и количественного состава флавоноидного комплекса до и после микронизации проводят методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с фотометрическим детектированием на приборе *Shimadzu "LC-20 Prominence"* с последующей компьютерной обработкой полученных результатов. Условия хроматографического анализа: колонка: октадецилсиликагель, *Symmetry C 18*, размер колонки 4,6 × 250 мм, размер частиц 5 мкм. В качестве подвижной фазы использовали ацетонитрил – раствор трифторуксусной кислоты рН=2,6 (40:60), скорость подвижной фазы 0,5 мл/мин. Градиентное элюирование 0–40 мин. Температура колонки 30 °С, температура автосемплера 20 °С. Детектирование: УФ, $\lambda = 365$ нм; объем вводимой пробы: 10 мм³. Расчет содержания индикаторных компонентов проведен по градуировочному графику, построенному в координатах *S* (площадь пика) – *C* (концентрация), г/100 г.

В ходе выполнения работы применены расчетные и аналитические методы исследований. Полученные результаты обработаны с использованием методов математической статистики и являются достоверными.

Экспериментальная часть. Флавоноидная фракция облепихового шрота выделена из предварительно подготовленного сырья непрерывной экстракцией этиловым спиртом концентрацией от 86 до 96 % с последующим концентрированием и промывкой вязкой сиропобразной массы вакуум-концентрата водой в соотношении 1 : 3 для удаления гидрофильных балластных веществ, в том числе углеводной природы, что обеспечивает затем образование кристаллического осадка флавоноидного комплекса, который отфильтровывают под вакуумом и высушивают. Методом обращенно-фазовой ВЭЖХ в составе флавоноидного комплекса обнаружены, %: рутин (17,82), кверцетин (31,70), кемпферол (2,16), изорамнетин (48,32) [12].

Разделение флавоноидного комплекса на группы родственных соединений, в частности, выделение фракции флавонолов, осуществляют методом адсорбционной колоночной хроматографии на силикагеле при элюировании этиловым спиртом с понижающейся концентрацией в течение 4 ч. В составе очищенной фракции обнаружены флавонолы, %: изорамнетин – 67,97, кверцетин – 29,56 и кемпферол – 2,47 [13].

Микронизацию 0,5%-ной водной суспензии очищенной флавоноидной фракции облепихового шрота проводили при частоте 22±1,65 кГц, интенсивности 15 Вт/см², акустической мощностью 135±5 Вт при температуре 40 °С в течение 10 мин с последующим отделением твердой фракции центрифугированием и высушиванием осадка до влажности 5 % при температуре не выше 60 °С. Рациональный режим ультразвуковой микронизации: обработка в течение 10 мин при мощности 50 Вт определен с учетом технических возможностей ультразвукового реактора, а также физического смысла величин. Механизм ультразвукового воздействия обусловлен образованием ударных волн, возникающих при схлопывании пузырьков, и микропотоков вблизи них – эффект кавитации. При этом происходит сверхтонкое диспергирование твердых частиц в жидкой системе. Процесс сопровождается быстрым увеличением температуры, поэтому для сохранения стабильности реакционной массы использовали охлаждающую водную рубашку.

В качестве генератора ультразвуковых волн как основного фактора, интенсифицирующего рассматриваемые технологические процессы в системах с жидкой дисперсионной средой, был использован аппарат "ВОЛНА" (модель УЗТА-0,4/22-ОМ). В основу работы ультразвукового аппарата положен принцип электронного преобразования энергии электрической промышленной сети в механические ультразвуковые колебания с помощью пьезоэлектрического эффекта [14].

Результаты исследования и их обсуждение. Для разработки эффективной фитокомпозиции на основе очищенной флавоноидной фракции облепихового шрота взят метод микронизации, при реализации которого в лабораторных условиях подобраны оптимальные режимы и параметры УЗ воздействия. С этой целью рассмотрены следующие режимы ультразвуковой микронизации: частота $(22 \pm 1,65)$ кГц; интенсивность не менее 10 Вт/см^2 ; мощность (номинальная) 30, 50, 75 и 100 Вт, продолжительность воздействия 3, 5, 10 и 15 мин. Концентрация флавоноидов в водной суспензии была постоянной и составляла 0,5 %.

Оценка влияния на физико-химические характеристики образующихся частиц таких технологических параметров получения микронизированной очищенной флавоноидной фракции облепихового шрота (МОФФ ОШ), как температура, мощность и продолжительность УЗ обработки, показала, что увеличение продолжительности озвучивания с 3 до 15 мин приводит к уменьшению среднего диаметра частиц с 4000 до 1400 нм. Увеличение температуры озвучивания в пределах одного временного интервала не влияло на размер образующихся частиц, а наименьшим размером обладали частицы, приготовленные при УЗ воздействии в течение 10 мин при мощности 50 Вт.

Для выявления оптимальных условий обработки растворов флавоноидной фракции с целью добиться значений параметров, дающих максимальное содержание частиц диаметром 1400 нм, был спланирован и реализован полный факторный эксперимент. В качестве факторов варьирования приняты: X_1 – мощность, Вт; X_2 – концентрация, %; X_3 – продолжительность обработки, мин. Критерий оптимизации Y – размер частиц диаметром 1400 нм.

На основании проведенных расчетов выявлена зависимость содержания частиц диаметром 1400 нм (Y) от мощности (X_1), концентрации (X_2) и продолжительности микронизации ультразвуковой обработкой (X_3), которая описывается уравнением регрессии (1):

$$Y = 15,48 + 5,9X_1 - 0,8X_2 + 2,7X_3 + 0,3X_{13} + X_{123}. \quad (1)$$

По уравнению регрессии (1) построен трехмерный график, показывающий зависимость количества частиц размером 1400 нм (1,4 мкм) от продолжительности и мощности ультразвуковой обработки (рис. 2).

Согласно данным графика рис. 2 можно сделать вывод, что между мощностью и количеством частиц во фракциях существует прямая зависимость (чем выше мощность обработки раствора, тем больше содержание мелких частиц). Повышение мощности эффективнее влияет на процесс измельчения частиц, чем увеличение продолжительности обработки (при увеличении продолжительности обработки в два раза количество частиц увеличивается слабее, чем при увеличении мощности в два раза). В процессе микронизации наблюдается выравнивание размеров частиц флавоноидных фракций, а эффект микронизации максимально выражен при ультразвуковом воздействии мощностью 50 Вт и продолжительности воздействия 10 мин. Диапазон размеров частиц флавоноидной фракции меняется

с 6300 (контроль) до 1400 нм (ультразвуковое воздействие), что отражают данные микроскопического исследования.

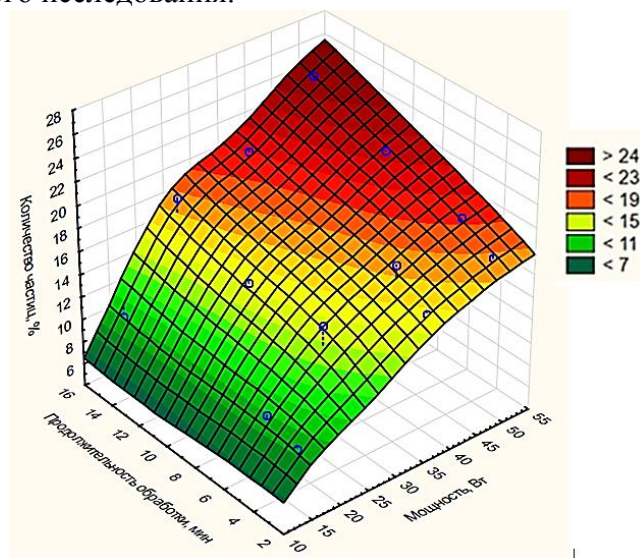


Рис. 2. Зависимость количества частиц размером 1400 нм от продолжительности и мощности УЗ обработки
 Fig. 2. Dependence of the number of particles with a size of 1400 nm on the duration and power of ultrasonic treatment

В полученных образцах МОФФ ОШ определены морфология, химический и дисперсный состав (рис. 3).

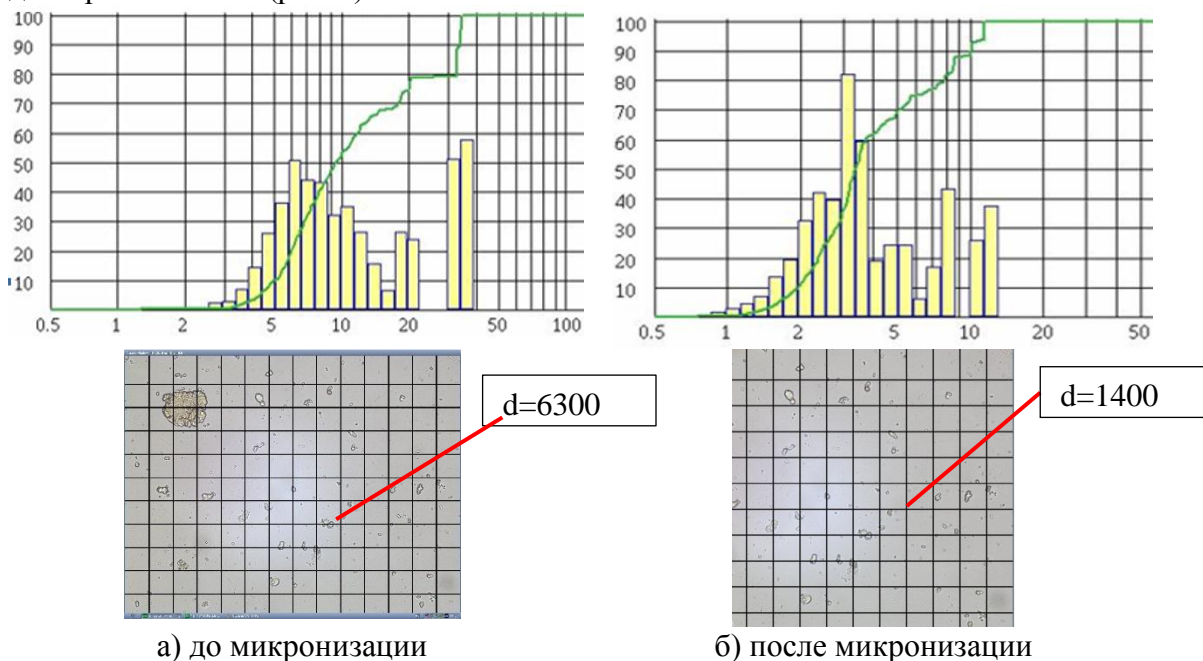


Рис. 3. Результаты статистического анализа данных электронной микроскопии распределения частиц по размерам
 Fig. 3. Results of Statistical Analysis of Electron Microscopy Data of Particle Size Distribution

Микрофотографии внешнего вида 0,5%-ных водных суспензий образцов флавоноидной фракции облепихового шрота приведены на рис. 4.

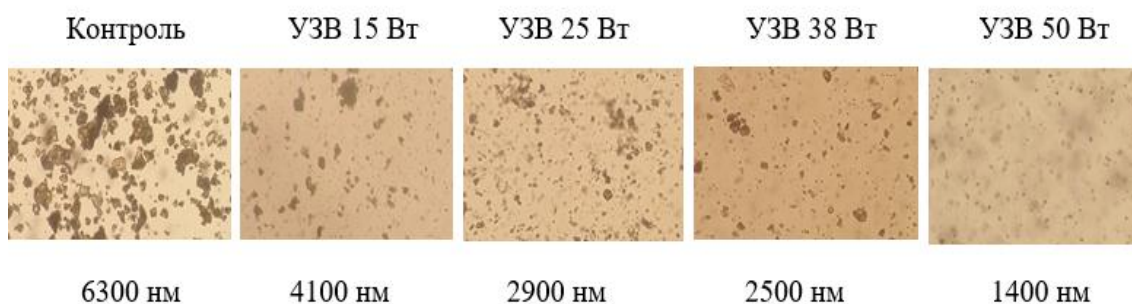


Рис. 4. Динамика изменения микроструктуры флавоноидной фракции в 0,5%-й суспензии в зависимости от мощности УЗВ продолжительностью 10 мин
 Fig. 4. Dynamics of changes in the microstructure of the flavonoid fraction in a 0,5 % suspension depending on the power of ultrasonic waves for 10 min

Данные микроскопии порошков показали, что частицы МОФФ ОШ имеют форму, близкую к сферической, однако можно выделить и частицы, имеющие форму неправильных многогранников. Частицы контрольного образца достаточно крупные, неправильной формы, собраны в ансамбли.

Методом ВЭЖХ в составе МОФФ ОШ идентифицированы рутин, кемпферол, кверцетин и изорамнетин при следующем соотношении компонентов, масс. %: 0,1; 0,8; 34,3 и 64,8. В результате микронизации химический состав флавоноидного комплекса стабилен, что свидетельствует об эффективности предлагаемого технологического решения.

По результатам товароведческого анализа свежеприготовленного образца МОФФ ОШ получены численные значения показателей качества и безопасности, представленные в табл. 1–4.

Таблица 1. Органолептические показатели образца МОФФ ОШ
 Table 1. Organoleptic characteristics of the MOFF OSH sample

Показатель	Значение
Внешний вид	Тонкодисперсный однородный порошок коричнево-желтого цвета
Вкус	Нейтральный
Запах	Отсутствует
Посторонние примеси	Отсутствуют

Таблица 2. Физико-химические показатели образца МОФФ ОШ, %, ($M \pm m$, $n=3$)
 Table 2. Physical and chemical parameters of the MOFF OSH sample, %, ($M \pm m$, $n=3$)

Показатель	Значение
Содержание флавоноидов	96,0±0,5
Массовая доля влаги	4,9±0,1
Массовая доля золы	0,04±0,02
Массовая доля летучих веществ	0,08±0,02
Примеси, нерастворимые в метаноле	1,26±0,12

По показателям безопасности образец МОФФ ОШ должен соответствовать требованиям ТР ТС 021/2011:

- по содержанию токсичных элементов – п. 10 приложения 3, указанным в табл. 3;
- по микробиологическим показателям – приложению 1 и п. 1.9 приложения 2, указанным в табл. 4.

Таблица 3. Содержание токсичных элементов в образце МОФФ ОШ, мг/кг
 Table 3. Content of toxic elements in the MPOFF OR sample, mg/kg

Показатель	Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Действительное значение
Свинец, не более	5,0	Не обнаружен
Мышьяк, не более	3,0	Не обнаружен
Кадмий, не более	1,0	Не обнаружен
Ртуть, не более	1,0	Не обнаружена

Таблица 4. Микробиологические показатели безопасности образца МОФФ ОШ
 Table 4. Microbiological safety indicators of the MOFF OSH sample

Показатель	Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Действительное значение
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	1×10^4	Не обнаружены
Масса продукта (г), в которой не допускаются	БГКП (колиформы)	0,1
	патогенные, в том числе сальмонеллы	25
Дрожжи, КОЕ/г, не более	100	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г, не более	100	Не обнаружены

По результатам товароведческого анализа свежеприготовленный образец МОФФ ОШ получен в виде однородного тонкодисперсного порошка коричнево-желтого цвета, нейтрального вкуса, без запаха и посторонних примесей, с содержанием основного вещества 96 %, массовой долей влаги порядка 5 %, массовой долей золы – 0,04 %, токсичные элементы и посторонняя микрофлора не обнаружены, что свидетельствует не только о высоком качестве полученного образца, но и проявляемых антибактериальных эффектах фенольных веществ и обработки ультразвуком.

Доказательством эффективности микронизации являются результаты исследования антиоксидантной активности (АОА), определенной по перекисному числу оливкового масла, а также в опытах *in vitro* с применением специфических ферментных биотест-систем, основанных на ключевых ферментах антиоксидантной защиты, – глутатионредуктазе (ГР) и каталазе (КАТ) [6], представленных в табл. 5.

Таблица 5. Результаты определения АОА образцов флавоноидной фракции облепихового шрота ($M \pm m$, $P \leq 0,05$)

Table 5. Results of determination of AOA of samples of flavonoid fraction of sea buckthorn meal ($M \pm m$, $P \leq 0.05$)

Показатель	Контроль	Комплекс флавоноидов (до микронизации)	МОФФ ОШ
АОА	–	0,125	0,500
Скорость ГР реакции: – мкмоль/(мин на мг белка) – %	2,92±0,06 100	4,41±0,10 151	4,35±0,21 144
Скорость КАТ реакции – мкмоль/(мин на мг белка) – %	1,50±0,02 100	1,56±0,02 104	1,85±0,09 123

В присутствии МОФФ ОШ скорость глутатионредуктазной реакции существенно увеличивается относительно контроля в присутствии флавоноидов облепихового шрота на 51 и 44 %, а скорость каталазной реакции – на 23 % по отношению к контролю и на 19 % по отношению к немикронизированному образцу, свидетельствуя о проявлении антиоксидантных свойств. В опытах *in vivo* на модели воспалительной реакции, вызванной формалиновым отеком обеих задних лап самцов крыс линии *Wistar*, при превентивном введении в дозе 25 мг/кг МОФФ ОШ препятствует перекисидации липидов, оказывая ингибирующее действие на процессы свободнорадикального окисления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании серии экспериментальных опытов подобраны оптимальные режимы микронизации очищенной флавоноидной фракции для дальнейшего использования в производственных процессах; образец микронизированной флавоноидной фракции облепихового шрота может быть рекомендован как в каче-

стве пищевой биологически активной добавки (природного консерванта), так и в качестве фармацевтической субстанции после необходимых действий для ее регистрации в соответствующих надзорных структурах.

Список источников

1. Аверьянова Е. В. Биологическая ценность облепихи как основа ее комплексной безотходной переработки // Современная наука и инновации. 2018. № 3. С. 104–111.
2. Koshelev Yu. A., Ageeva L. D., Batashov E. S., Sevodin V. P., Rozhnov E. D., Kuleshova N. I. Sea Buckthorn. Biysk: Publishing House of Polzunov Altai State Technical, 2015. 401 p.
3. Treatment and bioresources utilization of traditional Chinese medicinal herb residues: Recent technological advances and industrial prospect / C. Huang et al. // Journal of Environmental Management. 2021. V. 299. P. 113607.
4. Flavonoids are promising safe therapy against COVID-19 / M. M. Alzaabi et al. // Phytochemistry Reviews. 2022. V. 21. P. 291–312.
5. Extreme effects of Seabuckthorn extracts on influenza viruses and human cancer cells and correlation between flavonol glycosides and biological activities of extracts / G. Enkhtaivan et al. // Saudi Journal of Biological Sciences. 2017. V. 24. N 7. P. 1646–1656.
6. Исследование биологической активности флавоноидов облепихового шрота с применением специфических биотест-систем / Е. В. Аверьянова, М. Н. Школьников, Е. Д. Рожнов, Д. В. Минаков, Е. С. Баташов, Б. К. Шаихова // Химия растительного сырья. 2020. № 4. С. 235–241.
7. Исследование антибактериальной активности флавоноидов облепихового шрота / М. Н. Школьников, Е. В. Аверьянова, Е. Д. Рожнов, Е. С. Баташов // Индустрия питания. 2020. Т. 5. № 3. С. 61–69.
8. Bhardwaj S., Verma R., Gupta J. Challenges and future prospects of herbal medicine // International Research in Medical and Health Sciences. 2018. V. 1. N 1. P. 12–15.
9. Ковальский И. В. Повышение биодоступности рутина из твердых лекарственных форм методом твердых дисперсий: дис. ... канд. фарм. наук: 14.04.01: утв. 19.08.15. М., 2015. 134 с.
10. Школьников М. Н., Воронова Е. В. Оценка биодоступности флавоноидов с помощью теста "Растворение" // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 194–203.
11. Воронков А. В., Гамзелева О. Ю. Обзор современных флеботропных препаратов на основе флавоноидов как перспективных эндотелиопротекторов при лечении хронических заболеваний вен // Амбулаторная хирургия. 2019. № 1–2. С. 27–33.
12. Способ получения комплекса биофлавоноидов из обезжиренного облепихового шрота: пат. 2711728 Рос. Федерация. № 2019126682 / Аверьянова Е. В., Школьников М. Н., Малахова А. В., Рожнов Е. Д.; заявл. 22.08.2019; опублик. 21.01.2020. Бюл. №3. 9 с.
13. Способ фракционирования комплекса биофлавоноидов облепихового шрота: пат. 2759297 Рос. Федерация. № 2020136950 / Аверьянова Е. В., Школьников

кова М. Н., Малахова А. В., Рожнов Е. Д., Кошелев Ю. А., Баташов Е. С.; заявл. 10.11.2020; опублик. 11.11.2021. Бюл. № 32. 10 с.

14. Хмелев В. Н., Сливин А. Н., Барсуков Р. В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Biysk: Center of ultrasonic techno, 2010. 203 с.

References

1. Aver'yanova E. V. Biologicheskaya tsennost' oblepikhi kak osnova ee kompleksnoy bezotkhodnoy pererabotki [Biological value of sea buckthorn as the basis of its complex waste-free processing]. *Sovremennaya nauka i innovatsii*, 2018, no. 3, pp. 104–111.

2. Koshelev Yu. A., Ageeva L. D., Batashov E. S., Sevodin V. P., Rozhnov E. D., Kuleshova N. I. *Sea Buckthorn*. Biysk, House of Polzunov Altai State Technical Publ., 2015, 401 p.

3. Huang C. et al. Treatment and bioresources utilization of traditional Chinese medicinal herb residues: Recent technological advances and industrial prospect. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 299, pp. 113607.

4. Alzaabi M. M. et al. Flavonoids are promising safe therapy against COVID-19. *Phytochemistry Reviews*, 2022, vol. 21, pp. 291–312.

5. Enkhtaivan G. et al. Extreme effects of Seabuckthorn extracts on influenza viruses and human cancer cells and correlation between flavonol glycosides and biological activities of extracts. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2017, vol. 24, no. 7, pp. 1646–1656.

6. Aver'yanova E. V., Shkol'nikova M. N., Rozhnov E. D., Minakov D. V., Batashov E. S., Shaikhova B. K. Issledovanie biologicheskoy aktivnosti flavonoidov oblepikhovogo shrota s primeneniem spetsificheskikh biotest-sistem [Study of biological activity of sea buckthorn meal flavonoids using specific biotest systems]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4. pp. 235–241.

7. Shkol'nikova M. N., Aver'yanova E. V., Rozhnov E. D., Batashov E. S. Issledovanie antibakterial'noy aktivnosti flavonoidov oblepikhovogo shrota [Investigation of antibacterial activity of sea buckthorn meal flavonoids]. *Industriya pitaniya*, 2020, vol. 5, no. 3, pp. 61–69.

8. Bhardwaj S., Verma R., Gupta J. Challenges and future prospects of herbal medicine. *International Research in Medical and Health Sciences*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 12–15.

9. Koval'skiy I. V. *Povyshenie biodostupnosti rutina iz tvyordykh lekarstvennykh form metodom tvyordykh dispersiy. diss. kand. farm. nauk* [Increasing the bioavailability of rutin from solid dosage forms by the method of solid dispersions. Dis. cand. farm. sci.]. Moscow, 2015, 134 p.

10. Shkol'nikova M. N., Voronova E. V. Otsenka biodostupnosti flavonoidov s pomoshch'yu testa "Rastvorenie" [Evaluation of the bioavailability of flavonoids using the "Dissolution" test]. *Vestnik KrasGAU*, 2022, no. 6, pp. 194–203.

11. Voronkov A. V., Gamzeleva O. Yu. Obzor sovremennykh flebotropnykh preparatov na osnove flavonoidov kak perspektivnykh endotelioprotektorov pri lechenii khronicheskikh zabolevaniy ven [Review of modern phlebotropic preparations based on

flavonoids as promising endothelioprotectors in the treatment of chronic venous diseases]. *Ambulatornaya khirurgiya*, 2019, no. 1–2, pp. 27–33.

12. Aver'yanova E. V., Shkol'nikova M. N., Malakhova A. V., Rozhnov E. D. Sposob polucheniya kompleksa bioflavonoidov iz obezzhirennogo oblepikhovogo shrota [Method for obtaining bioflavonoid complex from fat-free sea buckthorn meal]. Patent RF, no. 2711728, 2019. (In Russ.).

13. Aver'yanova E. V., Shkol'nikova M. N., Malakhova A. V., Rozhnov E. D., Koshelev Yu. A., Batashov E. S. Sposob fraktsionirovaniya kompleksa bioflavonoidov oblepikhovogo shrota [Method of fractionation of bioflavonoid complex of sea buckthorn meal]. Patent RF, no. 2759297, 2020. (In Russ.).

14. Khmelev V. N., Slivin A. N., Barsukov R. V. *Primenenie ul'trazvuka vysokoy intensivnosti v promyshlennosti* [Application of high intensity ultrasound in industry]. Biysk, Center of ultrasonic techno Publ., 2010, 203 p.

Информация об авторах

Е. В. Аверьянова – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии

М. Н. Школьникова – доктор технических наук, профессор кафедры технологий питания

Е. Д. Рожнов – доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии

Information about the authors

E. V. Averyanova – PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Biotechnology

M. N. Shkolnikova – Doctor of Engineering, Professor of the Department of Food Technologies

E. D. Rozhnov – Doctor of Engineering, Professor of the Department of Biotechnology

Статья поступила в редакцию 14.10.2022; одобрена после рецензирования 02.11.2022; принята к публикации 03.11.2022.

The article was submitted 14.10.2022; approved after reviewing 02.11.2022; accepted for publication 03.11.2022.

Научная статья

УДК 664

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-71-79

Получение пищевых дисперсий с использованием высокомолекулярного коллагена чешуи рыб

Виктор Иванович Воробьев¹, Ольга Павловна Чернега²

^{1,2} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ viktor.vorobev @klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

² olga.chernega@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2731>

Аннотация. Разработан способ пищевой дисперсии, где в качестве загустителя-стабилизатора используются коллагенсодержащая и минеральная добавки из чешуи рыб. Процесс их получения заключается в обработке рыбьей чешуи в смесителе с добавлением сухой поваренной соли, пищевой соды и дробленого льда и последующей промывке водой. Далее чешуя выдерживается в водном растворе в смеси пищевой соли, кожуры цитрусовых и пищевой соды, затем опять промывается водой, после чего высушивается воздухом, измельчается и сепарируется. Таким образом изготовлены добавки: рыбная коллагенсодержащая, имеющая волокнистую структуру, и минеральная (порошок), главная составляющая которой – гидроксипатит кальция. Базой пищевых дисперсий являлось сырье животного (свиной и куриный фарш) и растительного (кабачковая икра, белая фасоль) происхождения. Основа пищевой дисперсии смешивалась с рыбной коллагеновой (0,5–10 %) и минеральной (0,3–1,0 %) добавками, гомогенизировалась (растительное сырье) в процессе термической обработки и охлаждалась либо выдерживалась в холодильной камере (животное сырье) в течение 90 мин, формировалась (тефтели), обрабатывалась в пароконвектомате при 180 °С в течение 20 мин и охлаждалась. Потери массы сырья при запекании тефтелей из фарша птицы (37,51 % – контроль) в зависимости от содержания коллагеновой добавки (0,5–10 % от общей массы сырья) снизились и составили 35,54–28,22 % соответственно, а тефтелей из фарша свинины (29,98 % – контроль) – 24,67–20,04 %. Аналогично, потери массы кабачковой икры (8 % – контроль) снизились до 2 %, а пасты-пюре из белой фасоли (13,3 % – контроль) – до 0,7 %.

Ключевые слова: пищевые дисперсии, рыба чешуя, рыбная коллагенсодержащая добавка, гидроксипатит

Для цитирования: Воробьев В. И., Чернега О. П. Получение пищевых дисперсий с использованием высокомолекулярного коллагена чешуи рыб // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 71–79. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-71-79.

