

ИЗВЕСТИЯ

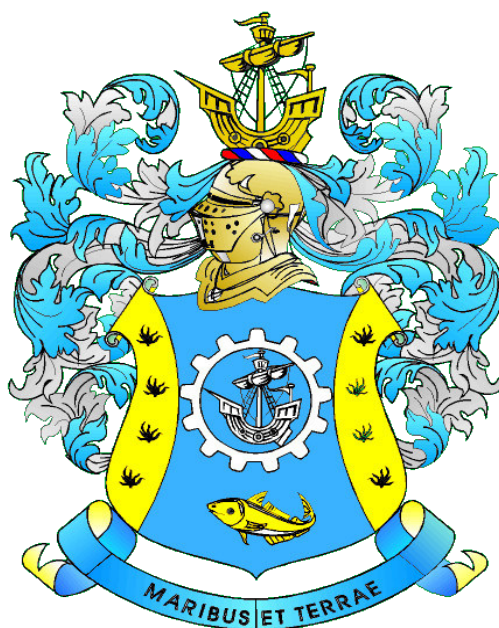
КГТУ

2021

№ 60

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 диссертаций
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.

Зарегистрирован 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 декабря 2011 г.

Редакционный совет:

Главный редактор: В. А. Волкогон, канд. экон. наук, доц.
Зам. главного редактора: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, проректор по научной и инновационной деятельности, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств;
А. В. Бараненко, д-р техн. наук, проф., Национально-исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, советник ректора, заведующий кафедрой холодильных установок;
О. А. Булатов, д-р биол. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, заместитель директора по научной работе;
А. М. Ершов, д-р техн. наук, проф., ООО «Айсберг-Норд», главный научный сотрудник по развитию, г. Мурманск;
Е. А. Криксунов, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, заведующий лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии;
С. Е. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, г. Санкт-Петербург;
Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;
В. А. Панфилов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева;
О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, доц., Крыловский государственный научный центр, г. Санкт-Петербург, заместитель генерального директора;
Мирослав Шредер, д-р экон. наук, проф., Гданьский университет (Польша, г. Гданьск), декан факультета управления;
А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, г. Калининград, директор;
Марек Якубовский, д-р техн. наук, проф., Кошалинский политехнический университет (Польша, г. Кошалин), заведующий кафедрой «Процессы и аппараты пищевых производств»

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, канд. техн. наук, доц.; *О. А. Анциферова*, канд. с.-х. наук, доц.;
А. Г. Архипов, д-р биол. наук, проф.; *О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, доц.;
В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
Р. Н. Буруковский, д-р биол. наук, проф.; *Верхотуров В. В.*, д-р биол. наук, проф.;
А. А. Герасимов, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;
А. В. Иванов, д-р экон. наук, проф.; *В. П. Иванов*, д-р техн. наук, проф.;
И. П. Корнева, канд. физ.-мат. наук, проф.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;
В. М. Минько, 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.; *В. И. Одинцов*, д-р техн. наук, проф.;
А. И. Притыкин, д-р техн. наук, проф.; *М. М. Розенштейн*, д-р техн. наук, проф.;
Е. С. Роньжина, д-р биол. наук, проф.; *В. И. Саускан*, д-р биол. наук, проф.;
Л. И. Сергеев, д-р экон. наук, проф.; *Г. Г. Серпунин*, д-р биол. наук, проф.;
Н. Я. Синявский, д-р физ.-мат. наук, проф.; *В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц.;
Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф.; *А. Э. Суслов*, канд. техн. наук, доц.;
В. И. Сутырин, д-р техн. наук, проф.; *И. М. Титова*, канд. техн. наук, доц.;
А. Б. Тристанов, канд. техн. наук, доц.; *Ю. А. Фатыхов*, д-р техн. наук, проф.;
С. В. Фёдоров, д-р техн. наук, проф.; *В. А. Фунтиков*, д-р хим. наук, проф.;
С. В. Шibaев, д-р биол. наук, проф.; *А. Я. Яфасов*, д-р техн. наук

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»,
2021



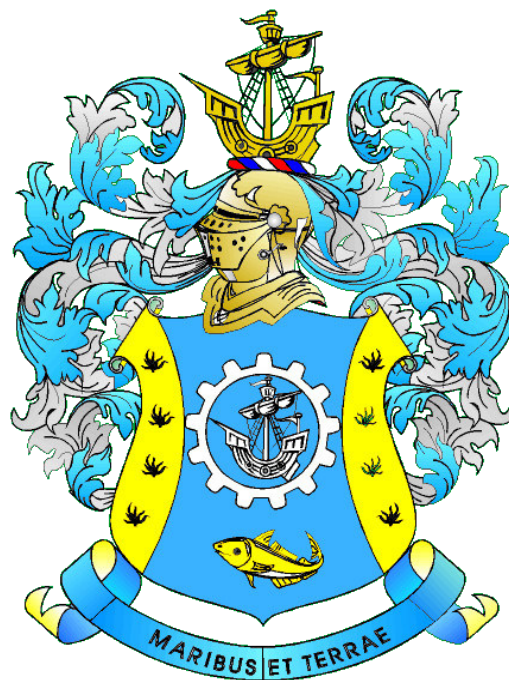
KSTU NEWS

2021

№ 60

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., Сташко А. В.</i> Пространственное распределение и сезонная динамика биогенных элементов в Вислинском заливе в 2019 году..	11
<i>Бурбах А. С., Шибяев С. В.</i> Результаты исследования нерестового хода корюшки (<i>Osmerus eperlanus eperlanus L.</i>) в реке Дейме бассейна Куршского залива (Калининградская область).....	22
<i>Лютиков А. А., Шумилина А. К., Вылка М. М.</i> Опыт замены рыбной муки и рыбьего жира на растительные протеин и масло в стартовых кормах для сиговых рыб.....	32
<i>Минина Л. М., Минин А. Е.</i> Уточнение площадей Горьковского и Чебоксарского водохранилищ на основе данных дистанционного зондирования земли.....	44

Техника и технология пищевых производств

<i>Агеев О. В., Наумов В. А., Фатыхов Ю. А.</i> Математическое моделирование процесса разрушения волокон мышечной ткани при резании рыбы.....	57
<i>Воробьев В. И.</i> Переработка покровных тканей гидробионтов в органических жидкостях природного происхождения.....	74
<i>Гужова В. Ф., Шуманов В. А., Шуманова М. В., Чернова А. В.</i> Исследование диффузионных свойств при сухом посоле салаки солью, обогащенной фитоконпонентами чеснока.....	85
<i>Макеева А. В., Ключко Н. Ю.</i> Исследования по совершенствованию рецептуры формованных мороженых полуфабрикатов из речного окуня (<i>Perca fluviatilis</i>) повышенной биологической ценности.....	97
<i>Наумов В. А.</i> Влияние частоты вращения ротора водокольцевых компрессорных машин на перекачивание воздуха.....	111
<i>Серeda Н. А., Федоров С. В.</i> Поиск вида шатунной кривой в базовых механизмах пищевых машин, работающих при переменных силовых нагрузках.....	123

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Aleksandrov S. V., Stashko A. V.</i> Spatial distribution and seasonal dynamics of nutrients in the Vistula lagoon in 2019.....	11
<i>Burbakh A. S., Shibaev S. V.</i> Research results of spawning migration of European smelt (<i>Osmerus eperlanus eperlanus l.</i>) in the Deima River of the Curonian Lagoon basin (Kaliningrad region).....	22
<i>Lyutikov A. A., Shumilina A. K., Vylka M. M.</i> Substitution of fish meal and fish oil with vegetable protein and oil in starter feeds for whitefish.....	32
<i>Minina L. M., Minin A. E.</i> Refining the areas of the Gorky and Cheboksary reservoirs based on Earth remote sensing data.....	44

Processes and technology of food manufacturing

<i>Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A.</i> Mathematical simulation of the process of muscle fiber destruction during fish cutting.....	57
<i>Vorobyov V. I.</i> Processing of the cover tissue of hydrobionts in organic liquids of natural origin.....	74
<i>Guzhova V. F., Shumanov V. A., Shumanova M. V., Chernova A. V.</i> Study of diffusion properties when dry salting Baltic herring with salt enriched with phytocomponents of garlic	85
<i>Makeeva A. V., Klyuchko N. Yu.</i> Research on recipe of mold frozen semi-manufactured goods improving from river perch <i>Perca fluviatilis</i> with increased biological value.....	97
<i>Naumov V. A.</i> Influence of rotor frequency of water ring compressor machines on air pumping.....	111
<i>Sereda N. A., Fedorov S. V.</i> Search for the coupler curve type in the basic mechanisms of food machines operating at variable power loads.....	123

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.462.32

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-11-21

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА
БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВИСЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ В 2019 ГОДУ

С. В. Александров, А. В. Сташко

SPATIAL DISTRIBUTION AND SEASONAL DYNAMICS OF NUTRIENTS
IN THE VISTULA LAGOON IN 2019

S. V. Aleksandrov, A. V. Stashko

Исследование содержания минеральных форм азота и фосфора в российской части Вислинского залива в 2019 г. было выполнено в рамках мониторинга среды обитания водных биологических ресурсов, проводимого АтлантНИРО. Полученный анализ позволил рассмотреть сезонную динамику, пространственное распределение и сопоставить их с многолетними данными (2010–2016 гг.) до запуска современных очистных сооружений. Сезонная динамика концентраций минерального фосфора и разных форм минерального азота в 2019 г. соответствовала таковой за 2010–2016 гг., весенний максимум был преимущественно связан с поступлением биогенных элементов в результате паводков. С началом активной вегетации фитопланктона их содержание в воде значительно снижалось. Минимальные концентрации минерального фосфора, нитратов и нитритов наблюдались в июле в период «цветения» воды. Пространственное распределение биогенных элементов характеризовалось отсутствием устойчивых различий между районами на протяжении года, лишь в отдельные месяцы их концентрации в восточном и Приморской бухте были в 2–3 раза выше, что аналогично многолетним данным и обусловлено поступлением элементов со стоком р. Преголи. Анализ показал, что после ввода новых очистных сооружений в 2019 г. концентрации минеральных форм азота и фосфора на всей российской акватории остались на прежнем уровне. Многолетнее поступление большого количества биогенов с речными и сточными водами и продукционные процессы в заливе привели к аккумуляции фосфора в водоеме. Действующие очистные сооружения не могут повлиять на быстрое снижение уровня эвтрофирования Вислинского залива.

биогенные элементы, хлорофилл, очистные сооружения, Вислинский залив

Research of the nutrients (ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, phosphorus of phosphates) was carried out in the Russian part of the Vistula Lagoon in 2019 as a part of the monitoring of aquatic biological resources conducted by AtlantNIRO. The analysis allowed considering seasonal dynamics and spatial distribution and comparing with long-term data (2010-2016) before the commissioning of modern treatment facilities. Seasonal dynamics of the mineral phosphorus and various forms of mineral nitrogen in 2019 corresponded to long-term patterns. The spring maximum was

mainly associated with the input of nutrients as a result of freshet. With the beginning of phytoplankton development, their concentrations in the water significantly decreased. Minimum concentrations of mineral phosphorus, nitrates and nitrites were observed in July during the algae bloom. The spatial distribution of nutrients was characterized by the absence of stable differences between regions throughout the year. Only in some months their concentrations in the eastern region and the Primorsky Bay were 2-3 times higher, which is similar to long-term data and this is due to the flow of the Pregol river. Analysis of the long-term data showed that in 2019, after commissioning of modern treatment facilities, there was no local increase in certain areas due to the influx of polluted waters, but the concentrations of mineral forms of nitrogen and phosphorus in the entire Russian water area remained at the same level. In particular, high concentrations of mineral phosphorus remain, especially in summer. The long-term supply of large amount of nutrients with river and wastewaters, as well as primary production in the eutrophic lagoon led to the accumulation of phosphorus in the reservoir. As a result, the commissioning of treatment facilities cannot have a rapid effect on reducing the level of eutrophication of the Vistula Lagoon.

nutrients, chlorophyll, treatment facilities, Vistula Lagoon

ВВЕДЕНИЕ

Вислинский залив – одна из крупнейших солоноватых лагун Балтийского моря. Он находится под сильным воздействием природных условий (речной сток, водообмен с Балтийским морем), которые наряду с источниками антропогенного воздействия формируют в водоеме выраженную пространственную неоднородность гидрохимических показателей. Гидрохимические и гидрологические условия повлияли на формирование в заливе эвтрофной экосистемы, достигающей в отдельные периоды гипертрофного состояния, когда наблюдается «цветение» воды при развитии синезеленых водорослей [1, 2]. Одновременно на залив, окруженный густонаселенными территориями, оказывается значительное антропогенное воздействие. Большие объемы минеральных форм биогенных элементов поступают в восточную часть со стоком р. Преголи с сельскохозяйственных угодий [3, 4]. До 2016 г. важнейшим источником антропогенного загрязнения залива также были сточные воды из г. Калининграда, подвергаемые только механической очистке и поступавшие в залив в Приморской бухте, вследствие чего ряд гидрохимических показателей в ней устойчиво демонстрировал повышенные уровни в сравнении с остальными гидрологическими районами [5, 6]. Введенные в эксплуатацию в 2016 г. очистные сооружения предусматривают улучшение технологий и степени очистки сточных вод, в том числе биологическую. Современная городская система очистки имеет выход в участок Калининградского морского канала, расположенный в восточном районе [7].

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» осуществляет регулярные гидрохимические исследования Вислинского залива, что позволяет оценивать состояние водоема в условиях изменяющегося антропогенного воздействия. Проведенные в 2019 г. ежемесячные исследования на всей российской акватории дают возможность рассмотреть сезонную и пространственную изменчивость минеральных форм азота и фосфора в период после введения очистных сооружений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб воды в Вислинском заливе осуществляли ежемесячно в период с марта по декабрь 2019 г. на девяти гидрохимических станциях, расположенных в разных гидрологических районах – восточном (станции 1, 2, 3), Приморской бухте (станция 4), прибалтийском (станции 5, 9, 10), центральном (станции 6, 7) – согласно принятой ранее схеме деления [5, 6] (рис. 1). Пробы воды отбирали в подповерхностном слое (0–0,5 м). Всего в 2019 г. проанализированы пробы, взятые на 84 станциях, выполнено 336 определений минеральных форм азота и фосфора. Содержание аммонийного азота, азота нитритов, азота нитратов, фосфора фосфатов определяли стандартными методами [8, 9]. Одновременно выполнялось исследование хлорофилла «а»: пробы воды 20–50 мл пропускали через мембранные фильтры МФАС-МА-6 (0,3 мкм) и определяли оптические плотности ацетоновой вытяжки с пигментами на спектрофотометре [8]. Оценку загрязнения вод проводили в соответствии с нормативами предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения, указанных в приказе № 552 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г.

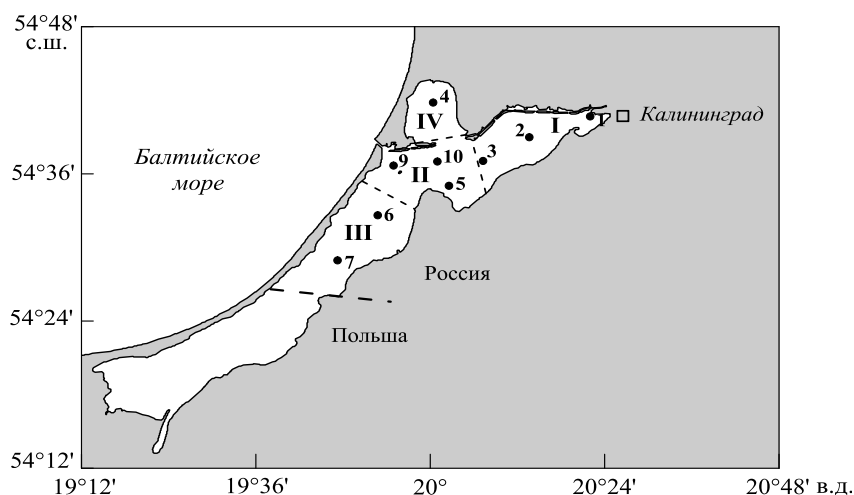


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в Вислинском заливе (районы: I – восточный, II – прибалтийский, III – центральный, IV – Приморская бухта)

Fig. 1. Location of the sampling stations in the Vistula Lagoon (I – eastern region, II – near Baltic region, III – the central region, IV – Primorsky Bay)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрохимические условия в Вислинском заливе, в частности концентрации минеральных форм азота и фосфора, характеризуются значительной сезонной динамикой, обусловленной биологическими процессами в самом заливе и поступлением веществ с водосборной территории, а также пространственной неоднородностью из-за взаимодействия речного стока и морских вод, немаловажно при этом и антропогенное загрязнение [5, 6].

Минеральный фосфор

Сезонные изменения содержания минерального фосфора в заливе имеют ряд особенностей. Весенний максимум (до 36 мкгР/дм³ в среднем для российской акватории в марте 2019 г.) преимущественно связан с поступлением в залив минерального фосфора в результате паводков. С началом активной вегетации фитопланктона концентрация фосфора в воде снижается (до 13 мкгР/дм³ в апреле 2019 г.), после чего в условиях небольших глубин и слабого водообмена наблюдается ее новое повышение (до 30–32 мкгР/дм³ в мае – июне 2019 г.) в результате прогрева вод, способствующего минерализации органического вещества и регенерации фосфатов из донных отложений. Только интенсивное развитие водорослей может временно изменить ситуацию, что, в частности, отмечалось в июле 2019 г. во время «цветения» воды: концентрация хлорофилла «а» возросла с 12 до 48 мкг/дм³, а минерального фосфора – снизилась до годового минимума 10 мкгР/дм³. С замедлением развития водорослей концентрация элемента резко повышалась до максимального уровня 61 и 76 мкгР/дм³ в августе и сентябре 2019 г. Согласно многолетней динамике наибольшие концентрации фосфатов за вегетационный период наблюдаются в заливе летом [5, 6]. Последующее снижение их содержания осенью было связано, вероятно, с замедлением скорости регенерации фосфатов и более активным затоком обедненных биогенными элементами морских вод, с октября по декабрь концентрации фосфора и фосфатов находились в диапазоне 7–14 мкгР/дм³. Отсутствие роста концентраций в ноябре–декабре, который, как правило, сопровождает завершение вегетационного периода и последующее разложение биомассы фитопланктона, может зависеть от более продолжительного периода вегетации фитопланктона в условиях повышенного прогрева вод и безледного периода в декабре 2019 г. В частности, концентрация хлорофилла «а» как показателя обилия водорослей в ноябре–декабре составляла 22–27 мкг/дм³, что сопоставимо с весной и летом.

На протяжении 2019 г. концентрации минерального фосфора в разных районах мало чем отличались, за исключением сентября, когда содержание элемента в восточном районе и Приморской бухте (114 и 106 мкгР/дм³) было в 2–3 раза выше, чем в прибалтийском (58 мкгР/дм³) и центральном (31 мкгР/дм³) (рис. 2). Характерно, что такое пространственное распределение влияло на концентрации хлорофилла «а» в разных районах. Так, в восточном районе и Приморской бухте (40 и 60 мкг/дм³) они были в 2–3 раза выше, чем в прибалтийском (20 мкгР/дм³) и центральном (25 мкгР/дм³).

В июле–сентябре концентрации и соотношение минеральных форм азота и фосфора создают условия для «цветения» воды за счет интенсивного развития синезеленых водорослей [2]. По данным с 2010 по 2016 гг. [5, 6], содержание минерального фосфора было повышено в восточном районе в этот период (рис. 3), что, возможно, обусловлено его поступлением с водосборной территории со стоком р. Преголи. Уровень концентраций элемента в Приморской бухте, куда до 2016 г. сбрасывались хозяйственно-бытовые сточные воды из г. Калининграда, в основном соответствовал таковому на остальной акватории и был ниже, чем в восточном районе, исключая лето 2014 г., когда концентрации в июле и августе многократно возросли, достигая уровня ПДК (200 мкгР/дм³) [6]. В августе и сентябре 2019 г. содержание фосфора и фосфатов в восточном районе также превышало

среднее по российской акватории значение, однако уровни в Приморской бухте были сопоставимы.

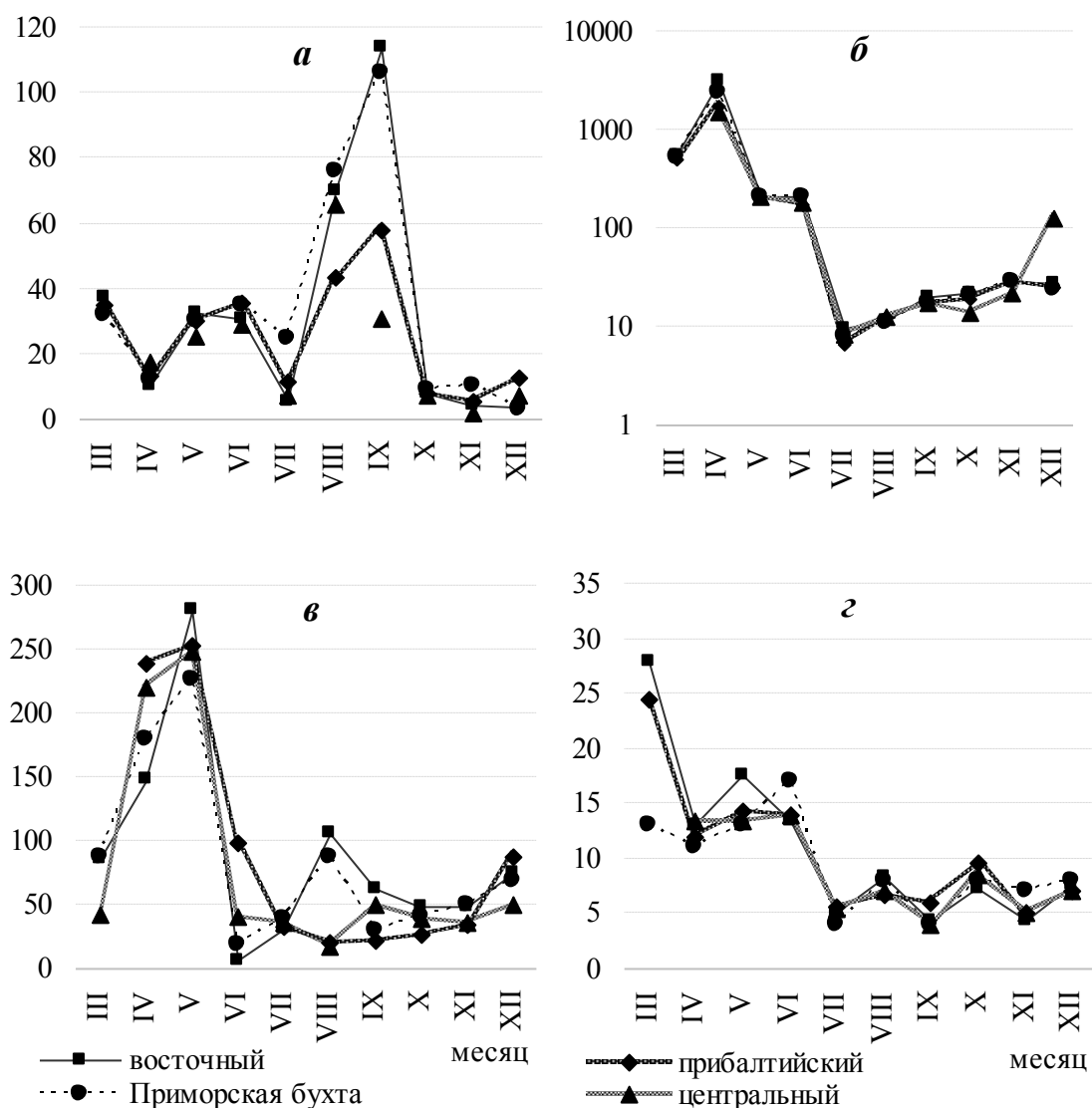


Рис. 2. Динамика содержания минерального фосфора, $\mu\text{кгP/дм}^3$ (а), азота нитратов, $\mu\text{кгN/дм}^3$ (б), аммонийного азота, $\mu\text{кгN/дм}^3$ (в), азота нитритов, $\mu\text{кгN/дм}^3$ (г), в разных районах Вислинского залива в 2019 г.
 Fig. 2. The dynamics of inorganic phosphorus, $\mu\text{gP/l}$ (а), nitrogen of nitrates, $\mu\text{gN/l}$ (б), ammonium, $\mu\text{gN/l}$ (в), nitrites, $\mu\text{gN/l}$ (г) in different areas of the Vistula Lagoon in 2019

Среднее по акватории содержание фосфатов в августе и сентябре 2019 г. (64 и $77 \mu\text{кгP/дм}^3$) было выше, чем в отдельные годы, как и в среднем (24 и $11 \mu\text{кгP/дм}^3$) за период (2010–2016 гг.), предшествовавший запуску очистных сооружений г. Калининграда. Несмотря на появление новых очистных сооружений, в отдельные месяцы в Вислинском заливе сохраняются высокие концентрации минерального фосфора как в целом в российской акватории, так, в частности, и в Приморской бухте, где находилось старое место выпуска, а также в восточном

районе, куда поступают после очистки сточные воды в современный период (рис. 3).

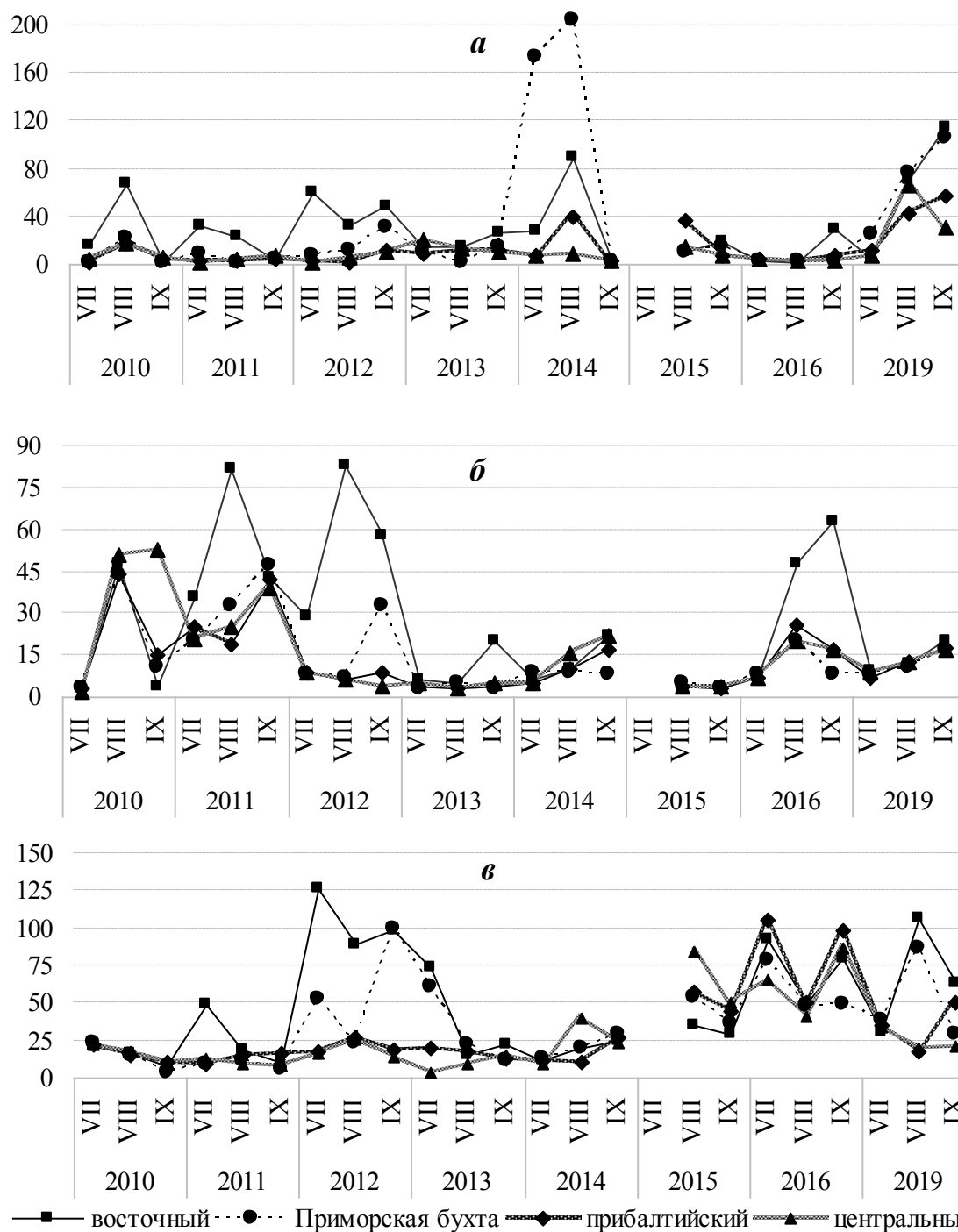


Рис. 3. Многолетняя динамика концентраций минерального фосфора, $\mu\text{gP}/\text{дм}^3$ (а), азота нитратов, $\mu\text{gN}/\text{дм}^3$ (б), аммонийного азота, $\mu\text{gN}/\text{дм}^3$ (в) в августе–сентябре в разных районах Вислинского залива

Fig. 3. Long-term dynamics of inorganic phosphorus, $\mu\text{gP}/\text{l}$ (a), nitrogen of nitrates, $\mu\text{gN}/\text{l}$ (б) and ammonium, $\mu\text{gN}/\text{l}$ (в) in different areas of the Vistula Lagoon

В то же время, в июле 2019 г. концентрация минерального фосфора в среднем по заливу (12 мкгР/дм^3) была в 1,5 раза ниже, чем в 2010–2016 гг. (18 мкгР/дм^3), чему способствовало появление водорослей, потребляющих много фосфора (рис. 3). После их разложения в воду вновь поступает значительное количество элемента, что отмечено в августе и сентябре 2019 г.

Следовательно, длительное поступление больших объемов биогенных элементов с речным и хозяйственно-бытовым стоком, а также производственные процессы в эвтрофном Вислинском заливе [1–4] содействовали накоплению фосфора в водоеме, в частности в донных отложениях. Это ежегодно приводит к наблюдаемым процессам регенерации фосфатов и высоким концентрациям фосфора в летний период, способствующих развитию синезеленых водорослей до стадии «цветения». Как следствие, действующие очистные сооружения не могут повлиять на быстрое снижение уровня эвтрофирования Вислинского залива.

Азот нитратов

Динамика содержания азота нитратов в Вислинском заливе также имеет выраженный сезонный характер. Весной происходит паводковое поступление в залив существенных объемов биогенных элементов. Особенностью 2019 г. были максимальные концентрации нитратов в апреле – $1386\text{--}2510 \text{ мкгN/дм}^3$, в среднем 2265 мкгN/дм^3 , тогда как обычно их количество выше в марте, после очищения залива от льда. Полученный уровень оказался значительно выше, чем в предыдущие годы [5, 6], что, возможно, связано с более интенсивным выносом нитратов с водосборной территории, сопряженным с незначительным использованием их в заливе при слабом развитии фитопланктона (концентрация хлорофилла была в минимальном годовом уровне $\sim 7 \text{ мкг/дм}^3$). В последующие месяцы, вследствие интенсивного развития фитопланктона, содержание нитратов в заливе снижалось до минимальных уровней в летний период (рис. 2б). Наименьшие концентрации наблюдались в июле 2019 г. ($6\text{--}11 \text{ мкгN/дм}^3$, в среднем 8 мкгN/дм^3) одновременно с минимумом минерального фосфора в период «цветения» воды. Осенью произошло увеличение содержания азота нитратов, связанное со снижением вегетации фитопланктона и началом зимней аккумуляции [5, 6]. В 2019 г. незначительный рост концентраций нитратов, начавшийся в сентябре, не привел к высоким уровням в конце года: в ноябре–декабре среднее содержание нитратов (в среднем 27 и 26 мкгN/дм^3) было на минимальном по многолетним данным уровне. Это же наблюдалось и с количеством минерального фосфора, что, возможно, связано с более продолжительным периодом вегетации фитопланктона, который продолжался в условиях повышенного температурного режима и безледного периода в декабре 2019 г.

В 2019 г. пространственное распределение азота нитратов характеризовалось отсутствием значительных различий между районами на протяжении года (рис. 2б), за исключением апреля, когда концентрации в восточном районе и Приморской бухте (3235 и 2420 мкгN/дм^3) были в 1,5–2 раза выше, чем в прибалтийском и центральном районах (1727 и 1540 мкгN/дм^3).

По данным с 2010 по 2016 гг. [5, 6], содержание нитратов в Вислинском заливе в летне-осенний период отмечалось в отдельные годы (2011, 2012, 2016 гг.) повышенными величинами в восточном районе (рис. 3б), что, наверное, обусловлено поступлением их со стоком р. Преголи. В Приморской бухте, куда до 2016 г.

стекали хозяйственно-бытовые сточные воды из г. Калининграда, концентрации были на уровне остальной акватории. С июля по август 2019 г. малое количество азота нитратов равномерно распределялось по всей российской акватории. В восточном районе концентрация нитратов в июле, августе, сентябре 2019 г. (9, 12, 20 мкгN/дм³ соответственно) была в 1,5–3 раза ниже, чем в среднем за период 2010–2016 гг., но сопоставима или выше уровня в отдельные годы (2013–2015 г.). Таким образом, в 2019 г. после запуска новых очистных сооружений не наблюдалось увеличения количества нитратов в отдельных районах, их концентрации на всей российской акватории сохранились на прежнем низком уровне, определяемом летним развитием фитопланктона.

Аммонийный азот

Повышенные уровни содержания аммонийного азота в Вислинском заливе в течение года обычно в значительной степени связаны с процессами разложения фитопланктона и наблюдаются в марте–апреле, летом и в октябре–ноябре [6]. В 2019 г. максимальные концентрации аммонийного азота отмечались в апреле и мае (от 196 до 258 мкгN/дм³ в среднем по акватории) (рис. 2в), что могло быть связано, прежде всего, с разложением органического вещества, поступившего с весенним паводком. В последующие месяцы зафиксирован близкий уровень (34–46 мкгN/дм³) с небольшим увеличением в августе (до 55 мкгN/дм³) как результат разложения органического вещества фитопланктона после июльского «цветения» воды.

В 2019 г. в заливе отмечена пространственная неоднородность распределения аммонийного азота. В июне концентрации в прибалтийском и центральном районах (40 и 99 мкгN/дм³) многократно превышали величины в восточном районе и Приморской бухте (7 и 19 мкгN/дм³). В августе наблюдалось обратное: в восточном районе и Приморской бухте показатели составили 106 и 87 мкгN/дм³, а в прибалтийском и центральном – 17 и 20 мкгN/дм³. В то же время максимальные концентрации в апреле и мае были относительно равномерно распределены по акватории, что свидетельствует об отсутствии локального источника загрязнения (рис. 3в).

По данным с 2010 по 2016 гг. [5, 6], содержание аммонийного азота в июле–сентябре характеризовалось в отдельные годы (2012, 2013) повышенными значениями в восточном районе и Приморской бухте (рис. 3в), что могло быть обусловлено поступлением загрязненных вод, однако за период 2014–2016 гг., до ввода в эксплуатацию очистных сооружений, локального загрязнения не отмечалось. Различные концентрации аммонийного азота летом 2019 г. могли быть обусловлены антропогенным загрязнением со стоком р. Преголи (в августе) или с польской зоны (в июне). Однако действие антропогенного фактора, как мы видим, кратковременно, оно не повлияло на сезонную динамику в отдельных районах. В целом концентрации аммонийного азота на всей российской акватории сохранились на прежнем уровне, что наблюдалось в июле–сентябре 2010–2016 гг.

Азот нитритов

Нитриты как промежуточные продукты окисления аммоний-иона до нитрат-иона содержатся в природных водоемах в небольших количествах. Весной, во время паводкового поступления биогенных элементов в Вислинский залив, кон-

центрации азота нитритов увеличиваются. В марте 2019 г. они составляли 13–32 мкгN/дм³, превышая на большинстве станций и в среднем по заливу (24 мкгN/дм³) уровень ПДК для рыбохозяйственных водоемов. В последующем концентрации нитритов снизились до 13–15 мкгN/дм³ в апреле–мае и до минимальных величин 5–7 мкгN/дм³ в летний период (июль–сентябрь). Низкий уровень наблюдался до декабря в условиях продолжения активной вегетации фитопланктона (рис. 2г). В целом в 2010–2016 гг. концентрации на всей акватории сохранились на прежнем уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрохимические условия в эвтрофной лагунной экосистеме Вислинского залива во многом обусловлены поступлением биогенных элементов с водосборной территории и биологическими процессами в самом заливе. Большую роль играет и антропогенное загрязнение, в частности, сток неочищенных вод г. Калининграда до 2016 г. Мероприятия, направленные на значительное снижение внешней биогенной нагрузки, могут оказать существенное влияние на эвтрофирование и экологическое состояние Вислинского залива. Проведенный анализ ежемесячных исследований в 2019 г. позволил рассмотреть сезонную и пространственную изменчивость концентрации минеральных форм азота и фосфора, сопоставить ее с многолетними закономерностями, наблюдавшимися в 2010–2016 гг. до запуска современных очистных сооружений.

Сезонная динамика концентраций минеральных форм фосфора и азота в 2019 г. в целом соответствовала многолетней. Весенний максимум преимущественно был связан с поступлением биогенных элементов в результате паводков. С началом активной вегетации водорослей их содержание значительно снижалось. Минимальные концентрации минерального фосфора, нитратов и нитритов наблюдались в июле 2019 г. в период «цветения» воды и наибольшей концентрации хлорофилла «а». Особенностью 2019 г. явился небольшой рост концентраций минеральных форм азота и фосфора в ноябре–декабре из-за повышенного прогрева вод и безледного периода.

Пространственное распределение биогенов характеризовалось отсутствием устойчивых различий между районами на протяжении года, лишь в отдельные месяцы их концентрации в восточном районе и Приморской бухте были в 2–3 раза выше, чем в прибалтийском и центральном районах, что аналогично многолетним данным и обусловлено поступлением элементов со стоком р. Преголи.

В июле–сентябре концентрации минеральных форм азота и фосфора создали условия для «цветения» воды. Анализ многолетних данных показал, что после ввода новых очистных сооружений в 2019 г. показатели этих биогенов на всей российской акватории остались прежними. В частности, сохраняется высокое содержание минерального фосфора, особенно летом. Многолетнее поступление больших объемов биогенов с речным и хозяйственно-бытовым стоком, а также продукционные процессы в эвтрофном заливе привели к аккумуляции фосфора в водоеме, что способствовало развитию водорослей до уровня «цветения» воды. Как следствие, действующие очистные сооружения не могут повлиять на быстрое снижение уровня эвтрофирования Вислинского залива.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Лабораторного центра АтлантНИРО В. В. Шендерюку за организацию работ и А. В. Касьяну, Л. Л. Виноградовой за проведение анализов гидрохимических проб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chubarenko, B. The Vistula Lagoon. Ecology of Baltic Coastal Waters / В. Chubarenko, P. Margonski // *Ecological Studies*. – 2008. – V. 197. – P. 167–196.
2. Александров, С. В. Многолетние изменения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря / С. В. Александров // *Биология внутренних вод*. – 2009. – № 4. – С. 27–34.
3. Александров, С. В. Биогенная нагрузка на Вислинский залив со стоком реки Преголи / С. В. Александров, Ю. А. Горбунова // *Вода: химия и экология*. – 2010. – № 1. – С. 4–8.
4. Горбунова, Ю. А. Биогенная нагрузка на водосборный бассейн реки Преголи от антропогенных источников / О. В. Горбунова, Б. В. Чубаренко, Д. А. Домнин // *Известия Калининградского государственного технического университета*. – 2017. – № 47. – С. 34–45.
5. Александров, С. В. Пространственные изменения гидрохимических показателей и солености воды в Вислинском заливе в 2010–2013 годах / С. В. Александров, С. А. Вахрушева, И. Л. Мальфанов, Н. Е. Тренина // *Труды АтлантНИРО*. – 2017. – № 3. – С. 5–21.
6. Александров, С. В. Пространственные изменения гидрохимических показателей в Вислинском заливе в 2014–2016 годах / С. В. Александров // *Труды АтлантНИРО*. – 2018. – № 1 (5). – С. 5–21.
7. МП КХ «Водоканал»: структура канализования, технологии очистки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vk39.ru/ovodokanale/kanalizirovvanie> (дата обращения 02.10.2020).
8. 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. Методы гидрохимических исследований океана / О. К. Бордовский, С. В. Бруевич, В. Н. Иваненков, Е. А. Романкевич. – Москва: Наука, 1978. – 272 с.

REFERENCES

1. Chubarenko B., Margonski P. The Vistula Lagoon. Ecology of Baltic Coastal Waters. *Ecological Studies*. 2008, vol. 197, pp. 167–196.
2. 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.
3. Aleksandrov S. V., Gorbunova O. V. Biogennaya nagruzka na Vislinskiy zaliv so stokom reki Pregoli [Nutrient load on the Vistula Lagoon with the Pregolya river runoff]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2010, no. 1, pp. 4–8.

4. Gorbunova J. A., Chubarenko B. V., Domnin D. A. Biogennaya nagruzka na vodosbornyy basseyn reki Pregoli ot antropogennykh istochnikov [Nutrient load on the catchment area of the Pregolya river from anthropogenic sources]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 47, pp. 34–45.

5. Aleksandrov S. V., Vakhrusheva S. A., Malfanov I. L., Trenina N. E. Prostranstvennye izmeneniya gidrokhimicheskikh pokazateley i solenosti vody v Vislinskom zalive v 2010-2013 godakh [Spatial changes in hydrochemical parameters and water salinity in the Vistula Lagoon in 2010-2013]. *Trudy AtlantNIRO*, 2017, no. 3, pp. 5–21.

6. Aleksandrov S. V. Prostranstvennye izmeneniya gidrokhimicheskikh pokazateley v Vislinskom zalive v 2014–2016 godakh [Spatial changes in hydrochemical parameters in the Vistula Lagoon in 2014-2016]. *Trudy AtlantNIRO*, 2018, no.1 (5), pp. 5–21.

7. МР КН «Vodokanal»: структура канализования, технологии очистки [MECS «Vodokanal»: sewerage structure, treatment technologies]. Available at: <http://vk39.ru/o-vodokanale/kanalizirovvanie> (Accessed 2 October 2020).

8. Sapozhnikov V. V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybnokhozyaystvennykh 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.

9. Bordovskiy O. K., Bruyevich S. V., Ivanenkov V. N., Romankevich E. A. *Metody gidrokhimicheskikh issledovaniy okeana* [Methods of hydrochemical studies of the ocean]. Moscow, Nauka, 1978, 272 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александров Сергей Валерьевич – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии; кандидат биологических наук, доцент; зав. лабораторией гидробиологии; E-mail: hydrobio@mail.ru

Aleksandrov Sergey Valerievich – Atlantic branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; PhD in Biology, Associate Professor; Head of the Laboratory of Hydrobiology; E-mail: hydrobio@mail.ru

Сташко Андрей Владимирович – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; аспирант; E-mail: hidanstashko@gmail.com

Stashko Andrey Vladimirovich – Immanuel Kant Baltic Federal University; postgraduate student; E-mail: hidanstashko@gmail.com

УДК 639.2/3

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-22-31

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРЕСТОВОГО ХОДА КОРЮШКИ
(*OSMERUS EPERLANUS EPERLANUS L.*) В РЕКЕ ДЕЙМЕ БАССЕЙНА
КУРШСКОГО ЗАЛИВА (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А. С. Бурбах, С. В. Шибяев

RESEARCH RESULTS OF SPAWNING MIGRATION OF EUROPEAN SMELT
(*OSMERUS EPERLANUS EPERLANUS L.*) IN THE DEIMA RIVER
OF THE CURONIAN LAGOON BASIN (KALININGRAD REGION)

A. S. Burbakh, S. V. Shibaev

Основными промысловыми водоемами в Калининградской области для корюшки считаются Куршский залив, реки Неман и Матросовка, при этом промысел в реках и заливе организован по-разному. В заливе лов традиционно ведется ставными неводами, а в реках – закидными, причем имеется возможность перемещаться за ходом рыбы. Существующая схема расположения рыболовецких бригад на реках порой неэффективна, в связи с чем возникает необходимость расширения географии промысла. Это возможно как за счет организации промышленного лова выше по течению р. Неман, так и за счет освоения новых водоемов, куда корюшка заходит на нерест и где ведется интенсивный любительский лов. В 2020 г. на р. Дейме рыболовецкой бригадой «ИП Лысанский Н. А.» впервые был организован промысел, особенности которого связаны с морфологическими характеристиками русла. В Дейму корюшка попадает несколько позже, чем в основные промысловые водоемы, что связано с удаленностью реки от Клайпедского пролива, через который рыба заходит в Куршский залив из Балтийского моря. Это позволяет продлить период активного рыболовства. Размерная структура всех трех промысловых стад схожа, однако в Немане присутствует жилая форма снетка. В 2020 г. промысел в Дейме оказался удачным, средний улов за один замет составил 25 кг без прилова снетка или других видов рыб.

Куршский залив, река Неман, река Матросовка, река Дейма, промысловые уловы, корюшка, размерная структура

The most important places for smelt fishing are Curonian Lagoon, the Neman River and the Matrosovka River, however fishing in the rivers and in the lagoon is organized differently. Lagoon fishing is traditionally carried out with stationary net, and in rivers- with beach seines, moreover, it is possible to move with the fish. The existing scheme of location of fishing brigades turns out to be ineffective, and therefore it becomes necessary to expand the geography of smelt fishing. It is possible, both through the organization of fishing upstream in the Neman River, and through the development of new reservoirs, where smelt go for spawning and where intensive angling occurs.

In 2020 the first fishing was organized on the Deima River, which had its own characteristics due to the morphological characteristics of the channel. Smelt go in the Deima River somewhat later than in the main commercial waterbodies, because it is far from the Klaipeda Strait, through which fish enter the Curonian Lagoon from the Baltic Sea. It allows to extend the period of active fishing. The size structure of all three commercial stocks is similar, the only thing that distinguishes the Neman River is the presence of a resident form of dwarf smelt.

Fishing on the Deima River in 2020 was effective, the average catch per one draught was 25 kg, without by-catch of dwarf smelt or other fish species.

Curonian lagoon, Neman River, Matrosovka River, Deima River, commercial yields, European smelt, size structure

ВВЕДЕНИЕ

Корюшка является важным объектом рыболовства в Куршском заливе и реках его бассейна. Основной промысел организован с 1950-х годов и традиционно ведется двумя способами: ставными неводами в прибрежной части залива и закидными – в реках Скирвит и Матросовке, которые являются рукавами р. Неман. Соотношение уловов в заливе и реках варьирует в пределах 30–60 % и зависит от погодных условий и интенсивности хода корюшки. В целом такая дислокация лова сложилась достаточно давно, и дальнейшее развитие промысла связано с необходимостью поиска новых тоневых участков. Так, учитывая, что корюшка поднимается по течению Немана довольно высоко, порой доходя до г. Юрбаркаса на территории Литвы, рыбацкие бригады также перемещаются вверх по течению. В последние годы подготовлены новые тоневые участки в районе г. Советска (рис. 1) [1–4].

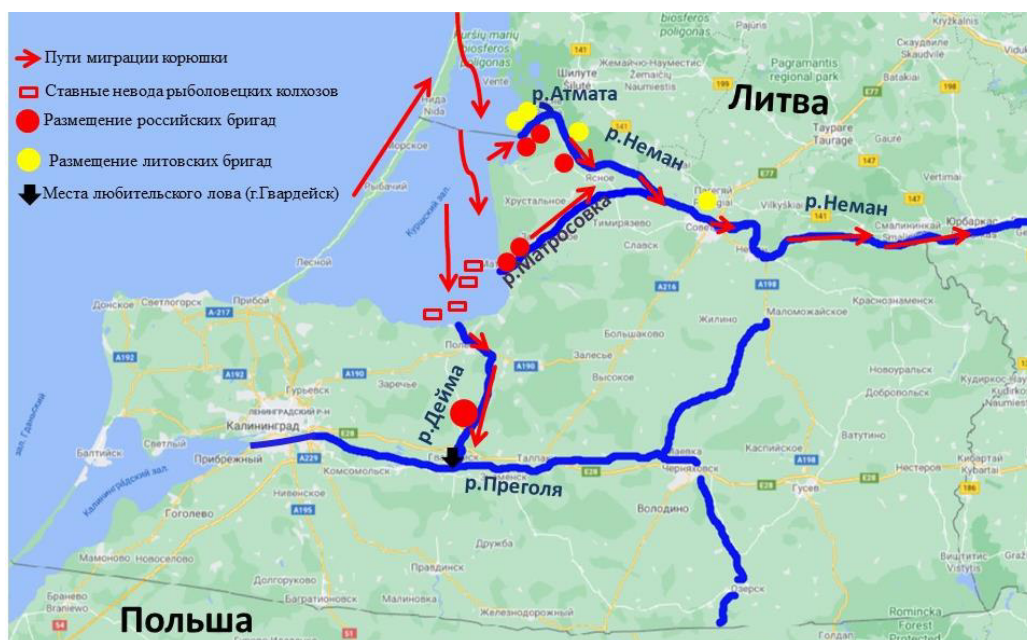


Рис. 1. Размещение рыболовецких бригад и пути нерестовой миграции корюшки
Fig. 1. Location of fishing brigades and spawning migration routes of smelt

Вместе с тем расширение географии промысла корюшки возможно не только за счет Немана и его рукавов, но и путем организации неводного лова в других реках. В частности, известно, что корюшка заходит на нерест во все реки бассейна Куршского залива, где отлавливается рыбаками-любителями, при этом одной из наиболее важных для нереста является Дейма. Весной в месте впадения Деймы в Преголю, в районе г. Гвардейска, отмечается до сотни местных рыбаков, суточные уловы которых в расчете на одного человека могут достигать 10 и более кг (рис. 2), что предполагает организацию на р. Дейме промышленного лова.



Рис. 2. Лов корюшки рыбаками-любителями на р. Дейме вблизи г. Гвардейска
Fig. 2. Angler fishing of smelt on Deima River near Gvardeisk town

Так, в 2020 г. рыболовецкая бригада впервые использовала закидной невод на Дейме, и этот промысел дал результаты, позволяющие оценить перспективы дальнейшей организации здесь промышленного лова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили результаты мониторинга промыслового лова корюшки в р. Дейме весной 2020 г. Лов осуществлялся бригадой «ИП Лысанский Н. А.» с использованием речного безмотенного невода длиной 36 м и шагом ячеи 11 мм. Размерная структура нерестового стада оценивалась на основе массовых промеров промысловых уловов. Стратифицированные выборки из них подвергались стандартной обработке: определялся видовой состав по численности и массе, проводились промеры с разделением по полу и стадиям зрелости [5].