Original article

Obtaining food dispersions using high-molecular fish scale collagen

Viktor I. Vorobyov¹, Olga P. Chernega²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹viktor.vorobev @klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

²olga.chernega@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2731>

Abstract. A method has been developed for obtaining a food dispersion, where collagen-containing and mineral additives obtained from fish scales are used as a thickener-stabilizer. The process of obtaining them consists in processing fish scales in a mixer with the addition of dry table salt, baking soda and crushed ice, followed by rinsing with water. The washed scales are kept in an aqueous solution with the addition of a mixture of table salt, citrus peel and baking soda, followed by rinsing with water. The cleaned scales are air-dried, crushed and separated to obtain a fish collagen-containing additive having a fibrous structure and a mineral (powder) additive based on calcium hydroxyapatite. The basis of food dispersions was raw materials of animal (pork and minced chicken) and vegetable (zucchini caviar, white beans) origin. The basis of the food dispersion was mixed with a fish collagen supplement (0.5–10 %) and a mineral supplement (0.3–1 %), homogenized (vegetable raw materials) during heat treatment and cooled or kept in a refrigerator (animal raw materials) for 90 minutes, formed (meatballs) and heat-treated (180 °C for 20 minutes) in a combi steamer and cooled. The mass loss of raw materials during baking meatballs from minced poultry (37.51 % – control), depending on the content of the collagen additive (0.5–10 % of the total mass of raw materials), decreased and amounted to 35.54–28.22 % and accordingly, meatballs from minced pork (29.98 % – control) decreased and amounted to 24.67–20.04 %. Similarly, the mass loss of squash caviar (8 % – control) decreased to 2 %, and the loss of white bean paste-puree (13.3 % – control) decreased to 0.7 %.

Key words: food dispersions, fish scales, fish collagen supplement, hydroxyapatite

For citation: Vorobyov V. I., Chernega O. P. Obtaining food dispersions using high-molecular fish scale collagen. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 71–79. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-71-79.

ВВЕДЕНИЕ

Коллаген является семейством фибриллярных (нитевидных) белков, не растворимых в холодной воде. В процессе переработки коллагенсодержащего сырья (нагрев, кислотный, щелочной, ферментативный гидролиз и др.) образуется желатин, способный набухать и растворяться в жидкостях. Волокнистый коллаген и желатин имеют высокую степень гидратации, хорошо связывая жир и воду (их гели сохраняют структуру в процессе замораживания и размораживания), поэтому в значительных объемах применяются при получении пищевых дисперсий в качестве загустителя, стабилизатора, гелеобразователя, пенообразователя и водоудерживающего агента при производстве различных продуктов питания [1]. Рыбья

чешуя является источником белка, представляющего в основном коллаген (40–72 % от общей массы сырья), и минеральных веществ (19–40 %), состоящих главным образом из гидроксиапатита кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ [2]. Ввиду невосребованности сотни тысяч тонн рыбьей чешуи ежегодно вывозятся на свалки, где при ее разложении выделяются дурно пахнущие летучие вещества и образуется токсичный метан. Вовлечение рыбьей чешуи в производственный цикл является весьма актуальной задачей.

Известен способ получения колбасы из морепродуктов с повышенным содержанием коллагенового белка из рыбьей чешуи, которую ферментировали, получая желатин, в количестве 20–40 % смешивая его с другими составляющими рецептуры [3].

Предложены способы получения напитков, в состав которых с целью улучшения функциональных свойств и повышения качества готовой продукции вводят порошок водорастворимого коллагена или желатина, полученного из рыбьей чешуи [4–6].

Разработан биосовместимый материал, зарегистрированный под торговой маркой "Propetite", включающий стадию получения экстракта гидроксиапатита и экстракта коллагена из чешуи рыб, которые перемешиваются в соотношении 8:2 и высушиваются горячим воздухом с образованием композиционного материала как профилактического средства с целью укрепления костей [7].

Показана возможность обработки чешуи путем варки под давлением в насыщенном паре с последующим сбросом давления до атмосферного, при этом происходит быстрое выделение паров воды ("взрыв") из чешуи, что приводит к ее частичному разрушению и уменьшению молекулярной массы. При этом получают различные продукты (желатин, пептид коллагена, гликопротеин, полисахарид), которые дополнительно обрабатываются и высушиваются [8]. Указанные способы предполагают перевод коллагена чешуи в растворимое состояние с последующей его сушкой, что значительно увеличивает себестоимость коллагена и соответственно цену конечного пищевого продукта. Кроме того, продукты гидролиза коллагена имеют более низкую молекулярную массу (глутин, пептиды и др.), что снижает их функциональные свойства как загустителя, стабилизатора и водоудерживающего агента.

Целью работы является получение высокомолекулярного (нерастворимого в воде) коллагена из рыбьей чешуи экономически приемлемым способом и использование его в качестве добавки в пищевых дисперсиях, требующих термической обработки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований являлись кабачковая икра (кабачки 2 кг, лук 0,5 кг, помидоры 1,5 кг, соль 2 ч. л., сахар 2 ч. л., черный перец, хмели-сунели, растительное масло (для обжарки лука), белая фасоль, куриный и свиной фарш, коллагеновая и гидроксиапатитовая фракции рыбьей чешуи).

Эксперименты проводились в лабораториях кафедры технологии продуктов питания и кафедры химии ФГБОУ ВО "КГТУ" (Калининград).

Коллагеновую и гидроксиапатитовую фракции получали в лабораторных условиях из чешуи рыб (судак, сазан) по ранее разработанной технологии [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2022 г. исследователями (ФГБОУ ВО КГТУ, г. Калининград) был разработан способ получения пищевых дисперсий (находится в стадии патентования), где в качестве сырья для коллагенсодержащей добавки, являющейся компонентом рецептуры, была использована чешуя рыб [10]. В предлагаемом способе компоненты пищевой дисперсии – волокнистая коллагеновая и гидроксиапатитовая фракции из чешуи рыб. Процесс их производства заключается в обработке сырья, представляющего собой смесь сухой поваренной соли, пищевой соды и дробленого льда, в смесителе, что позволяет очистить чешую от органических примесей (слизи, жира, крови, пигмента и т. д.), которые легко удаляются при последующей промывке водой. Предварительно очищенная чешуя далее выдерживается в водном растворе с добавлением смеси пищевой соли, кожуры цитрусовых и пищевой соды, что улучшает качество ее очистки за счет перехода части соле- и водорастворимых соединений и жира, а также низкомолекулярных летучих веществ, ответственных за образование рыбного запаха, в раствор, который затем удаляется при последующей промывке сырья пресной водой. Очищенная чешуя высушивается в потоке воздуха, измельчается и сепарируется с образованием коллагеновой волокнистой добавки и порошка, основным компонентом которого является гидроксиапатит кальция.

Рыбная коллагенсодержащая добавка (РКД), а также гидроксиапатит кальция (ГК) смешивались и гомогенизировались в процессе термической обработки при заданной температуре с растительным (кабачковая икра, фасоль) и животным сырьем (фарш из мяса птицы и свинной). Процесс производства пищевой дисперсии осуществлялся следующим образом.

Из куриного филе и мякотной части свиного окорока получали фарши на мясорубке с диаметром отверстия 3,5 мм, в каждый добавляли 1 % пищевой соли, 0,3 % ГК и 0,5–10 % РКД, перемешивали, выдерживали (стабилизировали) в холодильной камере (4 °С) в течение 90 мин. Далее формировали тефтели массой 45–55 г, которые запекали в пароконвектомате (печь пароконвекционная шести уровней ПКА-1/В) при 180 °С в течение 20 мин до температуры в центре продукта 80 °С и охлаждали. Потери сырья при приготовлении тефтелей в зависимости от содержания РКД (в процентах от общей массы сырья) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Потери массы сырья при запекании тефтелей из мяса птицы и свинины в зависимости от процента содержания РКД

Table 1. Weight loss of raw materials when baking meatballs from poultry and pork meat, depending on the % content of FCS

РКД, %	Тефтели					
	из свиного фарша			из куриного фарша		
	масса до обработки, г	масса после термообработки, г	потери, %	масса до обработки, г	масса после термообработки, г	потери, %
1	2	3	4	5	6	7
0 (контроль)	46,49	32,55	29,98	49,63	31,01	37,51

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
0,5	53,11	40,01	24,67	52,90	34,10	35,54
1	53,50	40,52	24,26	52,07	34,01	34,68
2	49,59	37,94	23,49	51,35	33,85	34,07
4	52,92	40,67	23,14	51,18	34,40	32,78
6	51,63	40,66	21,24	51,80	35,38	31,69
8	57,83	45,99	20,47	52,90	37,49	29,13
10	54,37	43,47	20,04	55,76	40,02	28,22

Из табл. 1 видно, что с увеличением содержания РКД в общей массе сырья (от 0 до 10 %) уменьшаются его потери (фарш свиной с 29,98 % (контроль) до 20,04 %, аналогично фарш куриный – с 37,51 до 28,22 %), и, соответственно, увеличивается выход готовой продукции. При этом консистенция тефтелей становится более нежной и сочной по сравнению с контролем за счет связывания части жидкости фарша коллагеном. Кроме того, контрольные образцы имели крупитчатую, слегка рыхлую структуру, а с добавлением коллагеновой фракции чешуи (загуститель-стабилизатор) текстура мяса на срезе ножом имела однородную плотную ровную поверхность.

Механизм действия РКД заключается в следующем: в процессе термообработки вначале происходит сокращение и набухание коллагеновых волокон, а затем их термический гидролиз в присутствии воды до образования желеобразного глютена (желатин), который, осаждаясь и сорбируя на поверхности твердых частиц пищевой дисперсии, при охлаждении превращается в гель, стабилизируя систему. Присутствие в сырье кислот ускоряет процесс денатурации коллагена, особенно в начальной фазе (до 5–10 мин), а солей – заметно снижает скорость желирования [11].

РКД для продуктов на основе растительного сырья применяли на кабачковой икре и белой фасоли.

Приготовленную кабачковую смесь измельчали блендером (кухонный процессор Kenwood kMix HB790 series) и нагревали до кипения, далее добавляли РКД (1,0–10,0 %), ГК (1,0 %) от общей массы сырья, затем перемешивали в течение 3 мин и охлаждали до комнатной температуры. Потери сырья при приготовлении кабачковой икры в зависимости от содержания РКД (в процентах от общей массы сырья) представлены в табл. 2.

Таблица 2. Потери массы сырья при приготовлении кабачковой икры в зависимости от процентов содержания РКД

Table 2. Weight loss of raw materials in the preparation of squash caviar, depending on the % content of FCS

РКД, %	Икра кабачковая			
	масса до обработки, г	масса после термообработки, г	потери, %	pH
1	2	3	4	5
0 (контроль)	150,0	138	8,0	5,51

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
1	150,0	138	8,0	5,65
2	150,0	138	8,0	5,73
4	150,0	140	6,7	5,84
6	150,0	142	5,3	5,93
8	150,0	145	3,3	5,87
10	150,0	147	2,0	5,95

Как видно из табл. 2, с увеличением РКД (загуститель-стабилизатор) в образцах кабачковой икры происходит уменьшение потерь ее массы при нагревании, а также снижается кислотность (рН с 5,51 до 5,95), что выражается в усилении сладкого привкуса, изменении консистенции (более густая, слегка желеобразная, однородная масса без признаков расслоения) и меньшей подвижности (текучести) кабачковой икры (рис. 1).



Рис. 1. Кабачковая икра с различным содержанием РКД
(0 (контроль), 1, 2, 4, 6, 8, 10 %) слева направо
Fig. 1. Zucchini caviar with different content of FCS
(0 (control), 1, 2, 4, 6, 8, 10%) from left to right

В процессе обработки белую фасоль вымачивали в холодной воде (соотношение 1:2 по массе) при комнатной температуре в течение 14 ч, далее воду сливали. Вымоченную фасоль измельчали блендером (кухонный процессор Kenwood kMix HB790 series) с добавлением 1 % пищевой соли, 1 % сахара. Бобовые имеют повышенное содержание кальция (200 мг/100 г), поэтому ГК не добавляли. Гомогенизированную пасту-пюре нагревали до кипения, добавляли РКД (1,0–10,0 %), перемешивали в течение 3 мин и охлаждали. Потери сырья при приготовлении пасты-пюре в зависимости от содержания РКД (в процентах от общей массы сырья) представлены в табл. 3.

Таблица 3. Потери массы сырья при приготовлении пасты-пюре из белой фасоли в зависимости от процентов содержания РКД
 Table 3. Weight loss of raw materials in the preparation of white bean paste-puree, depending on the % content of FCS

РКД, %	Фасолевая паста-пюре			
	масса до обработки, г	масса после термообработки, г	потери, %	pH
0 (контроль)	150,0	130,0	13,3	4,84
1	150,0	132,0	12,0	5,73
2	150,0	134,0	10,7	5,91
4	150,0	140,0	6,7	6,03
6	150,0	144,0	4,0	6,18
8	150,0	148,0	1,3	6,18
10	150,0	149,0	0,7	6,27

Как видно из табл. 3, с увеличением РКД (загуститель-стабилизатор) в образцах фасолевой пасты-пюре при нагревании уменьшаются потери ее массы, а также снижается кислотность (рН с 4,84 до 6,27), что выражается в усилении сладкого вкуса, изменении консистенции (более густая, плотная), меньшей подвижности (текучести) пасты, которая при содержании 4 % и более коллагеновой волокнистой фракции рыбьей чешуи становится неподвижной пастообразной однородной массой без признаков расслоения (рис. 2).



Рис. 2. Фасолевая паста-пюре с различным содержанием РКД (0 (контроль) 1, 2, 4, 6, 8, 10 %) слева направо
 Fig. 2. Bean paste-puree with different content of FCS (0 (control) 1, 2, 4, 6, 8, 10 %) from left to right

Проведенные исследования по получению пищевых дисперсий на основе животного и растительного сырья с использованием РКД, являющейся загустителем-стабилизатором, показали, что данная добавка способствует значительному уменьшению потери массы дисперсии при термической обработке за счет связывания жидкости продуктами гидролиза (глютин и др.) рыбного коллагена.

ВЫВОДЫ

Вовлечение в производственный цикл малоиспользуемой рыбьей чешуи и получение ценной многофункциональной коллагеновой добавки, а также биогенного гидроксипатита экономически приемлемым способом, с целью применения их в качестве рецептурных компонентов пищевых дисперсий способствуют повышению их пищевой ценности (увеличение содержания белка и кальция), снижению себестоимости (дешевый источник сырья) и улучшению экологической составляющей предприятий.

Предлагаемый способ получения пищевой дисперсии является простым и дешевым, так как используются побочное рыбное сырье и физические методы обработки. Применение пищевой дисперсии с заданным количеством высокомолекулярного коллагена и минеральных компонентов с пониженной кислотностью при производстве продуктов на основе сырья животного и растительного происхождения позволяет уменьшить потери массы при термической обработке и улучшить органолептические показатели готовых к употреблению изделий.

Список источников

1. Корниенко Т. С., Загоруйко Е. А., Сорокина Ю. Н. Дисперсные системы и структурообразование: учеб. пособие. Воронеж: ВГТА, 2009. 100 с.
2. Begum M., Mun M. Z. U. A. M., Satter M. A. Nutritional profiling of selected fish's scales: An approach to determine its prospective use as a biomaterial // International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2021. V. 9. N 3. P. 26–31.
3. Seafood sausage rich in fish scale collagen protein and preparation method thereof: pat. 105533498 (CN) / Li Tingting, Li Jianrong, Cui Fangchao, Li Xuepeng, Liu Mingshuang; Appl. 08.01.2016; Publ. 04.05. 2016, pp. 10.
4. Beverage containing fish scale collage: pat. 108464415 (CN) / Hui Cheng-Yue, Zhou Shuhui; Appl. 02. 03. 2018; Publ. 2018-08-31, pp. 5.
5. Fresh ginger and fish scale beverage: pat. 107410776 (CN) / Chang Yulong; Appl. 29. 03. 2017; Publ. 01. 12. 2017, pp. 11.
6. Verkhivker Ya. G., Myroshnichenko E. A., Pavlenko, S. I. Development of technology of juice fruits collagen rich products. Food systems. 2021. V. 4. N 2. P. 106–110. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-106-110>.
7. Biocompatible material and method for producing the same: pat. 2009107938 (JP) / Okada Yoshiaki; Appl. 27. 04. 2009; Publ. 21. 05. 2009, pp. 49.
8. Method for manufacturing fish scale processed goods: pat. 107614520 (CN) / Men Yali, Matsuda Hiroyuki, Kobayashi Kazuto; Appl. 02.07.2015; Publ. 19.01.2018, pp. 14.
9. Воробьев В. И., Нижникова Е. В. Получение фракций коллагена и гидроксипатита из рыбьей чешуи // Известия КГТУ. 2021. № 62. С. 80–91.
10. Способ получения пищевой дисперсии: № 2022104663/10(009834), Рос. Федерация / Воробьев В. И., Чернега О. П.; заявл. 21.02.2022.
11. Колаковский Э. Технология рыбного фарша. Москва: Агропромиздат, 1991. С. 43–45.

References

1. Kornienko T. S., Zagorulko E. A., Sorokina Yu. N. *Dispersnye sistemy i strukturoobrazovanie: ucheb. posobie* [Disperse systems and structure formation: student's book]. Voronezh, VGTA, Publ., 2009, 100 p.
2. Begum M., Mun M. Z. U. A. M., Satter M. A. Nutritional profiling of selected fish's scales: An approach to determine its prospective use as a biomaterial. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2021, vol. 9, no. 3, pp. 26–31.
3. Li Tingting, Li Jianrong, Cui Fangchao, Li Xuepeng, Liu Mingshuang. Seafood sausage rich in fish scale collagen protein and preparation method thereof. Pat. CN 105533498, 2016.
4. Hui Cheng-Yue, Zhou Shuhui. Beverage containing fish scale collage. Pat. CN108464415, 2018.
5. Chang Yulong. Fresh ginger and fish scale beverage. Pat. CN 107410776, 2017.
6. Verkhivker Ya. G., Myroshnichenko E.A., Pavlenko, S.I. Development of technology of juice fruits collagen rich products. *Food systems*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 106–110, <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-106-110>.
7. Okada Yoshiaki. Biocompatible material and method for producing the same: pat. JP 2009107938, 2009.
8. Men Yali, Matsuda Hiroyuki, Kobayashi Kazuto. Method for manufacturing fish scale processed goods. Pat. CN 107614520, 2018.
9. Vorob'ev V. I., Nizhnikova E. V. Poluchenie fraktsiy kollagena i gidroksiapatita iz ryb'ey cheshui [Obtaining fractions of collagen and hydroxyapatite from fish scales]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 62, pp. 80–91.
10. Vorobyov V. I., Chernega O. P. Sposob polucheniya pishchevoy dispersii [Method for obtaining food dispersion]. Patent RF no. 2022104663/10(009834), 2022. (In Russ.).
11. Kolakovskiy E. *Tekhnologiya rybnogo farsha* [Minced fish technology]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1991, pp. 43–45.

Информация об авторах

В. И. Воробьев – кандидат технических наук, доцент кафедры химии

О. П. Чернега – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания

Information about the authors

V. I. Vorobyov – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry

O. P. Chernega – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена после рецензирования 02.11.2022; принята к публикации 03.11.2022.

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 02.11.2022; accepted for publication 03.11.2022.

Научная статья
УДК 621.837.3+539.3
DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-80-94

**Анализ напряженного состояния звеньев базового механизма
технологической машины**

Владимир Георгиевич Сукиасов¹, Сергей Васильевич Федоров²

^{1, 2} Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹vladimir.sukiasov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9661-9398>

²fedorov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6963-7120>

Аннотация. Исследуется напряженное состояние звеньев базового кривошипно-коромыслового механизма, обусловленное действующими при движении нагрузками. Исходными данными для рассмотрения являются нагрузки, найденные ранее в результате динамического анализа механизма при равномерном вращении кривошипа. Конечноэлементное решение задачи поиска напряжений в звеньях механизма осуществляется с использованием 10-узлового тетраэдрального элемента. Достоверность численных результатов обоснована путем сопоставления решений для сеток исходной и повышенной густоты. Выполнены расчеты движущегося механизма для трех вариантов внешних нагрузок, учитывающих: 1) только силы инерции; 2) силы инерции и силы тяжести; 3) силы инерции, силы тяжести, а также трение в кинематических парах. Получены распределения эквивалентных напряжений в каждом из звеньев механизма. Изучен характер изменения напряжений в звеньях в течение цикла движения механизма, при этом наибольший уровень напряженного состояния отмечен вблизи положения нижней мертвой точки (НМТ), т. е. 0,5 оборота кривошипа от исходного положения. Установлено, что при одновременном учете сил инерции и сил тяжести преимущественное влияние на напряженное состояние звеньев для заданной скорости вращения кривошипа оказывают силы тяжести. Показано, что учет трения в кинематических парах принципиально не меняет результаты расчета напряжений, исключая локальную область положений механизма вблизи НМТ. Количественные данные о напряженном состоянии звеньев являются основанием для оценки их прочности. Полученные зависимости напряжений от положения механизма указывают на их циклический характер. Данное обстоятельство означает необходимость исключения концентраторов напряжений в конструкции звеньев с целью снижения опасности усталостного разрушения.

Ключевые слова: напряженное состояние, звенья, механизм, конечноэлементное решение, силы инерции, силы тяжести, трение, прочность

Для цитирования: Сукиасов В. Г., Федоров С. В. Анализ напряженного состояния звеньев базового механизма технологической машины // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 80–94. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-80-94.

Original article

The stress state analysis of the links of the technological machine basic mechanism

Vladimir G. Sukiasov¹, Sergey V. Fedorov²

^{1, 2, 3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹vladimir.sukiasov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9661-9398>

²fedorov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6963-7120>

Abstract. The stress state of the links of the basic crank-rocker mechanism, due to the loads acting during the movement has been studied. The initial data for the analysis are the loads found earlier as a result of the mechanism dynamic analysis by uniform crank rotation. The finite element solution of the problem of finding stresses in the mechanism links is carried out using a 10-node tetrahedral element. The reliability of the numerical results is substantiated by comparing the solutions for meshes with initial and increased density. Calculations of the moving mechanism was performed for three variants of external loads: 1) taking into account only inertia forces; 2) taking into account the inertia and gravity forces; 3) taking into account the forces of inertia, gravity, as well as friction in kinematic pairs. The distributions of equivalent stresses in each of the mechanism links were obtained. The nature of the stresses change in the links during the cycle of the mechanism movement was studied, while the highest stress state level was noted near the bottom dead center (BDC) position i.e. 0.5 turn of the crank from the starting position. It has been found, that with simultaneous consideration of the inertia and gravity forces, the gravity forces exert the predominant influence on the links stress state for a given speed of the crank rotation. It has been shown, that taking into account friction in kinematic pairs does not fundamentally change the results of stress calculation, excluding the local region of the mechanism positions near the BDC. Quantitative data of the links stress state are the basis for their strength estimating. The obtained dependences of stresses on the position of the mechanism indicate their cyclic nature. The obtained dependences of stresses on the mechanism position indicate their cyclic nature. This circumstance means the need to exclude stress concentrators in the links structure in order to reduce the danger of fatigue failure.

Keywords: stress state, links, mechanism, finite element solution, inertia forces, gravity forces, friction, strength

For citation: Sukiasov V. G., Fedorov S. V. The stress state analysis of the links of the technological machine basic mechanism. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 80–94. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-80-94.

ВВЕДЕНИЕ

Механизмы являются неотъемлемой частью технологических машин, выполняющих функции передачи и преобразования движения. Обеспечение полноценного функционирования, разработка новых и совершенствование существующих механизмов неизбежно связаны с решением задач прочности и жесткости их конструктивных элементов. Необходимые для этого данные могут быть получены в результате определения напряженно-деформированного состояния (НДС) звеньев механизма под действием эксплуатационных нагрузок, что, в свою очередь, тре-

бует предварительного выполнения кинематического и силового анализа механизма [1, 2]. Кроме того, процедуры анализа НДС являются важной составляющей алгоритмов оптимизации конструкций [1, 3], а также входят в структуру САПР [1, 4]. Поэтому комплексное исследование механизмов [4–6], включающее указанные аспекты, продолжает оставаться актуальной проблемой современной техники. Подобные задачи поставлены и решены в работах [2, 7–9] и др. При этом наряду с аналитическими решениями на основе простейших расчетных моделей [3] в большинстве исследований используется метод конечных элементов (МКЭ) [2, 10, 11]. Это открывает возможности для создания параметрических моделей изучаемых объектов с применением средств современных CAD/CAE пакетов автоматизированного моделирования и анализа [1, 12], что существенно ускоряет процесс разработки. Построение моделей, необходимых для решения задач МКЭ, возможно различными способами, наиболее простой из которых – на базе стержневых конечных элементов (КЭ) [7, 8, 10–13]. Наряду с этим, применение объемных КЭ позволяет подробно анализировать НДС звеньев механизма [1, 2, 9] без ограничений в описании их геометрии, а также оптимизировать эту геометрию [1]. Определение параметров напряженного состояния дает возможность исследовать вопросы прочности и разрушения конструктивных элементов механизмов [2, 8, 12]. В частности, в работах [1, 2, 9] исследованы проблемы усталостной прочности звеньев механизма. Задачи, связанные с прочностью механизмов, как правило, рассматриваются в упругой постановке, однако имеются также подходы, учитывающие упругопластическое деформирование звеньев. В этой связи стоит отметить работы [7, 8], где представлен предельный анализ механизмов в рамках модели исчерпания несущей способности за счет образования пластических шарниров с использованием кусочно-линейной аппроксимации диаграммы деформирования.

Цель настоящей работы состоит в исследовании напряженного состояния звеньев движущегося кривошипно-коромыслового механизма (ККМ); изучению также подлежит влияние на напряженное состояние отдельных параметров расчетной модели.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объектом исследования является базовый рычажный механизм семейства ККМ-1 [14], представленный на рис. 1. Подвижные звенья механизма – кривошип, шатун и коромысло – представляют собой рычаги единообразной конфигурации, отличающиеся только длиной. Толщина этих звеньев равна 3 мм, наружный и внутренний диаметры головки – 10 и 18 соответственно, ширина прямоугольного сечения стержня – 12 мм, как показано на рис. 2. Длина кривошипа составляет 40; шатун и коромысло имеют одинаковую длину 76,16; длина стойки – 100 мм. Материал звеньев – литая углеродистая сталь со следующими характеристиками: плотность $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,32$. Материал шарниров – бронза: $\rho = 8300 \text{ кг/м}^3$, $E = 1.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $\nu = 0,33$. Цель работы состоит в теоретическом изучении напряженного состояния звеньев и влияния на него отдельных факторов при движении механизма за счет вращения кривошипа с постоянной частотой 60 об/мин. Данные о действующих

на звенья движущегося механизма нагрузках получены в результате динамического анализа [14], выполненного средствами модуля SolidWorks Motion.