Для сравнительного анализа использовались материалы мониторинга промысла в этот же период на традиционных местах лова – реках Скирвит и Матросовке. Всего проанализировано 30 обловов, массовым промерам подверглось 1100 экземпляров, биологический анализ со взятием регистрирующих структур для определения возраста (отолиты) проведен для 650 особей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционный лов корюшки ведется в р. Неман и ее рукавах закидными неводами на специализированных рыболовецких участках – тонях. Тони должны иметь небольшую глубину, ровное и незасоренное дно и располагаться в местах с пологими берегами. Размещение рыболовецких бригад на реках в большей степени зависит от наличия доступных тоней с точки зрения транспортного сообщения и соответствия морфологическим характеристикам участка. В связи с этим основной промысел в Немане (рукав Скирвит) сосредоточен в устьевых участках и в районе литовского г. Русне, хотя в последние несколько лет он здесь неэффективен. Поэтому пользователи начинают искать другие места для добычи. Так, с 2018 г. на р. Неман появляется постоянная бригада, расположенная выше по течению, в 20 км от устья, в районе пос. Левобережного. Это позволило ловить рыбу, которая заходит на нерест не через устье или р. Витине, а через р. Атматау. На р. Матросовке большая часть бригад располагается в районе пос. Заповедного (рис. 1) [1, 2].

Дейма, на которой впервые был организован промышленный лов корюшки, представляет собой судоходный канал, сооруженный по руслу некогда небольшой реки. Долина Деймы широкая, со слабым врезом русла в низменные берега. Имеется двусторонняя луговая пойма, местами заболоченная, с густой мелиоративной сетью, невысокими коренными склонами, лесами, подступающими к реке лишь на правобережье [6, 7].

Местоположение Деймы имеет явное логистическое преимущество, если учитывать удобство транспортировки и близость мест реализации уловов корюшки. Вместе с тем при определении собственно тоневых участков у рыбаков возникали трудности, так как не везде был возможен подъезд к берегу из-за высоких обрывов, большой глубины и сильного течения. В итоге тони организовали в 30 км от устья между поселками Ясенское и Забарье Гвардейского р-на (рис. 1).

В 2020 г. нерестовый ход корюшки в Дейме начался в первых числах марта, а основной ход наблюдался во второй декаде марта, тогда были отмечены и максимальные уловы (рис. 3). В традиционных промысловых реках – Скирвит и Матросовке – корюшка начала встречаться в уловах раньше – в конце февраля. Максимальные уловы также совпадали с пиком хода (таблица, рис. 3).

Такая ситуация связана, очевидно, с двумя обстоятельствами:

1) корюшке требуется больше времени, чтобы дойти от Клайпедского канала (где она заходит в Куршский залив из Балтийского моря) до устья Деймы, расстояние до которого в два раза больше, чем расстояние до устья Немана;

2) более длительный период промысла на Немане связан с тем, что тоневые участки расположены на большем удалении от населенных пунктов, добраться до них сложнее. Поэтому рыболовецкие бригады завозятся сюда на более длительный срок и живут дольше, чтобы охватить весь период нерестового хода.

Таблица. Динамика нерестового хода корюшки в реках бассейна Куршского залива в 2020 г.

Table. Dynamic of spawning migration in the rivers of the Curonian Lagoon basin, 2020

Водоем	Февраль	Март								Апрель		
	27–28	1	5	10	11	15	20	25	31	1	5	10
р. Неман												
р. Дейма												

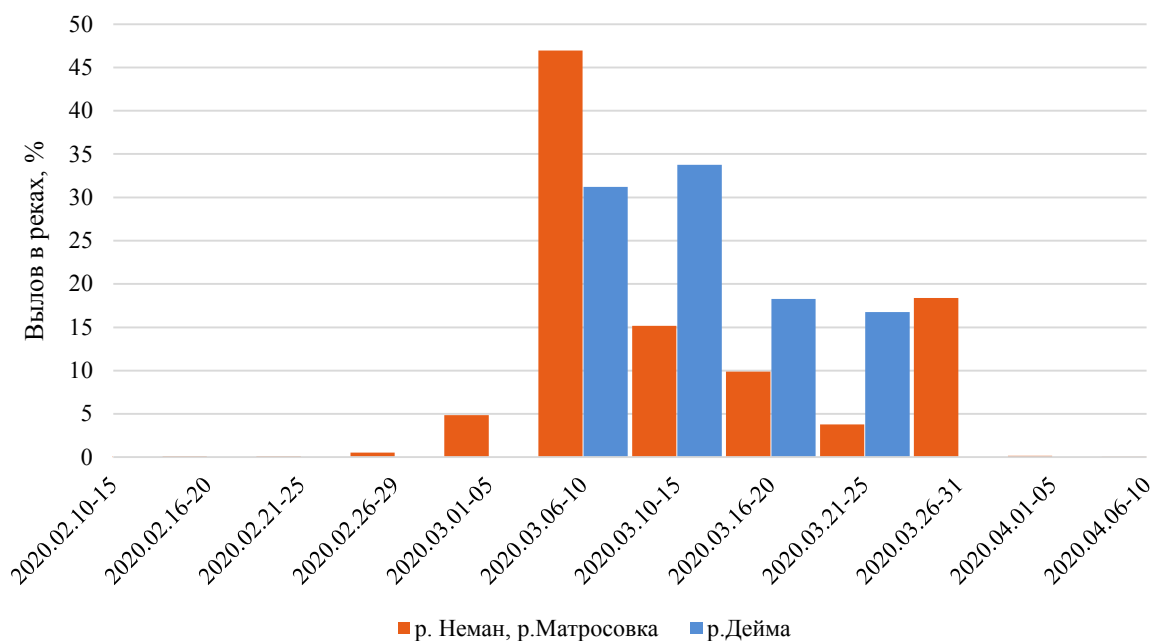


Рис. 3. Динамика вылова корюшки в реках согласно статистической отчетности по пятидневкам (ПФ) в 2020 г.

Fig. 3. Dynamic of commercial catches of smelt on traditional and new areas, 2020

Организация промысла на р. Дейме характеризовалась следующими особенностями. За сутки проводилось от 1 до 12 заметов (рис. 4), количество их зависело от погодных условий и интенсивности хода в разное время суток. Максимальные уловы наблюдались в ночное время и предутренние часы (рис. 5). Улов за один замет в среднем весил 25 кг, общий вылов составил 2 т, причем прилова других видов рыб, в том числе снетка, не было. Это существенно отличает Дейму от рек Неман (рукав Скирвит) и Матросовки. Здесь рыбакам приходится затрачивать много времени на сортировку улова в том случае, когда доля снетка большая. Иногда, при высоком проценте прилова снетка, невод оставляют на кольях, и снеток самостоятельно выходит из него через ячейку шагом 11–12 мм, в улове же остается только корюшка.



Рис. 4. Промысловый лов корюшки закидным неводом, р. Дейма, 2020 г.
 Fig. 4. Commercial catches by seine, Deima River, 2020

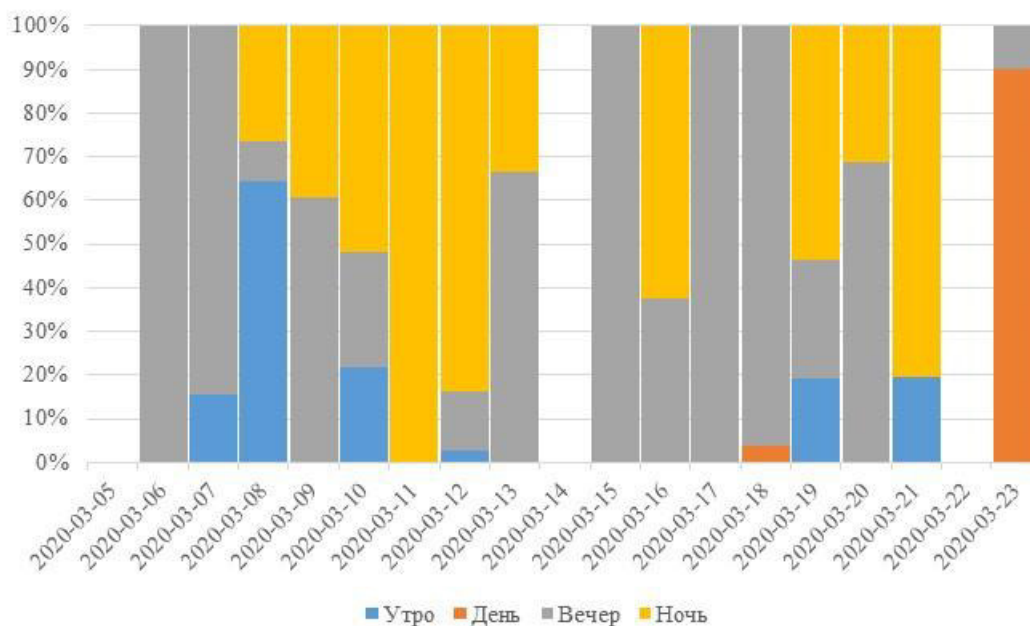


Рис. 5. Суточная динамика промысловых уловов, р. Дейма, 2020 г.
 Fig. 5. Diurnal dynamics of commercial catches, Deima River, 2020

Сравнительный анализ эффективности лова бригадой «ИП Лысанский Н. А.» за время путины в трех водоемах (Скирвит, Матросовке, Дейме) показал, что доля добытой в Дейме корюшки составляет 25 % от общего вылова пользователя. При этом в период интенсивного хода указанная доля возрастает до 70 % (рис. 6), т. е. за счет вылова контрольной бригады

пользователь продлил период эффективного промысла, который для корюшки в среднем крайне небольшой и обычно не превышает недели. В самом начале хода роль Деймы невелика, это можно объяснить тем, что рыба не успела дойти до места промысла.

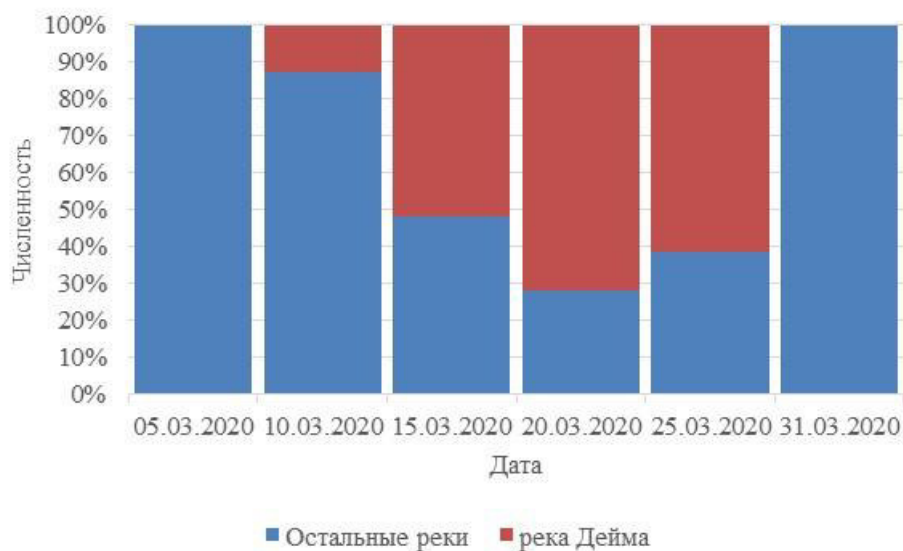


Рис. 6. Роль р. Деймы в вылове корюшки пользователем «ИП Лысанский Н. А.», 2020 г.

Fig. 6. The role of Deima River in commercial catches of smelt by IE Lysansky N.A, 2020

Учитывая отмеченные различия во времени и интенсивности нерестового хода корюшки в исследованных водоемах, справедливо стоит вопрос, насколько единым является данный промысловый запас с биологической точки зрения и правомочно ли в этом случае применение единой системы регулирования рыболовства. С целью решения этого вопроса нами были проанализированы структурные характеристики нерестового стада по результатам массовых промеров и биологического анализа. Установлено, что в Дейме уловы представлены рыбами длиной от 8 до 19 см, с преобладанием размерной группы 12–14 см (72,3 % от общего количества). При этом экземпляры длиной менее 8 и более 19 см не встретились вообще, жилая форма сетка не отмечена. В остальных промысловых районах размерная структура была схожа, преобладала группа 11–14 см, составляя более 60 % от общего улова (рис. 7). Таким образом, биологические параметры корюшки в трех исследованных реках сходны.

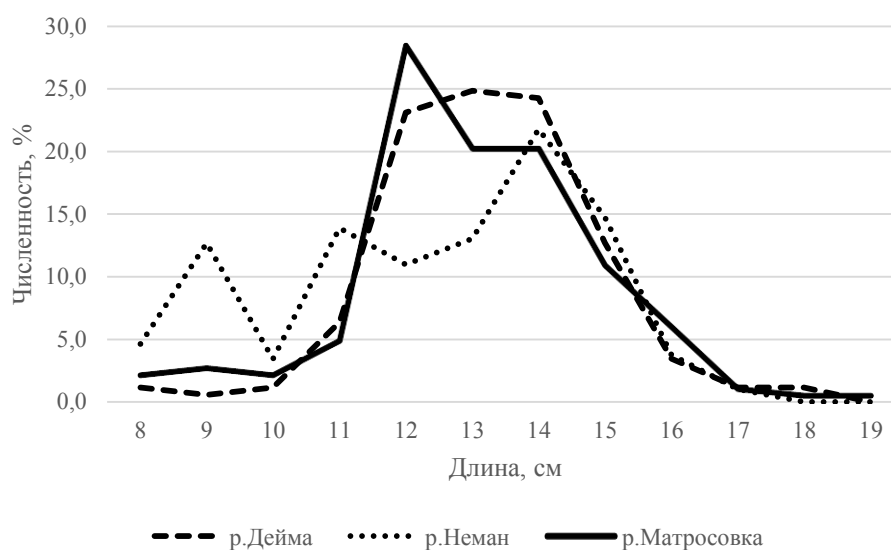


Рис. 7. Размерная структура нерестового стада корюшки в 2020 г.

Fig. 7. Size structure of spawning stock, 2020

Масса корюшки в уловах изменялась в пределах 10–76 г, в среднем составляя 24,7 г. В начале нерестовой миграции преобладали самцы, затем происходило выравнивание доли самок и самцов, в конце количество самок превалировало. В целом в соотношении полов составило 1:1, что согласуется с биологией вида.

ВЫВОДЫ

1. Организация промыслового лова корюшки в р. Дейме является достаточно эффективной и имеет ряд преимуществ.
2. Во всех реках бассейна Куршского залива эксплуатируется единая популяция корюшки, управление которой должно осуществляться на основе единого подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бурбах, А. С. Эволюция промысла корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) и сетка (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) в реках Куршского залива бассейна Балтийского моря / А. С. Бурбах, С. В. Шibaев, А. В. Соколов, О. А. Новожилов // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 3. – С. 85–89.
2. Миграция корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реке Неман в зоне возможного влияния Балтийской атомной станции / С. В. Шibaев, А. В. Соколов, А. С. Анурьева, О. А. Новожилов [и др.] // Экологическая безопасность АЭС: II научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 70-летию атомной отрасли России: науч. конф.: материалы. – Калининград: Аксиос. – 2015. – С. 24–28.
3. Манюкас, И. Ихтиофауна, состояние запасов и промысел рыб в заливе Куршю Марес / И. Манюкас // Куршю Марес. Итоги комплексных исследований. – Вильнюс. – 1959. – 403 с.

4. Гайгалас, К. С. Основные черты экологии и динамика промысловых уловов проходной формы европейской корюшки *Osmerus eperlanus* L. в заливе Куршю Марес и низовье р. Нямунас / К. С. Гайгалас, В. Т. Миштаутайте // *Вопр. ихтиологии*. – 1980. – Т. 20, вып. 4. – С. 625–634.
5. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб. – Москва, 1966. – 375 с.
6. Государственный водный кадастр (справочное издание). Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – Т. 1, вып. 4. – 88 с.
7. Маркова, Л. Л. Реки / Л. Л. Маркова // Калининградская область: очерки природы. – 2-е изд., доп. и расш. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – 229 с.

REFERENCES

1. Burbakh A. S., Shibaev S. V., Sokolov A. V., Novozhilov O. A. Evolyutsiya promysla koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) i snетка (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) v rekakh Kurshskogo zaliva basseyna Baltiyskogo moray [Evolution of commercial catching of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) and dwarf smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) in the rivers of Curonian Lagoon in the Baltic Sea basin]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2019, no. 3, pp. 85–89.
2. Shibaev S. V. Sokolov A. V., Anuryeva A. S., Novozhilov O. A. Migratsiya koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) v reke Neman v zone vozmozhnogo vliyaniya Baltiyskoy atomnoy stantsii [Migration of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) in the Neman River in the zone of possible influence of the Baltic nuclear power plant]. *Materialy nauchnoy konferentsii "Ekologicheskaya bezopasnost' AES: II nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 70-letiyu atomnoy otrasli Rossii* [Materials of the scientific conference Ecological safety of NP: II scientific-practical conference with international participation]. Kaliningrad, Aksios, 2015, pp. 24–28.
3. Manyukas I. *Ikhtiofauna, sostoyanie zapasov i promysel ryb v zalive Kyurshyu Mares* [Ichthyofauna, stock status and fishing in Kurshu Marios]. Vil'nyus, 1959, 403 p.
4. Gaygalas K. S., Mishtautayte V. T. Osnovnye cherty ekologii i dinamika promyslovykh ulovov prokhodnoy formy evropeyskoy koryushki *Osmerus eperlanus* L. v zalive Kurshyu Mares i nizov'e r. Nyamunas [Main features of the ecology and dynamics of the commercial catches of migration form of European smelt in Kurshyu Marios and Nemunas River]. *Voprosy ikhtiologii*, 1980, vol. 20, iss. 4, pp. 625–634.
5. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Fish Study Guide]. Moscow, 1966, 375 p.
6. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr (spravochnoe izdanie). Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod суши* [State Water Cadastre (Reference edition). Long-term data on the regime and resources of land surface waters]. Ленинград, Гидрометеиздат, 1988, vol. 1, iss. 4, 88 p.
7. Markova L. L. *Reki. Kaliningradskaya oblast': ocherki prirody* [Rivers. Kaliningrad region: essays on nature]. Kaliningrad, Yantarnyy skaz, 1999, iss. 2, 229 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бурбах Анна Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры ихтиологии и экологии;
E-mail: anna.burbakh@klgtu.ru

Burbakh Anna Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; leading engineer of the Department Ichthyology and Ecology; E-mail: anna.burbakh@klgtu.ru;

Шibaев Сергей Вадимович – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор;
зав. кафедрой ихтиологии и экологии; E-mail: shibaev@klgtu.ru

Shibaev Sergey Vadimovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biology, Professor; Head of the Department of Ichthyology and Ecology;
E-mail: shibaev@klgtu.ru

УДК 639.371/374

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-32-43

ОПЫТ ЗАМЕНЫ РЫБНОЙ МУКИ И РЫБЬЕГО ЖИРА НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ ПРОТЕИН И МАСЛО В СТАРТОВЫХ КОРМАХ ДЛЯ СИГОВЫХ РЫБ

А. А. Лютиков, А. К. Шумилина, М. М. Вылка

SUBSTITUTION OF FISH MEAL AND FISH OIL WITH VEGETABLE PROTEIN AND OIL IN STARTER FEEDS FOR WHITEFISH

A. A. Lyutikov, A. K. Shumilina, M. M. Vylka

Результаты выращивания личинок муксуна с начала питания до 130 мг на экспериментальных стартовых искусственных кормах указывают на возможность культивирования этого вида на диетах, в которых рыбная мука и рыбий жир частично или полностью могут быть заменены на компоненты растительного происхождения – соевый кормовой концентрат и льняное масло. После 38 сут исследования молодь, получавшая экспериментальные корма, имела схожую выживаемость и среднюю индивидуальную массу с контрольной группой 81–82 % против 79 % и 136–142 мг против 133 мг (коэффициент вариации 21 %) соответственно. Биохимические и гематологические показатели всей выращенной в эксперименте молоди в большинстве случаев имели близкие значения и укладывались в норму, что говорит о физиологической полноценности личинок. Анализ жирнокислотного состава корма показал, что замена половины рыбной муки на соевый белок существенным образом не отразилась на составе липидов искусственной диеты, который был сопоставим с составом контрольного корма. Полное замещение рыбной муки соевым кормовым концентратом, а рыбьего жира – льняным маслом значительно изменило содержание жирных кислот, снизив концентрацию n-3 в опытном корме до 1 %. Несмотря на это выращенная молодь характеризовалась близким (или выше) содержанием незаменимых жирных кислот с контрольной молодью. Так, количество линоленовой кислоты в опытных личинках относительно контрольных равнялось 2,7 против 1,2 %, эйкозапентаеновой – 0,94 против 1,4 %, докозагексаеновой – 5,0 против 3,2 %, линолевой – 19,2 против 18,5 %, арахидоновой – 2,2 против 1,1 % соответственно. Таким образом, относительно высокие значения незаменимых кислот семейства n-3 и n-6 в липидах молоди муксуна, подрощенной на бедном этими кислотами корме, указывают на способность личинок сиговых к преобразованию высоконенасыщенных жирных кислот.

сиговые, стартовые корма, льняное масло, соевый белок, жирные кислоты

The results of growing muksun larvae from the beginning of feeding up to 130 mg on experimental starter artificial feed indicate the possibility of cultivating this species on diets in which fish meal and fish oil can be partially or completely substituted for components of vegetable origin - soybean meal and linseed oil. After 38 days of

the study, juveniles receiving experimental feed had a similar survival rate and average individual weight with the control group – 81–82 % versus 79 % and 136–142 mg versus 133 mg (coefficient of variation 21 %), respectively. In most cases, the biochemical and hematological parameters of all juveniles grown in the experiment had similar values and were within the norm, which indicates a good physiological state of the larvae. Analysis of the fatty acid composition of the feed showed that the substitution of half of the fish meal for soy protein did not significantly affect the lipid composition of the artificial diet, which was comparable to the composition of the control feed. Complete substitution of fish meal with soybean meal, and fish oil with linseed oil, significantly changed the content of fatty acids, reducing the concentration of n-3 in the experimental feed to 1 %. Despite this, the reared juveniles were characterized by a similar (or higher) content of essential fatty acids with the control juveniles. Thus, the amount of linolenic acid in the experimental larvae relative to the control larvae was 2.7 versus 1.2 %, eicosapentaenoic acid – 0.94 versus 1.4 %, docosahexaenoic acid – 5.0 versus 3.2 %, linoleic acid – 19.2 versus 18.5 %, arachidonic – 2.2 versus 1.1 %, respectively. Thus, the relatively high values of n-3 and n-6 essential fatty acids in the lipids of muksun juveniles reared on a feed poor in these acids indicates the ability of whitefish larvae to convert highly unsaturated fatty acids.

whitefish, starter feeds, linseed oil, soy protein, fatty acids

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдавшийся до недавнего времени рост производства аквакультуры в последнее время имеет ограничения, связанные в первую очередь с дефицитом и удорожанием основных компонентов искусственных кормов – рыбной муки и рыбьего жира. Учитывая важность полноценных кормов в аквакультуре, особенно стартовых, необходим поиск альтернативных источников белков и липидов, близких по своим питательным свойствам к традиционным компонентам.

Среди наиболее перспективных белковых компонентов в кормах ранней молоди рыб можно выделить протеин микробиологического синтеза, сопоставимый по некоторым показателям (уровню белка, незаменимым аминокислотам, высокому содержанию нуклеиновых кислот и др.) с естественной пищей личинок рыб – зоопланктоном – и поэтому являющийся адекватной составляющей стартовых кормов [1]. В кормах для рыб старшего возраста в качестве замены рыбной муки широко применяются белки растительного происхождения, однако в настоящее время на рынке комбикормовой продукции все чаще встречаются растительные белковые компоненты, ориентированные на использование в кормах для ранней молоди рыб.

К доступным заменителям рыбьего жира в стартовых и личиночных кормах в первую очередь можно отнести растительные фосфолипиды и масла. Фосфолипиды в целом признаны незаменимыми питательными веществами в период интенсивного начального роста ранней молоди рыб [2], среди масел наиболее подходящим для стартовых кормов, по нашему мнению, является льняное – лидер по содержанию n-3 кислот. На долю последних в льняном масле приходится до 53 % от общего содержания липидов, в основном представленных материнской α -линоленовой (18:3 n-3, АЛК) кислотой n-3 ряда. Тем не менее для нормальной жизнедеятельности рыб в раннем онтогенезе, особенно обитающих в холодновод-

ных условиях, требуются высоконасыщенные длинноцепочные жирные кислоты, такие как эйкозапентаеновая (20:5 n-3, ЭПК) и докозагексаеновая (22:6 n-3, ДГК), считающиеся незаменимыми. Данные кислоты, по мнению специалистов, у личинок морских рыб не могут быть синтезированы или преобразованы эндогенно в количестве, достаточном для удовлетворения собственных физиологических потребностей [3], тем временем пресноводные рыбы, и сиговые в частности, способны к трансформации короткоцепочных (с 18 атомами углерода) полиненасыщенных жирных кислот в длинноцепочные (с 20 и 22 атомами углерода) [4].

Учитывая вышесказанное, в рамках настоящего исследования нами были определены следующие задачи:

– разработать и оценить возможность использования стартовых кормов для личинок сиговых видов рыб с полной и частичной заменой рыбной муки и рыбьего жира на растительные белковые и жировые кормовые компоненты (основным источником белка в экспериментальных кормах является протеин микробиологического синтеза);

– исследовать способность ранних личинок сиговых обеспечивать собственные потребности в незаменимых высоконасыщенных жирных кислотах за счет их преобразования из кислот с меньшим количеством атомов углерода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работы по испытанию экспериментальных стартовых кормов для сиговых видов рыб проводили в рыбоводном хозяйстве ООО «Форват» (оз. Суходольское, Ленинградская обл.). В качестве объекта исследования был выбран ценный представитель ихтиофауны бореального комплекса – муксун *Coregonus muksun*, стадо которого в индустриальных условиях сформировано на хозяйстве по технологии ГосНИОРХ [5].

Личинок муксуна после вылупления (возраст 0–1 сут) массой 6,86 мг до начала питания рассаживали поштучно, по 600 экз. (12 экз./л), в три экспериментальных бассейна объемом 65 л (фактический объем воды 50 л) с круговым током воды и водообменном 3 раза в час. Температура воды на момент начала опыта равнялась 5,9 °С (температура в период проведения исследований представлена в табл. 2), содержание O_2 – 11,2 мг/л (90 % нормального насыщения).

Живой корм в исследованиях не использовался, личинки получали исключительно искусственные диеты. К подкармливанию приступали в день посадки, корма давали вручную каждый час с 8 до 22 ч. В первую неделю кормление осуществляли с избытком, далее расчет суточных норм корма и уход за молодью проводили в соответствии с рекомендациями ГосНИОРХ [6]. В качестве кормов выступали стартовые экспериментальные диеты с бактериальной биомассой для сиговых видов рыб, разработанные в лаборатории аквакультуры ГосНИОРХ [7]. Контрольной диетой являлся корм №1, в котором кроме микробного белка были использованы рыбная мука и рыбий жир. Состав кормов и их питательная ценность (расчетная) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Особенности состава и питательная ценность экспериментальных стартовых кормов для сиговых видов рыб

Table 1. Features of the composition and nutritional value of experimental starter feeds for whitefish species

Компонент	Производитель	Номер корма		
		1	3	4
Рыбная мука	АО «Атлантрыбфлот», г. Калининград	●	●*	×
Бактериальная биомасса	ООО «Гипробьосинтез», г. Москва	●	●	●
Сухой белок яйца	АО «Птицефабрика Роскар», Ленинградская обл.	●	●	●
Соевый кормовой концентрат «Протефид»	ЗАО «Партнер-М», Калужская обл.	×	●	●
Фосфолипиды соевые	ООО «Центр соя», Краснодарский край	●	●	●
Рыбий жир	ООО «Альфа-вета.ком», Санкт-Петербург	●	●	×
Льняное масло	«Бизнесойл», Московская обл.	×	×	●
Протеин, %		56	57	57
Жир, %		12	11,5	11

Примечание.* – в корме 3 половина рыбной муки была заменена соевым кормовым концентратом

В ходе эксперимента для контроля за ростом и корректировки суточных норм кормления раз в неделю проводили регулярные взвешивания небольших выборок молоди муксуна (по 15 экз.) из бассейнов. В конце опытов определяли массу всей рыбы и отбирали пробы личинок для анализов – морфометрического, биохимического, гематологического. Коэффициент упитанности по Фультону рассчитывали как отношение массы к длине тела рыбы до конца чешуйного покрова, возведенной в куб. Среднесуточный прирост (ССП) находили по уравнению Винберга [8] (1).

$$\text{ССП} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t} * 100, \quad (1)$$

где ССП – среднесуточный прирост; W_1 – начальная масса; W_2 – конечная масса; t – временной период.

Содержание жира в теле рыб и в кормах определяли в сыром веществе по методу Фолча [9], витамин С – методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте реактивом Тильманса [10]. Анализ липидного состава стартовых кормов и личинок был проведен в ООО «МИП-АМТ» методом газо-жидкостной хроматографии по заказу Санкт-Петербургского филиала «ВНИРО».

Мазки крови окрашивали по способу Паппенгейма – краситель-фиксатор Май-Грюнвальд с последующим докрасиванием азур-эозином по Романовскому. Число незрелых эритроцитов, отражающих интенсивность кроветворения, определяли на мазках под микроскопом при подсчете 200 клеток красной крови с вычислением процента встретившихся незрелых форм. Лейкоцитарную формулу выводили при подсчете 200 лейкоцитов с вычислением процента различных форм клеток белой крови (лимфоциты, полиморфноядерные лейкоциты, моноциты). О количестве лейкоцитов судили по числу лейкоцитарных клеток на мазках крови, обнаруженных при подсчете 500 эритроцитов [11].

Статистическую обработку материала проводили с использованием двустороннего критерия Стьюдента. Различия считались значимыми при уровне $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты выращивания личинок муксуна на экспериментальных кормах представлены в табл. 2 и 3. Несмотря на существенные различия в составе кормов, рыбоводные показатели личинок имели близкие значения, достоверных отличий не выявлено (табл. 2). В первый месяц выращивания тенденция к лучшему росту наблюдалась у молоди, получавшей корм № 3 с частичной заменой рыбной муки на соевый белок, отставанием в росте характеризовались личинки, выращенные на корме № 4 без рыбных компонентов. Однако конечная масса таких личинок не отличалась от массы молоди, выращенной на контрольном корме № 1 (с рыбьим жиром и рыбной мукой) и корме № 3. Факторами ускоренного роста молоди на последнем этапе выращивания явились как повышение температуры воды, так и становление пищеварительной функции личинок массой от 70–100 мг, связанное с началом работы желудка у сиговых [7, 12]. Подобные физиологические изменения способствуют лучшей переваримости и усвояемости личинками белковых компонентов пищи, содержащей крупные пептиды рыбной муки и растительных протеинов.

Выживаемость личинок в эксперименте, как и ихтиомасса, также имели близкие значения, однако худшие показатели были свойственны муксуну, выращенному на контрольном корме, – 79,2 % и 64,6 г, соответственно.

Таблица 2. Рост и выживаемость личинок муксуна в эксперименте

Table 2. Growth and survival of muksun larvae in the experiment

Номер корма	Возраст молоди, сут / температура за период, °С						ССП, %	Выживаемость, %	Ихтиомасса, г
	1	10	17	24	31	38			
	5,9	7,2	8,7	9,6	12,1	13,7			
Масса, мг									
1	6,86	9,9	16,1	29,8	54,6	132,8	8,0	79,2	64,6
3		10,7	15,7	28,5	58,8	142,0	8,2	81,3	71,0
4		9,5	15,1	25,8	47,3	136,2	8,1	82,4	69,0

Примечание. ССП – среднесуточный прирост

Таблица 3. Морфобиологическая характеристика личинок муксуна в конце эксперимента

Table 3. Morphophysiological features of muksun larvae at the end of the experiment

Номер корма	Масса, мг	C_v	Длина, мм	C_v	Упитанность (Ф)	Жир, %	Витамин С, мкг/г
1	$\frac{132,8 \pm 6,28}{91-220}$	20,3	$\frac{26,9 \pm 0,32}{23,7-30,1}$	6,1	1,0	3,6 ^a	57,3 ^a
3	$\frac{142,0 \pm 6,68}{85-229}$	21,0	$\frac{26,9 \pm 0,38}{22,2-29,9}$	7,2	1,1	3,4 ^a	70,6 ^b
4	$\frac{136,2 \pm 5,35}{90-192}$	18,9	$\frac{26,4 \pm 0,30}{23,1-29,5}$	5,8	1,0	3,0 ^b	64,9 ^b

Примечание. C_v – коэффициент вариации. Здесь и далее: над чертой приведены среднее значение признака и его ошибка, под чертой – пределы варьирования признака; показатели с разными буквенными обозначениями имеют достоверные отличия при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Анализ морфофизиологических показателей выращенной на экспериментальных диетах молоди указывает на ее однородность по размерно-массовым показателям и коэффициенту упитанности. Достоверные отличия установлены по содержанию общего жира и витамина С в теле личинок (табл. 3), что определено, прежде всего, включением в корма № 3 и 4 соевого кормового концентрата, который в отличие от рыбной муки, содержащей около 8 % жира, практически обезжирен (0,6 % по сведениям производителя). Частичная (корм № 3) и полная (корм № 4) замена рыбной муки соевым белком снижает жир в теле молоди на 6 и 17 %, соответственно, по сравнению с контролем. Снижение жира в корме благоприятно отражается на содержании в молоди витамина С, повышая его концентрацию в личинках относительно контроля на 23 % (для корма № 3) и 13 % (для корма № 4). Подобные изменения в количестве витамина С в теле сиговых объясняются его сильными антиокислительными свойствами: разрушаясь первым, витамин С предотвращает гидролиз жиров корма [13]. Установленные для экспериментальных личинок муксуна значения по содержанию витамина С в теле укладываются в определенную ранее норму для молоди сиговых – 40–100 мкг/кг [7].

Низкие значения коэффициента вариации размерно-массовых показателей молоди (см. табл. 3) отражают благоприятные условия содержания и соответствие искусственных экспериментальных кормов физиологическим потребностям муксуна.

Гематологический анализ личинок в эксперименте указывает на достоверные различия в количестве лейкоцитов на 500 эритроцитов и проценте незрелых эритроцитов, которых больше у личинок, выращенных на кормах с рыбной мукой и рыбьим жиром (табл. 4). Тем не менее значения обсуждаемых параметров по предварительным нормам укладываются в референсные [7]. Остальные исследуемые показатели крови личинок муксуна (процент содержания лимфоцитов, полиморфноядерных лейкоцитов и моноцитов), получавших разные корма, имели близкие значения.

Таблица 4. Морфология клеток красной и белой крови у молоди муксуна, выращенного на экспериментальных кормах

Table 4. Red and white blood cell morphology in muksun juveniles grown on experimental feed

Номер варианта опыта	Лимфоциты, %	Полиморфно-ядерные лейкоциты, %	Моноциты, %	Кол-во лейкоцитов на 500 эритроцитов, шт.	Незрелые эритроциты, %
1	$\frac{89,3 \pm 1,8}{82-96}$	$\frac{2,4 \pm 0,9}{0-9}$	$\frac{5,4 \pm 1,1}{2-14}$	$\frac{15,4 \pm 2,3^a}{4-26}$	$\frac{7,6 \pm 0,8^a}{6-13}$
3	Анализ крови не проводили				
4	$\frac{91,9 \pm 1,4}{82-97}$	$\frac{1,9 \pm 0,7}{0-6}$	$\frac{6,0 \pm 1,0}{2-12}$	$\frac{12,0 \pm 0,3^b}{6-29}$	$\frac{5,2 \pm 0,3^b}{4-7}$

Исходя из результатов проведенного анализа данных по росту и выживаемости личинок, биохимических и гематологических исследований, можно говорить о физиологической полноценности молоди муксуна, которая получала корма с частичной и полной заменой рыбной муки и рыбьего жира на растительный белок и масло в присутствии бактериальной биомассы.

Для выяснения способности ранних личинок муксуна обеспечивать собственные потребности в незаменимых высоконасыщенных жирных кислотах за счет их преобразования из эссенциальных кислот с меньшей цепью атомов угле-

рода были проведены исследования жирнокислотного состава кормов и подороженной молодежи, результаты которых представлены в табл. 5.

Замена половины рыбной муки соевым белком не отразилась существенным образом на жирнокислотном составе липидов корма № 3, который был практически идентичным с составом контрольной диеты. В то же время полное замещение рыбной муки соевым кормовым концентратом, а рыбьего жира – льняным маслом значительно изменило жирнокислотный статус искусственной диеты. Так, в корме № 4 уровень жирных кислот ряда n-3 снизился до 1 % по сравнению с кормами № 1 и 3, в которых количество n-3 было не ниже 6 %, а уровень мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) увеличился до 38,6 %, что определило преобладание этих кислот в составе общих жиров корма. Остальные группы кислот – насыщенные жирные кислоты (НЖК) и кислоты ряда n-6 – находились на близком уровне с контрольным кормом и кормом № 3 (табл. 5).

Таблица 5. Общий жир (% в сыром в-ве) и жирнокислотный состав (% от общего содержания) в корме и теле личинок муксуна массой около 130 мг
Table 5. Total fat (% in wet weight) and fatty acid composition (% of total content) in the feed and body of muksun larvae weighing about 130 mg

Номер варианта корма / опыта		Корм			Молодь		
		1	3	4	1	3	4
Жир, %		12	11,5	11	3,6	3,4	3,0
НЖК	14:0	1,18	1,22	0,39	1,00	0,90	0,46
	15:0	-	-	-	0,21	0,26	0,19
	16:0	25,73	25,35	24,30	27,24	26,90	24,61
	17:0	0,20	0,24	0,16	0,23	0,22	0,17
	18:0	2,90	2,81	3,20	5,24	5,33	5,91
	20:0	0,14	0,12	0,13	0,07	0,08	0,07
	22:0	0,18	0,16	0,19	0,08	0,07	0,00
	23:0	-	-	-	0,09	0,08	0,21
	24:0	-	-	0,14	0,00	0,11	0,00
	Σ	30,33	29,90	28,51	34,16	33,95	31,62
МНЖК	16:1n-7	13,50	13,72	12,74	13,65	13,82	11,39
	18:1n-7	1,77	2,11	14,18	5,03	4,34	6,78
	18:1n-9	10,82	9,86	10,91	15,14	13,76	15,08
	20:1n-9	0,90	1,16	0,26	0,20	0,18	0,10
	22:1n-9	2,93	3,33	0,47	1,26	0,99	0,11
	Σ	29,92	30,18	38,56	35,28	33,09	33,46
n-3	18:3n-3 (АЛК)	0,79	0,82	0,13	1,21	1,47	2,70
	18:4n-3	-	-	-	1,80	2,23	3,13
	20:3n-3	-	-	-	0,25	0,22	-
	20:5n-3 (ЭПК)	2,97	2,96	0,44	1,44	1,39	0,94
	22:5n-3	0,10	0,10	0,09	0,29	0,43	0,57
	22:6n-3 (ДФК)	2,27	2,17	0,34	3,17	5,17	4,98
		Σ	6,13	6,05	1,00	8,16	10,91
n-6	18:2n-6 (ЛК)	20,53	20,97	25,45	18,46	17,79	19,22
	20:2n-6	1,98	1,81	0,37	2,60	2,28	0,52
	20:4n-6 (АК)	0,33	0,40	0,07	1,11	1,50	2,19
	22:4n-6	-	-	-	0,07	0,08	0,14
	22:5n-6	0,48	0,54	0,05	0,16	0,25	0,33
	24:2n-6	-	-	-	0,00	0,07	0,20
	Σ	23,32	23,72	25,94	22,40	21,97	22,60
Неопределенные		10,30	10,15	5,99	0,00	0,08	0,00
n-3/n-6		0,26	0,26	0,04	0,36	0,50	0,55
22:6n-3/20:5n-3		0,76	0,73	0,77	2,20	3,72	5,30
18:3n-3/18:2n-6		0,038	0,039	0,005	0,066	0,083	0,140

Ожидаемого увеличения материнской n-3 кислоты – α -линоленовой – от введения в корм № 4 льняного масла не произошло, ее уровень составлял 0,13 % суммы ЖК относительно 0,8 % в кормах с продуктами переработки рыбы. Напротив, до 25,5 % повысилось содержание линолевой кислоты (18:2 n-6, ЛК) – материнской кислоты n-6 семейства, количество которой в кормах № 1 и № 3 равнялось 21 %. Еще одной незаменимой для стартового питания рыб жирной кислоты – арахидоновой (20:4 n-6, АК) – в корме № 4 было в 5–6 раз меньше, чем в других кормах – 0,07 против 0,3–0,4 %.

Несмотря на очень низкое содержание в корме № 4 наиболее важных для развития ранних личинок рыб жирных кислот семейства n-3 и n-6 (ЭПК, ДГК, АЛК и АК), их процент от общего количества липидов в теле молоди был близок к таковым или выше, чем у одновозрастных рыб, получавших корма с более высоким содержанием приведенных выше кислот (табл. 5). Так, количество АЛК в опытных личинках относительно контрольных и получавших корм № 3 равнялось 2,7 против 1,2–1,5%, ЭПК – 0,94 против 1,4 %, ДГК – 5,0 против 3,2–5,2 %, ЛК – 19,2 против 17,8–18,5 %, АК – 2,2 против 1,1–1,5 %, соответственно. Суммарная доля кислот ряда n-3 у молоди на корме № 4 также была выше, чем на кормах № 1 и 3, и составляла 12,3 против 8,2–10,9 %. В остальном жирнокислотный статус муксуна, получавшего корм без продуктов переработки рыбы (№ 4), был близок к липидному составу молоди, выращенной на контрольном корме и корме № 3, НЖК у всей молоди в эксперименте находился в диапазоне 31,6–34,0 %, МНЖК – 33,1–35,3 %, кислоты n-6 семейства – 22,0–22,6 %.

Введение в корм соевого белкового концентрата в количестве 1/2 доли рыбной муки (корм № 3) не сильно изменило жирнокислотный статус личинок по сравнению с контрольной молодью. Исключением явилось повышенное содержание в теле рыб АЛК, АК и ДГК, причем последней в 1,6 раз больше, чем в контроле. Увеличение ДГК и в целом кислот ряда n-3 у молоди на корме с частичной заменой рыбной муки положительно отразилось на индексах соотношения незаменимых ЖК, являющихся в том числе индикаторами физиологической полноценности выращенных в аквакультуре рыб. Индекс отношения n-3/n-6 у личинок, получавших корм № 3, по сравнению с контрольной группой увеличился от 0,36 до 0,50, незаменимых ЭПК/ДГК – от 2,20 до 3,72, материнских АЛК/ЛК – от 0,066 до 0,083. Еще большие значения индексов были у молоди, выращенной на кормах без рыбной муки и рыбьего жира (№ 4): n-3/n-6 – 0,55, ЭПК/ДГК – 5,30, АЛК/ЛК – 0,140.

Таким образом, относительно высокий уровень незаменимых кислот семейства n-3 и n-6 в липидах молоди муксуна, подращенной на бедном этими кислотами корме, указывает на способность личинок сиговых к преобразованию ПНЖК из менее длинноцепочных жирных кислот. Об удовлетворительном количестве эссенциальных ЖК в теле молоди говорит их физиологическая полноценность, определенная по гематологическим и биохимическим показателям, а также показателям роста и выживаемости, которые укладываются в норму.

На подобную особенность личинок сиговых ранее обратил внимание С. А. Головачев (ГосНИОРХ) [4], который отметил, что близкородственная муксуну ранняя молодь чира *S. nasus* обладает способностью к элонгации и десатурации короткоцепочных незаменимых жирных кислот до кислот с 20–22 атомами углерода. Также автор предположил, что в искусственные корма для сиговых

можно вводить жирные кислоты с любой длиной цепи, при этом соблюдая баланс n-3/n-6, что подтверждено и нашими исследованиями, в которых полноценная молодь муксуна была выращена на искусственной диете, бедной, как принято считать, основными эссенциальными кислотами. При этом баланс n-3/n-6 в корме был сильно смещен в сторону n-6, индекс отношения составил 0,04.

Интересным в наших исследованиях представляется тот факт, что молодь муксуна, получавшая корма с очень низким содержанием n-3 (1 %), по итогам выращивания имела бóльшие значения АЛК и ДГК, чем молодь в контроле. Вероятно, отсутствие ПНЖК в корме может стимулировать их преобразование в организме личинок сиговых видов рыб из менее функциональных жирных кислот, что требует дополнительных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительные результаты исследования по выращиванию личинок муксуна с начала питания до 130 мг на экспериментальных стартовых кормах с продуктами микробиосинтеза указывают на возможность культивирования этого вида на диетах, в которых частично или полностью рыбная мука и рыбий жир были заменены на компоненты растительного происхождения. Выращенная на таких кормах молодь по рыбоводным (рост и выживаемость), морфофизиологическим, биохимическим и гематологическим показателям не уступает одновозрастной молодежи, получавшей контрольный корм, содержащий в своем составе компоненты из переработанной рыбы (жир и муку).

Анализ жирнокислотного состава корма и выращенной на нем молодежи говорит о возможности личинок муксуна к преобразованию незаменимых высоконенасыщенных жирных кислот из менее длинноцепочных в количестве, достаточном для удовлетворения собственных потребностей.

ВЫВОДЫ

1. Частичная и полная замена традиционных кормовых компонентов – рыбной муки и рыбьего жира в стартовых искусственных кормах – в присутствии бактериальной биомассы не ухудшает рыбоводные и физиологические показатели молодежи сиговых, подрощенной от начала питания личинок до 130 мг.

2. Замена 1/2 доли рыбной муки на концентрат соевого белка в стартовом корме благоприятно влияет на содержание витамина С в теле муксуна, повышая его концентрацию на 23 %, и жирнокислотный статус личинок, увеличивая содержание в общих липидах молодежи α -линоленовой, арахидоновой и докозагексаеновой кислот, причем последней – в 1,6 раз больше, чем в контроле.

3. Молодь, получавшая корм с очень низким уровнем n-3 (около 1 %), продемонстрировала в конце эксперимента относительно высокие значения предельноненасыщенных жирных кислот, что указывает на способность личинок сиговых к их преобразованию из менее длинноцепочных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Остроумова, И. Н. Биологические основы кормления рыб / И. Н. Остроумова. – Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2012. – 564 с.

2. Kanazawa, A. Essential phospholipids of fish and crustaceans / A. Kanazawa // *Fish Nutrition in Practice IV In-tern. Symp. on Fish Nutrition and Feeding*. Biarritz (France), June 1991. – Ed. INRA. Paris, 1993. – P. 519–530.
3. Sargent, J. R. The lipids / J. R. Sargent, R. J. Henderson, D. R. Tocher // In: Halver, J. Ed., *Fish Nutrition*, 2nd edn. – Academic Press, NY, – 1989. – P. 153–218.
4. Головачев, С. А. Повышение эффективности выращивания личинок сиговых рыб путем улучшения жирнокислотного состава стартовых кормов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Головачев Сергей Александрович; ГосНИОРХ. – Ленинград, 1987. – 21 с.
5. Костюничев, В. В. Роль маточных стад в искусственном воспроизводстве ценных промысловых рыб / В. В. Костюничев, В. А. Богданова, А. Е. Королев // *Современное состояние и перспективы развития аквакультуры: II Всероссийская научная конференция с международным участием (Санкт-Петербург, 2–4 апреля 2018 г.): материалы докладов*. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 554–558.
6. Сборник методических рекомендаций по индустриальному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры / под ред. А. К. Шумиловой. – Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2012. – 289 с.
7. Остроумова, И. Н. Включение в стартовые корма для сиговых рыб (Coregonidae) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов / И. Н. Остроумова, В. В. Костюничев, А. А. Лютиков, В. А. Богданова // *Вопросы рыболовства*. – 2018. – Т. 19, № 1. – С. 82–98.
8. Винберг, Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб / Г. Г. Винберг. – Минск: Белорусский гос. ун-т, 1956. – 251 с.
9. Folch, J. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues / J. Folch, M. Lees, G. H. Sloane-Stanley // *J. Biol. Chem.* – 1957. – № 226 (1), P. 497–509.
10. Князева, Л. М. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С / Л. М. Князева. – Ленинград: ГосНИОРХ, 1979. – 12 с.
11. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте) / А. Д. Житенева, Е. В. Макаров, О. А. Рудницкая, А. В. Мирзоян. – Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2012. – 320 с.
12. Лютиков, А. А. К методике использования живых кормов при выращивании личинок нельмы *Stenodus leucichthys nelma* (Salmoniformes: Coregonidae) / А. А. Лютиков // *Вопр. рыболовства*. – 2016. – Т. 17, № 3. – С. 324–334.
13. Остроумова, И. Н. Изменение содержания витамина С, А и Е в рыбных кормах с БВК при хранении их в разных условиях / И. Н. Остроумова, М. В. Лукошкина, А. В. Козьмина // *Сб. науч. трудов ГосНИОРХ*. – 1991. – Вып. 306. – С. 14–26.

REFERENCES

1. Ostroumova I. N. *Biologicheskie osnovy kormleniya ryb* [Biological underpinnings of feeding fish]. Saint-Petersburg, GosNIORKH Publ., 2012, 564 p.
2. Kanazawa A. Essential phospholipids of fish and crustaceans. *Fish Nutrition in Practice IV In-tern. Symp. on Fish Nutrition and Feeding*. Biarritz (France), June 1991. Ed. INRA. Paris, 1993, pp. 519–530.