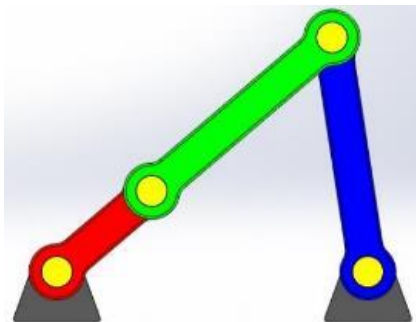


Рис. 1. Механизм в исходном положении

Fig. 1. The mechanism in the initial position

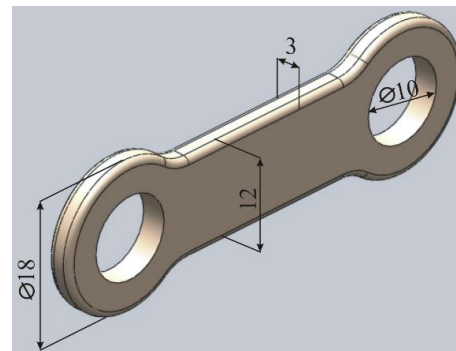


Рис. 2. Геометрические параметры звеньев механизма

Fig. 2. Geometrical parameters of the mechanism links

Сложность геометрии изучаемых объектов исключает возможность аналитического решения задачи исследования НДС и допускает применение только численных методов. Эффективным средством численного анализа деформирования тел и конструкций произвольной конфигурации является МКЭ. Наиболее распространенный вариант представляет МКЭ в форме перемещений, когда искомыми неизвестными – компоненты вектора перемещения в узловых точках конечно-элементной сетки. Найденные в результате решения системы алгебраических уравнений узловые значения полностью определяют решение задачи, так как позволяют вычислить все необходимые величины в любой точке рассматриваемой области с использованием заданных функций формы. Именно по узловым перемещениям определяются компоненты деформированного состояния, а с учетом принятой модели материала – и компоненты напряженного состояния.

В качестве обобщенной количественной характеристики уровня напряженного состояния обычно используется эквивалентное напряжение, при этом эквивалентность понимается в смысле приведения сложного напряженного состояния к эквивалентному по опасности разрушения одноосному растяжению. Наиболее употребительной среди подобных величин является интенсивность напряжений благодаря хорошему экспериментальному подтверждению. Интенсивность напряжений, называемая также эквивалентным напряжением по фон Мизесу, зависит от координатных компонент относительно декартовой системы xuz согласно выражению

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} - \sigma_{xx}\sigma_{zz} - \sigma_{yy}\sigma_{zz} + 3(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)}. \quad (1)$$

2. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ

Сходимость МКЭ определяется монотонным приближением к точному решению задачи по мере измельчения сетки, т. е. увеличения количества элементов. Данное обстоятельство является основой оценки достоверности численных результатов. Эта оценка, как правило, осуществляется на основе сопоставления решений одной и той же задачи, полученных с использованием конечноэлемент-

ных сеток различной густоты. При этом густота сетки, достаточная для достижения приемлемой точности, зависит от степени аппроксимирующих полиномов, а именно, более точное описание исследуемых функций полиномами высокой степени требует меньшего количества конечных элементов. В частности, для дискретизации звеньев исследуемого механизма использованы 10-узловые тетраэдральные элементы с квадратичными функциями формы, что обеспечивает создание сетки высокого качества.

Ниже представлены данные о напряженном состоянии коромысла в задаче о движении механизма с учетом сил инерции и сил тяжести. Расчет выполнен в положении 0,51 оборота механизма (вблизи НМТ), когда напряжения достигают наивысшего уровня. Результаты, полученные для конечноэлементных сеток обычной и повышенной густоты, показанных на рис. 3, приведены в таблице и на рис. 4.

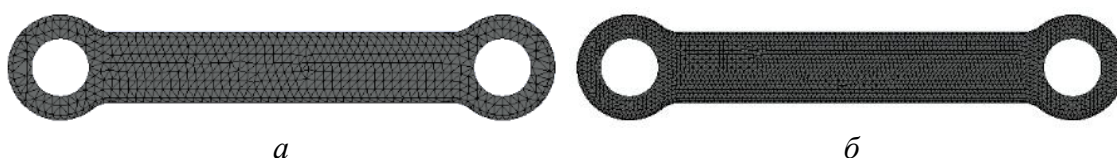


Рис. 3. Конечноэлементная дискретизация коромысла:
 а – исходная сетка КЭ; б – измельченная сетка КЭ
 Fig. 3. Finite element discretization of the rocker arm:
 a – original FE mesh; b – refined FE mesh

Таблица. Влияние сгущения сетки на результаты расчета
 Table. The effect of mesh refining on the calculation results

Параметр	Исходное разбиение	Измельченная сетка
Общее число узлов	13125	82109
Общее число элементов	7604	53260
Наибольшее напряжение $\sigma_{i_{max}}$, МПа	0,975	0,987

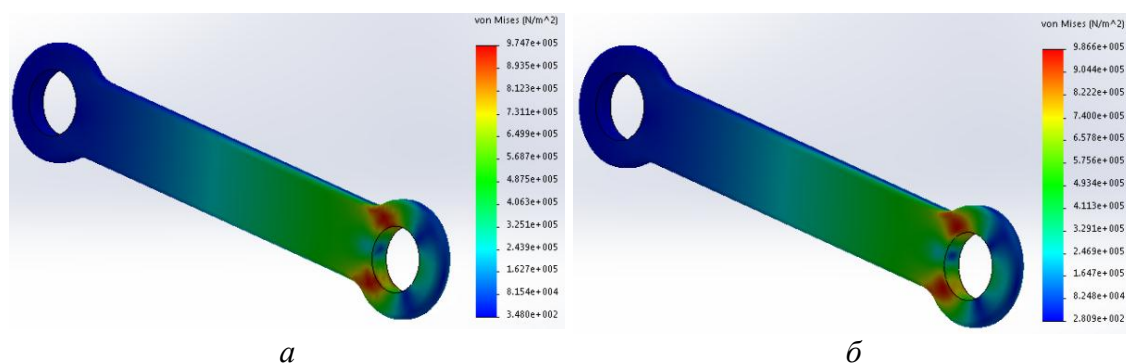


Рис. 4. Напряженное состояние коромысла:
 а – исходная сетка КЭ; б – измельченная сетка КЭ
 Fig. 4. The rocker arm stress state:
 a – original FE mesh; b – refined FE mesh

Как следует из рис. 4, картины напряженного состояния коромысла для двух вариантов дискретизации практически идентичны. Анализ представленных данных дает основание утверждать, что, несмотря на существенное сгущение исходной сетки с 7-кратным увеличением числа КЭ, отличие вновь полученных результатов от первоначальных весьма незначительно, а именно, не превышает 1,2 % по величине максимальных напряжений. Это означает достаточную для инженерных расчетов точность и позволяет в дальнейшем применять для рассматриваемых объектов конечноэлементное разбиение исходной густоты.

3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Численное исследование напряженного состояния звеньев механизма выполнено для трех расчетных схем.

Первая схема учитывает действие на звенья только сил инерции. Результаты представлены на рис. 5 в виде диаграмм изменения максимальных напряжений (Па) в звеньях в пределах одного цикла вращения. Цифры на горизонтальной оси обозначают доли полного оборота кривошипа.

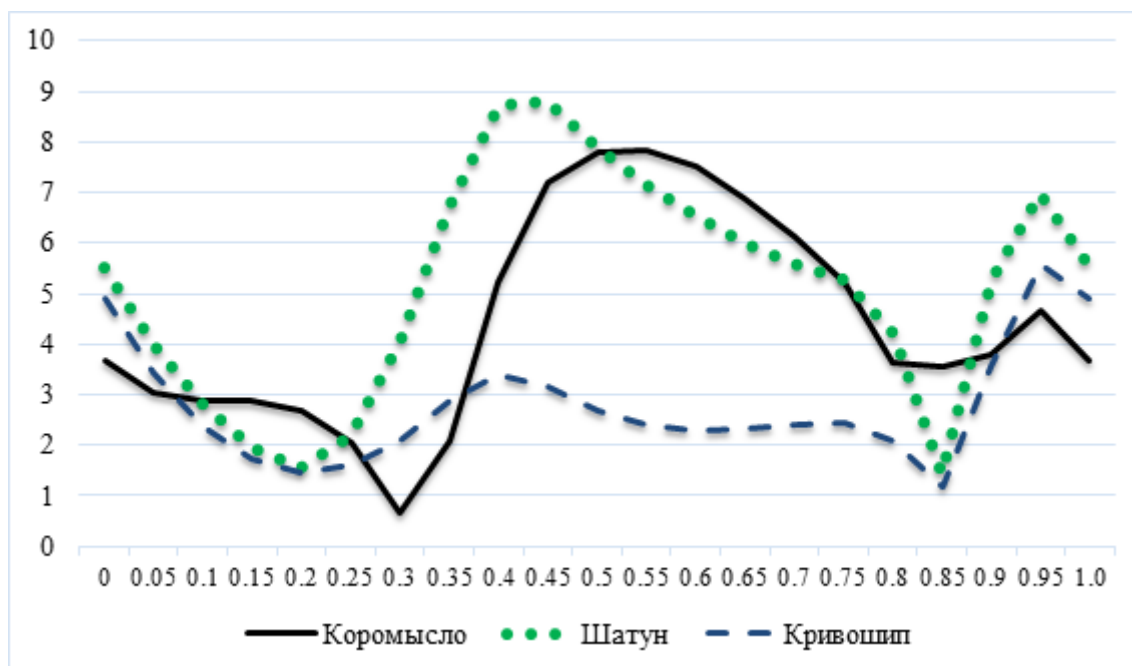


Рис. 5. Наибольшие напряжения в звеньях по фон Мизесу $\cdot 10^{-4}$ (Па)
Fig. 5. The highest stresses in the links according to von Mises $\cdot 10^{-4}$ (Pa)

Поля эквивалентных напряжений в звеньях механизма показаны на рис. 6–8. Каждый из рисунков соответствует положению механизма, при котором напряженное состояние соответствующего звена достигает наибольшего уровня.

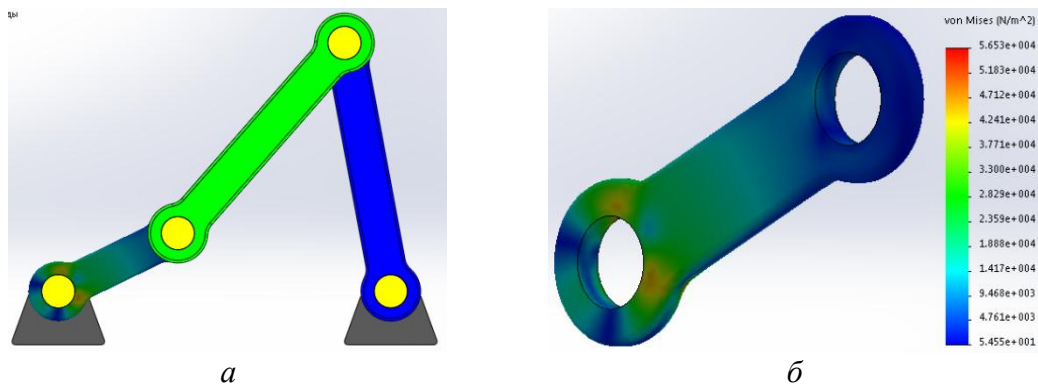


Рис. 6. Напряженное состояние кривошипа в положении 0,96 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно
 Fig. 6. The crank stress state in the 0.96 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

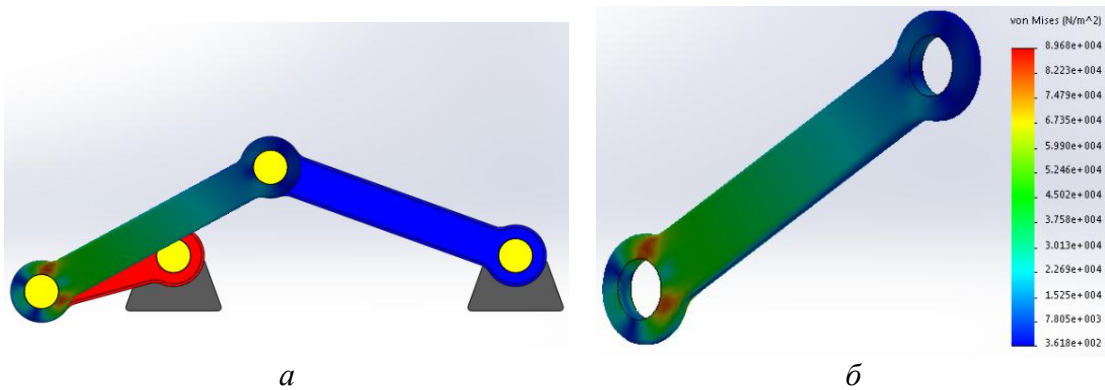


Рис. 7. Напряженное состояние шатуна в положении 0,43 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно
 Fig. 7. The connecting rod stress state in the 0.43 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

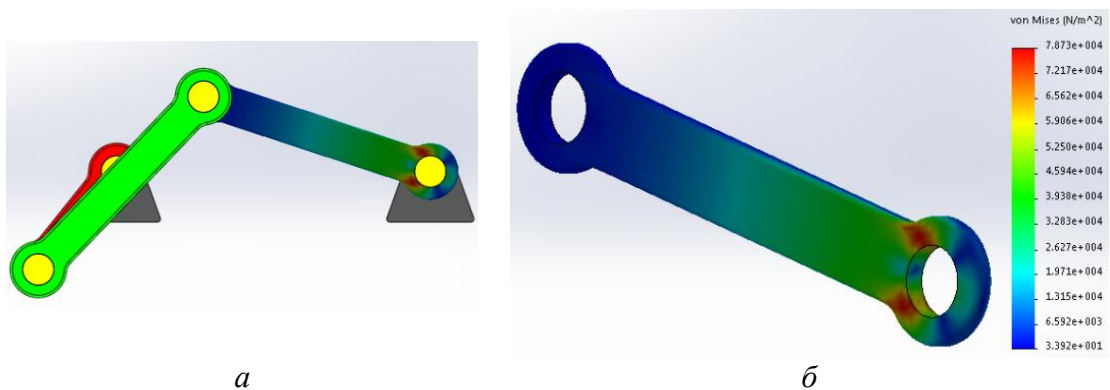


Рис. 8. Напряженное состояние коромысла в положении 0,53 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно
 Fig. 8. The rocker arm stress state in the 0.53 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

Анализ полученных данных показывает, что у кривошипа и коромысла наиболее нагруженными являются зоны примыкания к стойке, у шатуна – зона примыкания к кривошипу. При этом у каждого из звеньев наибольшие напряжения локализованы в месте перехода от головки к стержню. В пределах полного оборота кривошипа наибольшие абсолютные значения интенсивности напряжений при заданном соотношении длин звеньев достигаются в шатуне.

Вторая из упомянутых выше схем учитывает наряду с силами инерции также силы тяжести. Диаграммы изменения максимальных напряжений (Па) в звеньях в пределах одного цикла вращения показаны на рис. 9.

Как следует из сопоставления рис. 9 и 5, учет сил тяжести в дополнение к силам инерции приводит примерно к 10-кратному (для заданной скорости вращения кривошипа) росту напряжений в звеньях, а также меняет характер самих кривых, делая более плавной зависимость напряжений от положения механизма, с отчетливым максимумом вблизи 0,5 оборота кривошипа. Теперь, в отличие от первой схемы, наиболее нагруженным звеном механизма становится коромысло.

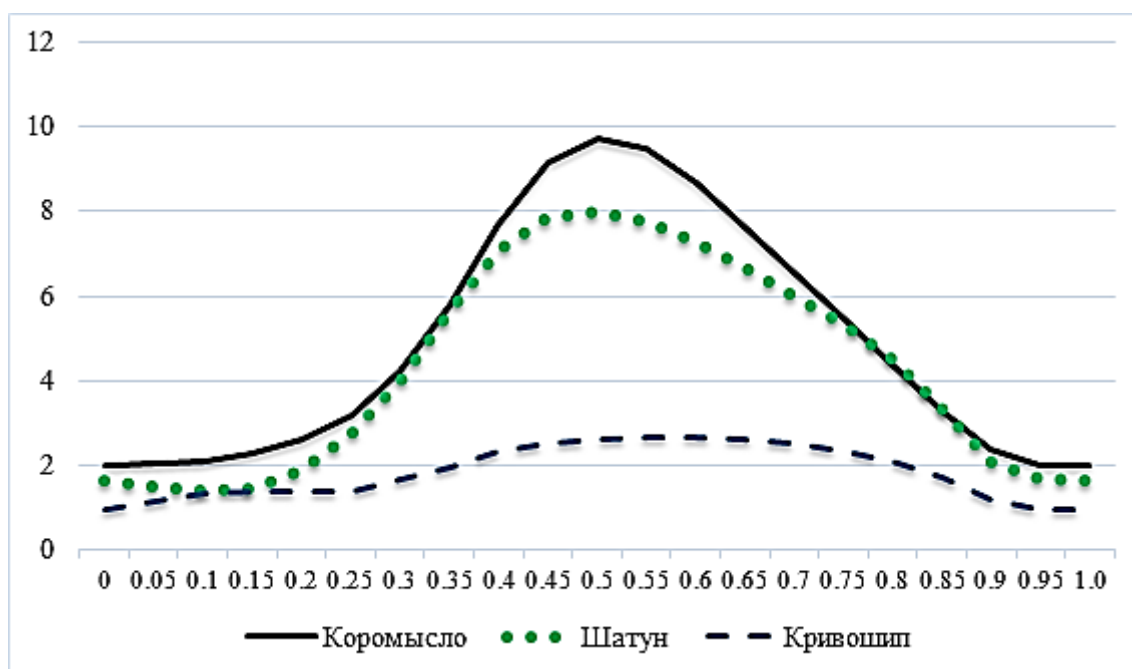


Рис. 9. Наибольшие напряжения в звеньях по фон Мизесу · 10⁻⁵ (Па)
Fig. 9. The highest stresses in the links according to von Mises · 10⁻⁵ (Pa)

Напряженное состояние звеньев механизма для данной схемы иллюстрируют рис. 10–12.

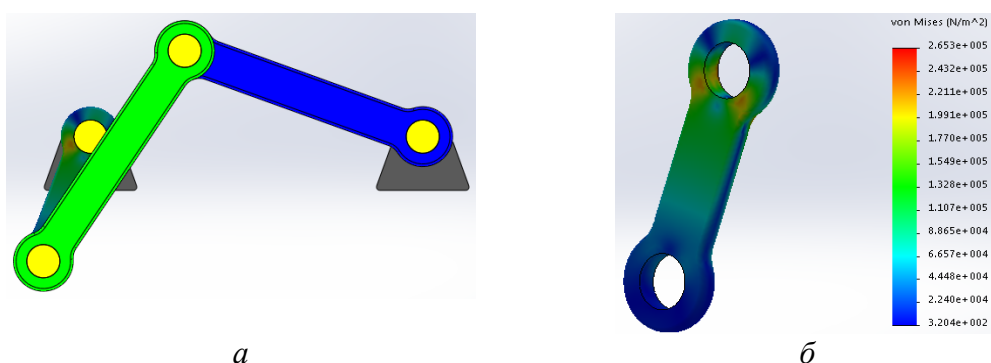


Рис. 10. Напряженное состояние кривошипа в положении 0,58 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно
 Fig. 10. The crank stress state in the 0.58 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

Поля напряжений соответствуют их наибольшему уровню для каждого из звеньев, в пределах одного цикла вращения кривошипа. Отмеченные выше качественные особенности напряженного состояния звеньев имеют место и в этом случае.

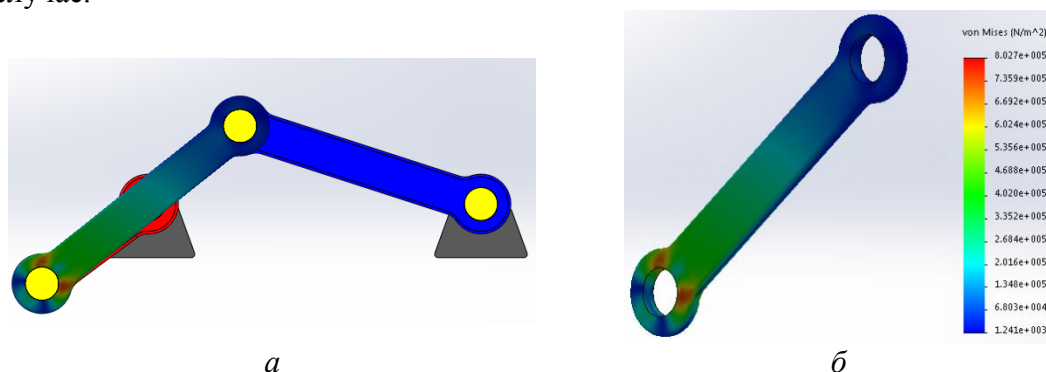


Рис. 11. Напряженное состояние шатуна в положении 0,49 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно
 Fig. 11. The connecting rod stress state in the 0.49 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

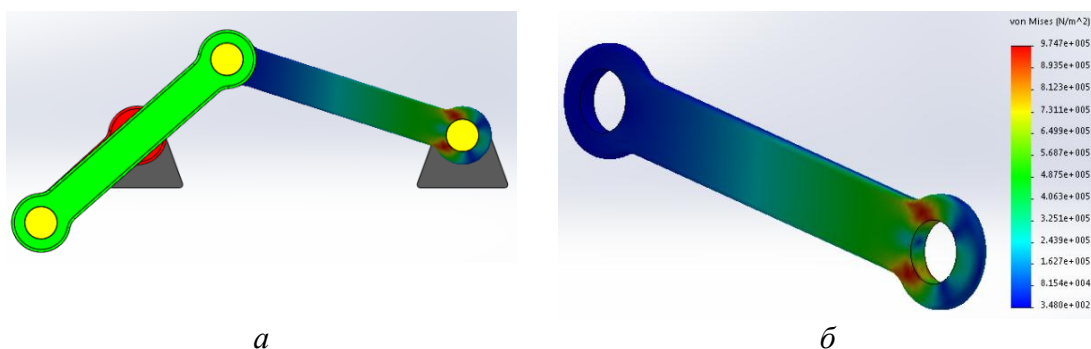


Рис. 12. Напряженное состояние коромысла в положении 0,51 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно
 Fig. 12. The rocker arm stress state in the 0.51 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

Третья расчетная схема дополняет вторую трением во всех шарнирах с коэффициентом 0,4. Полученные результаты представлены на рис. 13 диаграммами изменений максимальных напряжений (Па) в пределах одного цикла вращения для каждого из звеньев механизма. Данные диаграммы в целом практически повторяют соответствующие зависимости на рис. 9, при этом наблюдается локальное нарушение плавности кривых в окрестности максимумов в сочетании с незначительным возрастанием самих максимальных значений. Таким образом, можно утверждать, что наличие трения в шарнирах сказывается на напряженном состоянии звеньев только в положениях механизма вблизи НМТ.

Распределение эквивалентных напряжений в звеньях для схемы с учетом трения изображено на рис. 14–16, где, как и прежде, звенья показаны в положении наибольшего уровня напряженного состояния.

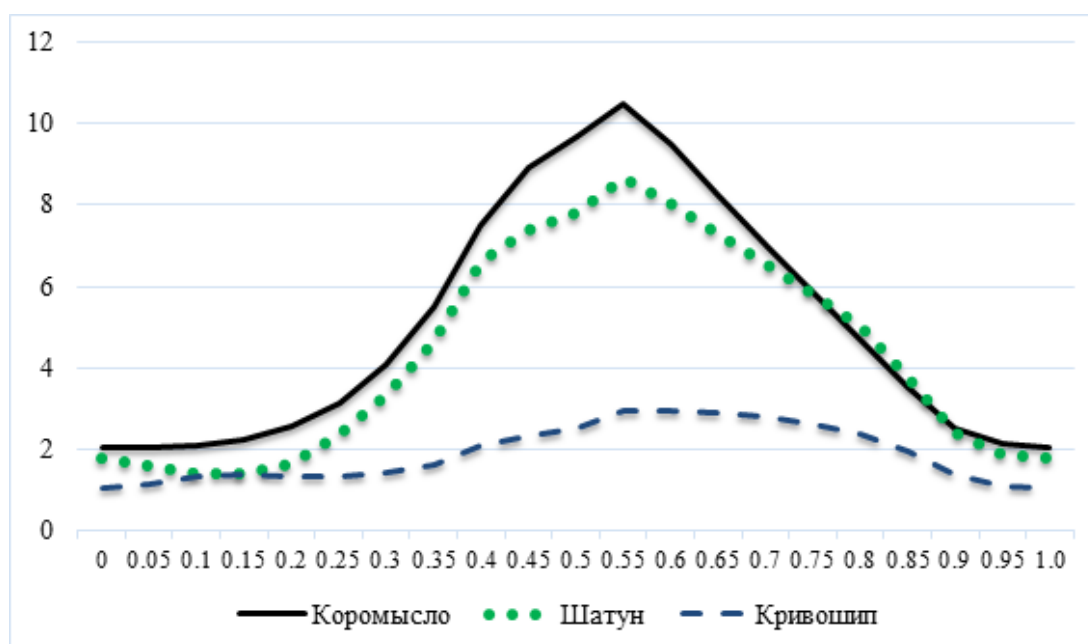


Рис. 13. Наибольшие напряжения в звеньях по фон Мизесу $\cdot 10^{-5}$ (Па)
 Fig. 13. The highest stresses in the links according to von Mises $\cdot 10^{-5}$ (Pa)

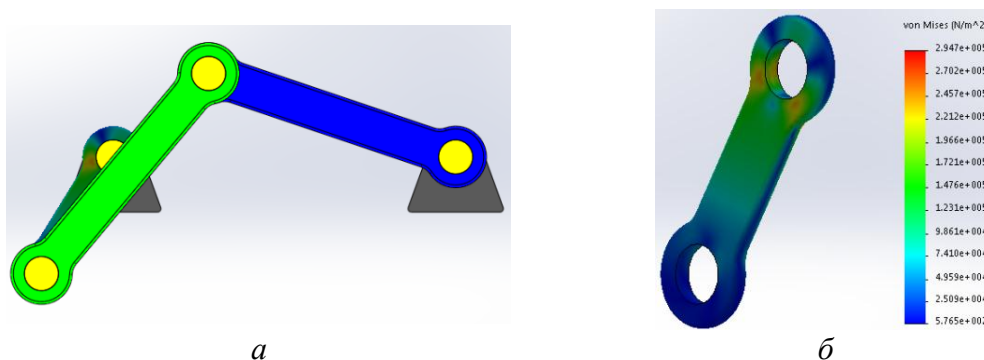


Рис. 14. Напряженное состояние кривошипа в положении 0,55 оборота:
 а – в составе механизма; б – обособленно
 Fig. 14. The crank stress state in the 0.55 turn position
 a – as part of the mechanism; b – separately

Анализируя эти данные, можно отметить, что при сохранении общей картины распределения напряжений в звеньях по сравнению со случаем отсутствия трения (рис. 10–12) имеет место незначительное смещение положений максимальных напряжений для кривошипа и шатуна.

В целом, как показывает анализ полученных результатов и отмечено в работе [1], звенья механизма испытывают действие циклических напряжений, что несет потенциальную угрозу усталостной прочности, для которой особую опасность представляет концентрация напряжений. Это означает необходимость контроля за отсутствием концентраторов напряжений в данных конструктивных элементах.