3. Sargent J. R., Henderson R. J., Tocher D. R. The lipids. In: Halver, J. Ed., *Fish Nutrition, 2nd edn.* Academic Press, NY, 1989, pp. 153–218.
4. Golovachev S. A. *Povyshenie effektivnosti vyrashchivaniya lichinok sigovykh ryb putem uluchsheniya zhirnokislotnogo sostava startovykh kormov: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Increasing the efficiency of growing whitefish larvae by improving the fatty acid composition of starter feeds. Abstract of dis. PhD. sci]. Leningrad, 1987, 21 p.
5. Kostyunichev V. V., Bogdanova V. A., Korolev A. E. Rol' matochnykh stad v iskusstvennom vosproizvodstve tsennykh promyslovykh ryb [The role of broodstock in the artificial reproduction of valuable commercial fish]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya akvakul'tury: materialy dokladov II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [The current state and prospects for the development of aquaculture: proceedings of the II All-Russian scientific conference with international participation]. Saint-Petersburg, 2018, pp. 554–558.
6. *Sbornik metodicheskikh rekomendatsiy po industrial'nomu vyrashchivaniyu sigovykh ryb dlya tseley vosproizvodstva i tovarnoy akvakul'tury* [Collection of guidelines for the industrial cultivation of whitefish for reproduction and commercial aquaculture]. Shumilina A. K. Ed. Saint-Petersburg, GosNIORKH Publ., 2012, 289 p.
7. Ostroumova I. N., Kostyunichev V. V., Lyutikov A. A., Bogdanova V. A., Shumilina A. K., Danilova T. P., Filatova T. A. Vklyuchenie v startovye korma dlya sigovykh ryb (Soregonidae) bakterial'noy biomassy i belkovykh gidrolizатов [Inclusion of bacterial biomass and protein hydrolysates in the starter feed for whitefish (Coregonidae)]. *Voprosy rybolovstva*, 2018, vol. 19, iss. 1, pp. 82–98.
8. Vinberg G. G. *Intensivnost' obmena i pishchevye potrebnosti ryb* [Metabolic intensity and nutritional needs of fish]. Minsk, Belorusskiy Gos. Univ., 1956, 251 p.
9. Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, vol. 226, iss. 1, pp. 497–509.
10. Knyazeva L. M. *Rekomendatsii po uvelicheniyu srokov khraneniya granulirovannogo korma dlya molodi foreli putem opryskivaniya ego vodnym rastvorom vitamina C* [Recommendations for increasing the shelf life of pelleted feed for juvenile trout by spraying it with an aqueous solution of vitamin C]. Saint-Petersburg, GosNIORKH Publ., 1979, 12 p.
11. Zhiteneva A. D., Makarov E. V., Rudnitskaya O. A., Mirzoyan A. V. *Osnovy ikhtiogematologii (v sravnitel'nom aspekte)* [Fundamentals of ichthyogematology (in a comparative aspect)]. Rostov-on-Don, AzNIIRKH, 2012, 320 p.
12. Lyutikov A. A. K metodike ispol'zovaniya zhivykh kormov pri vyrashchivaniy lichinok nel'my *Stenodus leucichthys nelma* (Salmoniformes: Coregonidae) [On the method of using live feed when growing nelma larvae *Stenodus leucichthys nelma* (Salmoniformes: Coregonidae)]. *Voprosy rybolovstva*, 2016, vol. 17, iss. 3, pp. 324–334.
13. Ostroumova I. N., Lukoshkina M. V., Koz'mina A. V. Izmenenie sodержaniya vitamina C, A i E v rybnykh kormakh s BVK pri khraneni i kh v raznykh usloviyakh [Changes in the content of vitamin C, A and E in fish feed with BVA during storage under different conditions]. *Sb. nauch. trudov GosNIORKH*, 1991, iss. 306, pp. 14–26.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лютиков Анатолий Анатольевич – Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга); кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории аквакультуры; E-mail: tokmo@mail.ru

Lyutikov Anatoliy Anatolievich – SPb Filial agency of FSBSI «VNIRO» (L. S. Berg «GosNIORH»); Ph.D in Biology; Senior Researcher of the laboratory of aquaculture; E-mail: tokmo@mail.ru

Шумилина Алла Константиновна – Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга); кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории аквакультуры; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

Shumilina Alla Konstantinovna – SPb Filial agency of FSBSI «VNIRO» (L. S. Berg «GosNIORH»); Ph.D in Biology; Leading Researcher of the laboratory of aquaculture; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

Вылка Максим Михайлович – Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л. С. Берга); ведущий специалист лаборатории аквакультуры; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

Vylka Maksim Mikhaylovich – SPb Filial agency of FSBSI «VNIRO» (L. S. Berg «GosNIORH»); Leading Specialist of the laboratory of aquaculture; E-mail: aqualab2007@yandex.ru

УДК 528.854

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-44-54

УТОЧНЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ГОРЬКОВСКОГО И ЧЕБОКСАРСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Л. М. Минина, А. Е. Минин

REFINING THE AREAS OF THE GORKY AND CHEBOKSARY
RESERVOIRS BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA

L. M. Minina, A. E. Minin

Оценка численности, состояния запасов, а также разработка общего допустимого улова и рекомендованного вылова водных биологических ресурсов требуют знания точных значений площадей акватории изучаемых водоемов. Наше исследование посвящено Горьковскому и Чебоксарскому водохранилищам, расположенным на р. Волге. Его цель – уточнение площадей этих водохранилищ с использованием спутниковых снимков. По результатам дешифрирования данных дистанционного зондирования со спутников Landsat за период с 1997 по 2020 гг. и оцифровки границ водохранилищ установлены 23 варианта площади Горьковского и 28 – Чебоксарского при разных уровнях воды. На основе проведенных измерений получены формулы зависимости площадей Горьковского и Чебоксарского водохранилищ от уровня воды в них, дающие возможность определять площадь данных водных объектов по известному уровню воды (коэффициент детерминации – 0,79 для Горьковского и 0,96 – для Чебоксарского). По расчетам, площадь Горьковского водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) (84 м) – 144,8 тыс. га, Чебоксарского при НПУ (63 м) – 102,1 тыс. га, а участка р. Оки, находящегося в зоне выклинивания подпора Чебоксарской ГЭС, – около 2,5 тыс. га. Выявлено, что площадь акватории Чебоксарского водохранилища характеризуется большей изменчивостью в зависимости от уровня воды, чем Горьковского, что связано, вероятно, с высоким коэффициентом водообмена Чебоксарского водохранилища. Проанализирована сезонная динамика площадей изучаемых водохранилищ. Уточнение площадей Горьковского и Чебоксарского водохранилищ с помощью геоинформационных систем дало возможность проведения более точной оценки численности водных биоресурсов и разработки корректных рекомендаций по их вылову в данных водоемах.

Горьковское водохранилище, Чебоксарское водохранилище, площадь водохранилища, сезонная динамика площадей, данные дистанционного зондирования Земли, космические снимки

Estimation of the abundance, state of stocks, as well as the development of the total allowable catch and the recommended catch of aquatic biological resources requires knowledge of the exact values of the water area of the studied water bodies. This

study is devoted to the Gorky and Cheboksary reservoirs, located on the Volga river. The purpose of the study is to clarify the areas of these reservoirs using satellite images. Based on the results of decoding satellite images from Landsat satellites for the period from 1997 to 2020 and digitizing the boundaries of the reservoirs, 23 variants of the Gorky area and 28 variants of the area of the Cheboksary reservoir were established at different water levels. Based on these measurements, formulas have been obtained for the dependence of the areas of the Gorky and Cheboksary reservoirs on the water level in them, which make it possible to determine the area of these water bodies by the known water level (the coefficient of determination is 0,79 for the Gorky reservoir, 0,96- for the Cheboksary reservoir). According to calculations, the area of the Gorky reservoir at a normal headwater level (84 m) is 144,8 thousand hectares, the Cheboksary reservoir at the normal headwater level (63 m) – 102,1 thousand hectares, the area of the Oka river, located in the zone of wedging out of the backwater of the Cheboksary hydroelectric power station – about 2,5 thousand hectares. It was revealed that the area of the water area of the Cheboksary reservoir is characterized by greater variability depending on the water level than that of the Gorky reservoir, which is probably due to the high coefficient of water exchange of the Cheboksary reservoir. The seasonal dynamics of the areas of the studied reservoirs is analyzed. Clarification of the areas of the Gorky and Cheboksary reservoirs using geoinformation systems made it possible to conduct a more accurate assessment of the number of aquatic biological resources and develop correct recommendations for forecasting catches in these reservoirs.

Gorky reservoir, Cheboksary reservoir, reservoir area, seasonal dynamics of areas, Earth remote sensing data, satellite images

ВВЕДЕНИЕ

В зоне ответственности Нижегородского филиала ФГБНУ «ВНИРО» находятся водоемы Ярославской, Костромской, Ивановской, Нижегородской областей, республик Марий Эл и Чувашия, крупнейшие из которых – Горьковское и Чебоксарское водохранилища. Корректное определение площадей этих водоемов имеет важнейшее значение для оценки численности, состояния запасов, а также разработки общего допустимого улова и рекомендованного вылова водных биологических ресурсов [1, 2].

Ранее площади этих водохранилищ принимались в соответствии с литературными данными: по Горьковскому – из материалов Г. П. Кожевникова [3], Чебоксарскому – из отчета Нижегородской лаборатории ГосНИОРХ [4]. Наши предварительные оценки площадей водохранилищ [1, 5] значительно отличались от литературных данных 30–50-летней давности. Учитывая возможности современных технологий, в частности географических информационных систем (ГИС), целесообразно уточнить эти площади. ГИС – компьютерная технология для картографирования и анализа объектов реального мира [6], используемая в том числе для определения гидрографических характеристик водных объектов [7–16]. В частности, ГИС была применена для уточнения морфометрических характеристик водохранилищ Волжско-Камского каскада [16], при этом использовалась технология, основанная на составлении цифровых моделей рельефа. Вместе с тем параметры внутриконтинентальных водных объектов недостаточно изучены с помощью методов анализа данных дистанционного зондирования Земли из космоса [14].

Целью данной работы явилось уточнение площадей Горьковского и Чебоксарского водохранилищ на базе спутниковых снимков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами послужили космические снимки со спутников Landsat 5, Landsat 7 и Landsat 8 из каталога данных Геологической службы США (USGS Global Visualization Viewer, 2019) на акваторию Горьковского и Чебоксарского водохранилищ за период с 1997 по 2020 гг. Космические снимки Landsat из указанного источника являются свободно распространяемыми мультиспектральными изображениями со средним разрешением каналов видимого спектра (30 м/пиксель).

Проанализированы данные дистанционного зондирования с апреля по сентябрь каждого года. Для определения площадей использованы космические снимки, сделанные в безоблачную или малооблачную погоду.

Акватория Горьковского водохранилища целиком отображается тремя либо четырьмя сценами космических снимков Landsat, в связи с чем анализировались комплекты из трех-четырех снимков за близкие даты (с разницей в 2–6 сут). При этом уровень воды в дни создания каждого комплекта отличался не более чем на 4 см (1–4 см). Исключение составили космические снимки за многоводный 2005, а также за 2008 г., когда в период максимального уровня воды не было получено достаточного количества изображений со спутников Landsat в безоблачную или малооблачную погоду. В связи с необходимостью определения площади водохранилища при высоких уровнях воды использовали серии снимков за 2005 г., отличающихся по времени создания на 18 сут (разница уровней воды – 3 см), и за 2008 г. с отличием по времени 14 сут (различия уровней воды – 4 см).

Полное покрытие акватории Чебоксарского водохранилища обеспечивается двумя сценами космических снимков Landsat, в связи с этим подбирались пары снимков, которые отличаются по времени выполнения на 1–2 сут, с одинаковым уровнем воды либо различающимся не более чем на 4 см. В качестве исключения использовали снимки за многоводные 1997 и 1998 гг. со значительно отличающимися уровнями во время их создания. Примененные снимки за 1997 г. выполнены с разницей в двое суток, но с отличием уровней в 10 см. Значение уровней воды для этой пары приняли по дате снимка, которым охвачена большая часть акватории (90 %). Отличие уровней воды между двумя снимками за 1998 г. – 16 см (разница во времени создания – двое суток). Значение уровней воды также взяли по дате снимка, обеспечивающего покрытие большей части водохранилища (92 %).

Определение площадей проведено на основе 23 комплектов космических снимков со спутников Landsat на акваторию Горьковского водохранилища за 2004–2011, 2014–2016, 2018–2020 гг., из них один комплект за апрель, шесть – за май, пять – за июнь, три – за июль, четыре – за август, четыре – за сентябрь. По Чебоксарскому водохранилищу использовано 28 пар снимков за 1997–1999, 2002, 2005–2007, 2009–2011, 2013, 2014, 2018 и 2019 гг., из них одна пара за апрель, пять – за май, три – за июнь, девять – за июль, восемь – за август, две – за сентябрь.

Береговые линии водных объектов оцифровывались вручную по космическим снимкам Landsat с помощью геоинформационных систем. Чебоксарское водохранилище рассматривали без включения участка р. Оки, находящегося в зоне выклинивания подпора Чебоксарской ГЭС.

Для исследованных водохранилищ были определены площади при разных уровнях воды в них. Данные по уровням в дни создания каждого космического

снимка на гидрологических постах Просек (Чебоксарское водохранилище) и Сокольское (Горьковское водохранилище) получены из архива, размещенного на ГИС-портале Центра регистра и кадастра (<http://gis.vodinfo.ru>). При отличии уровней воды в даты создания космических снимков одного комплекта проводилось усреднение их значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам обработки и дешифрирования космических снимков Landsat определены 23 варианта площади Горьковского и 28 – Чебоксарского водохранилищ при различных уровнях воды (таблица, рис. 1, 2).

Полученные наборы значений площадей обоих водохранилищ не подчиняются закону нормального распределения (при использовании критерия Шапиро–Уилка для Горьковского водохранилища $p=0,00057$, для Чебоксарского – $p=0,00000$).

Таблица. Площади Горьковского и Чебоксарского водохранилищ по разным источникам

Table. Areas of the Gorky and Cheboksary reservoirs according to different sources

Водохранилище	Площадь, тыс. га						
	по литературным данным	по нашим данным					
		n	медиана	25-й процентиль	75-й процентиль	минимум	максимум
Горьковское	161 [3]	23	143,992	143,489	144,262	139,423	146,689
Чебоксарское	121 [4]	28	106,985	106,228	107,808	104,656	132,605

Необходимо отметить, что значения минимума и максимума площадей водохранилищ получены по имеющимся в наличии космическим снимкам, поэтому площади при наименьшем и наибольшем уровнях воды могут отличаться от этих данных.

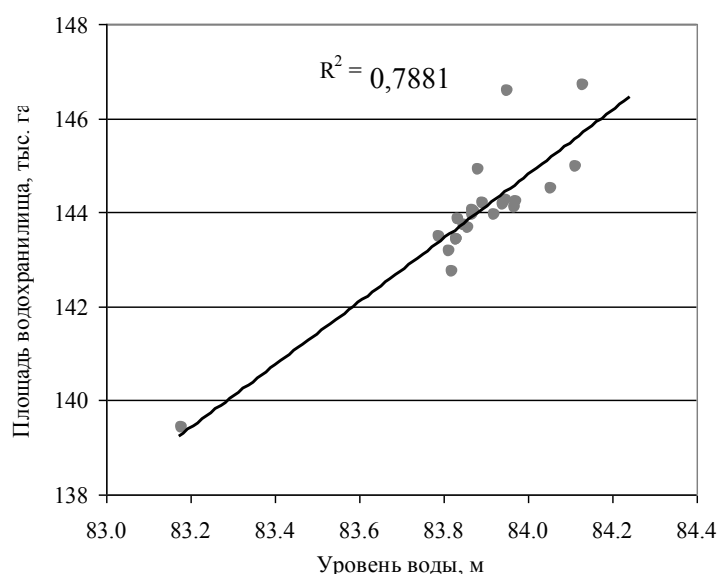


Рис. 1. Зависимость площади Горьковского водохранилища от уровня воды (n=23)
Fig.1. Dependence of the area of the Gorky reservoir on the water level (n=23)

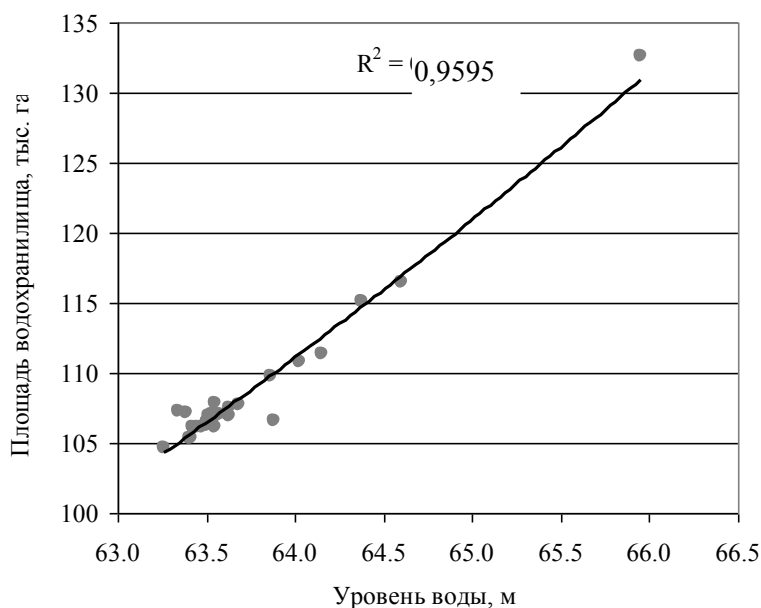


Рис. 2. Зависимость площади Чебоксарского водохранилища от уровня воды (n=28)

Fig. 2. Dependence of the area of the Cheboksary reservoir on the water level (n=28)

Полученные формулы зависимости площади водохранилищ от уровня воды (1, 2) позволяют с определенной степенью достоверности (коэффициент детерминации – 0,79 для Горьковского водохранилища и 0,96 – для Чебоксарского) прогнозировать ее, исходя из известного уровня.

$$y_1 = 0.0000000148 * x_2^{5.468}, \quad (1)$$

где y_1 – площадь акватории Горьковского водохранилища, x_2 – уровень воды в водохранилище.

$$y_2 = 0.0000035462 * x_2^{3.955}, \quad (2)$$

где y_2 – площадь акватории Чебоксарского водохранилища, x_2 – уровень воды в водохранилище.

При нормальном подпорном уровне (НПУ) Горьковского водохранилища (84 м) его площадь, по нашим расчетам, составляет 144,796 тыс. га, Чебоксарского (63 м) – 102,122 тыс. га. Полученные данные по Горьковскому водохранилищу при НПУ близки к таковым, вычисленным В. М. Красильниковым и И. С. Соболев [16] на базе цифровых моделей рельефа (149,756 тыс. га).

Согласно данным из письма ФГБУ «Верхне-Волжское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» р. Ока на участке от устья до г. Дзержинска находится в зоне выклинивания подпора Чебоксарской ГЭС при НПУ 63,00 м Балтийской системы (БС), т. е. является частью Чебоксарского водохранилища. В настоящей работе не было задачи уточнения площади этого участка р. Оки. Приведем лишь его площадь, измеренную по космическому снимку Landsat 8 от 18 мая 2019 г. при уровне воды на гидропосту Просек 63,56 м: она равна 2,537 тыс. га.

В зависимости от уровня воды площадь акватории Чебоксарского водохранилища меняется в более значительных пределах (разница между установленными минимумом и максимумом – 21 %, в абсолютных показателях – 28,0 тыс. га), чем Горьковского (соответственно 5 % и 7,3 тыс. га). Такое различие, на наш взгляд, объясняется тем, что в Горьковском водохранилище амплитуда колебаний уровня воды незначительна в сравнении с Чебоксарским, обладающим большей проточностью. Отличительной особенностью Чебоксарского водохранилища является высокий коэффициент водообмена [17].

Установлены площади Горьковского и Чебоксарского водохранилищ в различные сезоны (рис. 3, 4).

Для обоих водохранилищ максимальная площадь отмечена в мае, а минимальная Горьковского – в сентябре, Чебоксарского – в июле. Наибольший разброс значений площади Горьковского водохранилища зафиксирован в сентябре, Чебоксарского – в мае.

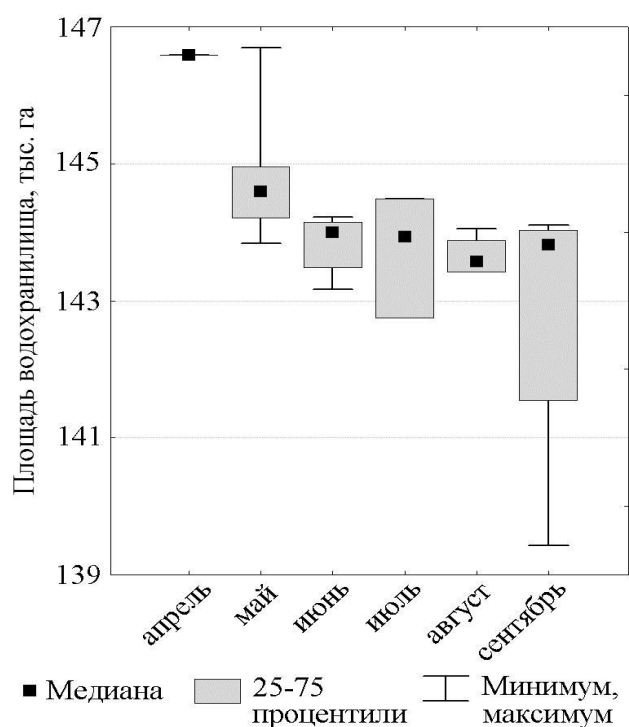


Рис. 3. Сезонная динамика площади Горьковского водохранилища по многолетним данным (n=23)

Fig. 3. Seasonal dynamics of the area of the Gorky reservoir according to long-term data (n=23)

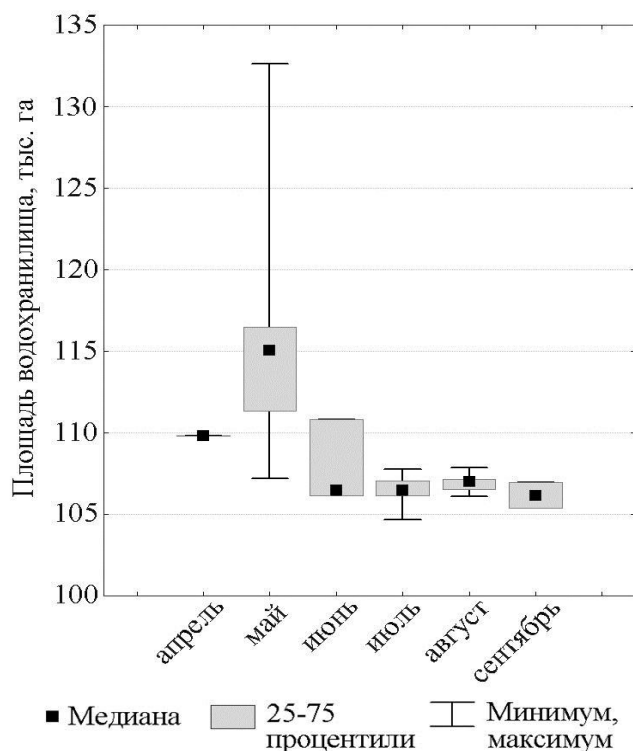


Рис. 4. Сезонная динамика площади Чебоксарского водохранилища по многолетним данным (n=28)
 Fig. 4. Seasonal dynamics of the area of the Cheboksary reservoir according to long-term data (n=28)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Площади Горьковского и Чебоксарского водохранилищ находятся, вероятно, в степенной зависимости от уровня воды. Полученные формулы позволяют вычислять их при заданном уровне (коэффициент детерминации для Горьковского водохранилища – 0,79, Чебоксарского – 0,96).

Площадь Горьковского водохранилища при НПУ (84 м), по нашим расчетам, составляет 144,796 тыс. га, Чебоксарского – при НПУ (63 м) без участка р. Оки, находящегося в зоне выклинивания подпора Чебоксарской ГЭС, – 102,122 тыс. га (площадь данного участка р. Оки – около 2,5 тыс. га).

Установлено, что в зависимости от уровня воды площадь акватории Чебоксарского водохранилища меняется в более значительных пределах, чем Горьковского, что объясняется, по-видимому, высоким коэффициентом водообмена Чебоксарского водохранилища.

В результате уточнения площадей водохранилищ ГИС-методами получена возможность проведения более точной оценки численности водных биоресурсов и разработки корректных рекомендаций по их вылову.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Материалы, обосновывающие общий допустимый улов водных биологических ресурсов в Горьковском водохранилище и водных объектах, располо-

женных в границах Ярославской, Костромской, Ивановской и Нижегородской областей на 2019 год (с оценкой воздействия на окружающую среду): отчет о НИР (заключ.) / Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; рук. Минин А. Е.; исполн.: Постнов Д. И. [и др.]. – Нижний Новгород, 2018. – 150 с. Библиогр.: с. 132–136. – Инв. № 8651.

2. Материалы, обосновывающие общий допустимый улов водных биологических ресурсов в Чебоксарском водохранилище и водных объектах, расположенных в границах Нижегородской области, Республики Марий Эл и Чувашской Республики на 2019 год (с оценкой воздействия на окружающую среду): отчет о НИР (заключ.) / Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; рук. Минин А. Е.; исполн.: Постнов Д. И. [и др.]. – Нижний Новгород, 2018. – 128 с. Библиогр.: с. 111–115. – Инв. № 8650.

3. Кожевников, Г. П. Горьковское водохранилище как среда обитания рыб / Г. П. Кожевников // Изв. ГосНИОРХ. – 1965. – Т. 59. – С. 7–18.

4. Перспективы рыбохозяйственного использования Чебоксарского водохранилища на современном этапе наполнения (63 м) и эколого-биологическое обоснование снижения рыбопродуктивности водоема при дальнейшем повышении уровня: отчет о НИР (заключ.) / Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; рук. Лысенко Н. Ф.; исполн.: Ненашев Г. А. [и др.]. – Нижний Новгород, 1993. – 87 с. Библиогр.: с. 77–87. – Инв. № 8292.

5. Исследовать современное состояние и географическое расположение нерестилищ основных промысловых рыб Чебоксарского водохранилища: отчет о НИР (заключ.) / Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; рук. Минин А. Е.; исполн.: Постнов Д. И. [и др.]. – Нижний Новгород, 2012. – 24 с. Библиогр.: с. 24. – Инв. № 8635.

6. ДеМерс, М. Н. Географические информационные системы. Основы / М. Н. ДеМерс: пер. с англ. – Москва: Дата+, 1999. – 491 с.

7. Красильников, В. М. Верификация гидродинамической модели участка реки Волги с применением материалов дистанционного зондирования Земли из космоса / В. М. Красильников, А. М. Тарарин // Приволжский научный журнал. – 2008. – № 4. – С. 94–98.

8. Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфологических характеристик водных объектов / И. В. Землянов, О. В. Горелиц, А. Е. Павловский, Е. Ю. Шikuнова // Исследование океанов и морей: тр. Государственного океанографического института. – Москва: ФГУ ГОИН, 2009. – № 212. – С. 258–269.

9. Калинин, В. Г. Применение геоинформационных технологий в гидрологических исследованиях: монография / В. Г. Калинин, С. В. Пьянков. – Пермь: ООО «Алекс-Пресс», 2010. – 217 с.

10. Магомедова, А. В. Геоинформационное моделирование водных объектов на примере Чограйского водохранилища / А. В. Магомедова, З. А. Курбанова, М. К. Гаджиев // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2013. – Т. 3. – С. 656–660 [Электронный ресурс]. – URL: <http://e-koncept.ru/2013/53133.htm> (дата обращения 26.10.2020).

11. Геоинформационное обеспечение для решения гидрологических задач / А. Т. Зиновьев, О. В. Ловцкая, Н. А. Балдаков, А. В. Дьяченко // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19. – № 3. – С. 14–26.

12. Автоматизированный мониторинг площадей акваторий озер и водохранилищ по спутниковым данным / А. А. Донцов, И. А. Пестунов, С. А. Рылов, И. А. Суторихин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 4. – № 2. – С. 38–45.
13. Преснякова, А. Н. Исследование динамики затопления территории Волго-Ахтубинской поймы по данным космического мониторинга / А. Н. Преснякова, А. В. Писарев, С. В. Храпов // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 1, Мат. Физ. – 2017. – № 1 (38). – С. 66–74.
14. Донцов, А. А. Геоинформационная система регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А. А. Донцов, И. А. Суторихин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – № 4. – Т. 1. – С. 74–80.
15. Рылов, С. А. Определение площадей озер по данным со спутников серии Sentinel-2 / С. А. Рылов, И. А. Пестунов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2019. – Т. 12. – № 5. – С. 526–535.
16. Красильников, В. М. Уточнение морфометрических параметров водохранилищ на базе цифровых моделей рельефа / В. М. Красильников, И. С. Соболев // Вестник МГСУ. – 2012. – № 10. – С. 272–280.
17. Литвинов, А. С. Энерго- и массообмен в водохранилищах Волжского каскада / А. С. Литвинов. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2000. – 83 с.

REFERENCES

1. *Materialy, obosnovyuyushchie obshchiy dopustimyy ulov vodnykh biologicheskikh resursov v Gor'kovskom vodokhranilishche i vodnykh ob'ektakh, raspolozhennykh v granitsakh Yaroslavskoy, Kostromskoy, Ivanovskoy i Nizhegorodskoy oblastey na 2019 god (s otsenkoy vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu): otchet o NIR (zaklyuch.)* [Materials substantiating the total allowable catch of aquatic biological resources in the Gorky reservoir and water bodies located within the boundaries of the Yaroslavl, Kostroma, Ivanovo and Nizhny Novgorod regions for 2019 (with an environmental impact assessment): research report (concluding)]. Ruk. Minin A. E.; ispoln. Postnov D. I. [and etc.]. Nizhniy Novgorod, Nizhegorodskiy filial FGBNU "VNIRO", 2018, 150 p. Bibliography: pp. 132–136. Inv. № 8651.
2. *Materialy, obosnovyuyushchie obshchiy dopustimyy ulov vodnykh biologicheskikh resursov v Cheboksarskom vodokhranilishche i vodnykh ob'ektakh, raspolozhennykh v granitsakh Nizhegorodskoy oblasti, Respubliki Mariy El i Chuvashskoy Respubliki na 2019 god (s otsenkoy vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu): otchet o NIR (zaklyuch.)* [Materials substantiating the total allowable catch of aquatic biological resources in the Cheboksary reservoir and water bodies located within the boundaries of the Nizhny Novgorod region, the Republic of Mari El and the Chuvash Republic for 2019 (with an environmental impact assessment): research report (concluding)]. Ruk. Minin A. E.; ispoln. Postnov D. I. [and etc.]. Nizhniy Novgorod, Nizhegorodskiy filial FGBNU "VNIRO", 2018, 128 p. Bibliography: pp. 111–115. Inv. № 8650.
3. Kozhevnikov G. P. Gor'kovskoe vodokhranilishche kak sreda obitaniya ryb [Gorky reservoir as a habitat for fish]. *Izvestiya GosNIORKH*, 1965, vol. 59, pp. 7–18.
4. *Perspektivy rybokhozyaystvennogo ispol'zovaniya Cheboksarskogo vodokhranilishcha na sovremennoy etape napolneniya (63 m) i ekologo-biologicheskoy obosnovaniya snizheniya ryboproduktivnosti vodoema pri dal'neyshem povyshenii urovnya: otchet o NIR (zaklyuch.)* [Prospects for the fishery use of the Cheboksary reservoir

at the current stage of filling (63 m) and ecological and biological substantiation of a decrease in the fish productivity of the reservoir with a further increase in the level: research report (concluding)]. Ruk. Lysenko N. F.; ispoln. Nenashev G. A. [and etc.]. Nizhniy Novgorod, Nizhegorodskiy filial FGBNU "VNIRO", 1993, 87 p. Bibliography: pp. 77–87. Inv. № 8292.

5. *Issledovat' sovremennoe sostoyanie i geograficheskoe raspolozhenie neres-tilishch osnovnykh promyslovykh ryb Cheboksarskogo vodokhranilishcha: otchet o NIR (zaklyuch.)* [Investigate the current state and geographical location of the spawning grounds of the main commercial fish of the Cheboksary reservoir: research report (concluding)]. Ruk. Minin A. E.; ispoln. Postnov D. I. [and etc.]. Nizhniy Novgorod, Nizhegorodskiy filial FGBNU "VNIRO", 2012, 24 p. Bibliography: pp. 24. Inv. № 8635.

6. DeMers M. N. *Fundamentals of Geographic Information Systems*. Hoboken, NJ: Wiley, 1999. 504 p. (Russ. Ed.: DeMers M. N. *Geograficheskie informatsionnye sistemy. Osnovy*. Moscow, Data+, 1999. 491 p.).

7. Krasil'nikov V. M., Tararin A. M. Verifikatsiya gidrodinamicheskoy modeli uchastka reki Volgi s primeneniem materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Verification of the hydrodynamic model of a section of the Volga river using materials of remote sensing of Earth remote sensing data from space]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*, 2008, no. 4, pp. 94–98.

8. Zemlyanov I. V., Gorelits O. V., Pavlovskiy A. E., Shikunova E. Yu. Ispol'zovanie geoinformatsionnykh tekhnologiy dlya otsenki sovremennykh morfologicheskikh kharakteristik vodnykh ob'ektov [Using geoinformation technologies to assess modern morphological characteristics of water bodies]. *Issledovanie okeanov i morey: tr. Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta*, 2009, no. 212, pp. 258–269.

9. Kalinin V. G., P'yankov S. V. *Primenenie geoinformatsionnykh tekhnologiy v gidrologicheskikh issledovaniyakh* [Application of geoinformation technologies in hydrological research]. Perm', OOO "Aleks-Press", 2010, 217 p.

10. Magomedova A. V., Kurbanova Z. A., Gadzhiev M. K. Geoinformatsionnoe modelirovanie vodnykh ob'ektov na primere Chograyskogo vodokhranilishcha [Geoinformation modeling of water bodies on the example of the Chogray reservoir]. *Kontsept: nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal*, 2013. vol. 3, pp. 656–660, available at: <http://e-koncept.ru/2013/53133.htm> (Accessed 26 October 2020).

11. Zinov'ev A. T., Lovtskaya O. V., Baldakov N. A., D'yachenko A. V. Geoinformatsionnoe obespechenie dlya resheniya gidrologicheskikh zadach [Geoinformation support for solving hydrological problems]. *Vychislitel'nye tekhnologii*, 2014, vol. 19, no. 3, pp. 14–26.

12. Dontsov A. A., Pestunov I. A., Rylov S. A., Sutorikhin I. A. Avtomatizirovanny monitoring ploshchadey akvatoriy ozer i vodokhranilishch po sputnikovym dannym [Automated monitoring of the water areas of lakes and reservoirs using satellite data]. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2017, vol. 4, no. 2, pp. 38–45.

13. Presnyakova A. N., Pisarev A. V., Khrapov S. V. Issledovanie dinamiki zaplaveniya territorii Volgo-Akhtubinskoy poymy po dannym kosmicheskogo monitoringa [Investigation of the dynamics of flooding of the territory of the Volga-Akhtubinskaya floodplain according to space monitoring data]. *Vestn. Volgogr. gos. un-ta*, Seriya 1, Mat. Fiz., 2017, no. 1 (38), pp. 66–74.

14. Dontsov A. A., Sutorikhin I. A. Geoinformatsionnaya sistema registratsii gidrologicheskikh parametrov vnukontinental'nykh vodnykh ob'ektov [Geoinfor-

mation system for registration of hydrological parameters of inland water bodies]. *Interespo Geo-Sibir'*, 2018, no. 4, vol. 1, pp. 74–80.

15. Rylov S. A., Pestunov I. A. Opredelenie ploshchadey ozer po dannym so sputnikov serii Sentinel-2 [Determination of lake areas using data from satellites of the Sentinel-2 series]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2019, vol. 12, no. 5, pp. 526–535.

16. Krasil'nikov V. M. Sobol' I. S. Utochnenie morfometricheskikh parametrov vodokhranilishch na baze tsifrovyykh modeley rel'efa [Refinement of the morphometric parameters of reservoirs based on digital elevation models]. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 10, pp. 272–280.

17. Litvinov A. S. *Energo- i massoobmen v vodokhranilishchakh Volzhskogo kaskada* [Energy and mass transfer in the reservoirs of the Volga cascade]. Yaroslavl', YAGTU, 2000, 83 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Минина Людмила Михайловна – Нижегородский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии; специалист; E-mail: lminina@yandex.ru

Minina Lyudmila Mikhailovna – Nizhny Novgorod Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; Specialist; E-mail: lminina@yandex.ru

Минин Александр Евгеньевич – Нижегородский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии; кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник; E-mail: aeminin@mail.ru

Minin Aleksandr Evgenievich – Nizhny Novgorod branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; PhD in Biology; Leading Researcher; E-mail: aeminin@mail.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.9.022

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-57-73

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ
ВОЛОКОН МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРИ РЕЗАНИИ РЫБЫ

О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF MUSCLE FIBER
DESTRUCTION DURING FISH CUTTING

O. V. Ageev, V. A. Naumov, Yu. A. Fatykhov

Показана актуальность математического моделирования режимов разрушения волокон мышечной ткани при резании рыбы. Мышечная ткань сырья описана вязкоупругой реологической моделью Максвелла-Томсона. Определены два режима разрушения волокна материала – вязкий разрыв и упругий вырыв. Вязкий разрыв обеспечивает высокое качество поверхности среза. Получен комплекс математических моделей, позволяющих рассчитать интервалы времени наступления вязкого разрыва и упругого вырыва в зависимости от структурно-реологических свойств мышечной ткани и скорости ее деформирования режущим органом рыбоперерабатывающего оборудования. Разработаны модели, описывающие режим разрушения волокон, который характеризуется внезапно возникшей постоянной деформацией материала. Результаты моделирования показывают, что при увеличении безразмерной скорости качество поверхности среза сначала повышается за счет сокращения времени вязкого разрыва, а затем, при достижении характерного значения и дальнейшем росте скорости, ухудшается вследствие наступления упругого вырыва волокон. Установлено, что к снижению качества поверхности среза приводят увеличение меры эластичности материала, рост безразмерной скорости резания, а также изменение безразмерного критерия прочности материала. Показано, что с ростом величины внезапно возникшей относительной деформации интервал времени вязкого разрыва немонотонно снижается и стремится к нулю. Определено, что с увеличением мгновенного и запаздывающего модулей упругости материала интервал времени наступления вязкого разрыва существенно сокращается. С повышением коэффициента динамической вязкости мышечной ткани вязкий разрыв наступает позже. При значениях критерия прочности, равного 3, длительного модуля упругости 63158 Н/м^2 , меры эластичности 3; 5; 8; 12 значения характерной безразмерной скорости составляют 0,095; 0,055; 0,032; 0,021, при этом показатели безразмерного интервала времени, соответствующего смене режима разрушения с вязкого разрыва на упругий вырыв, составляют 10; 20; 30; 45 соответственно.

рыба, волокно, мышечная ткань, резание, разрушение, нож, кромка, реология, вязкоупругость

The paper shows the relevance of mathematical simulation of modes of muscle fiber destruction during fish cutting. The muscle tissue of raw materials has been described by the Maxwell-Thomson viscoelastic rheological model. Two modes of the material fiber breaking have been determined – viscous laceration and elastic tear. Viscous laceration provides a high quality of cut surface. A complex of mathematical models that allow calculating the time intervals for the onset of viscous laceration and elastic tear depending on the structural and rheological properties of muscle tissue and the rate of its deformation by the cutting organ, has been obtained. Models have been developed that describe the mode of fiber destruction, which is characterized by an impact deformation of the material. The simulation results show that with an increase in the dimensionless speed, the quality of the cut surface first increases due to a reduction in the viscous laceration time, and then, when the characteristic value is reached and the further increase in the speed, the cut quality deteriorates due to the onset of elastic tear of fiber. It has been found that an increase in the measure of material elasticity, an increase in the dimensionless cutting speed, and also a change in the dimensionless criteria of material strength lead to a decrease in the quality of the cut surface. It is shown that with an increase in the magnitude of the impact relative deformation, the time interval of viscous laceration decreases nonmonotonically and tends to zero. It has been determined that with an increase in the Young's and retarded elastic modules of the material, the time interval for the onset of viscous laceration decreases significantly. With an increase in the coefficient of dynamic viscosity of muscle tissue, viscous laceration occurs later. With the values of the strength criteria equal to 3; long modulus of elasticity equal 63158 N / m²; measures of elasticity 3, 5, 8, 12, the values of the characteristic dimensionless speed are 0.095, 0.055, 0.032, 0.021, while the values of the dimensionless time interval corresponding to the change in the destruction mode from viscous laceration to elastic tear are 10, 20, 30, 45, respectively.

fish, fiber, muscle tissue, cutting, destruction, knife, edge, rheology, viscoelasticity

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное использование рыбного сырья предполагает его разделявание и филетирование с применением лезвийных рабочих органов. Наряду с энергоэффективностью и производительностью резания рыбы важнейшим показателем, характеризующим данный процесс, является качество поверхности среза. На кафедре пищевых и холодильных машин КГТУ А. А. Романовым, В. М. Боркуновым и другими учеными проведены обширные экспериментальные исследования по анализу качества поверхности рыбных продуктов, прошедших обработку резанием. Однако отсутствие аналитического описания сил полезных сопротивлений не позволяло до настоящего времени сопоставить характерный показатель качества среза, связанный с высотой образованных микронеровностей шероховатой поверхности материала, с геометрией ножа, со структурно-реологическими свойствами сырья и скоростью режущего органа. Вместе с тем для повышения качества готовых рыбных продуктов настоятельно требуется теоретический анализ процесса разрушения мышечной ткани рыбы с выявлением его основных закономерностей.

Исследование процессов разрушения материала при резании пищевых продуктов является актуальным направлением исследований в России и за рубежом.

В статьях [1, 2] предлагается подход к теоретической оптимизации геометрии ножа и аналитическому определению сил полезных сопротивлений резанию. В работе [3] опытным путем установлена зависимость между силой сопротивления волокнистого материала и скоростью движения ножа. Статья [4] раскрывает влияние угла заточки лезвия на параметры процесса резания, а влияние глубины погружения ножа на силы полезных и вредных сопротивлений при резании вязкоупругих материалов исследовано в работе [5]. Теоретически и экспериментально проанализировано взаимодействие твердых тел с вязкоупругим основанием в процессе деформирования и износа в статье [6]. В работе [7] определены усилия резания при обработке пищевых материалов на высоких скоростях. Численное моделирование явлений трения и разрушения на поверхности раздела эластичных и жестких тел описывает статья [8].

Однако, несмотря на ценность известных публикаций и обширных экспериментальных результатов, в настоящее время недостаточно полно разработан теоретический подход, благодаря которому можно определить силы полезных сопротивлений и связать качество поверхности среза с параметрами технологического процесса. Таким образом, математическое моделирование процесса разрушения мышечных волокон при резании рыбы представляет собой актуальную задачу пищевой отрасли, поскольку позволяет научно обосновать рациональные и оптимальные режимы первичной обработки ценного сырья с целью обеспечения ресурсосбережения на производстве.

МАТЕРИАЛ

В результате проведения комплекса экспериментальных исследований в работах [9, 10] научно обоснован выбор реологической модели, описывающей физико-механические свойства мышечной ткани рыбы. Для трехэлементной реологической модели Максвелла-Томсона (стандартного вязкоупругого тела), состоящей из модели Кельвина-Фойгта и элемента Гука, сформулировано дифференциальное уравнение состояния материала, а также получен ряд решений указанного уравнения при различных условиях нагружения волокон. Экспериментальным и теоретическим методами показано, что мышечная ткань сырья в процессе разрушения демонстрирует ограниченное течение под внешней нагрузкой, проявляет свойства релаксации напряжений при постоянной деформации, а также практически полностью восстанавливается до равновесного состояния при полной разгрузке. Кроме того, для обобщенного описания реологических свойств рыбы в работах [9, 10] введен безразмерный параметр – мера эластичности e_{01} , являющаяся отношением мгновенного модуля упругости к запаздывающему модулю упругости материала.

Вышеизложенное позволяет использовать модельное представление волокна мышечной ткани, показанное на рис. 1. В. М. Боркуновым предложен и обоснован количественный показатель качества поверхности среза, фактически представляющий собой среднюю высоту микронеровности на участке $D'D''$. При моделировании сил полезных сопротивлений в работах [9, 10] отмечено, что микрошероховатость поверхности среза зависит от режима разрыва волокон при их растяжении режущей кромкой. Таким образом, при формировании качественной поверхности среза определяющее значение имеет режим разрушения структуры мышечных филаментов при резании.

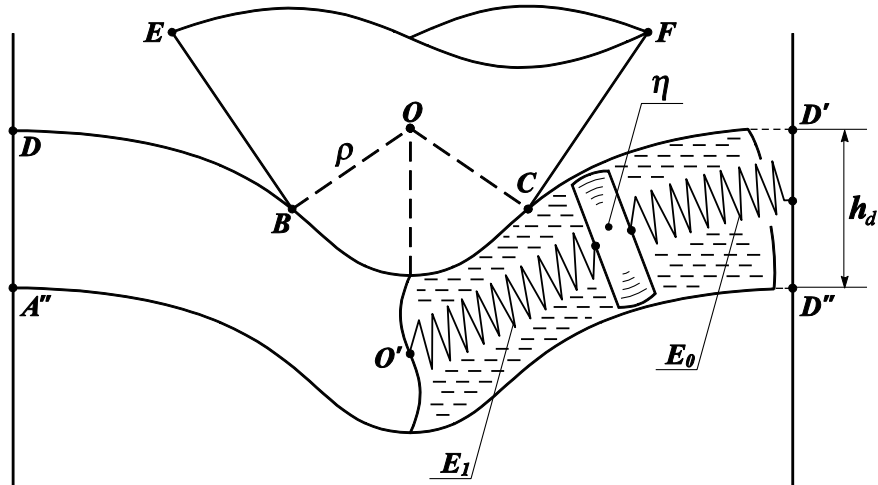


Рис. 1. Схема деформирования реологической модели вязкоупругого волокна режущей кромкой ножа при разрушении (*EBCF* – режущая кромка)

Fig. 1. Scheme of deformation of the rheological model of a viscoelastic fiber by the knife edge during destruction (*EBCF* – cutting edge)

МЕТОДЫ

При математическом моделировании процесса резания рыбы необходим выбор метода для формализованного описания разрушения волокон. Наличие в реологической модели двух абсолютно упругих элементов Гука, представленных в виде пружин, дает основания предполагать возможность двух случаев разрушения вязкоупругого материала за счет его продольного растяжения режущей кромкой лезвия.

Первый случай – это вязкий разрыв волокна, при котором происходит разрушение элемента Гука с запаздывающим модулем упругости E_1 , входящего в реологическую модель. Согласно модели, представленной на рис. 1, будем полагать, что вязкий разрыв является центральным, то есть точка разрушения волокна находится на оси ножа. На практике данное условие выполняется редко вследствие сложного анизотропного строения мышечных волокон. Вместе с тем в экспериментальных работах В. М. Боркунова и А. А. Романова показано, что такой условно-центральный вязкий разрыв волокон обеспечивает хорошее качество шероховатой поверхности среза мяса рыбы с минимальной высотой микронеровностей, поскольку характеризуется малым разрушением относительно прочной структурной сетки упругих перегородок.

Второй случай разрушения – это краевой упругий вырыв волокна из поперечной перегородки (миомера), при котором разрушается изолированный элемент Гука с мгновенным модулем упругости E_0 , за счет которого волокно прикрепляется к указанной перегородке. При этом происходит вредное частичное разрушение структуры миомера, нарушение целостности межволоконных промежутков, потеря ценных жидких веществ из мяса рыбы, что характеризуется снижением качества поверхности среза и возрастанием ее шероховатости.

Таким образом, *вязкий разрыв* соответствует высокоэластичному разрушению мышечного волокна и обеспечивает хорошее качество и гладкость поверхно-

сти продукта, а также сохранение питательных веществ. В то же время, *упругий вырыв* соответствует абсолютно-упругому разрушению волокна, что характеризуется низким качеством среза и его существенной шероховатостью по причине частичного нарушения структуры межволоконных перегородок.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН ПРИ РЕЗАНИИ

Разрыв пружины E_0 произойдет, когда напряжение на модели превысит некоторое предельное значение σ_{cr0} . Разрыв пружины E_1 , соответственно, произойдет при некотором предельном напряжении σ_{cr1} . Напряжение, возникающее в пружине E_1 , определяется выражением:

$$\text{Отступ 2 таб. } \sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_2 = E_1 \cdot (\varepsilon - \varepsilon_1) = E_1 \cdot (\varepsilon - \sigma/E_0), \quad (1)$$

где ε – общая относительная деформация модели, ε_1 – деформация изолированной пружины E_0 , ε_2 – деформация модели Кельвина-Фойгта (общая деформация пружины E_1 и вязкого демпфера η), σ – общее напряжение в модели.

Разрушение пружины E_1 , то есть вязкий разрыв, произойдет при выполнении следующего неравенства:

$$2 \text{ таб. } E_1 \cdot (\varepsilon - \sigma/E_0) > \sigma_{cr1}. \quad (2)$$

Условие упругого вырыва волокна выглядит следующим образом:

$$2 \text{ таб. } \sigma > \sigma_{cr0}. \quad (3)$$

Выразим предельную деформацию пружины E_1 :

$$2 \text{ таб. } \varepsilon_{cr1} = \sigma_{cr1}/E_1. \quad (4)$$

Из (2) с учетом (4) получим условие вязкого разрушения волокна:

$$2 \text{ таб. } \varepsilon - \sigma/E_0 = \varepsilon_{cr1}. \quad (5)$$

Из анализа структуры реологической модели волокна следует, что напряжение в пружине E_1 меньше, чем в изолированной E_0 . Это означает, что вязкое разрушение волокна произойдет только при выполнении условий:

$$\sigma_{cr1} < \sigma_{cr0}; \quad (6) \quad \varepsilon_{cr} = \sigma_{cr0}/E_0 + \sigma_{cr1}/E_1. \quad (7)$$

Растяжение волокна режущей кромкой происходит с переменной скоростью, то есть в режиме неравномерного деформирования. Положим остроту лезвия ρ много меньшей половинной ширины волокна: $\rho \ll l_a$. Тогда общая длина растянутого волокна \hat{L}_τ составит (подробнее см. работы [1, 2]):

$$\hat{L}_\tau = 2 \cdot l_a + 1,2 \cdot f_1^2 / l_a, \quad (8)$$

где f_1 – максимальный прогиб волокна материала под вершиной режущей кромки (стрелка прогиба), l_a – половинная ширина волокна между миомерами.