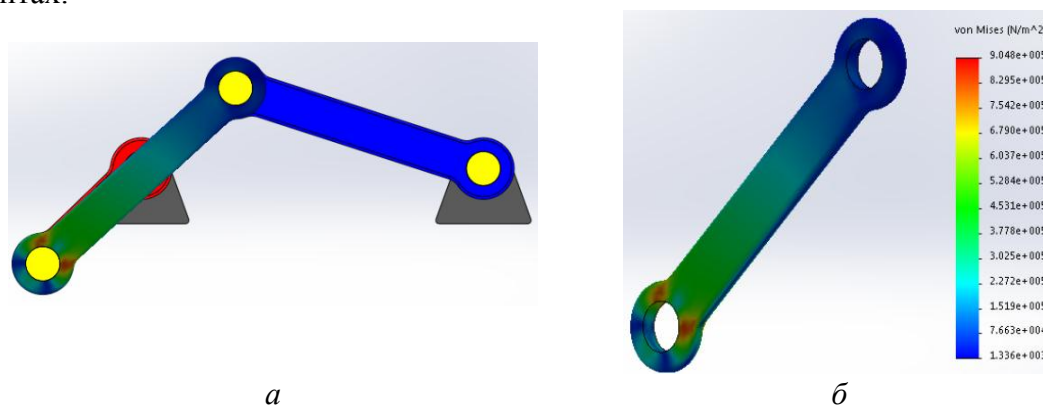


Рис. 15. Напряженное состояние шатуна в положении 0,51 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно

Fig. 15. The connecting rod stress state in the 0.51 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

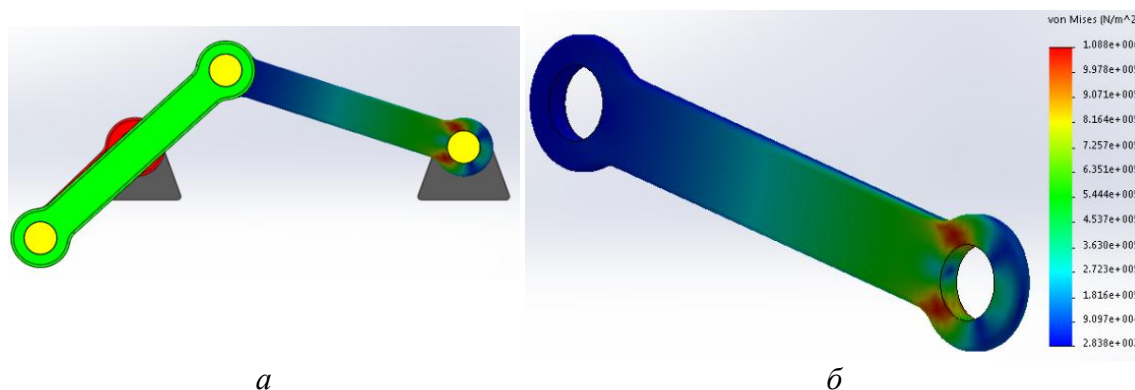


Рис. 16. Напряженное состояние коромысла в положении 0,51 оборота:
a – в составе механизма; *б* – обособленно

Fig. 16. The rocker arm stress state in the 0.51 turn position
a – as part of the mechanism; *b* – separately

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для выбранной скорости вращения кривошипа основное влияние на напряженное состояние звеньев оказывают силы тяжести.
2. При учете сил инерции и сил тяжести наиболее нагруженным звеном движущегося механизма является коромысло.
3. Учет трения в кинематических парах оказывает локальное влияние на характер изменения напряжений от положения механизма – вблизи НМТ.
4. Наибольший уровень напряжений в звеньях наблюдается вблизи НМТ.
5. Для принятых исходных данных наибольшие напряжения далеки от предела текучести и предела прочности материала, а значит, напряженное состояние звеньев не угрожает их статической прочности. Вместе с тем действие циклических нагрузок на звенья механизма определяет необходимость контроля усталостной прочности, включая требование отсутствия концентраторов напряжений в конструкции звеньев.

Список источников

1. Анализ напряженного состояния деталей газораспределительного механизма высокооборотного дизеля / П. Р. Вальехо Мальдонадо, Д. К. Гришин, В. А. Лодня, Е. А. Сигаи // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2010. № 3. С. 114–119.
2. Сотников А. Л., Ольшевский А. А. Исследование прочности и долговечности механизма качания кристаллизатора МНЛЗ при различных режимах работы // Сб. научн. тр. Донбас. гос. техн. ин-та. 2020. Вып. 64. С. 68–78.
3. Демокритов В. Н., Демокритова А. В. Силовые и прочностные расчеты при оптимизации рычажных механизмов // Проблемы динамики и прочности механизмов и машин: матер. науч. конф. Астрахань: АГТУ, 2004. С. 33–34.
4. Кузлякина В. В., Дургам Т. А.-Х., Шуджаири М. А. Х. Комплексное проектирование системы механизмов машин // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: труды 3-й Всеросс. научно-техн. конф. Курск: ЗАО "Университетская книга", 2018. С. 197–206.
5. Невенчанная Т. О., Павловский В. Е., Пономарева Е. В. Концепция комплексного расчета механизмов: от расчетной схемы – до вопросов прочности // Препринт ИПМ. № 38. Москва, 2003. 369 с.
6. Kochev I. S. Qualitative theory of the reactions and stresses in high speed planar linkages // Mechanism and Machine Theory. 1992. Vol. 27. Is. 1. P. 59–68.
7. Темирбеков Е. С., Полумордвинов И. О. Расчет конструкций рычажных механизмов с учетом упругопластичности // Проблемы механики современных машин: матер. V Междунар. научн. конф. Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2012. С. 167–173.
8. Джолдасбеков С. У., Темирбеков Е. С. Расчет предельного состояния конструкций рычажных механизмов // Вестник Кыргызского гос. ун-та строительства, транспорта и архитектуры. 2012. № 2. С. 107–111.

9. Fatigue Analysis of Low Level Links of a Parallel Topology Robot Guiding Device Mechanism / G. Gogu, I. Maniu, E.-C. Lovasz, J. C. Fauroux, V. Ciupe // *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 162. P. 98–105.

10. Квазистатическое НДС односекционного плоско-рычажного механизма / К. З. Сартаев [и др.] // *Вестник Восточно-Казахстанского гос. техн. ун-та*. 2016. № 4. С. 63–68.

11. Деева М. А., Попов В. В. Анализ прочности звеньев шарнирного четырехзвенника с использованием конечного элемента гибкого стержня // *МИКМУС-2018: XXX Междунар. инновац. конф. молодых ученых и студентов: сб. трудов*. Москва: ФГБУН Институт машиноведения РАН, 2019. С. 571–574.

12. Ляшко Ф. Е., Вольсков Д. Г. Графоаналитический метод синтеза рычажных механизмов и расчеты на прочность // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2009. Т. 11. № 3(2). С. 430–436.

13. Кайнарбеков А., Темирбеков Е. Расчет пространственных рычажных механизмов методом конечных элементов // *Известия вузов. Машиностроение*. 2011. № 5. С. 21–26.

14. Сукиасов В. Г., Серeda Н. А. Динамический анализ базового механизма технологической машины // *Известия Калининградского гос. технич. ун-та*. 2022. № 66. С. 112–126.

References

1. Val'ekho Mal'donado P. R., Grishin D. K., Lodnya V. A., Sigay E. A. Analiz napryazhennogo sostoyaniya detaley gazoraspredeitel'nogo mekha-nizma vysokooborotnogo dizelya [Analysis of the stress state of the parts of the gas distribution mechanism of a high-speed diesel engine]. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovaniya*, 2010, no. 3, pp. 114–119.

2. Sotnikov A. L., Ol'shevskiy A. A. Issledovanie prochnosti i dolgovechnosti mekhanizma kachaniya kristallizatora MNLZ pri razlichnykh rezhimakh raboty [Investigation of the strength and durability of the rocking mechanism of the CCM mold under various operating modes]. *Sbornik nauchnykh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo instituta*. Alchevsk, 2020, iss. 64, pp. 68–78. (In Russ/).

3. Demokritov V. N., Demokritova A. V. Silovye i prochnostnye raschety pri optimizatsii rychazhnykh mekhanizmov [Force and strength calculations when optimizing lever mechanisms]. *Trudy 5 Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy dinamiki i prochnosti mekhanizmov i mashin"* [Proc. 5th Int. Conf. "Problems of dynamics and strength of mechanisms and machines"]. Astrakhan, 2004, pp. 33–34. (In Russ.).

4. Kuzlyakina V. V., Durgam T. A.-Kh., Shudzhairi M. A. Kh. Kompleksnoe proektirovanie sistemy mekhanizmov mashin [Integrated design of the system of machine mechanisms]. *Trudy 3 Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Perspektivy razvitiya tekhnologii obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii"* [Proc. 3 th All-Russian Conf. "Prospects for the development of processing technologies and equipment in mechanical engineering"]. Kursk, 2018, pp. 197–206. (In Russ.).

5. Nevenchannaya T. O., Pavlovskiy V. E., Ponomareva E. V. Kontseptsiya kompleksnogo rascheta mekhanizmov: ot raschetnoy skhemy – do voprosov prochnosti [The concept of complex calculation of mechanisms: from the design scheme to

strength issues]. *Preprint IPM* [Preprint of the Institute for Problems in Mechanics], no. 38. Moscow, 2003, 369 p. (In Russ.).

6. Kochev I. S. Qualitative theory of the reactions and stresses in high speed planar linkages. *Mechanism and Machine Theory*. 1992, vol. 27, iss. 1, pp. 59–68.

7. Temirbekov E. S., Polumordvinov I. O. Raschet konstruktsiy rychazhnykh mekhanizmov s uchetom uprugoplastichnosti [Calculation of structures of lever mechanisms taking into account elastic-plasticity]. *Trudy 5 Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy mekhaniki sovremennykh mashin"* [Proc. 5 th Int. Conf. "Problems of the mechanics of modern machines"]. Ulan-Ude, 2012, pp. 167–173. (In Russ.).

8. Dzholdasbekov S. U., Temirbekov E. S. Raschet predel'nogo sostoyaniya konstruktsiy rychazhnykh mekhanizmov [Calculation of the limit state of structures of lever mechanisms]. *Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arkhitektury*, 2012, no. 2, pp. 107–111.

9. Gogu G., Maniu I., Lovasz E.-C., Fauroux J. C., Ciupe V. Fatigue Analysis of Low Level Links of a Parallel Topology Robot Guiding Device Mechanism. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, vol. 162, pp. 98–105.

10. Sartaev K. Z., Karipbaev S. Zh., Nuspekov E. L. Kvazistaticheskoe NDS odnosektsionnogo plosko-rychazhnogo mekhanizma [Quasi-static SSS of a single-section flat-lever mechanism]. *Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, no. 4, pp. 63–68.

11. Deeva M. A., Popov V. V. Analiz prochnosti zven'ev sharnirnogo chetyrekhzvennika s ispol'zovaniem konechnogo elementa gibkogo sterzhnya [Analysis of the strength of the links of a hinged four-link using a finite element of a flexible beam]. *Trudy 30 Mezhdunarodnoy innovats. konf. molodykh uchenykh i studentov* [Proc. 30th Int. Conf. of young scientists and students]. Moscow, 2019, pp. 571–574. (In Russ.).

12. Lyashko F. E., Vol'skov D. G. Grafoanaliticheskiy metod sinteza rychazhnykh mekhanizmov i raschety na prochnost' [Graphic-analytical method for the synthesis of lever mechanisms and strength calculations]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2009, vol. 11, no. 3(2), pp. 430–436. (In Russ.).

13. Kaynarbekov A., Temirbekov E. Raschet prostranstvennykh rychazhnykh mekhanizmov metodom konechnykh elementov [Calculation of spatial lever mechanisms by the finite element method]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 2011, no. 5, pp. 21–26.

14. Sukiasov V. G., Sereda N. A. Dinamicheskiy analiz bazovogo mekhanizma tekhnologicheskoy mashiny [Dynamic analysis of the basic mechanism of the technological machine]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2022, no. 66, pp. 112–126. (In Russ.).

Информация об авторах

В. Г. Сукиасов – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин

С. В. Федоров – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин

Information about the authors

V. G. Sukiasov – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts

S. V. Fedorov – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts

Статья поступила в редакцию 13.10.2022; одобрена после рецензирования 23.10.2022; принята к публикации 03.11.2022.

The article was submitted 13.10.2022; approved after reviewing 23.10.2022; accepted for publication 03.11.2022.

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

Научная статья
УДК 621.314:629.5.03
DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-97-109

Исследование возможности модернизации судовой электростанции судов иностранного производства в условиях импортозамещения

Антон Борисович Вольский¹, Кирилл Андреевич Новоселов²

^{1,2}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹koha73@yandex.ru,

²kirill-n1996@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>

Аннотация. Объектом исследования является промежуточный преобразователь частоты и напряжения, требуемый для получения электроэнергии необходимых параметров, чтобы питать судовые потребители. Цель – усовершенствовать систему питания с берега путем установки современного полупроводникового преобразователя для адаптации параметров электросети.

В настоящее время существует проблема приведения к соответствию параметров судовой электрической сети судов иностранного производства стандартам отечественной системы электроснабжения при питании с берега. На судне использована система преобразования двигатель-генератор, обладающая рядом существенных недостатков. Нами рассмотрена возможность ее замены с применением статического преобразователя частоты и напряжения, имеющего ряд преимуществ по сравнению с существующей схемой электроснабжения судна с берега.

В процессе работы изучался алгоритм питания потребителей как от судовых источников электроэнергии, так и от береговых сетей, проводился анализ схем преобразования частоты и напряжения исходного преобразователя и предлагаемого взамен, рассматривались конструктивные исполнения преобразователей, выявлялись их достоинства и недостатки.

В результате исследования была подчеркнута важность соблюдения стандартов сети при питании судовых потребителей, предложен современный преобразователь параметров сети на базе статического преобразователя частоты и напряжения, разработана схема соединения преобразователя с электrorаспределительной системой судна, представлены экономические и экологические обоснования проекта.

По итогам проведенного моделирования сделан вывод, что для преобразования параметров электроэнергии, таких как напряжение и частота, чтобы питать потребителей, требующих других величин, а также в качестве промежуточного пункта в процессе электроснабжения судна с берега может применяться статический преобразователь частоты и напряжения.

Ключевые слова: судовая электростанция, статический преобразователь частоты и напряжения, модернизация, питание с берега

Для цитирования: Вольский А. Б., Новоселов К. А. Исследование возможности модернизации судовой электростанции судов иностранного производства в условиях импортозамещения // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 97–109. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-97-109.

Original article

Study of the possibility of modernization of the ship power plant of foreign-made vessels in the conditions of import substitution

Anton B. Volskiy¹, Kirill A. Novoselov²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹koha73@yandex.ru,

²kirill-n1996@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>

Abstract. The object of the study is an intermediate frequency and voltage converter, which is required to obtain electricity of the necessary parameters to power the ship's consumers. The goal is to improve the power supply system from the shore by installing a modern semiconductor converter to adapt the parameters of the power grid.

Currently, there is a problem of adapting the parameters of the ship's electrical network of foreign-made vessels to the standards of the domestic power supply system when powered from shore. The ship uses an engine-generator conversion system, which has a number of significant drawbacks. The paper considered the possibility of its replacement using a static frequency and voltage converter, which has a number of advantages over the existing scheme of power supply of the vessel from the shore.

In the process of work, the algorithm of power supply to consumers from both ship-based power sources and coastal networks has been investigated, frequency and voltage conversion schemes of the original converter and the one proposed in return have been analyzed, the designs of the converters have also been considered, advantages and disadvantages have been identified.

As a result of the study, the importance of observing network standards when powering ship consumers is emphasized, a modern converter of network parameters based on a static frequency and voltage converter has been proposed, a circuit for connecting the converter to the ship's electrical distribution system has been developed, economic and environmental justifications of the project have been presented.

As a result of the conducted research, a conclusion has been drawn that a static frequency and voltage converter can be used to convert electricity parameters, such as voltage and frequency, to power consumers requiring other values, as well as an intermediate point in the process of supplying electricity to a vessel from shore.

Keywords: ship power plant, static frequency and voltage converter, modernization, power supply from shore

For citation: Volskiy A. B., Novoselov K. A. Study of the possibility of modernization of the Ship power plant of foreign-made vessels in the conditions of import substitution. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 97–109. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-97-109.

ВВЕДЕНИЕ

Судовые электрические системы питания различаются параметрами судовой сети – напряжением, частотой и родом тока. Это зависит от принятых стандартов напряжения и частоты страны-производителя судна.

Российский и европейский стандарты едины, а именно: 220–240 В, 50 Гц – однофазная сеть и 380 В, 50 Гц – трехфазная сеть. Американский стандарт – 110–127 В, 60 Гц – однофазная сеть и 440–480 В, 60 Гц – трехфазная сеть. Основной частотой переменного тока на судах отечественного флота принята частота 50 Гц, а на судах иностранной постройки – 60 Гц. Суда работают по всему миру, и вследствие разницы стандартов электросети, в частности, при питании судна от береговой подстанции во время стоянки в порту, возникает необходимость установки промежуточных преобразователей.

Преобразователь частоты позволяет регулировать величину и частоту напряжения питания, которое подается на судовое электрооборудование [1]. На судах находятся дизель-генераторные агрегаты с определенными заданными параметрами напряжения. Потребность в преобразователе частоты возникает при необходимости произвести настройку судового электрооборудования или использовании специфического потребителя, который нуждается в отличных от стандартных параметрах питающего напряжения, а также в подаче питания с берега [2, 3]. В [4] отмечается, что необходима борьба с высшими гармониками, которые негативно влияют на качество электрической энергии. Следует учитывать разнообразные факторы: от параметров генераторов и их вероятной нагрузки до частоты и коэффициента широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и длины кабелей, однако крайне важно еще в начале эксплуатации или постройки судна учесть все факторы и применять, в том числе, преобразователи частоты для надежного функционирования и эксплуатации судового электрооборудования.

Вышеперечисленные исследования показывают основное применение статических преобразователей частоты и напряжения (СПЧН) как средств управления электроприводами, однако в работах [5, 6] рассмотрена возможность использования СПЧН в качестве питания гребного электродвигателя, когда мощность потребителя близка к мощности судовой электростанции, что дает нам понимание возможности использования СПЧН для питания мощных устройств. Вследствие вышесказанного, цель работы – усовершенствовать систему питания с берега путем установки современного полупроводникового преобразователя для адаптации параметров электросети.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Модернизация судовой электростанции при питании с берега

Азимутальный буксир "Шторм", построенный в 1982 г. в США, предназначен для буксировки самоходных и несамоходных судов внутрипортовой акватории и за ее пределами [7]. Он обеспечивает их сопровождение через каналы, а также производит швартовные операции крупногабаритных судов. Напряжение судовой сети находится в пределах 440–460 В при переменном трехфазном токе с частотой 60 Гц и переменном однофазном токе – 120 В. Также приняты другие

номинальные напряжения: 120 и 208 В (при схеме соединения "звезда") и 120 и 240 В (при схеме соединения "треугольник"). В состав преобразователей входят понижающие трансформаторы напряжения, автотрансформатор.

Береговое питание осуществляется посредством электромашинного преобразователя по схеме "двигатель-генератор" ввиду несовместимости стандартов судовой электросети с электросетями Российской Федерации. Структурная схема судовой электростанции представлена на рис. 1.

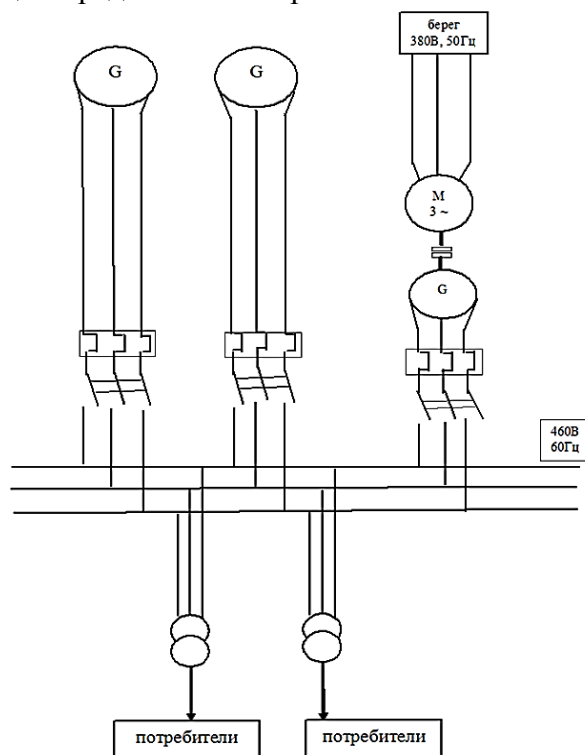


Рис. 1. Структурная схема судовой электростанции
Fig. 1. Structural diagram of the ship power plant

Исходный преобразователь по конструкции состоит из двух машин: асинхронного трехфазного электродвигателя и синхронного трехфазного генератора, соединенных между собой ременной передачей [8, 9]. К достоинствам таких преобразователей относятся независимость параметров преобразуемой и получаемой энергии и возможность совмещать разные типы и серии электрических машин для соответствующих нужд [10–12]. Ременная передача обеспечивает бесшумность работы по сравнению с другими видами передач. Существенными недостатками таких преобразователей являются: низкий КПД, $\eta = \eta_{\text{двиг}} * \eta_{\text{ген}}$; регулярность и сложность обслуживания, что особенно затруднено в современных условиях; существенный уровень вибрации и шума; громоздкость конструкции; износ ремня, вследствие чего снижается надежность преобразователя в целом.

В качестве стабилизированного источника переменного напряжения для объектов, требующих определенных значений параметров электросети, можно использовать СПЧН [13, 14], его структурная схема представлена на рис. 2. Он гарантирует фактически синусоидальное напряжение при нагрузке, в которой линейные элементы зависят от тока или напряжения.

Кроме того, СПЧН обладают высокой степенью точности поддерживать напряжение и частоту и значительно превосходят по этим показателям электромашинные преобразователи [15]. При возникновении нештатной ситуации или короткого замыкания обнуление напряжения происходит незамедлительно, без перенапряжений. Тем самым обеспечивается возможность многократного включения и выключения преобразователя во время работы.

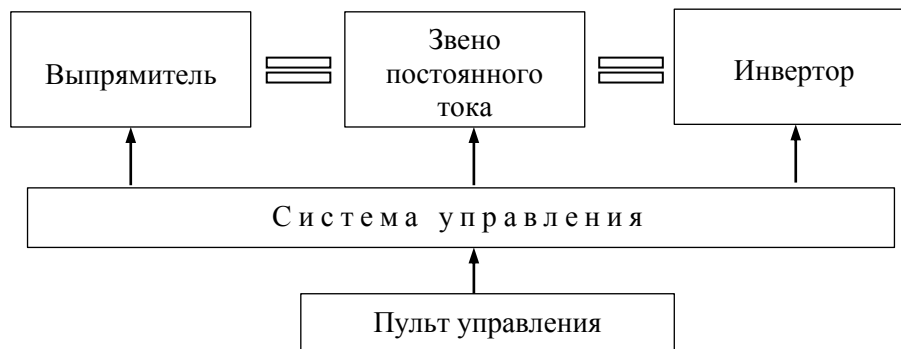


Рис. 2. Структурная схема СПЧН
Fig. 2. Block diagram of the SFVC

Инвертор СПЧН построен на базе высокоскоростных IGBT-транзисторов, которые предусматривают высокочастотную широтно-импульсную регулировку выходного напряжения. В свою очередь, каждый из них состоит из двух транзисторов – биполярного и полевого, заключенных в совместную полупроводниковую структуру. Биполярный транзистор формирует силовой канал, а полевой – канал управления. Силовой выполнен в виде сдвоенного модуля, представляющего собой последовательное соединение двух транзисторов. IGBT-транзисторы работают по принципу открытия и закрытия ключа. Временем нахождения в открытом или закрытом состоянии можно управлять, поэтому частота выходного напряжения формируется исходя из продолжительности нахождения транзисторов в той или иной позиции. Вместе с тем амплитуду выходного напряжения определяет ШИМ. Она же отвечает за формирование синусоидальной формы выходного напряжения. Чем дольше ключ находится в открытом состоянии, тем выше уровень выходного напряжения. Встроенный процессор определяет время нахождения ключа в открытом состоянии.

Регулирование на основе ШИМ дает много преимуществ, а именно: контроль синусоидального напряжения или тока высокого качества; большой диапазон настройки уровня выходного напряжения (от 5 до 100 %) с любой установленной скоростью; регулировка частоты выходного напряжения в широких пределах (от 49 до 120 Гц); возможность поддерживать синусоидальное напряжение или ток при работе на нелинейной нагрузке; скоростное ограничение токов и напряжений в случае аварийного режима; высокий КПД; низкий уровень шума; простота в обслуживании; при выходе из строя составного элемента блок заменяется целиком; менее дорогостоящий ремонт по сравнению с электромашинными преобразователями.

Расчет мощности судовой электростанции в режиме "стоянка в порту" произведен табличным способом. Результаты расчета подтвердили требуемую

мощность $S_{расч} = 34,6$ кВт. По результатам расчета подобран СПЧН отечественного производства [16] с характеристиками, приведенными в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики преобразователя
 Table 1. Characteristics of the converter

Параметр	Характеристика
Номинальное напряжение питающей сети	380 В
Род тока питающей сети	Переменный
Число фаз питающей сети	3
Частота напряжения питающей сети, Гц	50
Номинальное выходное напряжение, В	20–2800
Род тока выходного напряжения	Переменный
Число фаз выходного напряжения	3
Частота выходного напряжения, Гц	49–120
Номинальная выходная мощность для переменного тока, кВА/кВт	250/50
Перегрузочная способность, %	5
КПД, %	97
Способ охлаждения	Принудительно воздушный
Режим работы	Длительный

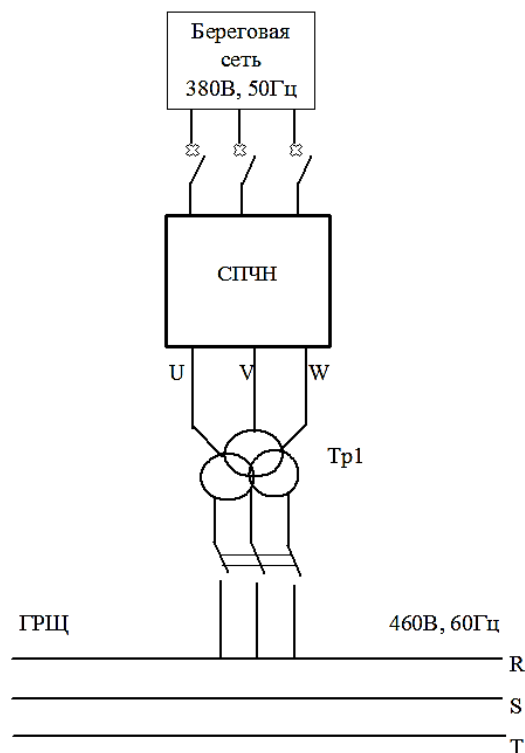


Рис. 3. Структурная схема судовой электростанции с применением СПЧН
 Fig. 3. Structural diagram of a ship power plant with the use of SFVC

Разработанная модернизированная схема судовой электростанции при питании судна с берега представлена на рис. 3. Для точного согласования выходного

напряжения с требуемым напряжением нагрузки в схеме использован согласующий трансформатор Tr1. Варьируя схемы включения обмоток трансформатора, можно изменять выходное напряжение, тем самым обеспечивая оптимальное согласование по мощности источника с нагрузкой, а также регулировать выходное напряжение, согласовывая с напряжением, требуемым нагрузкой. Это позволит обеспечить оптимальную загрузку по току и напряжению СПЧН [16].