Относительную деформацию элементарного волокна и ее производную выразим в функции скорости v и времени t деформирования с учетом $f_1 = v \cdot t$:

$$\hat{\varepsilon}_\tau = \frac{\hat{L}_\tau}{2 \cdot l_a} - 1 = \frac{1}{2 \cdot l_a} \cdot \left(2 \cdot l_a + \frac{6}{5} \cdot \frac{f_1^2}{l_a} \right) - 1 = \frac{3 \cdot f_1^2}{5 \cdot l_a^2} = \frac{3 \cdot v^2 \cdot t^2}{5 \cdot l_a^2}; \quad \frac{d\hat{\varepsilon}_\tau}{dt} = \frac{6 \cdot v^2 \cdot t}{5 \cdot l_a^2}. \quad (9)$$

В результате с учетом (9) приходим к дифференциальному уравнению состояния вязкоупругого волокна материала, растянутого режущей кромкой ножа с малой остротой:

$$\frac{d\hat{\sigma}_\tau}{dt} + \frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot \hat{\sigma}_\tau = \frac{d\hat{\varepsilon}_\tau}{dt} \cdot E_0 + \frac{E_0 \cdot E_1}{\eta} \cdot \hat{\varepsilon}_\tau = \frac{6 \cdot E_0 \cdot v^2}{5 \cdot l_a^2} \cdot t + \frac{3 \cdot E_0 \cdot E_1 \cdot v^2}{5 \cdot l_a^2 \cdot \eta} \cdot t^2. \quad (10)$$

Решение дифференциального уравнения (10) с учетом $\xi = (E_0 \cdot E_1)/(E_0 + E_1)$ и начального условия $\hat{\sigma}_\tau = 0$ при $t = 0$ выглядит следующим образом:

$$\hat{\sigma}_\tau = \frac{3 \cdot \xi \cdot v^2}{5 \cdot l_a^2} \cdot t^2 + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot l_a^2} \cdot t + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \left[\exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t\right) - 1 \right]. \quad (11)$$

Упругий вырыв волокна произойдет за время t_{cr0} при справедливости равенства:

$$\sigma_{cr0} = \frac{3 \cdot \xi \cdot v^2 \cdot t_{cr0}^2}{5 \cdot l_a^2} + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta \cdot v^2 \cdot t_{cr0}}{5 \cdot E_1^2 \cdot l_a^2} + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \left[\exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t_{cr0}\right) - 1 \right]. \quad (12)$$

Вязкий разрыв волокна с учетом (2), (9), (11) наступает через время t_{cr1} при выполнении равенства:

$$\begin{aligned} \sigma_{cr1} &= E_1 \cdot \left(\hat{\varepsilon}_\tau - \frac{\hat{\sigma}_\tau}{E_0} \right) = E_1 \cdot \hat{\varepsilon}_\tau - \frac{E_1}{E_0} \cdot \hat{\sigma}_\tau = \frac{3 \cdot E_1 \cdot v^2}{5 \cdot l_a^2} \cdot t_{cr1}^2 - \frac{3 \cdot \xi \cdot E_1 \cdot v^2}{5 \cdot E_0 \cdot l_a^2} \cdot t_{cr1}^2 - \\ &- \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot l_a^2} \cdot t_{cr1} - \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \left[\exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t_{cr1}\right) - 1 \right] = \\ &= \frac{3 \cdot \xi \cdot v^2 \cdot t_{cr1}^2}{5 \cdot l_a^2} - \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta \cdot v^2 \cdot t_{cr1}}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot l_a^2} + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t_{cr1}\right) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Необходимо определить отношение интервалов времени упругого вырыва t_{cr0} и вязкого разрыва t_{cr1} , а также установить, каким образом указанное отношение зависит от скорости резания, структурно-реологических свойств рыбы и геометрии лезвия. Введем безразмерное время разрушения \tilde{t}_{cr} :

$$\tilde{t}_{cr} = \frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t_{cr}. \quad (14)$$

Тогда с учетом $t_{cr} = \frac{\tilde{t}_{cr} \cdot \eta}{E_0 + E_1}$; $t_{cr}^2 = \frac{\tilde{t}_{cr}^2 \cdot \eta^2}{(E_0 + E_1)^2}$ выражения (12) и (13)

примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{cr0} &= \frac{3 \cdot \xi \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot (E_0 + E_1)^2 \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr0}^2 + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr0} + \\ &+ \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \left[\exp(-\tilde{t}_{cr0}) - 1 \right]; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\sigma_{cr1} = \frac{3 \cdot \xi \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot (E_0 + E_1)^2 \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr1}^2 - \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr1} + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot [1 - \exp(-\tilde{t}_{cr1})]. \quad (16)$$

Представим выражения (15) и (16) в виде следующих уравнений:

$$\frac{3 \cdot \xi \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot (E_0 + E_1)^2 \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr0}^2 + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot [\tilde{t}_{cr0} + \exp(-\tilde{t}_{cr0})] = \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} + \sigma_{cr0}; \quad (17)$$

$$\frac{3 \cdot \xi \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot (E_0 + E_1)^2 \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr1}^2 - \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot [\tilde{t}_{cr1} + \exp(-\tilde{t}_{cr1})] = \sigma_{cr1} - \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2}. \quad (18)$$

Введем безразмерную скорость резания \tilde{v}_t :

$$\tilde{v}_t = \frac{v}{l_a} \cdot \frac{\eta}{(E_0 + E_1)} = \frac{v}{l_a} \cdot \frac{1}{T_\sigma}; \quad v = \tilde{v}_t \cdot \frac{l_a \cdot (E_0 + E_1)}{\eta} = \tilde{v}_t \cdot l_a \cdot T_\sigma; \quad (19)$$

$$e_{01} = \frac{E_0}{E_1}; \quad \xi = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1},$$

и с учетом (19) преобразуем уравнения (17), (18) к безразмерному виду:

$$\tilde{v}_t^2 \cdot \tilde{t}_{cr0}^2 + 2 \cdot \tilde{v}_t^2 \cdot e_{01} \cdot [\tilde{t}_{cr0} + \exp(-\tilde{t}_{cr0})] - 3 \cdot \tilde{v}_t^2 \cdot e_{01} = \frac{5 \cdot \sigma_{cr0}}{3 \cdot \xi}; \quad (20)$$

$$\tilde{v}_t^2 \cdot \tilde{t}_{cr1}^2 - 2 \cdot \tilde{v}_t^2 \cdot e_{01} \cdot [\tilde{t}_{cr1} + \exp(-\tilde{t}_{cr1})] + 3 \cdot \tilde{v}_t^2 \cdot e_{01} = \frac{5 \cdot \sigma_{cr1}}{3 \cdot \xi}. \quad (21)$$

Рассмотрим разрушение волокна при очень малых безразмерных интервалах времени \tilde{t}_{cr0} , \tilde{t}_{cr1} . Это возможно либо при очень большой скорости резания, либо при малой скорости и малом предельном напряжении σ_{cr1} . Установим параметры, влияющие на режим разрушения мяса рыбы в этом случае. Считая \tilde{t}_{cr0} , \tilde{t}_{cr1} малыми и заметив, что

$$\exp(-\tilde{t}_{cr}) = 1 - \tilde{t}_{cr} + \frac{\tilde{t}_{cr}^2}{1 \cdot 2} - \frac{\tilde{t}_{cr}^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots; \quad (22)$$

$$\exp(-\tilde{t}_{cr0}) \cong 1 - \tilde{t}_{cr0} + \tilde{t}_{cr0}^2/2; \quad (23)$$

$$\exp(-\tilde{t}_{cr1}) \cong 1 - \tilde{t}_{cr1} + \tilde{t}_{cr1}^2/2, \quad (24)$$

подставим выражения (23), (24) в (17), (18). Тогда с точностью до малых второго порядка возможно записать трансцендентные уравнения (17), (18) в следующем виде:

$$\frac{3 \cdot \xi \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot (E_0 + E_1)^2 \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr0}^2 + \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \left(1 + \frac{\tilde{t}_{cr0}^2}{2}\right) = \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} + \sigma_{cr0}; \quad (25)$$

$$\frac{3 \cdot \xi \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot (E_0 + E_1)^2 \cdot l_a^2} \cdot \tilde{t}_{cr1}^2 - \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2} \cdot \left(1 + \frac{\tilde{t}_{cr1}^2}{2}\right) = \sigma_{cr1} - \frac{6 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^2}{5 \cdot E_1 \cdot E_0 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^2}. \quad (26)$$

Из выражений (25), (26) найдем безразмерные интервалы времени \tilde{t}_{cr0} , \tilde{t}_{cr1} :

$$\tilde{t}_{cr0} = \frac{l_a}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E_1 \cdot (E_0 + E_1) \cdot \sigma_{cr0}}{3 \cdot \xi}}; \quad \tilde{t}_{cr1} = \frac{l_a \cdot (E_0 + E_1)}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot \sigma_{cr1}}{3 \cdot \xi}}. \quad (27)$$

Из (27) возможно найти отношение безразмерных интервалов времени $\tilde{t}_{01} = \tilde{t}_{cr0} / \tilde{t}_{cr1}$:

$$\tilde{t}_{01} = \frac{\frac{l_a}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E_1 \cdot (E_0 + E_1) \cdot \sigma_{cr0}}{3 \cdot \xi}}}{\frac{l_a \cdot (E_0 + E_1)}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot \sigma_{cr1}}{3 \cdot \xi}}} = \sqrt{\frac{E_1 \cdot \sigma_{cr0}}{(E_0 + E_1) \cdot \sigma_{cr1}}} = \sqrt{\frac{1}{e_{01} + 1} \cdot \frac{\sigma_{cr0}}{\sigma_{cr1}}} = \sqrt{\frac{\bar{\sigma}_{01}}{e_{01} + 1}}. \quad (28)$$

Рассмотрим режим разрушения волокон, который характеризуется внезапно возникшей постоянной деформацией материала: $\hat{\varepsilon}_\tau = \hat{\varepsilon}_{\tau 0} = const$; $d\hat{\varepsilon}_\tau / dt = 0$. При таком контактном воздействии режущей кромки на волокно в начале процесса разрушения нагружается лишь изолированный элемент Гука, то есть пружина E_0 . Напряжение в модели в этот начальный момент составит

$$\hat{\sigma}_{\tau 0} = E_0 \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}. \quad (29)$$

Подставим выражение (29) в дифференциальное уравнение состояния вязкоупругого волокна материала, растянутого режущей кромкой ножа (см. указанное уравнение, например, в работе [2]) и получим:

$$\frac{d\hat{\sigma}_\tau}{dt} + \frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot \hat{\sigma}_\tau = \frac{E_0 \cdot E_1}{\eta} \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}. \quad (30)$$

Решение дифференциального уравнения (30) с учетом начального условия $\hat{\sigma}_\tau = \hat{\sigma}_{\tau 0} = E_0 \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}$ при $t = 0$ выглядит следующим образом:

$$\hat{\sigma}_\tau = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1} \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0} + \left(\frac{E_0^2}{E_0 + E_1}\right) \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0} \cdot \exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t\right). \quad (31)$$

В случае если $E_0 \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0} > \sigma_{cr0}$, в мышечной ткани рыбы немедленно произойдет упругий вырыв волокна после внезапно вызванной деформации ($t_{cr0} \rightarrow 0$). В случае если $E_0 \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0} < \sigma_{cr0}$, то разрушение будет характеризоваться вязким разрывом волокна. С учетом (2) для вязкого разрыва должно быть выполнено следующее условие:

$$E_1 \cdot (\hat{\varepsilon}_{\tau 0} - \hat{\sigma}_\tau / E_0) > \sigma_{cr1};$$

$$\frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1} \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t\right)\right) > \sigma_{cr1}. \quad (32)$$

Из выражения (32) видим, что при возрастании интервала времени t левая часть неравенства всегда будет меньше $\frac{E_0 \cdot E_1 \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}}{E_0 + E_1}$. В связи с этим, для вязкого разрыва волокна необходимо выполнение условия:

$$\hat{\varepsilon}_{\tau 0} > \frac{\sigma_{cr1} \cdot (E_0 + E_1)}{E_0 \cdot E_1}. \quad (33)$$

Время t_{cr1} такого разрыва определим из уравнения:

$$\frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1} \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t_{cr1}\right) \right) = \sigma_{cr1}, \quad (34)$$

откуда находим

$$t_{cr1} = -\frac{\eta}{E_0 + E_1} \cdot \ln\left(1 - \frac{\sigma_{cr1} \cdot (E_0 + E_1)}{E_0 \cdot E_1 \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}}\right) = -\frac{\eta}{E_0 + E_1} \cdot \ln\left(1 - \frac{\sigma_{cr1}}{\xi \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}}\right). \quad (35)$$

Переходя к безразмерным величинам, возможно записать:

$$\tilde{t}_{cr1} = \frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t_{cr1} \cdot \tilde{t}_{cr1} = -\ln\left(1 - \frac{\sigma_{cr1}}{\xi \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}}\right). \quad (36)$$

Таким образом, при внезапно возникшей деформации материала и выполнении условия $E_0 \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0} < \sigma_{cr0}$, то есть при отсутствии немедленного упругого вырыва, вязкий разрыв волокна произойдет с запаздыванием через интервал времени t_{cr1} после нагружения. При неограниченном росте относительной деформации интервал времени вязкого разрушения стремится к нулю:

$$\lim_{\hat{\varepsilon}_{\tau 0} \rightarrow \infty} \left(-\ln\left(1 - \frac{\sigma_{cr1}}{\xi \cdot \hat{\varepsilon}_{\tau 0}}\right) \right) = 0.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ трансцендентных уравнений (20), (21) показывает, что в них несколько корней, в том числе отрицательных. Физический смысл имеют наибольшие положительные корни указанных уравнений, расположенные правее на оси безразмерных моментов времени. Наименьший из двух корней уравнений (20), (21) характеризует безразмерное время разрушения материала режущей кромкой. Введем отношение безразмерных интервалов времени $\tilde{t}_{01} = \tilde{t}_{cr0} / \tilde{t}_{cr1}$. При $\tilde{t}_{cr0} > \tilde{t}_{cr1}$; $\tilde{t}_{01} > 1$ имеет место вязкий разрыв, при $\tilde{t}_{cr0} < \tilde{t}_{cr1}$; $\tilde{t}_{01} < 1$ – упругий вырыв. Численным методом на ЭВМ определим значения безразмерных интервалов и вычислим отношение \tilde{t}_{01} , которое характеризует режим разрушения волокна. На рис. 2 показаны зависимости безразмерных интервалов времени разрушения материала от безразмерной скорости резания разрыва (расчеты на рис. 2,а выполнены при $\sigma_{cr1} = 0,18 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, $\xi = 63158 \text{ Н/м}^2$, на рис. 2,б – при $\sigma_{cr0} = 0,56 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, $\xi = 63158 \text{ Н/м}^2$; точками изображены моменты разрушения при характерной скорости \tilde{v}_{01} : $\tilde{t}_{01} = \tilde{t}_{cr0} / \tilde{t}_{cr1} = 1$).

На рис. 3 показаны зависимости отношения \tilde{t}_{01} от безразмерной скорости резания при различных значениях меры эластичности и безразмерных критериев σ_{cr0}/ξ , σ_{cr1}/ξ . Значение характерной скорости резания \tilde{v}_{01} при $\tilde{t}_{01} = 1$, отделяющей область вязкого разрыва и упругого вырыва, получено в результате численного решения на ЭВМ системы уравнений (20), (21) при $\tilde{t}_{cr0} = \tilde{t}_{cr1} = \tilde{t}_{cr01}$. На рис. 4 приведены зависимости отношения \tilde{t}_{01} от меры эластичности материала и критерия $\bar{\sigma}_{01} = \sigma_{cr0}/\sigma_{cr1}$. На контурном графике рис. 5 показаны зависимости отношения \tilde{t}_{01} от меры эластичности материала и безразмерного параметра $\bar{\sigma}_{01} = \sigma_{cr0}/\sigma_{cr1}$.

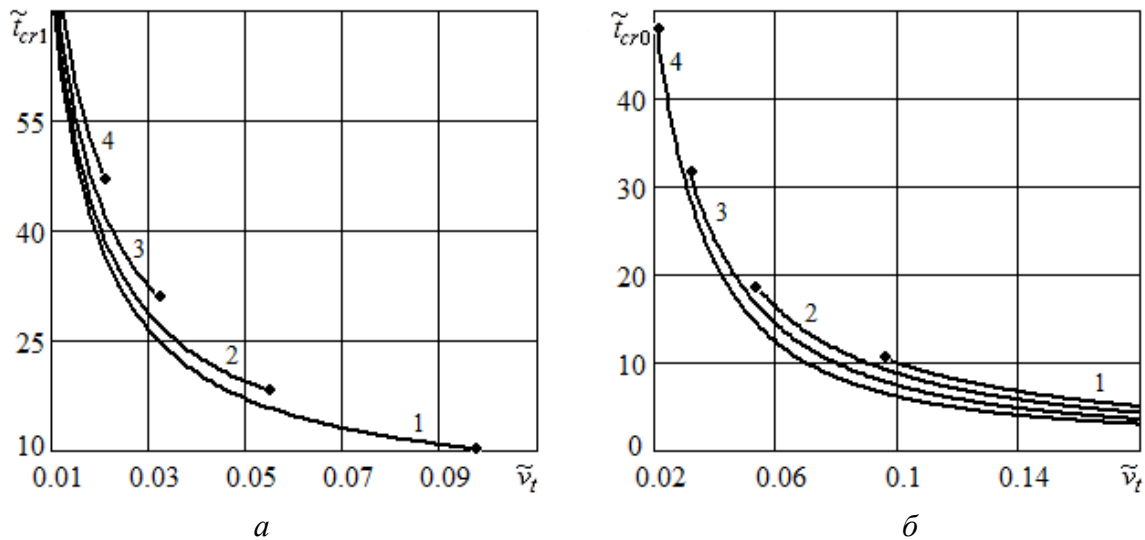


Рис. 2. Зависимость безразмерных интервалов времени разрушения \tilde{t}_{cr} от безразмерной скорости резания:

a – безразмерные интервалы времени вязкого разрыва; b – безразмерные интервалы времени упругого вырыва;

$$1 - e_{01} = 3; 2 - e_{01} = 5; 3 - e_{01} = 8; 4 - e_{01} = 12$$

Fig. 2. Dependence of dimensionless destruction time \tilde{t}_{cr} on dimensionless cutting speed: a – dimensionless destruction time of viscous laceration; b – dimensionless destruction time of elastic tear;

$$1 - e_{01} = 3; 2 - e_{01} = 5; 3 - e_{01} = 8; 4 - e_{01} = 12$$

Модель (36) позволяет исследовать зависимости безразмерного времени вязкого разрыва от величины внезапно возникшей относительной деформации при различных значениях реологических констант материала – мгновенного и запаздывающего модулей упругости, а также коэффициента динамической вязкости материала.

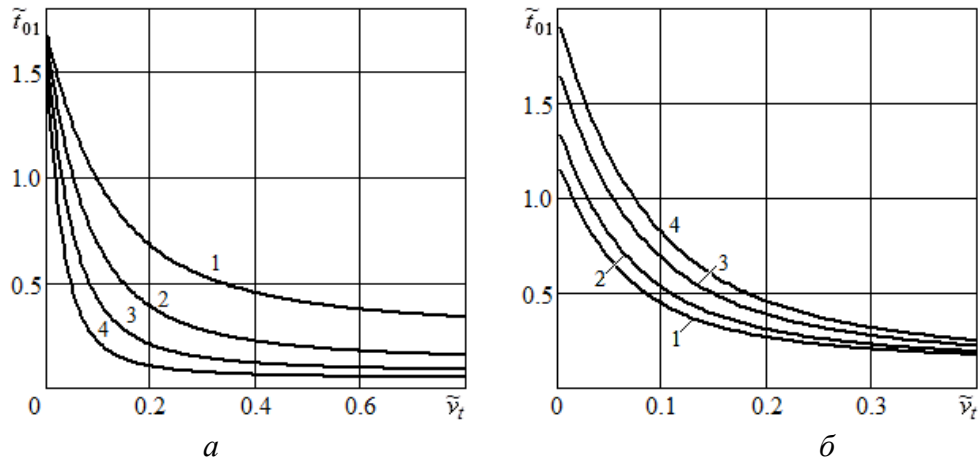


Рис. 3. Зависимость отношения безразмерных интервалов времени разрушения \tilde{t}_{01} от безразмерной скорости резания:

a – при различных значениях меры эластичности ($\bar{\sigma}_{01} = \sigma_{cr0}/\sigma_{cr1} = 3$):

1 – $e_{01} = 3$; 2 – $e_{01} = 5$; 3 – $e_{01} = 8$; 4 – $e_{01} = 12$;

б – при различных значениях критерия $\bar{\sigma}_{01}$ ($e_{01} = 5$):

1 – $\bar{\sigma}_{01} = 1,5$; 2 – $\bar{\sigma}_{01} = 2$; 3 – $\bar{\sigma}_{01} = 3$; 4 – $\bar{\sigma}_{01} = 4$

Fig. 3. Dependence of dimensionless destruction time \tilde{t}_{cr} on dimensionless cutting speed:

a – at different values of the elasticity measure ($\bar{\sigma}_{01} = \sigma_{cr0}/\sigma_{cr1} = 3$):

1 – $e_{01} = 3$; 2 – $e_{01} = 5$; 3 – $e_{01} = 8$; 4 – $e_{01} = 12$;

б – at different values of criteria $\bar{\sigma}_{01}$ ($e_{01} = 5$):

1 – $\bar{\sigma}_{01} = 1,5$; 2 – $\bar{\sigma}_{01} = 2$; 3 – $\bar{\sigma}_{01} = 3$; 4 – $\bar{\sigma}_{01} = 4$

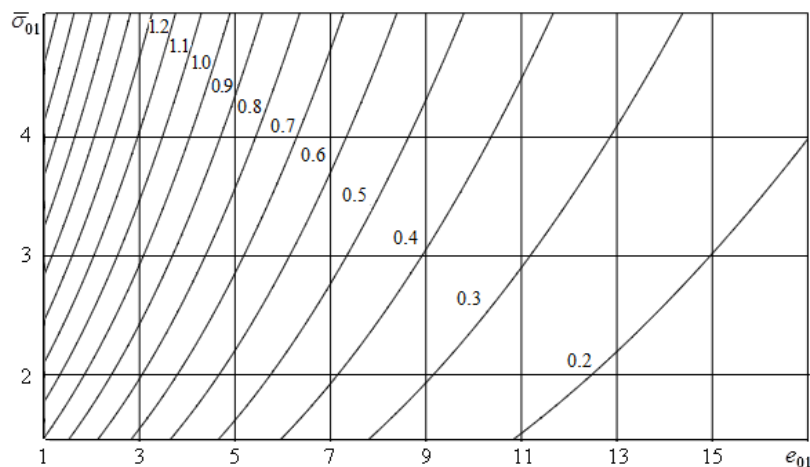


Рис. 4. Зависимости безразмерного отношения интервалов времени разрушения \tilde{t}_{01} от меры эластичности материала и критерия $\bar{\sigma}_{01}$ ($\tilde{v}_t = 0,1$)

Fig. 4. Dependences of the dimensionless ratio of the destruction time intervals \tilde{t}_{01} on the elasticity measure of the material and the criteria $\bar{\sigma}_{01}$ ($\tilde{v}_t = 0,1$)

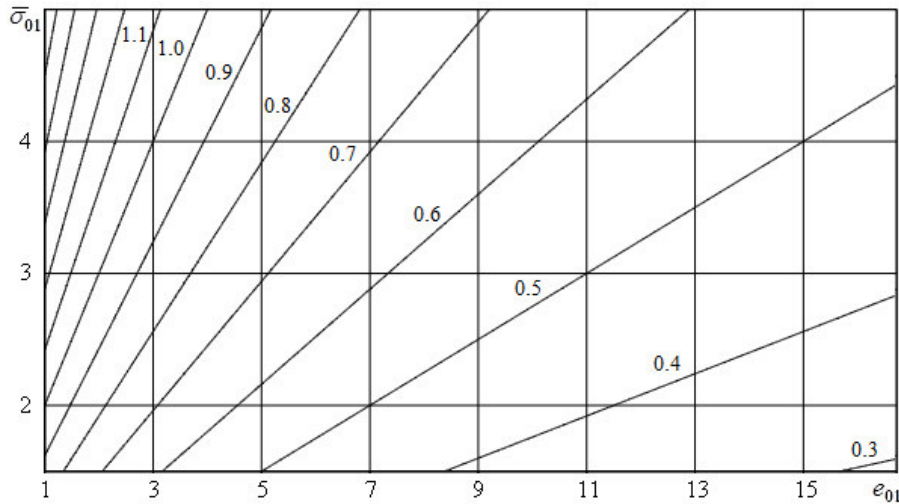


Рис. 5. Зависимости безразмерного отношения интервалов времени разрушения \tilde{t}_{01} от меры эластичности материала и критерия $\bar{\sigma}_{01}$ при малых значениях интервалов времени разрушения

Fig. 5. Dependences of the dimensionless ratio of the destruction time \tilde{t}_{01} on the elasticity measure of the material and the criteria $\bar{\sigma}_{01}$ at small values of the destruction time

На рис. 6 приведены зависимости значений времени вязкого разрушения волокна от величины внезапно возникшей относительной деформации при различных значениях мгновенного и запаздывающего модулей упругости мышечной ткани рыбы (на рис. 6,а: $E_1 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; на рис. 6,б: $E_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$). На рис. 7 изображены зависимости указанного интервала времени от величины относительной деформации при различных значениях коэффициента динамической вязкости и предельного напряжения σ_{cr1} ($E_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $E_1 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; на рис. 7,а: $\sigma_{cr1} = 0,18 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; на рис. 7,б: $\eta = 500 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$).

Как показывают результаты моделирования, при увеличении меры эластичности характерная безразмерная скорость \tilde{v}_{01} снижается, то есть упругий вырыв сменяет режим вязкого разрыва при меньшей скорости. Согласно рис. 2 при значениях критерия $\bar{\sigma}_{01} = \sigma_{cr0}/\sigma_{cr1}$, равного 3, длительного модуля упругости 63158 Н/м^2 , меры эластичности 3; 5; 8; 12 значения характерной безразмерной скорости составляют 0,095; 0,055; 0,032; 0,021, при этом значения безразмерного интервала времени, соответствующего смене режима разрушения с вязкого разрыва на упругий вырыв, составляют 10; 20; 30; 45, соответственно. Таким образом, при увеличении безразмерной скорости качество поверхности среза сначала повышается за счет сокращения времени вязкого разрыва, а затем, при достижении характерного значения и дальнейшем росте скорости, ухудшается вследствие наступления упругого вырыва волокон.