Сравнительные характеристики показателей эффективности применения электромашинного преобразователя и СПЧН приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительные характеристики показателей эффективности применения электромашинного преобразователя и СПЧН
Table 2. Comparative characteristics of the performance indicators of the use of an electric machine converter and SFVC

Характеристики	Электромашинный преобразователь	СПЧН
Количество включений	Ограничено	Не ограничено
КПД	81 %	97 %
Перегрузочная мощность k_m	2,3 %	5 %
Ремонтопригодность	Невысокая	Высокая

2. Экономическое обоснование проекта

Модернизация какого-либо оборудования или внедрение нового технического решения в работу объекта сопровождается экономическими затратами, поэтому важная часть процесса совершенствования – экономическая эффективность. Проведем ее расчет, и выделим некоторые выгоды в области экономической производительности. Главными показателями эффективности настоящего проекта являются эффективность капиталовложения, эксплуатации электрооборудования и срок окупаемости. Значительная часть потребляемой электроэнергии расходуется на то, чтобы обеспечить вращение электродвигателя. В этом отношении применение преобразователя частоты, построенного на полупроводниковых элементах, рационально, поскольку позволяет экономить на потреблении электричества с сохранением своих функций. Немаловажным является тот факт, что преобразование электроэнергии нужных параметров для потребителей происходит с минимальными потерями. Включение в сеть асинхронных электродвигателей характеризуется большими бросками пусковых токов. Это негативно влияет на работу электродвигателя, чревато дополнительной нагрузкой и вероятностью перегрузки, что накладывает ограничение на количество включений и отключений. СПЧН можно включать и отключать неограниченное число раз. Изоляция электродвигателей – чувствительное место. Материалы, из которых она сделана, имеют разную сопротивляемость к нагреву. От этого зависят срок службы, надежность, технико-экономические характеристики электродвигателя. КПД электромашинного преобразователя, поскольку он состоит из двух агрегатов, определяет произведение КПД электродвигателя и генератора:

$$\eta = \eta_d \cdot \eta_g = 0,86 \cdot 0,94 = 0,81 = 81 \% \quad (1)$$

КПД СПЧН равен 97 %. Это значит, что почти вся электроэнергия, получаемая от сети, передается по назначению. Электромашинный преобразователь

ограничивает количество подключаемых потребителей, поскольку электродвигатель и генератор рассчитаны на определенную мощность. СПЧН могут быть использованы для разных целей, во многих областях, поэтому предусмотрен широкий диапазон мощностей, выходных напряжений и частот для любых нужд.

Перегрузочная способность электродвигателя составляет, %:

$$k_m = \frac{M_m}{M_n} = \frac{445,25}{193,6} = 2,3. \quad (2)$$

Перегрузочная способность СПЧН – 5 %. Электромашинный преобразователь требует регулярного технического обслуживания ввиду наличия вращающихся частей. Уход и смазка подшипников электродвигателя, существенные трудности в обслуживании бесщеточного генератора связаны невозможностью уследить за состоянием элемента ротора. Это требует материальных вложений как на обслуживание, так и на ремонт. Для передачи вращающегося момента используется ремень. Он довольно быстро изнашивается, что тоже требует дополнительных затрат. Благодаря блоковому строению СПЧН дает возможность быстро заменить вышедший из строя компонент. Он обладает большей ремонтпригодностью в отличие от электромашинных преобразователей, что тоже сказывается на капитальных вложениях. Работа СПЧН построена по программируемой схеме, вероятность отказов минимальна.

Статический преобразователь дает экономичное разрешение проблемы несоответствия частот или напряжений при подключении судна к любой сети. СПЧН занимает малую площадь, подойдет для размещения вблизи распределительных устройств и трансформаторов. Он повышает качество подводимой электроэнергии, используя функцию увеличения коэффициента мощности, и стабилизирует напряжение и частоту. Полупроводниковые преобразователи частоты не нуждаются в техническом обслуживании, изнашивания частей не происходит, а значит, потребуются меньше вложений. Экономия энергии осуществляется за счет возможности регулирования потребляемой мощности в зависимости от действительной нагрузки. Уместна установка частотного преобразователя на каждом судне. Разница в стандартах, по крайней мере, частот, уже создает некоторые препятствия для электроснабжения судов от береговых сетей (табл. 3).

Таблица 3. Стоимость основных материалов

Table 3. Cost of basic materials

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
Автоматические выключатели	3	250	750
Клеммники	30	18	540
Кабель 1,5 м	6	300	1800
Крепления для кабеля	30	75	2250
Лента изоляционная	1	150	150
Статический преобразователь частоты 50 кВт	1	500000	500000
Согласующий трансформатор	1	180000	180000
Транспортные расходы	–	–	4000
Итого:			689500

Стоимость покупных изделий составила, руб.:

$$S_m = 689500.$$

Рассчитаем стоимость установки и настройки оборудования (табл. 4).

Таблица 4. Стоимость установки и настройки оборудования

Table 4. Cost of installation and configuration of equipment

Наименование выполняемых работ	Трудоемкость, ч	Часовая ставка руб./ч	Сумма заработной платы, руб.
Сборка узлов	3	150	450
Демонтаж старого оборудования	5	230	1150
Установка нового оборудования	1,5	80	120
Настройка и испытания	1	80	80
Итого	–	–	1800

Стоимость установки и настройки оборудования составила, руб.:

$$S_{уст} = 1800.$$

Определим суммарные затраты на изготовление модернизированного оборудования.

$$S = S_m + S_{уст}, \quad (3)$$

где – стоимость основных материалов, руб.; $S_{уст}$ – стоимость установки и настройки оборудования, руб.

Тогда

$$S = 689500 + 1800 = 691300.$$

Определим экономию производственных средств при его эксплуатации.

Посчитаем годовую экономию электроэнергии по формуле:

$$\Delta_1 = (P_1 - P_2)Q_1 \cdot Q_2, \quad (4)$$

где Δ_1 – годовая экономия электроэнергии; P_1 – часовой расход до модернизации, кВт; P_2 – часовой расход после модернизации, кВт; Q_1 – годовой фонд рабочего времени, ч; Q_2 – цена одного кВт, руб.

Тогда годовая экономия электроэнергии равна, руб.:

$$\Delta_1 = (32 - 31) \cdot 500 \cdot 10 = 5000.$$

Таким образом, общая годовая экономия составила 5000 руб.

Согласно общей практике срок окупаемости частотных преобразователей составляет от 3 мес. до 3 лет.

3. Экологическая оценка

Модернизация производится путем замены оборудования на новое, а именно, демонтаж старого и монтаж нового, старое оборудование с элементами цепи подлежит перепродаже с учетом многократного использования. Все оставшиеся материалы подлежат переработке на вторичное сырье с целью экономии природных ресурсов.

Внедрение современных технологий должно отвечать требованиям в области охраны окружающей среды, чтобы не допустить негативного влияния на нее. Шум оказывает влияние на окружающую среду и жизнедеятельность человека. Порогом отрицательного влияния на слуховой орган человека является шум электродвигателя, оцениваемый в 80 дБ.

Одним из факторов, влияющих на экологию, является вибрация, в частности, такие ее источники, как генератор и электродвигатель. У генератора ее величина составляет 30 ГцА, а у электродвигателя в 3–5 раз больше. Вибрация также оказывает воздействие на детали и механизмы, повышая регулярность технического обслуживания. У полупроводниковых преобразователей частоты данные показатели ниже. Материалы, которые используются в составе частотного преобразователя, не содержат вредных веществ. Негативного воздействия на окружающую среду не оказывается как во время эксплуатации, так и после ее завершения. Вредных выбросов в атмосферу не зафиксировано.

Модернизацию судовой электростанции путем установки преобразователя частоты, построенного по современным технологиям, можно произвести непосредственно у пирса, при стоянке в порту, так как не потребуются применения специализированного оборудования, сложных монтажных и демонтажных работ, способных загрязнить водную среду.

Количество судов стремительно растет, и в результате возникают все большие риски загрязнения как морской среды, так и окружающей. Поэтому в 1973 г. была принята Конвенция по предотвращению загрязнения окружающей среды с судов – МАРПОЛ 73/78. Это одна из самых важных международных конвенций, цель которой – предотвратить загрязнение с судов топливом, маслом, химикатами, вредными веществами в упакованном виде, сточными водами и мусором. В целях защиты окружающей среды каждое судно оборудуется очистной установкой. Она работает непрерывно во время стоянки судна в порту. Кроме того, суда оснащаются оборудованием, которое ограничивает содержание масел в сбрасываемых водах [17]. Во время их эксплуатации совершается выброс выхлопных газов от работающих энергетических, котельных и упомянутых выше очистных установок. В связи с этим при модернизации важно учесть возможный риск загрязнения как морской, так и окружающей среды в целом.

Данный проект отвечает всем требованиям охраны окружающей среды, не оказывает негативного влияния на экологическую обстановку в Мировом океане, т. е. способствует благоприятному воздействию на окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Напряжение, частота и род тока являются основными параметрами СЭЭС. Именно они характеризуют надежность и экономичность работы и условия эксплуатации судового электрооборудования, от них зависят особенности исполнения СЭЭС, наконец, они определяют стандарт судовой сети. Использование преобразователей частоты дало возможность получить экономическую эффективность, которая достигается за счет сокращения потребления электроэнергии, расходов на ремонт, а также других производственных издержек, высокий КПД. Внедрение преобразователей частоты, построенных на полупроводниковых элементах, нашло широкое применение на судах.

Использование статического преобразователя дает экономичное разрешение проблемы несоответствия частот или напряжений при подключении судна к любой сети. СПЧН занимает малую площадь, подойдет для размещения вблизи распределительных устройств и трансформаторов. Он повышает качество подводимой электроэнергии, применяя функцию увеличения коэффициента мощности, и стабилизирует напряжение и частоту. Полупроводниковые преобразователи ча-

стоты не нуждаются в техническом обслуживании, изнашивания частей не происходит, а значит, понадобится меньше вложений. Экономия энергии происходит за счет возможности регулирования потребляемой мощности в зависимости от действительной нагрузки.

В ходе выполнения исследования была подтверждена необходимость наличия промежуточного преобразователя при электроснабжении судна от береговой сети; предложен современный преобразователь частоты и напряжения взамен исходного; обоснована позиция выбора в пользу отечественного преобразователя; описаны технические характеристики и достоинства СПЧН; проведен анализ схем преобразования; разработана и описана схема сопряжения судовой электростанции с электросетями Российской Федерации; дана экономическая и экологическая оценки.

Список источников

1. Шавелкин А. А., Писанюк В. В., Мирошник Д. Н. Использование автономного инвертора тока в режиме источника синусоидального напряжения // Вестник Харьковского политехнического института. 2012. № 28. С. 138–143.
2. Клевцов А. В. Преобразователи частоты для электропривода переменного тока. Москва: ДМК-Пресс, 2010. 224 с.
3. Применение преобразователя частоты в качестве источника питания судового электрооборудования / Н. Г. Романенко [и др.] // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2016. № 1. С. 77–84.
4. Кахайли Д. М., Ясаков Г. С., Яковлев Д. Б. Обеспечение качества электроэнергии в единых корабельных электроэнергетических системах при наличии мощных статических преобразователей // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. 2015. № 4. С. 56–60.
5. Преобразователь частоты для гребного электродвигателя / Г. М. Мустафа [и др.] // Электротехника. 2014. № 1. С. 46–53.
6. Романенко Н. Г., Головкин С. В., Жуманазаров М. П. Исследование свойств преобразователя частоты в качестве источника питания судового электрооборудования // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2017. № 1. С. 76–81
7. Буксирные суда (проектирование и конструкция) / Б. В. Богданов, А. В. Слуцкий, М. Г. Шмаков, К. Д. Васильев [и др.]. Ленинград: Судостроение, 1974. 280 с.
8. Верескун В. И., Сафонов А. С. Электротехника и электрооборудование судов. Ленинград: Судостроение, 1987. 280 с.
9. Баранников В. К. Эксплуатация электрооборудования рыбопромысловых судов. Москва: МОРКНИГА, 2013. 496 с.
10. Баранов А. П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. Санкт-Петербург: Судостроение, 2005. 528 с.
11. Мезин Е. К. Судовые электрические машины. Ленинград: Судостроение, 1985. 320 с.
12. Справочник судового электротехника. Т. 2. Судовое электрооборудование / под ред. Г. И. Китаенко. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Судостроение, 1980. 624 с.

13. Тумаева Е. В. Преобразователи частоты. Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт Казанского национального исследовательского технологического университета, 2015. 28 с.
14. Гельман М. В., Дудкин М. М., Преображенский К. А. Преобразовательная техника. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. 425 с.
15. Преобразователи частоты URL: <https://drives.ru/stati/chastotnye-preobrazovateli> (дата обращения: 10.11.2022).
16. Статический преобразователь частоты и напряжения. URL: <http://lm-inverter.ru/ru/produksiya-i-razrabotki/katalog/staticheskie-preobrazovateli-chastoty/spchn-250/> (дата обращения: 11.11.2022).
17. РМРС, Правила классификации и постройки морских судов, часть XI "Электрическое оборудование" / под ред. С. А. Кротт. URL: <https://rs-class.org/upload/iblock/592/592a71ac86ed683ea98c2f8717f1f057.pdf> (дата обращения: 12.11.2022).

References

1. Shavelkin A. A. Ispol'zovanie avtonomnogo invertora toka v rezhime istochnika sinusoidal'nogo napryazheniya [Using an autonomous current inverter in the mode of a sinusoidal voltage source]. *Vestnik Khar'kovskogo politekhnicheskogo instituta*, 2012, no. 28, pp. 138–143. (In Russ.).
2. Klevtsov A. V. *Preobrazovateli chastoty dlya elektroprivoda peremennogo toka* [Frequency converters for AC electric drive]. Moscow, DMK-Press Publ., 2010. 224 p. (In Russ.).
3. Romanenko N. G. Primenenie preobrazovatelya chastoty v kachestve istochnika pitaniya sudovogo elektrooborudovaniya [Application of a frequency converter as a power source for marine electrical equipment]. Astrakhan', *Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2016, no. 1, pp. 77–84. (In Russ.).
4. Kakhayli D. M. Obespechenie kachestva elektroenergii v edinykh korabel'nykh elektroenergeticheskikh sistemakh pri nalichii moshchnykh staticheskikh preobrazovateley [Ensuring the quality of electricity in unified shipboard electric power systems in the presence of powerful static converters]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo elektrotekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 4, pp. 56–60. (In Russ.).
5. Mustafa G. M. [et al.]. Preobrazovatel' chastoty dlya grebnogo elektrodvigatelya [Frequency converter for a rowing electric motor]. Moscow, *Elektrotekhnika*, 2014, no. 1, pp. 46–53. (In Russ.).
6. Romanenko N. G. Issledovanie svoystv preobrazovatelya chastoty v kachestve istochnika pitaniya sudovogo elektrooborudovaniya [Study of the properties of a frequency converter as a power source for marine electrical equipment]. Astrakhan', *Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2017, no. 1, pp. 76–81. (In Russ.).
7. Bogdanov B. V., Slutskiy A. V., Shmakov M. G., Vasil'ev K. D., Sorokin D. Kh. *Buksirnye suda (proektirovanie i konstruktsiya)* [Tugboats (design and construction)]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1974, 280 p. (In Russ.).
8. Vereskun V. I., Safonov A. S. *Elektrotekhnika i elektrooborudovanie sudov* [Electrical engineering and electrical equipment of ships]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987, 280 p. (In Russ.).

9. Barannikov V. K. *Ekspluatatsiya elektrooborudovaniya rybopromyslovykh sudov* [Operation of electrical equipment of fishing vessels]. Moscow, MORKNIGA Publ., 2013, 496 p. (In Russ.).
10. Baranov A. P. *Sudovye avtomatizirovannye elektroenergeticheskie sistemy* [Ship automated electric power systems]. Saint-Petersburg, Sudostroenie Publ., 2005, 528 p. (In Russ.).
11. Mezin E. K. *Sudovye elektricheskie mashiny* [Marine electric machines]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985, 320 p. (In Russ.).
12. *Spravochnik sudovogo elektrotehnika* [Handbook of ship electrical engineering]. Kitaenko G. I. (editor). Leningrad, Sudostroenie Publ., 1980, vol. 2, 624 p. (In Russ.).
13. Tumaeva E. V. *Preobrazovateli chastoty* [Frequency converters studies]. Nizhnekamsk, Nizhnekamskiy khimiko-tehnologicheskii institut Kazanskogo natsional'nogo issledovatel'skogo tekhnologicheskogo universiteta, 2015, 28 p. (In Russ.).
14. Gel'man M. V., Dudkin M. M., Preobrazhenskiy K. A. *Preobrazovatel'naya tekhnika: uchebnoe posobie* [Transformative technique: a textbook]. Chelyabinsk, Izdatel'skiy tsentr YUUrGU Publ., 2009, 425 p. (In Russ.).
15. *Preobrazovateli chastoty* [Frequency converters]. Available at: <https://drives.ru/stati/chastotnye-preobrazovateli> (Accessed 10 November 2022). (In Russ.).
16. *Sticheskiy preobrazovatel' chastoty i napryazheniya* [Static frequency and voltage converter]. Available at: <http://lm-inverter.ru/ru/produkcija-i-razrabotki/katalog/sticheskie-preobrazovateli-chastoty/spchn-250/> (Accessed 11 November 2022). (In Russ.).
17. *RMRS, Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov, chast' XI "Elektricheskoe oborudovanie"* [RMRS, Rules of classification and construction of marine vessels, Part XI "Electrical equipment"]. Krott S. A. (editor). Available at: <https://rs-class.org/upload/iblock/592/592a71ac86ed683ea98c2f8717f1f057.pdf> (Accessed 12 November 2022). (In Russ.).

Информация об авторах

А. Б. Вольский – кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и автоматизации судов

К. А. Новоселов – преподаватель кафедры электрооборудования и автоматизации судов

Information about the authors

A. B. Volskiy – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Electrical Equipment and Ship Automation

K. A. Novoselov – Lecturer of the Department of Electrical Equipment and Ship Automation

Статья поступила в редакцию 30.10.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 08.12.2022.

The article was submitted 30.10.2022; approved after reviewing 10.11.2022; accepted for publication 08.12.2022.

Научная статья
УДК 629.5.01
DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-110-124

Исследование влияния изменения отношений главных размерений на мореходные качества контейнеровозов

Ирина Владимировна Якута

Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

yakuta@bgarf.ru

Аннотация. В настоящее время наблюдается рост контейнерных перевозок, числа проектов и строительства новых типов контейнеровозов, развитие которых идет не только по пути увеличения их главных размерений и контейнеровместимости, но и обеспечения при этом лучших мореходных качеств с учетом требований размещения целого количества контейнеров по длине, ширине и глубине трюмов. За пять месяцев 2021 г. было заказано контейнеровозов суммарной вместимостью 2,2 млн. TEU (двадцатифутовый эквивалент, единица измерения вместимости контейнеровозов). Это в 12 раз больше, чем за тот же период 2020 г., и на 60 % выше предыдущего рекорда, зафиксированного в начале 2005 г. Подавляющая часть контейнеровозов, заказанных в 2021 г., будет построена в 2023 г. По оценкам специалистов, это порядка 1,5 млн. TEU, и 2023 г. станет самым рекордным по сдаче их в эксплуатацию. В работе проанализированы 112 контейнеровозов постройки 1979–2021 гг., которые были разбиты на три группы. Расчеты показали, что у судов 2000–2011 гг. постройки отношение длины к ширине судна больше, чем у "старых", однако у судов постройки 2011–2021 гг. оно практически равно отношению для "старых" судов. Отношение ширины судна к осадке у судов постройки 2011–2021 гг. выше, чем у контейнеровозов постройки 2000–2010 гг. и 80-х годов прошлого века. У контейнеровозов постройки 2011–2021 гг. отношение длины судна к высоте борта меньше, чем у "старых" судов и контейнеровозов постройки 2000–2010 гг. Отношение высоты борта к осадке у контейнеровозов постройки 2011–2021 гг. больше, чем у судов постройки 80-х годов прошлого века и 2000–2010 гг. Отношение длины судна к осадке у контейнеровозов постройки 2011–2021 гг. выше, чем судов постройки 80-х годов прошлого века и 2000–2010 гг. Рост главных размерений контейнеровозов благоприятно влияет на все мореходные качества, однако морские проливы, каналы с определенными размерами шлюзов и порты с ограниченными глубинами на фарватерах и у причалов не позволяют в дальнейшем увеличивать главные размерения судов.

Ключевые слова: главные размерения, контейнеровместимость, мореходные качества, аварийность, эксплуатационные ограничения, безопасность мореплавания

Для цитирования: Якута И. В. Исследование влияния изменения отношений главных размерений на мореходные качества контейнеровозов // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 110–124. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-110-124.

Original article

Study of the effect of changing the ratio of main dimensions on the seaworthiness of container ships

Irina V. Yakuta

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
yakuta@bgarf.ru

Abstract. There is currently an increase in container traffic, which has led to an increase in the design and construction of new types of container ships, which are being developed not only to increase their main dimensions and container capacity, but also to provide better seaworthiness at the same time. Increasing the size of container ships takes into account the requirements for accommodating a whole number of containers by length, widths and depth of the holds. For the five months of 2021, container ships with a total capacity of 2,2 million TEUs (twenty-foot equivalent, a unit of measurement for container capacity) have been ordered. This is 12 times more than for the same period in 2020 and 60 % higher than the previous record set at the beginning of 2005. The vast majority of the tonnage ordered in 2021 will be done in 2023. It is estimated to be around 1,5 million TEUs, and 2023 will be the record year for delivery of container ships. The paper analyzes 112 container ships built between 1979 and 2021, which were divided into three groups. The calculations show that the length to width ratio is greater for ships built between 2000 and 2011 than for "old" container ships, however, for container ships built between 2011 and 2021 the ratio is practically equal for "old" ships. The width to draft ratio of ships built in 2011–2021 is higher than that of container ships built in 2000–2010 and ships built in the 1980s. Container ships built between 2011 and 2021 have a shorter length to height ratio than "older" ships and container ships built between 2000 and 2010. The ratio of side height to draft for container ships built in 2011–2021 is greater than that for container ships built in the 1980s and for container ships built in 2000–2010. The length to draft ratio of container ships built in 2011–2021 is higher than that of container ships built in the 1980s and of container ships built in 2000–2010. An increase in the main dimensions of container ships has a favourable effect on all seaworthiness, but sea straits, canals with certain lock sizes and ports with limited depths in the fairways and at berths, do not allow a further increase in the main dimensions of the ships.

Keywords: main dimensions, container capacity, seaworthiness, accident rate, operational limitations, safety of navigation

For citation: Yakuta I. V. Study of the effect of changing the ratio of main dimensions on the seaworthiness of container ships. *Izvestiya KGTY = KSTU News*. 2023; (68): 110–124. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-110-124.

ВВЕДЕНИЕ

Контейнерные перевозки сегодня являются самым динамично развивающимся сегментом морских перевозок. Постоянное увеличение контейнерного грузопотока требует дальнейшего развития контейнерного флота. С момента появления первого контейнеровоза и по настоящее время наблюдается устойчивый рост количества этого типа судов с постоянным увеличением контейнеровместимости. За последние 60 лет вместимость морских контейнеровозов увеличилась с 400 до 24000 TEU. Стоимость крупнейших современных контейнеровозов доходит до \$180 млн, а цена перевозимых на них грузов может составлять миллиарды долларов [1].

22 июня 2022 г. в Китае был сдан в эксплуатацию самый большой в мире контейнеровоз "Ever Alot". Длина судна составляет почти 400 м, площадь палубы – 24 тыс. м², примерно как три с половиной футбольных поля, вместимость – 24 тыс. TEU. Всего в 2022 г. было запланировано спустить на воду 12 таких гигантов [2, 3].

С увеличением размеров и контейнеровместимости судов прямо пропорционально растет и вероятность возникновения аварий. Анализ причин аварий контейнеровозов показывает, что примерно 40 % их происходит из-за плохой упаковки грузов, 27 % – из-за недостоверного декларирования, 4 % – из-за нарушения обработки контейнеров, 2 % – из-за неправильного размещения грузов на судне [1, 4].

23 марта 2021 г. гигантский контейнеровоз MV "Ever Given", принадлежащий японской компании Shoei Kisen Kaisha Ltd, вошел в Суэцкий канал в 23-й раз с момента своего спуска на воду, но в этот день что-то пошло не так. До сих пор ведутся споры по поводу причин аварии (скорость ветра была зафиксирована на уровне 40 уз, а видимость была плохой). Так или иначе, но 400-метровое судно увязло в грязи и песке у южного входа в канал, почти полностью его перегородив. Следующие шесть дней аварийно-спасательных работ стоили мировой экономике \$9,6 млрд в день и создали беспрецедентную пробку в истории судоходства, 450 судов ждали прохода по каналу. Чтобы снять с мели "Ever Given", власти Суэцкого канала использовали 14 буксиров, экскаваторы, дноуглубительное судно и подъемный кран. Ущерб от блокировки Суэцкого канала составлял \$400 млн в час. Общий ущерб оценивается в \$41,4 млрд [5, 6].

Целесообразность гигантских размеров контейнеровозов неоднократно подвергалась сомнениям, в особенности после инцидента в Суэцком канале. Специалисты начали говорить о том, что слишком большие судна ставят под угрозу надежность цепочек поставок, качество и безопасность судоходства. В морских контейнерных перевозках, как и в любом коммерческом предприятии, финансовая выгода часто выходит на первый план по отношению к безопасности. В каждой судоходной компании декларируется политика безопасности и защиты окружающей среды, которая провозглашает эти два аспекта деятельности компании как самые приоритетные. Однако в реальности финансовая выгода часто выходит на первый план по отношению к безопасности.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Как известно, мореходные качества зависят от условий плавания (высоты, длины и периода волн, скорости ветра), линейных размеров и массы судна, а также от его архитектуры, формы обводов, нагрузки и других параметров [7, 8].

Для исследования мореходных качеств контейнеровозов были произведены расчеты отношений главных размерений: длины судна к ширине L/B , ширины судна к осадке B/T , длины судна к высоте борта L/H , высоты борта к осадке H/T , длины судна к осадке L/T контейнеровозов постройки 1979–1990 гг. ("старые" суда), контейнеровозов 2000–2010 гг. постройки и новых постройки 2011–2021 гг., которые позволяют определить тенденции изменения рассматриваемых параметров. Для анализа взято 112 судов разных годов постройки. Сравнение изменения отношений главных размерений контейнеровозов показывает пути развития судостроения для достижения оптимальных мореходных качеств, улучшающих эксплуатационно-технические характеристики современных судов.

В табл. 1 для примера выбраны по четыре судна разных лет постройки, для которых рассчитаны диаграммы изменения отношений главных размерений.

Таблица 1. Характеристики контейнеровозов
 Table 1. Characteristics of container ships

Название судна	Год постройки	DW, т	L, м	B, м	T, м	H, м
ADDIRIYAH	1979	24272	183,2	27,5	11,0	13,0
BESTSEA	1981	21203	177,2	28,4	10,7	13,2
CMA CGM POTOMAC	1980	28782	214,9	31,0	12,0	16,0
DELMAS KISSAMA	1982	26287	175,8	28,1	11,4	13,4
RISE SHINE	2000	5580	101,0	19,0	5,5	8,4
SINGAPORE BRIDGE	2002	50953	260,0	32,0	12,6	19,3
FESCO ASKOLD	2004	13806	147,87	23,25	8,51	11,5
EMMA MAERSK	2006	174239	398,0	56,0	13,5	30,2
CMA CGM RIGOLETTO	2006	114004	349,0	43,0	12,5	27,3
ELEONORA MAERSK	2007	115000	398,0	56	16	29,3
CMA CGM THALASSA	2008	130700	346,5	43,2	15,5	28,8
COSCO PACIFIC	2008	111315	348,5	45,6	14,5	27,2
MSC DANIT	2009	165517	365,5	51,2	16	29,1
FRANKFURT EXPRESS	2010	104400	335,0	42,8	14,5	24,6
CSCL STAR	2011	150853	366,0	52,0	13,1	29,9
CMA CGM MARCO POLO	2012	187625	396,0	53,6	16,0	29,9
MC KINNEY MOLLER	2013	165000	399,0	59,0	15,5	39,3
MSCL GLOBE	2014	155200	400,0	58,6	16,0	30,5
MSC OSCAR	2015	199273	395,4	59,0	16,0	30,3
MSC ANNA	2016	185503	399,98	58,6	16,0	33,2
OOCL HONG KONG	2017	191422	400,0	59,0	16,0	33,2
EVER GOLDEN	2018	219079	400,0	58,8	16,0	32,2
MAASTRICHT MAERSK	2019	214286	399,0	58,6	16,5	33,2
HMM HAMBURG	2020	228283	399,9	61,0	16,5	33,2
EVER ACE	2021	235579	399,9	61,5	16,5	33,2

Отношение длины судна к ширине (L/B) характеризует его ходкость, чем оно больше, тем быстрее судно. Скоростные качества улучшаются в связи с тем, что главной составляющей сопротивления движению судна становится сопротивление трения, зависящее от величины площади смоченной поверхности, а она уменьшается с уменьшением отношения L/B .

Произведенные расчеты показали, что среднее значение отношения L/B контейнеровозов постройки 80-х годов прошлого века равно 6,52; 2000–2010 гг. – 7,28; 2011–2021 гг. – 6,82.

На рис. 1 представлена диаграмма изменения отношения L/B контейнеровозов постройки 80-х годов прошлого века и начала XXI в. (2000–2006 гг.). Для примера из представленных для анализа судов взято по четыре судна этих лет постройки.

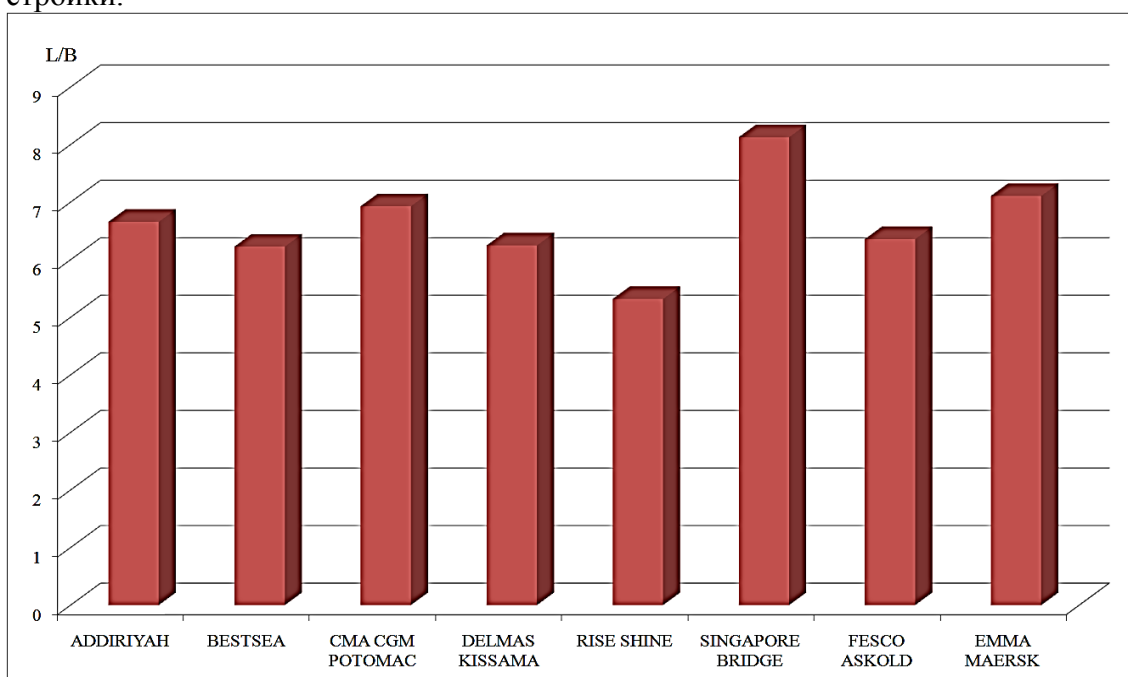


Рис. 1. Диаграмма изменения отношения длины к ширине контейнеровозов постройки 80-х годов XX в. и начала XXI в.

Fig. 1. Diagram of the change in the ratio of the length to the width of the vessel container ships built in the 80s of the XX century and the beginning of the XXI century

На рис. 2 показана диаграмма изменения отношения L/B для контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг. Первые четыре судна на диаграмме относятся к 2000–2010 гг. постройки, вторые – к 2011–2021 гг.

Анализ проведенного исследования показывает, что у судов 2000–2011 гг. постройки отношение L/B на 12 % больше, чем у "старых" контейнеровозов, это позволяет утверждать, что новые более быстроходные, и оправдано увеличение длины и ширины этих судов. Однако отношение L/B контейнеровозов постройки 2011–2021 гг. практически равно этому отношению для "старых" судов.

С увеличением отношения ширины к осадке (B/T) остойчивость судна улучшается, хотя качка делается более порывистой.

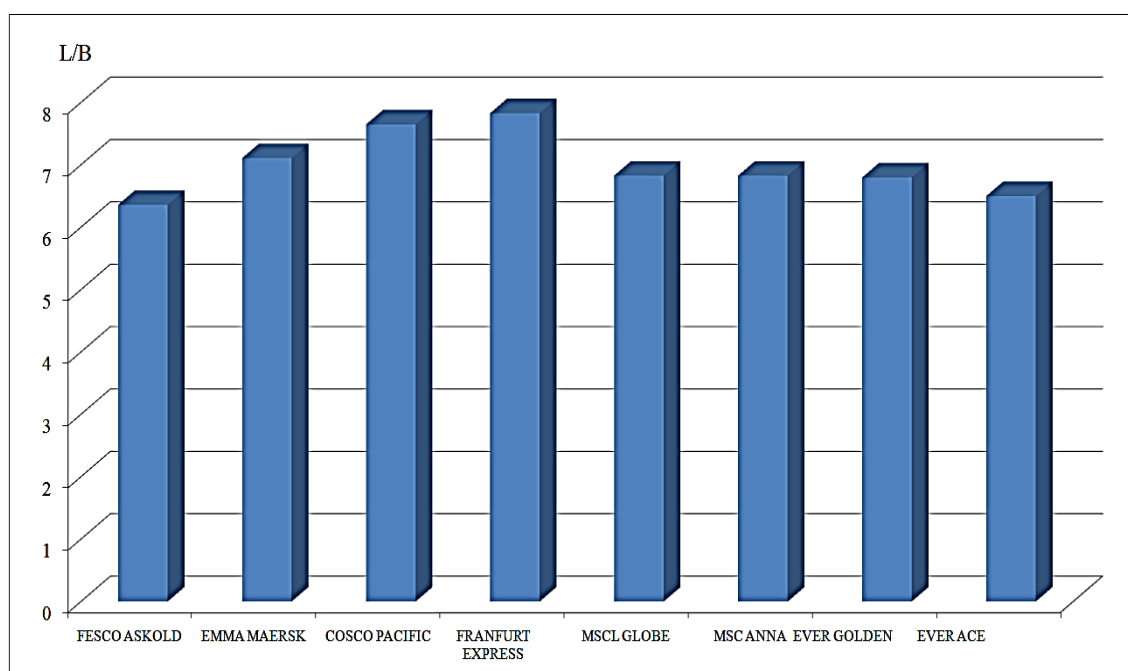


Рис. 2. Диаграмма изменения отношения длины к ширине контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.
Fig. 2. Diagram of the change in the ratio of length to width container ships built in 2000–2010 and 2011–2021

Расчеты отношения B/T показали, что среднее значение отношения B/T контейнеровозов постройки 80-х годов XX в. равно 2,55; 2000–2010 гг. – 3,19; 2011–2021 гг. – 3,68.

На рис. 3 показана диаграмма изменения отношения B/T контейнеровозов постройки 80-х годов прошлого века и начала XXI в. (2000–2006 гг.). Для примера из представленных для анализа судов взято по четыре судна этих лет постройки.

На рис. 4 изображена диаграмма изменения отношения B/T контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.

Произведенные расчеты показывают, что у судов постройки 2011–2021 гг. отношение B/T на 15 % выше, чем у контейнеровозов постройки 2000–2010 гг. и на 44 % больше, чем 80-х годов XX в. Это позволяет утверждать, что остойчивость у них улучшилась. Большие значения B/T связаны с обеспечением остойчивости при перевозке значительной части контейнеров на верхней палубе.

Отношение длины судна к высоте борта (L/H) характеризует прочность корпуса судна: чем выше это отношение, тем сложнее обеспечить его общую продольную прочность.

Среднее значение отношения L/H контейнеровозов 80-х годов XX в. постройки равно 13,78; 2000–2010 гг. – 12,93; 2011–2021 гг. – 12,22.

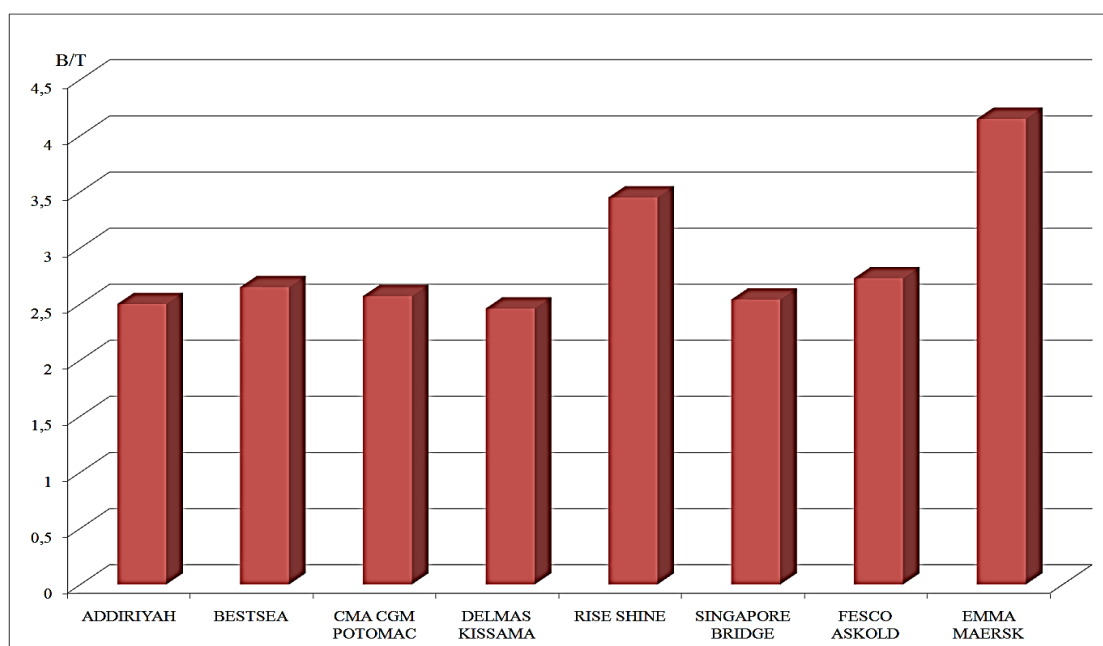


Рис. 3. Диаграмма изменения отношения ширины к осадке контейнеровозов 80-х годов XX в. и постройки начала XXI в.

Fig. 3. Breadth to draft ratio chart for container ships constructed in the 80s of the XX century and in the beginning of the XXI century

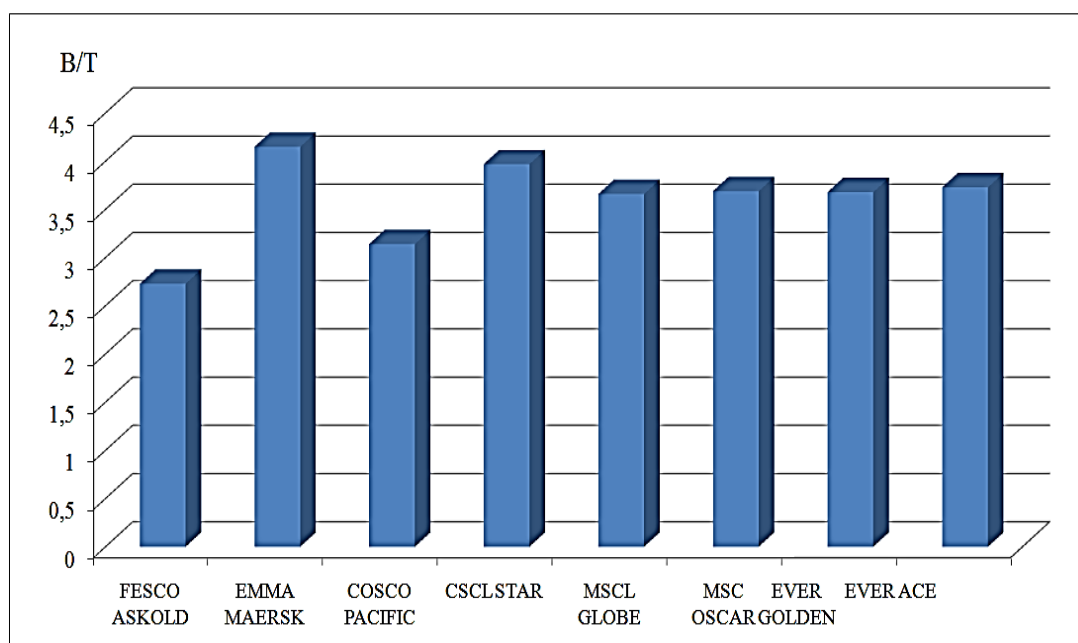


Рис. 4. Диаграмма изменения отношения ширины к осадке контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.

Fig. 4. Breadth to draft ratio diagram for container ships built in 2000–2010 and 2011–2021

На рис. 5 показана диаграмма изменения отношения L/H контейнеровозов постройки 80-х годов прошлого века и начала XXI в. (2000–2006 гг.).

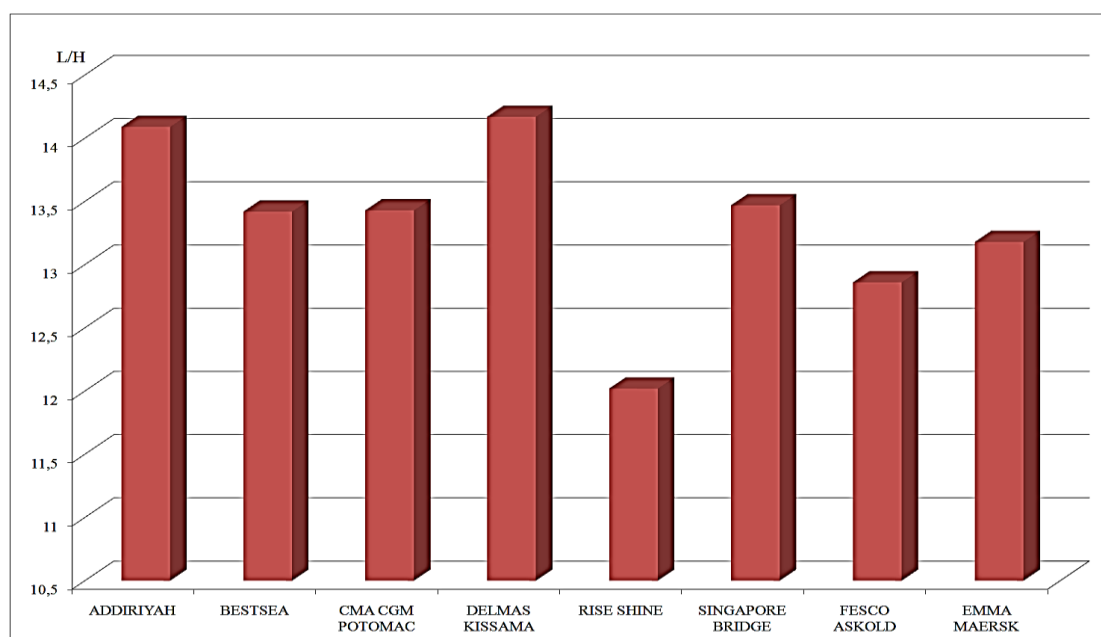


Рис. 5. Диаграмма изменения отношения длины к высоте борта контейнеровозов постройки 80-х годов XX в. и начала XXI в.

Fig. 5. Diagram of the change in the ratio of the length to the height of the side container ships built in the 80s of the XX century and in the beginning of the XXI century

На рис. 6 представлена диаграмма изменения отношения L/H контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.

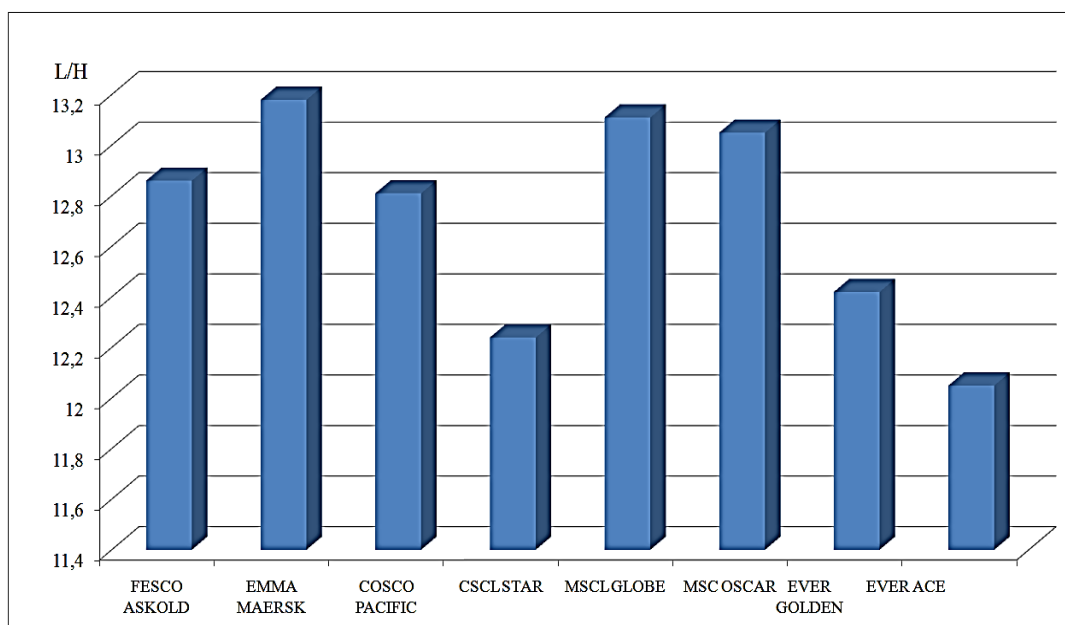


Рис. 6. Диаграмма изменения отношения длины к высоте борта контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.

Fig. 6. Diagram of the change in the ratio of the length to the height of the side container ships built in 2000–2010 and 2011–2021

Проведенные расчеты показали снижение отношения L/H . Это говорит о том, что обеспечить общую продольную прочность судна стало легче. У контейнеровозов постройки 2011–2021 гг. отношение L/H на 11 % меньше, чем у "старых", и на 6 % меньше, чем у судов постройки 2000–2010 гг.

Отношение высоты борта к осадке (H/T) определяет остойчивость на больших углах крена и непотопляемость судна, рост благоприятно влияет на эти качества.

Среднее значение отношения H/T контейнеровозов постройки 80-х годов XX в. равно 1,25; 2000–2010 гг. – 1,79; 2011–2021 гг. – 2,06.

На рис. 7 представлена диаграмма изменения отношения высоты борта к осадке H/T контейнеровозов постройки 80-х годов прошлого века и начала XXI в. (2000–2006 гг.).

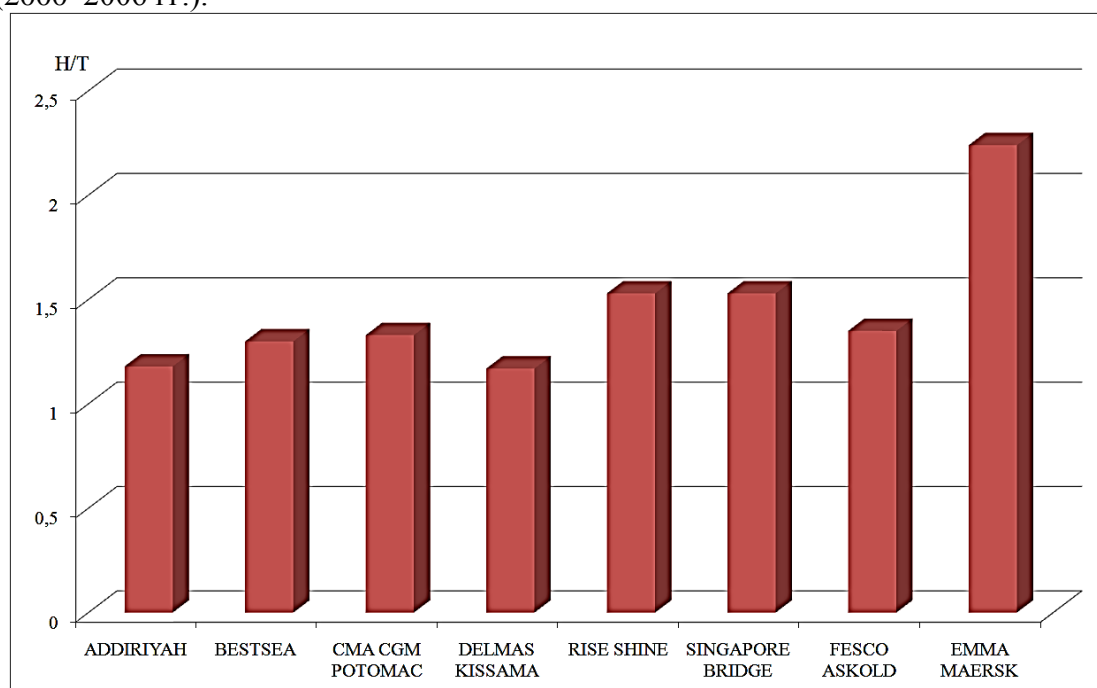


Рис. 7. Диаграмма изменения отношения высоты борта к осадке контейнеровозов 80-х годов XX в. и начала XXI в. постройки

Fig. 7. Diagram of the change in the ratio of height to draft of the container ships constructed in the 90s of the XX century and in the beginning of the XXI century

На рис. 8 показана диаграмма изменения отношения H/T контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.

Произведенные расчеты подтверждают, что у контейнеровозов постройки 2011–2021 гг. отношение H/T на 39 % больше, чем у таковых постройки 80-х годов XX в., и на 15 % больше, чем 2000–2010 гг. Это позволяет констатировать, что у нового поколения судов лучше остойчивость, а также оправдывает стремление увеличивать высоту борта и осадку.

Чем больше отношение длины к осадке (L/T), тем лучше остойчивость на курсе и хуже поворотливость.

Среднее значение отношения L/T контейнеровозов постройки 80-х годов XX в. равно 16,63; 2000–2010 гг. – 23,10; 2011–2021 гг. – 25,07.

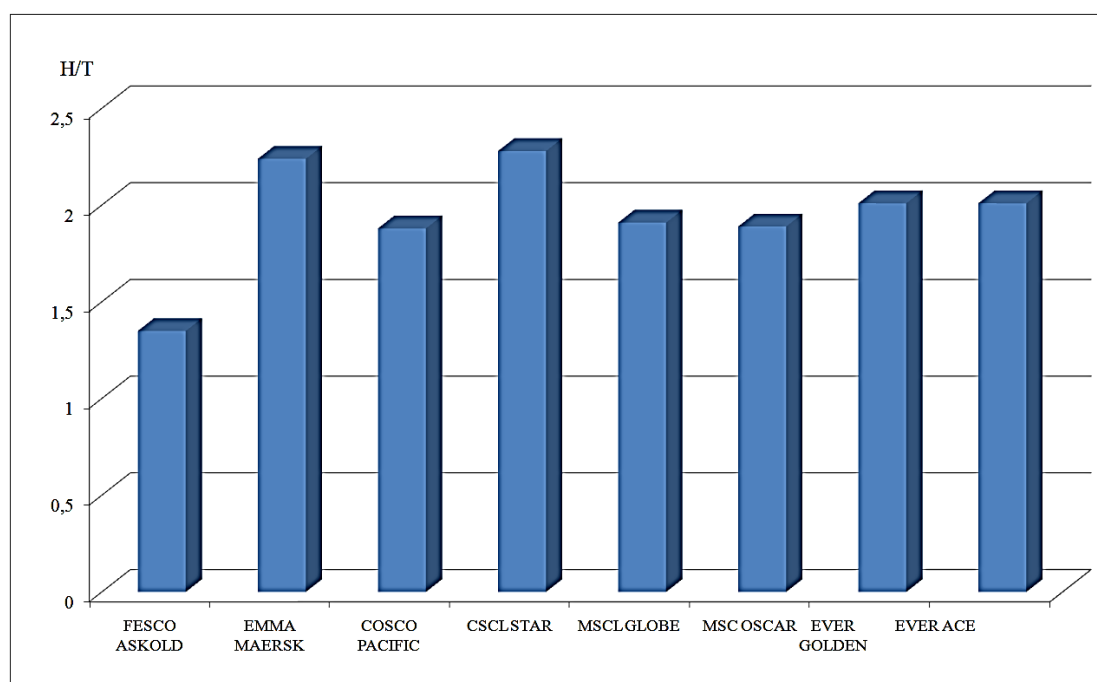


Рис. 8. Диаграмма изменения отношения высоты борта к осадке контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.

Fig. 8. Diagram of change in the ratio of height to draft of the container ships built in 2000–2010 and in 2011–2021

На рис. 9 представлена диаграмма изменения отношения длины судна к осадке L/T контейнеровозов постройки 80-х годов прошлого века и начала XXI в. (2000–2006 гг.).

Диаграмма изменения отношения L/T контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг. показана на рис. 10.

Произведенные расчеты подтверждают, что отношение L/T у контейнеровозов постройки 2011–2021 гг. на 34 % выше, чем контейнеровозов постройки 80-х годов XX в., и на 9 % выше, чем у контейнеровозов постройки 2000–2010 гг. Чем больше коэффициент управляемости, тем лучше устойчивость судна на курсе, и наоборот. Чувствительность к изменению курса лучше у судов с меньшим коэффициентом, поэтому крупные контейнеровозы ограничены в маневренности при стесненных условиях плавания.

В табл. 2 представлены сводные данные по отношениям главных размерений контейнеровозов в зависимости от года постройки.

Как видно из табл. 2, несмотря на увеличение главных размерений и контейнероёмкости современных контейнеровозов, наблюдается незначительное изменение отношений L/B , B/T , L/H , H/T , L/T , что позволяет задуматься о целесообразности постройки контейнеровозов-гигантов, которые могут привести к таким авариям, как произошла в Суэцком канале.

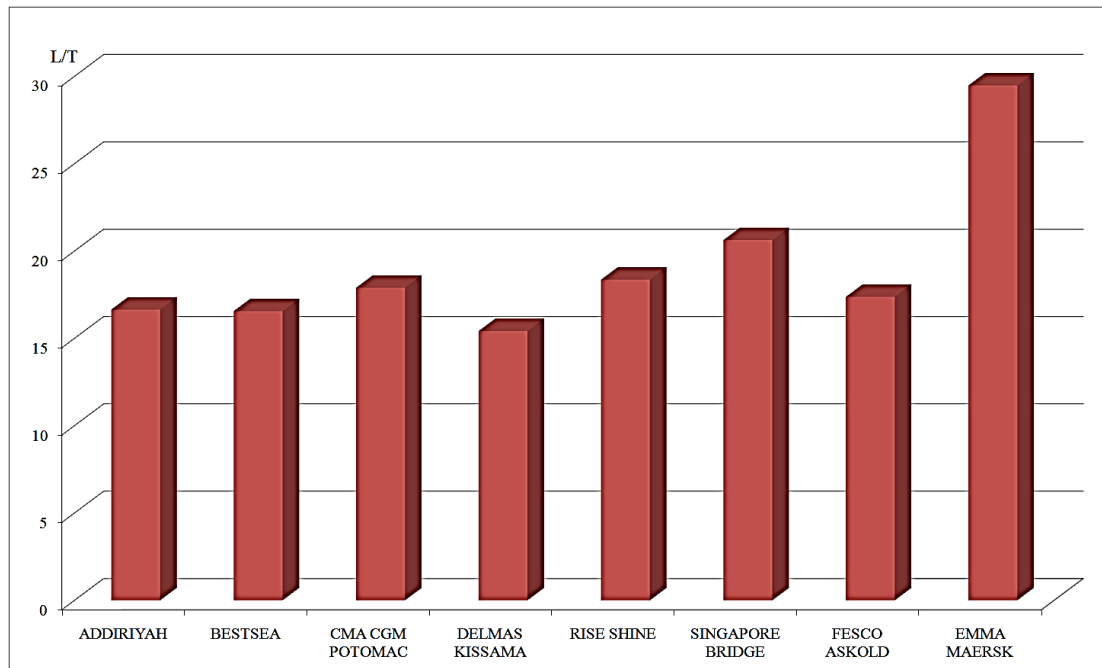


Рис. 9. Диаграмма изменения отношения длины судна к осадке контейнеровозов постройки 80-х годов XX в. и начала XXI в.

Fig. 9. Diagram of the change in the ratio of the length of the vessel to the draft of the container ships built in the 80s of the XX century and in the beginning of the XXI century

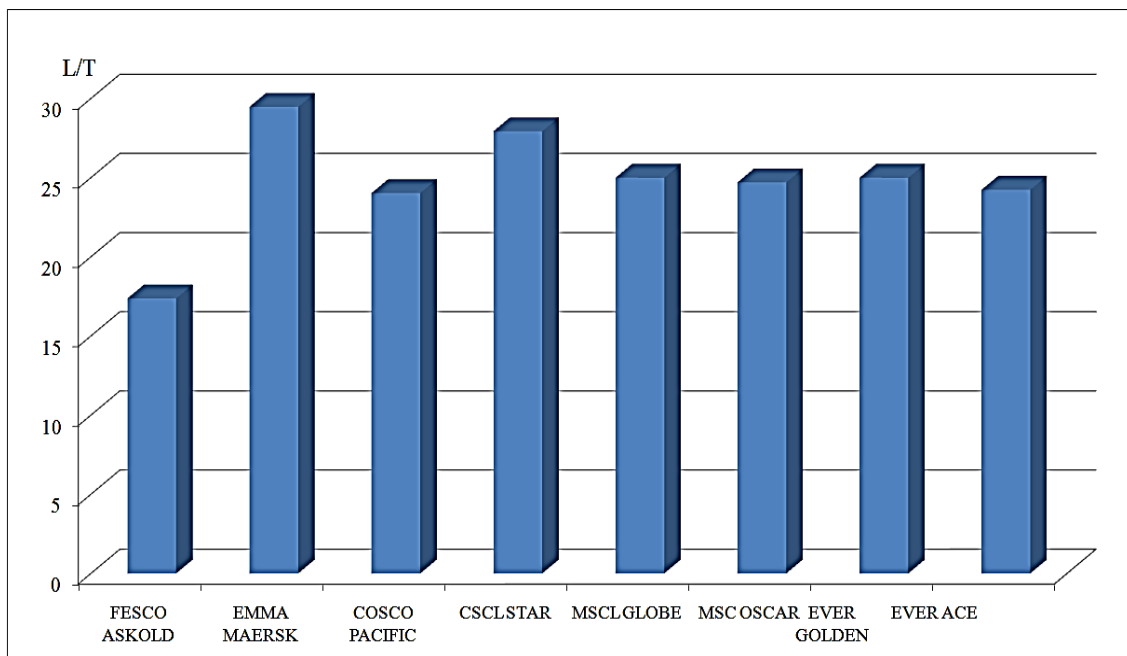


Рис. 10. Диаграмма изменения отношения длины судна к осадке контейнеровозов постройки 2000–2010 и 2011–2021 гг.

Fig. 10. Diagram of the change in the ratio of the length of the vessel to the draft of the container ships built in 2000–2010 and in 2011–2021

Таблица 2. Отношение главных размерений контейнеровозов
Table 2. The ratio of the main dimensions of container ships

Отношение главных размерений	Средние значения по годам постройки контейнеровозов		
	1980–2000	2000–2010	2011–2021
<i>L/B</i>	6,52	7,28	6,82
<i>B/T</i>	2,55	3,19	3,68
<i>L/H</i>	13,78	12,93	12,22
<i>H/T</i>	1,25	1,79	2,06
<i>L/T</i>	16,63	23,10	25,07

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ отношений главных размерений, определяющих мореходные качества контейнеровозов, показал оптимальное нахождение этих коэффициентов в определенных диапазонах с одними значениями, характерными для малых судов, и другими значениями, характерными для контейнеровозов с большой контейнероёмкостью.

Однако несмотря на то, что увеличение главных размерений благоприятно влияет на мореходные качества контейнеровозов, их рост имеет свои пределы. Препятствием для дальнейшего увеличения главных размерений служат ограничения по приему в портах, а также эксплуатационные, связанные с глубинами на основных маршрутах контейнеровозов.

Для успешной эксплуатации крупных контейнеровозов создаются порты, возводятся крупные терминалы с мощной погрузо-разгрузочной техникой. В качестве таких портов можно назвать Роттердам в Европе, Сингапур и Гонконг в Азии, Лонг-Бич и Лос-Анджелес на западном побережье США и Нью-Йорк – на восточном. Обработкой контейнеров занимаются более 800 портов, в мире насчитывается 2400 контейнерных причалов с суммарной длиной причальных стенок более 600 км. Но далеко не все эти порты способны обрабатывать современные крупнотоннажные суда. Например, порт Гонконг с 2009 г. не может принимать контейнеровозы вместимостью более 14 тыс. TEU, что связано с постройкой нового моста через гавань, высота которого над уровнем воды около 70 м [9].

Суда должны иметь определенные размеры, иначе они не преодолеют важнейшие водные пути. Ограничения наложены существующими глубинами и шириной шлюзов и морских каналов. Очень большие контейнеровозы не должны иметь осадку более 21 м, это ограничено глубиной Маллакского пролива, находящегося на пути самых оживленных перевозок контейнерных грузов.

По Суэцкому каналу могут пройти суда осадкой не более 20 м или дедвейтом до 240 тыс. т, над поверхностью воды они могут возвышаться не более чем на 68 м (канал пересекают несколько мостов), а их ширина не может быть больше 77,5 м. Все, что значительно крупнее, идет в обход Африки. Суэцкий канал не имеет шлюзов из-за отсутствия перепада уровня моря и возвышенностей.

Панамский канал с его тремя уровнями шлюзов экономит более 12,5 тыс. км при следовании из Атлантики в Тихий океан. Ширина шлюзов Панамского канала 33,53, длина – 304,8, минимальная глубина – 12,55 м [9, 10].

В 2021 г. было всего 14 заказов на контейнеровозы вместимостью от 24–24,1 тыс. TEU. А вот судов вместимостью 15–16 тыс. TEU было заказано 75 единиц суммарной вместимостью 1,1 млн. TEU. Ультрабольшие контейнеровозы у перевозчиков стали менее популярными, чем 15 и 16-тысячники. Это связано с тем, что они по-прежнему обеспечивают значительную экономию за счет большого масштаба, не ограничивая при этом оператора в выборе маршрута, как 20-тысячники.

Таким образом, произведенный в статье анализ показал, что с учетом опыта эксплуатации контейнеровозов и ограничений, касающихся проходных каналов, портовой инфраструктуры и судостроительных предприятий, можно с уверенностью сказать, что контейнеровозы достигли своих максимальных размеров, и потребность в таких судах постепенно уменьшается.

Список источников

1. Аварии с контейнерами. URL: <https://news.ati.su/article/2016/01/25/avarii-s-kontejnerami-651531/> (дата обращения: 02.06.2022).
2. Самые большие корабли в мире-2021. URL: <https://maritime-zone.com/news/view/samyie-bolshie-korabli-v-mire-2019> (дата обращения: 23.05.2022).
3. Сидоров А. Мировой рынок: тенденции и ожидания // Морские вести России. 2022. № 7. URL: <http://www.morvesti.ru/obzor> (дата обращения: 10.07.2022).
4. Анализ факторов, влияющих на безопасность морских контейнерных перевозок / Д. А. Акмайкин, Р. С. Царик, А. Д. Москаленко, М. А. Москаленко [и др.] // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 207–211. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vliyayuschih-na-bezopasnost-morskih-konteynernih-perevozok> (дата обращения: 14.06.2022).
5. Главные морские происшествия 2021 года. URL: <https://maritime-zone.com/news/view/glavnye-morskie-proisshestvija-2021-goda> (дата обращения: 23.03.2022).
6. Чернова А. И., Авдонькин С. В. Современное состояние и пути совершенствования организации обеспечения безопасности мореплавания контейнеровозов // Транспортное дело России. 2013. № 2. С. 38–40. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-puti-sovershenstvovaniya-organizatsii-obespecheniya-bezopasnosti-moreplavaniya-konteynerovozov> (дата обращения: 17.06.2022).
7. Бородавин Д. И. Проектное обоснование технических и экономических характеристик контейнерных и накатных судов: дис. канд. техн. наук: 05.08.03. Санкт-Петербург, 2012. 244 с. URL: <http://www.dslib.net/proekt-sudov/proektное-obosnovanie-tehnicheskikh-i-jekonomicheskikh-harakteristik-kontejner-nuh-i.html> (дата обращения: 15.06.2022).
8. Кулагин В. Д. Теория и устройство промысловых судов: учеб. Ленинград: Судостроение, 1986. 392 с.
9. Логачев С. И., Чугунов В. В., Горин Е. А. Мировое судостроение, современное состояние и перспективы развития. Санкт-Петербург: Изд-во Мор Вест, 2009. 538 с.

10. Мотрич В. Проблемы ультра больших контейнеровозов // Морской флот: электронный журнал. 2016. № 6. С. 22–28 URL: <http://www.morvesti.ru/analitika/1689/64693/> (дата обращения: 14.06.2022).

References

1. Avarii s konteynerami [Accidents with containers]. Available at: <https://news.ati.su/article/2016/01/25/avarii-s-kontejnerami-651531/> (Accessed 2 June 2022). (In Russ.).
2. Samye bol'shie korabli v mire-2021 [The largest ships in the world-2021]. Available at: <https://maritime-zone.com/news/view/samye-bolshie-korabli-v-mire-2019> (Accessed 23 May 2022). (In Russ.).
3. Sidorov A. Mirovoy rynek: tendentsii i ozhidaniya [Global Market: trends and expectations]. *Morskie vesti Rossii*, 2022, no. 7, available at: <http://www.morvesti.ru/obzor/1715/96626/> (Accessed 10 July 2022). (In Russ.).
4. Akmaykin D. A. [et al.] Analiz faktorov, vliyayushchikh na bezopasnost' morskikh konteynernykh perevozok [Analysis of factors affecting the safety of maritime container transportation]. *Transportnoe delo Rossii*. 2015, no. 6, pp. 207–211, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vliyayuschih-na-bezopasnost-morskih-konteynernyh-perevozok> (Accessed 14 June 2022). (In Russ.).
5. Glavnye morskije proisshestviya 2021 goda [Top maritime incidents of 2021]. Available at <https://maritime-zone.com/news/view/glavnye-morskije-proisshestviya-2021-goda> (Accessed 23 May 2022). (In Russ.).
6. Chernova A. I., Avdon'kin S. V. Sovremennoe sostoyanie i puti sovershenstvovaniya organizatsii obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya konteynerovozov [The current state and ways to improve the organization of ensuring the safety of container ships navigation]. *Transportnoe delo Rossii*, 2013, no. 2, pp. 38–40, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-puti-sovershenstvovaniya-organizatsii-obespecheniya-bezopasnosti-moreplavaniya-konteynerovozov> (Accessed 17 June 2022). (In Russ.).
7. Borodavin D. I. *Proektnoe obosnovanie tekhnicheskikh i ekonomicheskikh kharakteristik konteynernykh i nakatnykh sudov. Diss. kand. tekhn. nauk* [Design justification of the technical and economic characteristics of container and ro-ro ships. Dis. cand. techn. sci.]. Saint-Petersburg, 2012. 244 p. Available at: <http://www.dslib.net/proekt-sudov/proektnoe-obosnovanie-tehnicheskikh-i-jekonomicheskikh-kharakteristik-kontejnernyh-i.html> (Accessed 15 June 2022). (In Russ.).
8. Kulagin V. D. *Teoriya i ustroystvo promyslovykh sudov: uchebnik* [Theory and arrangement of fishing vessels: textbook]. Leningrad, Sudostroenie, 1986, 392 p.
9. Logachev S. I., Chugunov V. V., Gorin E. A. *Mirovoe sudostroenie, sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [World shipbuilding current state and development prospects]. Saint-Petersburg, Mor Vest, 2009. 538 p. (In Russ.).
10. Motrich V. Problemy ul'trabortol'shikh konteynerovozov [Problems of ultra-large container ships]. *Morskoy flot*, 2016, no. 6, pp. 22–28, available at: <http://www.morvesti.ru/analitika/1689/64693/> (Accessed 14 June 2022). (In Russ.).

Информация об авторах

И. В. Якута – кандидат технических наук, доцент кафедры судовождения и безопасности мореплавания

Information about the authors

I. V. Yakuta – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of navigation and safety of navigation

Статья поступила в редакцию 08.12.2022; одобрена после рецензирования 15.12.2022; принята к публикации 16.12.2022.

The article was submitted 08.12.2022; approved after reviewing 15.12.2022; accepted for publication 16.12.2022.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 535.37

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-127-134

**Динамика отражения оксида тулия в комплексе с оксидами иттербия
и висмута в видимом диапазоне длин волн**

Дмитрий Александрович Артамонов¹, Анна Владимировна Цибульникова²,
Василий Анатольевич Слежкин³

^{1,2}Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград,
Россия

³Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹euroset2016ig98@icloud.com

²memorgold@mail.ru

³vslezhkin@mail.ru

Аннотация. В работе исследованы оптические спектры отражения комплексов оксидов редкоземельных элементов (Tm_2O_3/Vi_2O_3 , Tm_2O_3/Yb_2O_3 , $Tm_2O_3, Vi_2O_3, Yb_2O_3$). Показано, что присутствие оксида иттербия в смеси Tm_2O_3/Yb_2O_3 приводит к уменьшению коэффициента отражения оксида тулия в ультрафиолетовой области спектрального диапазона. В присутствии оксида висмута в смеси Tm_2O_3/Vi_2O_3 максимум отражения в области 350 нм уменьшается в 1,5 раза. В видимой области излучения в комплексах с Tm_2O_3 на длинах волн 462, 475 и 490 нм имеются минимумы коэффициента отражения, равные 85–90 %. Данные минимумы соответствуют переходам с колебательных уровней основного состояния $^3H_6 \rightarrow ^1G_4$. Это свидетельствует о том, что комплекс Tm_2O_3/Vi_2O_3 в присутствии Tm_2O_3 позволяет увеличивать коэффициенты отражения в видимой области. Были исследованы процессы переноса энергии электронного возбуждения, в результате которых могут наблюдаться эффекты фотолюминесценции, в том числе возможные пути переноса энергии между взаимодействующими центрами с учетом апконверсионной люминесценции оксида иттербия в красной области спектра. Установлено, что в качестве донора переноса энергии в парных комплексах выступают иттербий или висмут. Из рентгеноструктурного анализа оксида висмута следует, что синтезированная фаза оксида висмута Vi_2O_3 соответствует моноклинной симметрии. Дальнейшие исследования будут связаны с установлением механизмов формирования фотолюминесценции в представленных комплексах и определения динамики длительности существования возбужденных состояний на основании спектрально-кинетических исследований. Изучение процессов фотолюминесценции представляет собой большую практическую задачу.

Ключевые слова: апконверсионная люминесценция, редкоземельные элементы, тулий, висмут, иттербий, спектр отражения, ИК-область

Для цитирования: Артамонов Д. А., Цибульникова А. В., Слежкин В. А. Динамика отражения оксида тулия в комплексе с оксидами иттербия и висмута в видимом диапазоне длин волн // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 127–134. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-127-134.

Original article

Reflection dynamics of tulium oxide in complex with ytterbium and bismuth oxides in the visible wavelength range

Dmitriy A. Artamonov¹, Anna V. Tsibul'nikova², Vasilii A. Slezhkin³

^{1,2}Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

³Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹euroset2016ig98@icloud.com

²memorgold@mail.ru

³vslezhkin@mail.ru

Abstract. The paper presents the study of optical reflection spectra of rare-earth element oxide complexes (Tm_2O_3/Bi_2O_3 , Tm_2O_3/Yb_2O_3 , Tm_2O_3 , Bi_2O_3 , Yb_2O_3). It is shown that the presence of ytterbium oxide in the Tm_2O_3/Yb_2O_3 mixture leads to a decrease in the reflection coefficient of tulium oxide in the ultraviolet region of the spectral range. In the presence of bismuth oxide in the Tm_2O_3/Bi_2O_3 mixture the reflection maximum in the 350 nm range decreases 1.5 times. In the visible region of radiation in complexes with Tm_2O_3 at wavelengths of 462 and 475 and 490 nm there are minima of reflection coefficient equal to 85-90%. These minima correspond to transitions from the vibrational levels of the ground state $3H_6 \rightarrow 1G_4$. This indicates that the Tm_2O_3/Bi_2O_3 complex in the presence of Tm_2O_3 allows the reflection coefficients to increase in the visible region. The processes of electron excitation energy transfer have been investigated, as a result of which the effects of photoluminescence can be observed. The study also included the possible ways of energy transfer between the interacting centers, taking into account the upconversion luminescence of ytterbium oxide in the red region of the spectrum. It has been found that ytterbium or bismuth acts as a donor of energy transfer in paired complexes. X-ray structural analysis of bismuth oxide has been investigated, from which it follows that the synthesized phase of bismuth oxide Bi_2O_3 corresponds to monoclinic symmetry. Further studies will be related to the establishment of mechanisms of photoluminescence formation in the presented complexes and determination of the dynamics of the duration of excited states existence on the basis of spectral-kinetic studies. The study of photoluminescence processes is a major practical task.

Key words: upconversion luminescence, rare-earth elements, tulium, bismuth, ytterbium, reflection spectrum, infrared region

For citation: Artamonov D. A., Tsibul'nikova A. V., Slezhkin V. A. Reflection dynamics of tulium oxide in complex with ytterbium and bismuth oxides in the visible wavelength range. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 127–134. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-127-134.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время комплексы на основе оксидов редкоземельных элементов (РЗЭ) являются предметом активных исследований ввиду потенциального применения в таких областях, как фотовольтаика, биофотоника и оптосенсорика [1, 2]. Вследствие возможной генерации апконверсионной люминесценции использование комплексов оксидов иттербия, тулия, гольмия и других РЗЭ – перспективное и активно развивающееся направление исследований в области оптических преобразователей [3]. Так, формирование апконверсионной люминесценции в видимой области спектра при фотовозбуждении длинами волн ИК-диапазона позволяет применять РЗЭ в качестве активных кристаллов для лазерных сред. Для генерации люминесценции по механизму апконверсии необходимо фотовозбуждение донорно-акцепторной системы. Чаще всего в качестве донора выступает, например, оксид иттербия.

В настоящей работе проведено исследование оптических спектров отражения комплексов оксида тулия с донорными примесями – оксиды висмута и иттербия. Целью работы было установить спектральные изменения в спектрах отражения оксида тулия в видимом диапазоне длин.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Эксперимент

В работе исследуются следующие композитные составы оксидов: Tm_2O_3/Vi_2O_3 , Tm_2O_3/Yb_2O_3 . Оксиды висмута и иттербия были приготовлены методом высокотемпературного отжига в муфельной печи при 1100 °С по методике, подробно описанной в [4]. В процессе смешивания масса навески для каждого образца составляла $m=0,074$ г. В бинарной смеси компоненты смешивались в соотношении 1:1. Далее полученные образцы были перемешаны в ступке в следующих комплексах: Tm_2O_3 , Tm_2O_3/Vi_2O_3 , Vi_2O_3 , Tm_2O_3/Yb_2O_3 , Yb_2O_3 , $Tm_2O_3/Yb_2O_3/Vi_2O_3$.

Спектры отражения исследуемых сред измеряли на спектрофотометре фирмы Shimadzu (Япония). Рентгеноструктурный анализ был выполнен на дифрактометрической установке Дрон-3 (ООО Радикон).

1.2. Обсуждение результатов

В первой серии эксперимента были исследованы спектральные особенности состава оксидов тулия и висмута (рис. 1). Известно, что ионы тулия Tm^{3+} имеют богатую многоуровневую систему [5]. Рассмотрим, как меняются коэффициенты отражения для оксида висмута в результате взаимодействия бинарной смеси Tm_2O_3/Vi_2O_3 с падающим излучением видимого диапазона. Из рис. 1 видно, что на длине волны 350 нм коэффициент отражения Tm_2O_3 имеет минимум, равный 82 %, который соответствует переходу $^3H_6 \rightarrow ^1D_2$. У образцов Vi_2O_3 и Tm_2O_3/Vi_2O_3 минимум на длине волны 350 нм отсутствует. В видимой области излучения в комплексах с Tm_2O_3 на длинах волн 462 и 475 и 490 нм есть минимумы коэффициента отражения, равные 85–90 %. Данные минимумы соответствуют переходам с колебательных уровней основного состояния $^3H_6 \rightarrow ^1G_4$. Следовательно, комплекс Tm_2O_3/Vi_2O_3 в присутствии Tm_2O_3 позволяет увеличивать коэффициенты

отражения в видимой области. В красной и ИК-областях спектрального диапазона появляются минимумы на длинах волн 656 и 685 нм в комплексах с Tm_2O_3 , обусловленные переходами с основного уровня ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_2$.

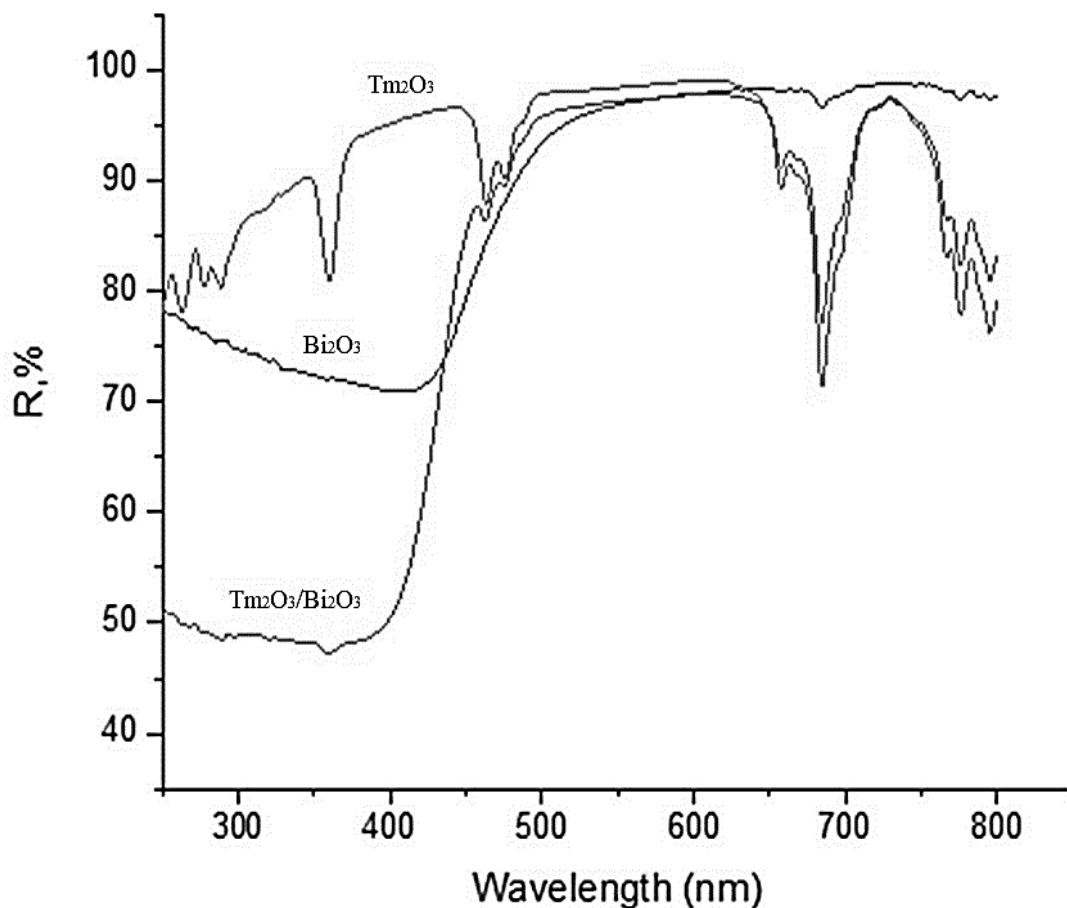


Рис. 1. Спектры отражения комплексов Bi_2O_3 , Tm_2O_3 , Tm_2O_3/Bi_2O_3
Fig. 1. Reflection spectra of the complexes Bi_2O_3 , Tm_2O_3 , Tm_2O_3/Bi_2O_3

Для одинарного оксида висмута характерно широкое поглощение в области 400 нм с коэффициентом отражения $R=70\%$.

В следующей серии эксперимента были исследованы спектры отражения комплексов оксида тулия с оксидом иттербия в сравнении со спектрами для одинарной смеси. Как видно из рис. 2, при добавлении оксида иттербия Yb_2O_3 происходит уменьшение коэффициента отражения комплекса Tm_2O_3/Yb_2O_3 для полос перехода в УФ и синей области спектра (350 (${}^3H_6 \rightarrow {}^1D_2$), 462, 476 нм (${}^3H_6 \rightarrow {}^1G_4$)). Вместе с тем можно отметить, что добавление оксида иттербия не изменяет значения коэффициентов отражения рассматриваемой системы в красной и ИК-области.

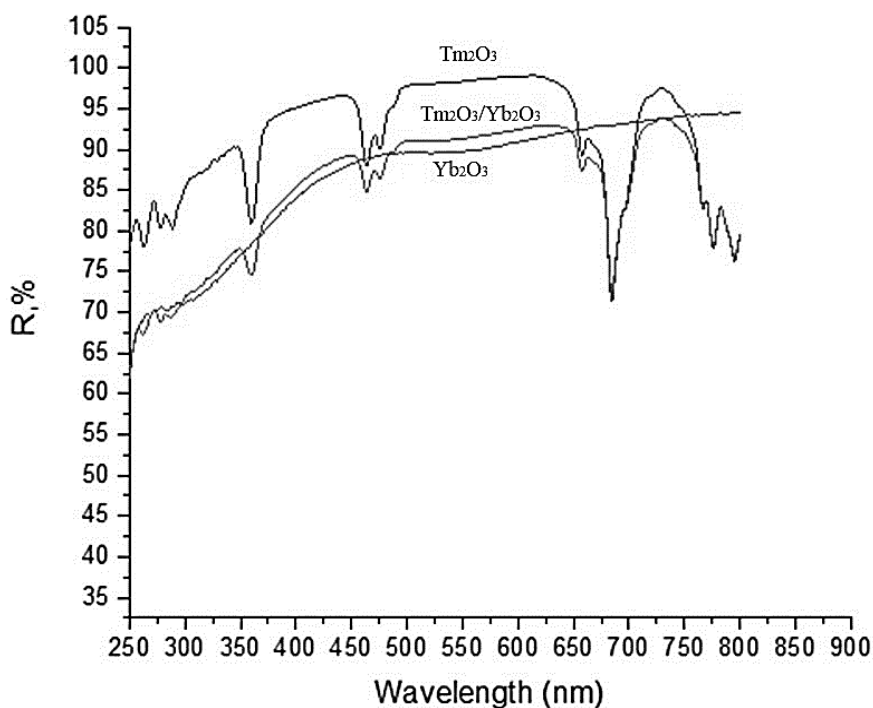


Рис. 2. Спектры отражения комплексов Tm_2O_3 , Tm_2O_3/Yb_2O_3 , Yb_2O_3
Fig. 2. Reflection spectra of the complexes Tm_2O_3 , Tm_2O_3/Yb_2O_3 , Yb_2O_3

Примечательно, что синтезированная фаза оксида висмута Bi_2O_3 соответствует моноклинной симметрии [6].

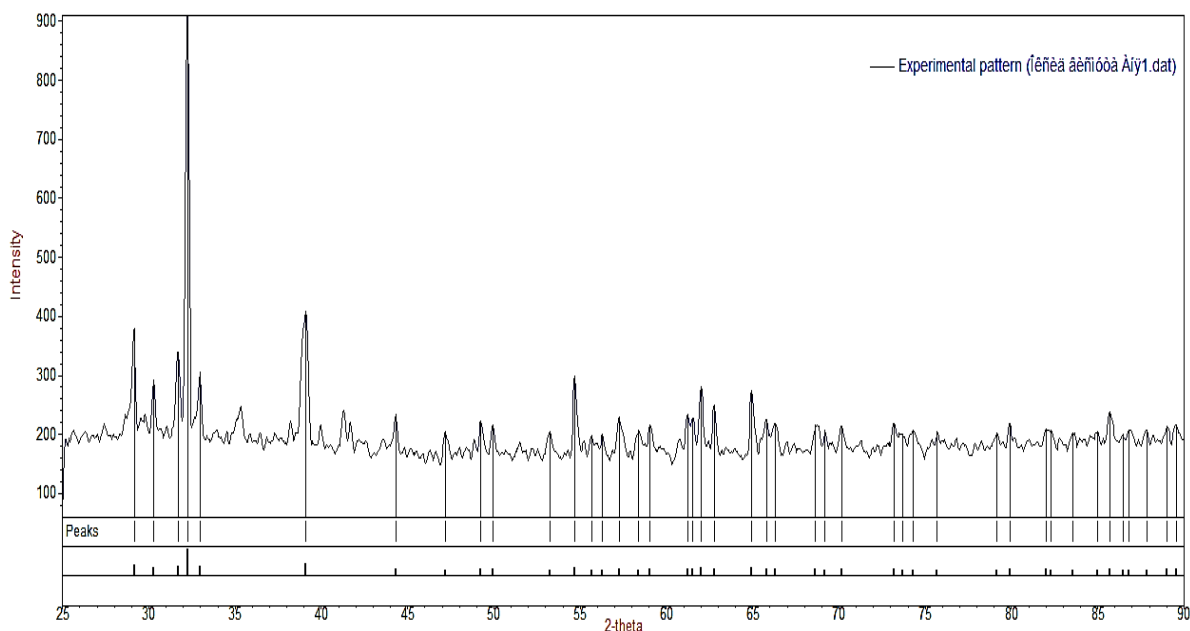


Рис. 3. Рентгенограмма оксида висмута
Fig. 3. X-ray of bismuth oxide

Рассмотрим диаграмму энергетических уровней ионов изучаемой системы оксидов на рис. 4.

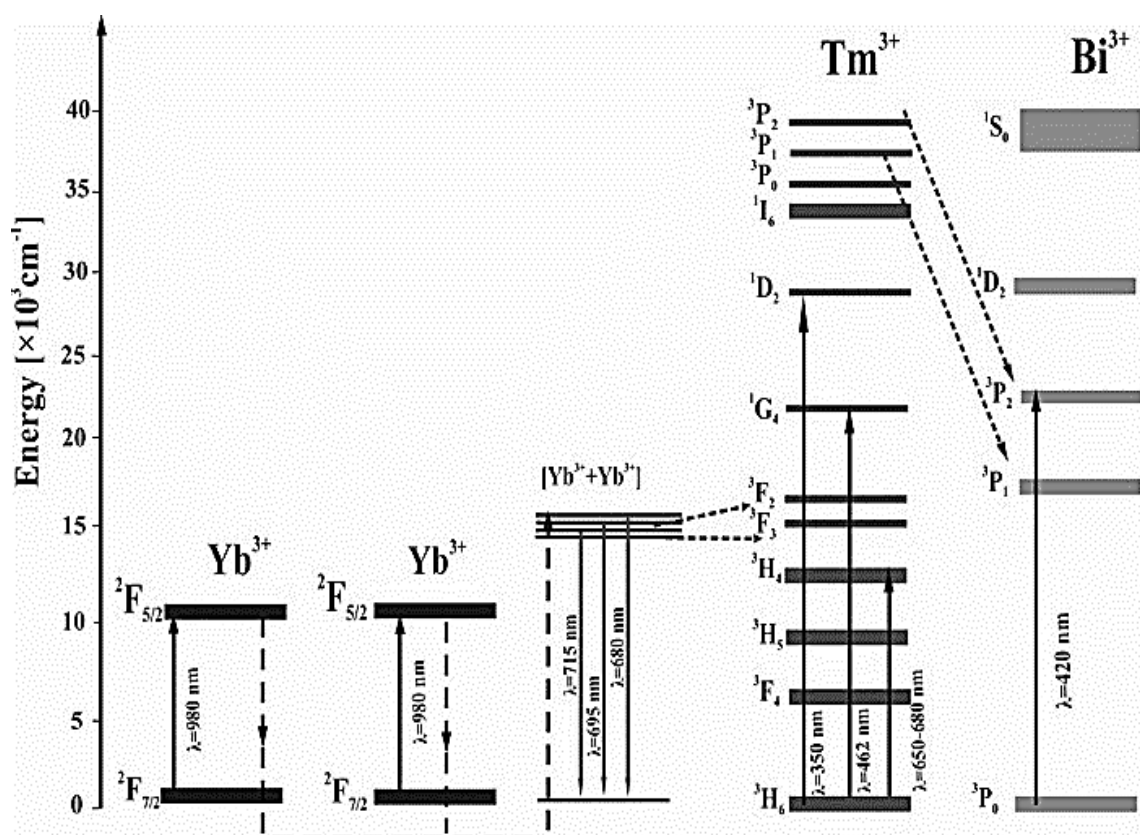


Рис. 4. Схема энергетических уровней системы трехвалентных ионов Bi^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+}

Fig. 4. Diagram of energy levels of the trivalent ion system Bi^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+}

Полосы поглощения, экспериментально измеренные в настоящей работе, показаны сплошными черными стрелками. В результате поглощения различных длин волн в комплексах висмута с тулием и иттербия с тулием могут наблюдаться процессы переноса энергии электронного возбуждения, что может привести к возникновению эффектов фотолюминесценции. Возможные пути переноса энергии между взаимодействующими центрами показаны пунктирными линиями, в том числе с учетом апконверсионной люминесценции оксида иттербия в красной области спектра. Отметим, что в качестве донора переноса энергии в парных комплексах выступают иттербий или висмут.

Исследование процессов фотолюминесценции представляет собой большую практическую задачу и имеет огромное прикладное значение в областях создания фотовольтаических преобразователей и активных лазерных излучателей. Дальнейшие эксперименты будут связаны с установлением механизмов формирования фотолюминесценции в представленных комплексах и определением динамики длительности существования возбужденных состояний на основании спектрально-кинетических исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным экспериментальным результатам было установлено, что присутствие оксида иттербия в смеси Tm_2O_3/Yb_2O_3 приводит к уменьшению коэффициента отражения оксида тулия в ультрафиолетовой области спектрального диапазона. Выяснилось, в комплексах с Tm_2O_3 на длинах волн 462 и 475 и 490 нм имеются минимумы коэффициента отражения, равные 85–90 %. Данные минимумы соответствуют переходам с колебательных уровней основного состояния $^3H_6 \rightarrow ^1G_4$. В красной и ИК-областях спектрального диапазона появляются минимумы на длинах волн 656 и 685 нм в комплексах с Tm_2O_3 , обусловленные переходами с основного уровня $^3H_6 \rightarrow ^3F_2$. Исходя из полученной рентгенограммы оксида висмута была установлена его синтезированная фаза, которая соответствует моноклинной симметрии.

Список источников

1. Direct and Feeder Vessel Photocoagulation of Retinal Angiomas with Dye Yellow Laser / Blodi C. F. [and etc.] // *Ophthalmology*. 1990. V. 97. N. 6. P. 791–797. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2374684/> (дата обращения: 12.09.2022).
2. Sadick N. S., Weiss R. The Utilization of a New Yellow Light Laser (578 nm) for the Treatment of Class I Red Telangiectasia of the Lower Extremities // *Dermatologic Surg.* 2002. V. 28. N. 1. P. 21–25. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11991264/> (дата обращения: 10.08.2022).
3. A new bismuth-doped fibre laser, emitting in the range 1625–1775 nm / Dianov E. M. [and etc.] // *Quantum Electron.* 2014. V. 44. N. 6. P. 503–504. URL: <https://opg.optica.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-39-24-6927> (дата обращения 09.06.2022).
4. Оптические спектры излучения оксида висмута и иттербия в условиях ИК-возбуждения / Артамонов Д. А. [и др.] // *Известия КГТУ*. 2021. № 61. С. 95–104.
5. Energy levels and crystal-field analysis of Tm^{3+} in $YAl_3(BO_3)_4$ crystals / Kebali I. [and etc.] // *J. Lumin.* 2011. V. 131. N. 9. P. 2010–2015.
6. Preparation of PVC/Bi₂O₃ composites and their evaluation as low energy X-Ray radiation shielding / Nunez-Briones A. G. [and etc.] // *Radiat. Phys. Chem.* 2021. V. 179. N. 6. P. 198.

References

1. Blodi C. F. [et al]. Direct and Feeder Vessel Photocoagulation of Retinal Angiomas with Dye Yellow Laser. *Ophthalmology*. 1990. Vol. 97, no. 6, pp. 791–797. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2374684/> (Accessed 12 September 2022).
2. Sadick N. S., Weiss R. The Utilization of a New Yellow Light Laser (578 nm) for the Treatment of Class I Red Telangiectasia of the Lower Extremities. *Dermatologic Surg.* 2002. Vol. 28, no. 1, pp. 21–25. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11991264/> (Accessed 10 August 2022).

3. Dianov E. M. [et al.]. A new bismuth-doped fibre laser, emitting in the range 1625–1775 nm. *Quantum Electron.* 2014. Vol. 44, no. 6, pp. 503–504. Available at: <https://opg.optica.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-39-24-6927> (Accessed 09 June 2022).

4. Artamonov D. A. [et al.]. Opticheskie spektry oksida vismута i itterbiya v IK oblasti [Optical emission spectra of bismuth and ytterbium oxide under IR-excitation conditions]. *Izvestiya KGTU.* 2021, no. 61, pp. 95–104.

5. Kebali I. [et al.]. Energy levels and crystal-field analysis of Tm³ in YAl₃(BO₃)₄ crystals. *J. Lumin.* 2011. Vol. 131, no. 9, pp. 2010–2015.

6. Nunez-Briones A. G. [et al.]. Preparation of PVC/Bi₂O₃ composites and their evaluation as low energy X-Ray radiation shielding. *Radiat. Phys. Chem.* 2021. Vol. 179, no. 6, p. 198.

Информация об авторах

Д. А. Артамонов – аспирант 2-го года обучения по направлению "Физика и астрономия / оптика"

А. В. Цибульникова – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник

В. А. Слежкин – кандидат химических наук, доцент кафедры химии

Information about the authors

D. A. Artamonov – 2nd year PhD student of Physics and Astronomy/ Optics.

A. V. Tsibulnikova – PhD in Physico-mathematical sciences, researcher

V. A. Slezhkin – PhD in Chemistry, Assistant Professor of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 24.11.2022; одобрена после рецензирования 07.12.2022; принята к публикации 15.12.2022.

The article was submitted 24.11.2022; approved after reviewing 07.12.2022; accepted for publication 15.12.2022.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА "ИЗВЕСТИЯ КГТУ"

Общие требования

Журнал бесплатно публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Автор (авторы) несет ответственность за достоверность результатов исследования и гарантирует, что им не нарушены авторские права третьих лиц, что в тексте статьи нет некорректных или незаконных заимствований.

Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Научные статьи принимаются в редакцию в течение всего года, публикуются в порядке живой очереди по мере наполнения портфеля редакции. Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи. Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта, страницы не нумеруют;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную в установленном порядке. Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе "Наука и инновации – Научные журналы – Известия КГТУ". Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

– **экспертное заключение** о возможности открытого опубликования статьи (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы, список литературы и информацию об авторах.

Компьютерный набор статьи

Должен удовлетворять следующим требованиям: формат бумаги – А4, гарнитура шрифта – Times New Roman, кегль 12, ориентация – книжная, поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см; абзац с отступом Tab. 1,27; межстрочный интервал – одинарный. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла*.doc).

При наборе текста не допускается применять стили при формировании текста, вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста, ставить пробелы перед знаками препинания, применять любые разрядки слов. Необходимо слова внутри абзаца разделять одним пробелом, набирать текст без принудительных переносов, установить автоматическую расстановку переносов.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово "Таблица" указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят. Таблица должна быть вставлена автоматически (через "Таблица: Добавить таблицу"). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные. Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисовочные подписи. Номер рисунка и подрисовочная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисовочной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть читаемы и расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det,

ехр и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, ", <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде косоугольного креста (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Структура статьи

ВВЕДЕНИЕ (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст.

Через один интервал **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, через один интервал текст). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание.

Через один интервал **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (выводы – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый), далее через один интервал текст

Составные части статьи и порядок их следования

1. Научная статья (слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

2. С новой строки индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) слева без отступа (прописными буквами, шрифт прямой, светлый, без двоеточия после букв, точка в конце не ставится).

3. С новой строки DOI (слева без отступа, прописными буквами, шрифт прямой, светлый точка в конце не ставится).

4. Через один интервал по центру **Название статьи** на русском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится).

При публикации статьи частями в нескольких выпусках издания части должны быть пронумерованы, у всех частей следует указывать общее заглавие статьи. Если части имеют, помимо общего, частное заглавие, то его приводят после обозначения и номера части. Пример:

Изучение закономерностей кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия из солянокислых растворов. Часть 2. Параметры кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия

5. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п. (слева без отступа, см. в образце оформления статьи ниже).

6. Через один интервал с отступом приводят слово *Аннотация* (полужирный курсив, в конце ставят точку). Текст аннотации дается в подбор, рекомендуемый объем 200–250 слов.

Представляет собой краткую характеристику текста с точки зрения его назначения, содержания, вида, формы и других особенностей. Она передает главную, ключевую идею текста до ознакомления с его полным содержанием. Научная аннотация условно делится на три части: 1. Презентация вопроса или проблемы, которым посвящена статья. 2. Описание хода исследования. 3. Выводы: итоги, которых удалось достичь в результате проведенного исследования.

Запрещается использовать дословный текст из статьи во избежание повторов, название работы, а также таблицы, графики и внутритекстовые ссылки.

В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, "автор статьи рассматривает...", не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения, в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т. п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2–3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню "Символ", знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° в английском варианте обозначают как "deg C".

7. С новой строки с отступом приводят *Ключевые слова* (полужирный курсив, в конце двоеточие), они должны максимально точно отражать предметную

область статьи (даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

8. С новой строки с отступом **Благодарности** (если есть) организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья (см. в образце оформления статьи ниже).

9. С новой строки с отступом могут быть приведены сведения о финансировании исследования, подготовки и публикации статьи с предшествующим словом **Финансирование:** (после слова ставят двоеточие).

10. С новой строки с отступом приводят библиографическую запись на статью **Для цитирования:** (см. в образце оформления статьи ниже).

Далее все сведения должны быть представлены на английском языке:

11. Original article (через один интервал, слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

12. Через один интервал по центру **Название статьи** на английском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится).

13. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) – имя и фамилию приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, до двух букв), см. в образце оформления статьи ниже.

14. Через один интервал с отступом **Abstract**. Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т. п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

15. С новой строки с отступом **Keywords:** (полужирный курсив, в конце двоеточие), ключевые слова даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

16. С новой строки с отступом **Acknowledgments** (если есть), после слова ставят двоеточие.

17. С новой строки с отступом **Funding** (если есть), после слова ставят двоеточие.

18. С новой строки с отступом **For citation:** см. в образце оформления статьи ниже.

19. Через один интервал с отступом текст статьи, включающий в себя обязательные структурные элементы (см. структуру статьи).

Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы. Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7] (здесь тире), [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

20. Через один интервал после текста статьи **Список источников** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Оформляется по ГОСТ Р 7.0.5-2008. "Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления". В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в статье. Источники в списке литературы нумеруют и располагают в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования).

21. Через один интервал после списка источников **References** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Нумерация записей должна совпадать с нумерацией в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

References представляет собой транслитерированный список литературы. Транслитерируются только источники, написанные кириллицей; французские, немецкие, итальянские, польские и прочие источники не переводятся, а остаются в references неизменными.

Для выполнения транслитерации необходимо зайти на сайт <http://translit-online.ru/> и настроить перевод: *ё* → *yo*; *й* → *y*; *х* → *всегда kh*; *ц* → *ts*; *шч* → *shch*; *э* → *e*. Транслитерированный текст в списке References необходимо отредактировать и добавить переводы на английский язык; заменить знаки ":", "/" и "/" на точку или запятую; после транслитерации названия издательства добавить Publ.; вместо *Москва* указать *Moscow*, вместо *Санкт-Петербург* – *Saint-Petersburg*; исправить обозначение страниц: вместо 235 с. – 235 p., вместо S. 45–47 – pp. 45–47; курсивом выделить название источника и название журнала (образец оформления см. ниже).

22. Через один интервал дополнительные сведения об авторе (авторах), инициалы разделяют пробелом (слева без отступа, дублируют на английском языке: ученая степень, звание, должность и др. (см. в образце оформления статьи ниже).

23. Сведения о дате поступления рукописи в редакцию, дате одобрения после рецензирования и дате принятия статьи к опубликованию.

24. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.0.1 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (авторов) или других правообладателей и года публикации статьи.

Образцы оформления списка источников

Монография

1. Агеев В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2013. 106 с.

2. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Ториков В. В. Выращивание ярового ячменя на крупяные, пивоваренные и кормовые цели на юго-западе центрального региона России: монография. Брянск: Изд-во БГСХА, 2014. 90 с.

Книга

Книга одного – трех авторов

1. Новикова А. М. Универсальный экономический словарь. Москва: Экономика, 1995. 135 с.
2. Сидоркина А. Н., Сидоркин В. Г. Биохимические аспекты травматической болезни и ее осложнений. Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.
3. Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леусский А. И. Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658 с.
4. Максименко В. Н., Афанасьев В. В., Волков Н. В. Защита информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О. Б. Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

Книга четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др.]. Санкт-Петербург: Эксмо, 1996. 496 с.
2. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов, Н. В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О. В. Павленко. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов

1. Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. 2-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1995. 347 с.
2. Правильное питание: справочник. Москва: Эксмо, 2008. 704 с.
3. Кормопроизводство в России: всероссийский сб. науч. ст. Вып. 3. Казань; Санкт-Петербург, 2007. 268 с.

Отдельный том многотомного издания под общим заголовком

1. Пальцев М. А., Аничков М. Н. Патологическая анатомия: в 2 т. Москва: Медицина, 2001. Т. 2, ч. 1. 736 с.

Глава из книги (сборника)

1. Макушин В. Д., Волокитина Е. А. Причины неудач и осложнений при выполнении опорных остеотомий с применением аппарата Илизарова // Лечение врожденного вывиха бедра у взрослых / под ред. В. И. Шевцова, В. Д. Макушина. Курган, 2004. Гл. 8. С. 372–402.

2. Белоус Н. М. Храня теплую память о прошлом // Великая Отечественная война 1941–1945 гг. в истории моей семьи: сборник статей / под общей редакцией Р. В. Новожеева. Брянск: Изд-во БГАУ, 2015. С. 4–5.

Книги в интернете

Книги одного – трех авторов

1. Карпенков С. Х. Экология: учебник. Электрон. текстовые данные. Москва: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС "IPRbooks" (дата обращения: 15.12.2007).

Книги четырех и более авторов

1. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре: учеб. пособие / Л. А. Беклемишева [и др.]; под ред. Д. В. Беклемишева. Электрон. текстовые данные. Изд. 3-е, испр. Санкт-Петербург: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/> (дата обращения: 15.12.2007).

Статья в журнале

Статья одного – трех авторов

1. Толкачева О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов // Рыбная промышленность. 2006. № 2. С. 14–16.

2. Байдалинова Л. С., Андропова С. В. Перспективы использования растительных антиокислителей для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. № 29. С. 74–80.

Статья четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л. В. Кузьмин, Т. И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83–90.

2. Клинико-физиологические составляющие врожденной косолапости / Ю. И. Клычкова [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3. С. 35–38.

Статья в электронном журнале

1. Белоус Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева Е. В., Евдокимова Е. Б., Заостровцева С. К. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. Казань, 2013. С. 52–56.

2. Александров Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2013: XI Междунар. научн. конф. (25–27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО "КГТУ". Калининград: ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2013. Ч. 2. С. 29–32.

Статья на английском или немецком языке

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Bd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Neurology control of locomotion in *C.Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 Ionotropic glutamate receptor / Yi Zheng et al. // *Neuron*. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.

2. Mank R., Kala H., Strube M. Darstellung und Testung von Polymerpharmaka // *Die Pharmazie*. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10: утв. 15.07.02. Москва, 1999. 138 с.

2. Назаров И. Г. Развитие коммуникативной компетентности социальных педагогов села в процессе дополнительного профессионального образования: автореферат дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 . Москва, 2002. 24 с.

Переводная книга

1. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / пер. с англ. под ред. Г. Н. Дубошина. М.: Наука, 1982. 656 с. [Victor G. Szebehely. *Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies*. New York: Academic Press, 1967].

2. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1328 с. [Date C. J. *An Introduction to Database Systems*. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. 1024 p.].

Электронный ресурс локального доступа

1. Смирнов А. И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. Москва, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Техника спинальной анестезии [Электронный ресурс] / под ред. Е. М. Шифмана. Москва: ИнтелТек, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Патентные документы

1. Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. 2128021 Рос. Федерация. № 2011138279/07 / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н.; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. 10 с.

Нормативные документы

1. ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. Москва, 2000. 7 с.
2. Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. Москва, 2002. 91 с.

Официальные документы

1. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федер. закон [принят Гос. Думой 13. 07.2001] // Собрание законодательств РФ. 2001. № 33 (ч. 1). Ст. 3430. С. 127–143.
2. О программе государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи на 2009 год: постановление Правительства Рос. Федерации от 31.12.2008 № 10407-ТГ // Заместитель гл. врача. 2009. № 2. С. 98–105.
3. Инструкция о санитарно-противоэпидемическом режиме больниц: утв. Минздравом СССР от 23.03.76 № 288 // Справочник старшей (главной) медицинской сестры. Изд. 6-е, Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. С. 378–387.
4. Вопросы системы и структуры федеральных органов исполнительной власти (извлечения): указ Президента РФ от 12.05.2008 № 724 // Здравоохранение. 2008. № 7. С. 135–137.

Образцы оформления References

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.
2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.
2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra Acipenser baerii Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://sotsial'nye.aspekty.ru/content/view/27/50/> (Accessed 19 September 2008).
2. Antipova L. V., Storablevtsev S. A., Getmanova A. A. Kollagensoderzhashchie napitki dlya funktsional'nogo pitaniya [Collagen drinks for functional nutrition]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2018, vol. 80, no. 3 (77), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.
2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskikh chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S. P., Yound D. H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. Kolebaniya v inzhenernom dele. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

Патентные документы

1. Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel' [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.

Нормативные документы

1. State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С ОДНИМ АВТОРОМ

Научная статья
УДК
DOI (далее вписывает редакция)

Экология и региональная политика энергосбережения

Сергей Юрьевич Глазьев

Аграрный научный центр "Донской", Ростовская область, Зерноград, Россия, serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учебы) указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью цифр:

Александр Васильевич Попов^{1,2}

¹Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия, popov@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлена динамика урожайности зерна кукурузы в России и Ростовской области. Определено, что наибольшее количество гибридов кукурузы возделывалось...

Ключевые слова: кукуруза, урожайность, сортовая структура, сортосемена

Благодарности (если есть): автор выражает благодарность Алексею Владимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Глазьев С. Ю. Экология и региональная политика энергосбережения // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Ecology and regional energy conservation policy

Sergey Yu. Glaz'ev (транслитерация, см. п. 18 выше)
Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov region, Zernograd, Russia (на английском языке), serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

Abstract.

Keywords:

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Glaz'ev S. Yu. Ecology and regional energy conservation policy. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторе

С. Ю. Глазьев – доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук

Information about the author

S. Yu. Glaz'ev – Doctor of Science (Economy), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С НЕСКОЛЬКИМИ АВТОРАМИ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек

Владимир Викторович Вольчик¹, Игорь Михайлович Ширяев²

^{1,2}Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

¹volchik@sfedu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Возможно приведение электронного адреса только одного автора, с которым планируется переписка. В этом случае электронные адреса других авторов приводятся в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.

Аннотация. В целях определения основных закономерностей возникновения и усиления институциональных ловушек, возникающих в условиях режима самоизоляции в системе высшего образования, авторами были проанализированы нарративы и глубинные интервью основных акторов. Дистанционное образование не является полноценной заменой образования в традиционной форме, затрудняет передачу неявного знания, контроль и обратную связь при обучении, неоднозначно влияет на издержки образовательной деятельности, не позволяет полагаться на надежность информационно-коммуникационных технологий...

Ключевые слова: экономика, управление народным хозяйством, институциональная экономика, дистанционное образование, цифровизация образования, высшее образование, самоизоляция, институциональные ловушки

Благодарности (если есть): авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Вольчик В. В., Ширяев И. М. Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps

Vladimir V. Volchik¹, Igor' M. Shiryaev² (транслитерация, см. п. 18 выше)

^{1,2}Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

¹volchik@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Abstract. To determine the main patterns of emergence and strengthening of institutional traps that arise under self-isolation in the higher education system, the authors analyzed the narratives and in-depth interviews of the main actors. Distance education is not a full-fledged substitute for the traditional education, as it impedes the transfer of implicit knowledge, control and feedback during training, ambiguously influences the costs of educational activities, and does not allow relying on the reliability of information and communication technologies. Transition to distant education can be interpreted as a new stage of evolution of the institutional trap of electronization and digitalization.

Keywords: economics, national economy management, institutional economics, distance education, digitalization of education, higher education, self-isolation, institutional traps For citation: Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Current Problems of Economics and Law*. 2020;14(2):236-248. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.235-248>.

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторах

В. В. Вольчик – доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой "Политология"

И. М. Ширяев – доктор социологических наук, профессор

Information about the authors

V. V. Volchik – Doctor of Science (Sociology), Professor, Head of the Department of Politology

I. M. Shiryayev – Doctor of Science (Sociology), Professor

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

Адрес редакции:
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74
E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915 от 22.12.2011 г.

Подписной индекс 83871 в Объединенном каталоге «Пресса России»,
цена свободная

Редактор Г. А. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Подписано в печать 30.01.2023. Выход в свет 01.02.2023. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 19,0. Уч.-изд. л. 12,2. Тираж 1000 экз. Заказ № 2.