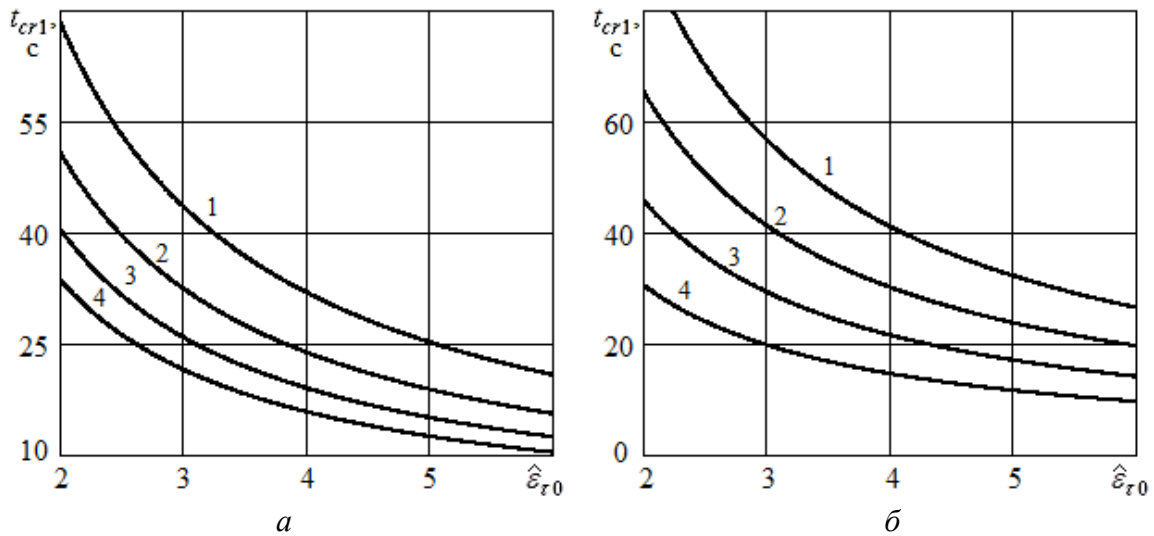


Рис. 6. Зависимость времени вязкого разрушения волокна от величины внезапно возникшей относительной деформации ($\eta = 500 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; $\sigma_{cr1} = 0,18 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$):

a – при различных значениях мгновенного модуля упругости:

1 – $E_0 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 2 – $E_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 3 – $E_0 = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 4 – $E_0 = 3 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$;

б – при различных значениях запаздывающего модуля упругости:

1 – $E_1 = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 2 – $E_1 = 0,4 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 3 – $E_1 = 0,55 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 4 – $E_1 = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$

Fig. 6. Dependence of the time of viscous destruction of the fiber on the sharp relative deformation:

a – at different values of the instantaneous modulus of elasticity:

1 – $E_0 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$; 2 – $E_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$; 3 – $E_0 = 2,5 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$;

4 – $E_0 = 3 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$;

б – at different values of the retarded elastic modulus:

1 – $E_1 = 0,3 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$; 2 – $E_1 = 0,4 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$; 3 – $E_1 = 0,55 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$;

4 – $E_1 = 0,8 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$

Рис. 3 показывает, что при значениях отношения интервалов времени разрушения $\tilde{t}_{01} > 1$ имеет место вязкий разрыв, а при $\tilde{t}_{01} < 1$ – упругий вырыв волокна. В соответствии с рис. 3,а увеличение меры эластичности приводит к снижению указанного отношения моментов. Это означает, что при той же безразмерной скорости с увеличением меры эластичности упругий вырыв сменяет вязкий разрыв через меньший интервал времени. Согласно рис. 3,б рост критерия $\bar{\sigma}_{01}$ влечет повышение отношения интервалов времени разрушения \tilde{t}_{01} и приводит к тому, что смена вязкого разрыва на упругий вырыв происходит при большей безразмерной скорости. Также это означает, что при той же безразмерной скорости резания упругий вырыв (разрушение изолированной пружины E_0) сменит вязкий разрыв (разрушение пружины E_1) позже, что обусловлено повышением предельной прочности пружины E_0 .

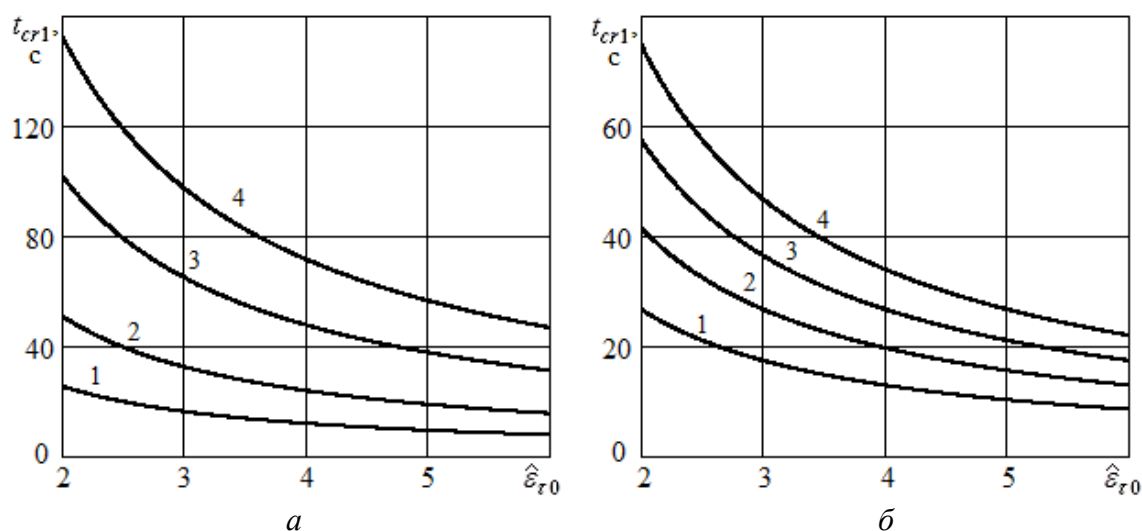


Рис. 7. Зависимость времени вязкого разрушения волокна от величины внезапно возникшей относительной деформации: *a* – при различных значениях

коэффициента динамической вязкости: 1 – $\eta = 250 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$;

2 – $\eta = 500 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; 3 – $\eta = 1000 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; 4 – $\eta = 1500 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$;

b – при различных значениях предельного напряжения σ_{cr1} :

1 – $\sigma_{cr1} = 0,10 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 2 – $\sigma_{cr1} = 0,15 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 3 – $\sigma_{cr1} = 0,20 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$;

4 – $\sigma_{cr1} = 0,25 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$

Fig. 7. Dependence of the time of viscous destruction of the fiber on the impact relative deformation: *a* – at different values of the dynamic viscosity coefficient:

1 – $\eta = 250 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$;

2 – $\eta = 500 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; 3 – $\eta = 1000 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; 4 – $\eta = 1500 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$;

b – at different values of the limiting strain σ_{cr1} :

1 – $\sigma_{cr1} = 0,10 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 2 – $\sigma_{cr1} = 0,15 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$; 3 – $\sigma_{cr1} = 0,20 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$;

4 – $\sigma_{cr1} = 0,25 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$

Вышеуказанные выводы наглядно подтверждает контурный график на рис. 4, который иллюстрирует, что смена вязкого разрыва упругим вырывом происходит через большой интервал времени при росте критерия $\bar{\sigma}_{01}$, а также при снижении меры эластичности. Это позволяет заключить, что к снижению качества поверхности среза приводят увеличение меры эластичности материала, рост безразмерной скорости резания, а также снижение критерия $\bar{\sigma}_{01}$. При этом, как отмечено в работе [2], повышение меры эластичности мышечной ткани влечет еще и существенный рост сил полезных сопротивлений резанию.

Рис. 5 демонстрирует, что с ростом меры эластичности мышечной ткани упругий вырыв наступает за более короткий интервал времени. Однако с повышением прочности σ_{cr0} изолированного упругого элемента Гука E_0 , что означа-

ет рост отношения $\bar{\sigma}_{01}$, упругий вырыв наступает через больший интервал времени. В случае дальнейшего увеличения σ_{cr0} , при определенном значении $\bar{\sigma}_{01}$ и меры эластичности, имеет место вязкий разрыв волокна. Сравнение результатов моделирования на рис. 4 и 5 показывает, что при очень больших скоростях деформирования упругий вырыв имеет место при более высоких значениях предельного напряжения σ_{cr0} изолированного упругого элемента Гука E_0 . Это объясняется тем, что при больших скоростях резания высокоэластичный элемент Гука E_1 не успевает существенно деформироваться и разрушиться ранее изолированного элемента E_0 вследствие вязкого сопротивления демпфера η . В связи с этим, при таком скоростном режиме основную нагрузку более длительное время несет изолированный элемент E_0 до начала разрушения элемента E_1 , то есть переход к вязкому разрушению начнется при более высоких значениях σ_{cr0} и $\bar{\sigma}_{01}$.

На рис. 6 видно, что с ростом величины внезапно возникшей относительной деформации интервал времени запаздывающего вязкого разрыва немонотонно снижается и стремится к нулю. Рис. 6,а показывает, что с увеличением мгновенного модуля упругости материала указанный интервал существенно снижается. Рис. 6,б также иллюстрирует, что рост запаздывающего модуля упругости тоже приводит к сокращению времени вязкого разрыва. Рис. 7,а показывает, что с повышением коэффициента динамической вязкости мышечной ткани интервал времени вязкого разрыва существенно увеличивается. На рис. 7,б видим, что увеличение предельного напряжения σ_{cr1} упругого элемента Гука E_1 , входящего в модель Кельвина-Фойгта, приводит к возрастанию указанного времени разрушения.

ВЫВОДЫ

Предложен теоретический подход к описанию процесса разрушения волокон мышечной ткани при резании, который позволяет провести анализ влияния геометрии ножа, реологических свойств материала и скорости обработки на качество поверхности среза. Установлены основные закономерности, имеющие место при вязком разрыве и упругом вырыве волокон при движении режущей кромки ножа в материале. Разработана теоретическая основа для расчета параметров процесса резания рыбного сырья с различными структурно-реологическими особенностями, а также при различных траекториях движения режущих кромок рабочих органов рыбоперерабатывающего оборудования. Изложенное формальное описание разрушения мышечных волокон связывает параметры процесса резания и показатель качества образованной поверхности рыбного продукта. Комплекс математических моделей позволяет научно- обоснованно управлять конструктивными параметрами режущих приспособлений и режимными параметрами процесса первичной обработки с целью улучшения качества готовых рыбных продуктов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агеев, О. В. Оптимизация формы профиля ножа для ресурсосберегающей первичной обработки рыбы / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов, Е. Е. Иванова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 1 (373). – С. 77–80.

2. Ageev, O. V. Математическое моделирование сил полезного сопротивления при резании охлажденных пищевых продуктов / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // Вестник Международной академии холода. – 2020. – № 3. – С. 70–82.
3. Boisly, M. Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids / M. Boisly, S. Schuldt, M. G. Kaestner, Y. Schneider [at al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2016. – № 191. – Pp. 1–9.
4. Schuldt, S. Analysis of the sharpness of blades for food cutting / S. Schuldt, G. Arnold, J. Kowalewski, Y. Schneider [at al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2016. – № 188. – Pp. 13–20.
5. Spagnoli, A. Cutting resistance of soft materials: Effects of blade inclination and friction / A. Spagnoli, R. Brighenti, M. Terzano, F. Artoni // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. – 2019. – № 101. – Pp. 200–206.
6. Xiao-Ping, Zhou. An experimental study of the mechanical and fracturing behavior in PMMA specimen containing multiple 3D embedded flaws under uniaxial compression / Zhou Xiao-Ping, Fu Liang, Ju Wang, F. Berto // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. – 2019. – № 101. – Pp. 207–216.
7. Schuldt, S. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces / S. Schuldt, Y. Schneider, H. Rohm // *Journal of Food Engineering*. – 2018. – № 230. – Pp. 55–62.
8. Belaasilia, Y. High order mesh-free method for frictional contact / Y. Belaasilia, B. Braikat, M. Jamal // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2017. – № 82. – Pp. 68–78.
9. Агеев, О. В. Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Самойлова // *Известия Калининградского государственного технического университета*. – 2018. – № 49. – С. 75–91.
10. Анализ соответствия реологических моделей структурно-механическим свойствам рыбы / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Самойлова // *Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. – 2018. – № 2(36). – С. 34–43.

REFERENCES

1. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Ivanova E. E. Optimizatsiya formy profilya nozha dlya resursosberegayushchey pervichnoy obrabotki ryby [Optimization of the knife profile for resource-saving primary fish processing]. *News of institutes of higher education. Food technology*, 2020, no. 1(373), pp. 77–80.
2. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie sil poleznogo soprotivleniya pri rezanii okhlazhdennykh pishchevykh produktov [Mathematical simulation of effective resistance forces during cutting of chilled food products]. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 2020, no. 3, pp. 70–82.
3. Boisly M., Schuldt S., Kaestner M. G, Schneider Y., Rohm H. Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 191, pp. 1–9.
4. Schuldt S., Arnold G., Kowalewski J., Schneider Y., Rohm H. Analysis of the sharpness of blades for food cutting. *Journal of Food Engineering*, 2016, no.188, pp. 13–20.

5. Spagnoli A., Brighenti R., Terzano M., Artoni F. Cutting resistance of soft materials: Effects of blade inclination and friction. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 200–206.

6. Xiao-Ping Zhou, Liang Fu, Wang Ju, Berto F. An experimental study of the mechanical and fracturing behavior in PMMA specimen containing multiple 3D embedded flaws under uniaxial compression. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 207–216.

7. Schuldt S., Schneider Y., Rohm H. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces. *Journal of Food Engineering*, 2018, no. 230, pp. 55–62.

8. Belaasilia Y., Braikat B., Jamal M. High order mesh-free method for frictional contact. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2017, no. 82, pp. 68–78.

9. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Samoylova N. V. Vybór i identifikatsiya reologicheskoy modeli strukturno-mekhanicheskikh svoystv myshechnoy tkani ryby [Selection and identification of rheological model of the structural-mechanical properties of muscular fish tissue]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no. 49, pp. 75–91.

10. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samoylova N. V. Analiz sootvetstviya reologicheskikh modeley strukturno-mekhanicheskim svoystvam ryby [Correspondence of rheological models to the structural-mechanical properties of fish]. *Nauchnyy zhurnal Sankt-Peterburgskogo natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta informatsionnykh tekhnologiy, mehaniki i optiki. Seriya: Processy i apparaty pishhevyykh proizvodstv*, 2018, no. 2(36), pp. 34–43.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ageev Oleg Vyacheslavovich – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Ageev Oleg Viacheslavovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering; Associate Professor, Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Naumov Vladimir Arkadyevich – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук; профессор; зав. кафедрой водных ресурсов и водопользования; E-mail: van-old@rambler.ru

Naumov Vladimir Arkadievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences; Professor; Head of the Department of Water Resources and Water Management; E-mail: van-old@rambler.ru

Fatykhov Yuriy Adgamovich – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук; профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: yuriy.fatyhov@klgtu.ru

Fatykhov Yuriy Adgamovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences; Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: yuriy.fatyhov@klgtu.ru

УДК 639.386.1(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-74-84

ПЕРЕРАБОТКА ПОКРОВНЫХ ТКАНЕЙ ГИДРОБИОНТОВ
В ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В. И. Воробьев

PROCESSING OF THE COVER TISSUE OF HYDROBIONTS
IN ORGANIC LIQUIDS OF NATURAL ORIGIN

V. I. Vorobyov

Исследовано влияние температурных режимов обработки покровных тканей рыб (кожи и чешуи судака) в яблочном соке прямого отжима. Определен общий химический и аминокислотный состав исходного сырья (яблочного сока, рыбьей кожи и чешуи) и полученных термически обработанных продуктов (сокосодержащих коллагеновых напитков, порошка чешуи, кожи). Показано, что при термической обработке в яблочном соке (110 °С) и давлении 0,11 МПа очищенной рыбьей кожи массовая доля белка в полученном сокосодержащем коллагеновом напитке увеличилась с 0,3 до 4,1 % (в 13,7 раза), сухих веществ – с 9,5 до 11,4 % при уменьшении золы с 0,3 до 0,2 % и углеводов с 8,9 до 7,1 %. Массовая доля глицина в напитке увеличилась более чем в 12,4 раза, пролина – в 13,1 раза (основные аминокислоты коллагеновых белков). При аналогичной переработке чешуи массовая доля белка в напитке увеличилась с 0,3 до 2,0 % (в 6,7 раза), сухих веществ – с 9,5 до 10,5 %, золы – с 0,3 до 0,5 %, глицина – более чем в 7 раз, пролина – в 7,1 раза при уменьшении углеводов с 8,9 до 8,0 %. В полученной чешуе значительно снизилась массовая доля белка – с 42,0 до 26,4 % (в 1,6 раза) при увеличении углеводов до 16,1 %, о чем свидетельствовало изменение цвета порошка чешуи на светло-коричневый. Сравнительный аминокислотный анализ стерилизованного (110 °С) и пастеризованного (95 °С) напитков показал существенное влияние температуры обработки на увеличение массовой доли глицина, пролина, аланина, валина, аргинина и серина в жидкости.

яблочный сок прямого отжима, рыбья кожа и чешуя, сокосодержащий коллагеновый напиток, рыбный коллаген, покровные ткани рыб

The influence of the temperature regimes of processing the integumentary tissues of fish (skin and scales of pike perch) in directly squeezed apple juice has been investigated. The general chemical and amino acid composition of the feedstock (apple juice, fish skin and scales) and the obtained thermally processed products (juice-containing collagen drinks, powder of scales, skin) has been determined. It was shown that after heat treatment of purified fish skin in apple juice (110 deg C, P = 0.11 MPa), the mass fraction of protein in the obtained juice-containing collagen drink increased from 0.3 % to 4.1 % (in 13, 7 times), dry matter from 9.5 % to 11.4 %, with a decrease

in ash from 0.3 to 0.2 % and carbohydrates from 8.9 to 7.1 %. The mass fraction of glycine in the resulting drink increased by more than 12.4 times, and proline – by 13.1 times (the main amino acids of collagen proteins). With a similar processing of peeled scales, the mass fraction of protein in the resulting drink increased from 0.3 to 2.0 % (6.7 times), dry matter – from 9.5 to 10.5 %, ash – from 0.3 up to 0.5 %, glycine – more than 7.0 times, proline – by 7.1 times, with a decrease in carbohydrates from 8.9 to 8.0 %. The thermally treated scales (powder) obtained after fractionation, drying and grinding had a significant decrease in the mass fraction of protein from 42.0 to 26.4 % (1.6 times) with an increase in carbohydrates to 16, 1 %, as evidenced by a change in the color of the scale powder (light brown). A comparative amino acid analysis of sterilized (110 deg C) and pasteurized (95 deg C) beverages obtained under similar conditions showed a significant effect of the processing temperature on the increase in the mass fraction of glycine, proline, alanine, valine, arginine, and serine in the liquid.

directly squeezed apple juice, fish skin and scales, juice-containing collagen drink, fish collagen, fish integumentary tissues

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным белком покровных тканей рыб (кожи, чешуи) является коллаген, составляющий до 80 % и более от общей массы белков. Коллагеновые белки в тканях позвоночных способствуют поддержанию структуры всех органов тела, обеспечивают эластичность, упругость и прочность, необходимые для их регенерации, восстановления и активного движения, защищают покровные ткани, препятствуя абсорбции и распространению токсинов, патогенных веществ, микроорганизмов и раковых клеток [1–3].

Содержание коллагена в организме человека составляет около 30 % всех белков, основная масса его находится в соединительных тканях (кожа, кости, хрящи, кровеносные сосуды и др.) [4]. В возрасте 18–29 лет выработка коллагена начинает снижаться, после 40 лет его снижение может достигать около 1 % в год, к 80 годам синтез коллагена может уменьшиться в целом на 75 % по сравнению с его выработкой у молодых людей [5, 6].

Стремление к правильному образу жизни, основанному на здоровом сбалансированном питании и достаточном количестве потребляемых пищевых ингредиентов, является одной из эффективных стратегий управления процессом старения, способствующей увеличению продолжительности активной жизни человека.

Известно, что гидролизированный коллаген в дерме обладает двойным механизмом действия: в первом – свободные аминокислоты обеспечивают строительные блоки для образования волокон коллагена и эластина, во втором – олигопептиды коллагена действуют как лиганды, связываясь с рецепторами на мембране фибробластов и стимулируя выработку нового коллагена, эластина и гиалуроновой кислоты [4, 7]. Многочисленные клинические испытания показали эффективность и положительное влияние гидролизованного коллагена на свойства кожи (увлажнение, эластичность, упругость, уменьшение морщин и др.), делая его популярным нутрицевтиком в повседневной борьбе с ее старением [7].

Рыбный гидролизированный коллаген обладает рядом свойств, таких как: бесцветность, прозрачность, нейтральный запах, пенообразование, пленкообразо-

вание, растворимость, диспергируемость, порошковая сжимаемость, смачиваемость, низкая аллергенность, незначительная вязкость в водных растворах, способность связывать ионы металлов, обеспечивая их биодоступность, быстрая усвояемость, антимикробная и антиоксидантная активность, что позволяет использовать его в кондитерских изделиях, выпечке, мясных и рыбных полуфабрикатах, сыре, молочных напитках, приправах, соусах и др., а также при разработке новых пищевых продуктов, в том числе функциональных.

Недавнее появление на мировом рынке напитков с добавлением коллагена и его гидролизатов (какао-коллаген, капучино-коллаген, сок с коллагеном и напитки из сушеных птичьих гнезд) вызвало огромный интерес и спрос, объясняемый улучшенными питательными, функциональными, физико-химическими и микробными свойствами продуктов, полезных для здоровья [8, 9].

С учетом быстро развивающегося мирового рынка функциональных напитков и значительного количества покровных тканей рыб после переработки (около 10 % массы рыбного сырья) сегодня очень актуально нахождение экономически приемлемых способов получения напитков на основе коллагенсодержащего рыбного сырья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являлись яблочный сок, полученный прессованием яблок (прямой отжим), и рыба кожа с чешуей судака после его разделки на предприятиях Калининградской области. Опыты проводили в лаборатории органической химии Калининградского государственного технического университета и лабораторном сертифицированном центре Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), руководствуясь следующими нормативными документами: ГОСТ 7636 – Массовая доля влаги, золы, протеина и жира в рыбе и рыбных продуктах; ГОСТ ISO 2173 – Определение содержания растворимых сухих веществ; М-04-38 – Корма, комбикорма и сырье для их производства. Измерение массовой доли аминокислот проводили методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель». Массовую долю углеводов определяли расчетным способом по разности (100 % минус содержание воды, жира, белка, золы).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сотрудниками кафедры химии КГТУ были предложены способы переработки покровных тканей рыб, новизна которых заключалась в термической обработке предварительно очищенной рыбьей кожи и чешуи во фруктовых, овощных, ягодных соках или кисломолочных продуктах при температуре 85–100 °С в течение 0,5–5 мин с последующим фракционированием образовавшейся смеси, получением жидкой части (функциональный напиток), твердой (пищевая коллагеновая основа/добавка) и дальнейшим охлаждением или высушиванием смеси [10, 11].

Во фруктовых соках возможно появление молочно- и уксуснокислых бактерий, дрожжей и плесени, которые довольно чувствительны к воздействию тепла. Известно, что высокая кислотность соков препятствует развитию большинства болезнетворных микроорганизмов, тем не менее некоторые виды сальмонелл и патогенной кишечной палочки – возбудителей кишечных инфекций – устойчивы в кислой среде [12].

Кинетика микробной инактивации показала, что 5-кратное уменьшение естественной флоры в яблочном соке было достигнуто при температуре 85°C и продолжительности обработки 60 мин [13].

Температуру от 85 до 95°C довольно часто используют для пастеризации соков, тем не менее документально подтверждено, что указанный термический процесс может быть недостаточен для инактивации термоустойчивых спорообразующих бактерий (*Alicyclobacillus acidoterrestris* и др.) и способен активировать находящиеся в неактивном состоянии аскоспоры плесени, вызывающие ухудшение качества соков [12, 14].

Жесткость тепловой обработки определяется произведением продолжительности обработки на температуру процесса. При этом продолжительность обработки более негативно сказывается на качестве получаемого сока, чем высокая температура обработки.

С целью сохранения качества и увеличения срока хранения, а также возможного увеличения перехода сухих веществ из покровных тканей рыб в получаемые напитки были проведены исследования обработки покровных тканей рыб в режиме стерилизации (100 °C и более). Дополнительным эффектом режима стерилизации может быть снижение жесткости рыбьей чешуи, что необходимо для последующего получения пищевой коллагенсодержащей добавки.

Термическую обработку в яблочном соке предварительно подготовленной рыбьей кожи и чешуи согласно предложенным способам проводили в лабораторных условиях отдельно, методом автоклавирования при достижении температуры 110°C и давления 0,11 МПа, после чего сбрасывали давление и фракционировали полученные смеси при помощи сита (размер ячеек 0,2×0,2 мм). Далее горячую жидкую часть (напиток) сразу же разливали в подготовленные стерильные емкости, герметично закрывали крышками и быстро охлаждали холодной водой до комнатной температуры. Оставшуюся твердую часть обрабатывали согласно предложенным способам.

Общий химический состав исходного сырья и полученных после термической обработки продуктов представлен в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав исходного сырья (яблочный сок прямого отжима, рыба кожа и чешуя судака) и полученных после термической обработки продуктов (порошок чешуи судака и яблочные соки с кожей и чешуей судака), %
Table 1. General chemical composition of the feedstock (directly squeezed apple juice, fish skin and pike perch scales) and products obtained after heat treatment (powder of pike perch scales and apple juices with skin and pike perch scales), %

Наименование образца	Массовая доля определяемого показателя, %				
	влага	белок	зола	углеводы	жир
1. Сок яблочный	90,5	0,3	0,3	8,9	–
2. Сок яблочный после термической обработки с кожей судака	88,6	4,1	0,2	7,1	–
3. Сок яблочный после термической обработки с чешуей судака	89,5	2,0	0,5	8,0	–
4. Чешуя судака	7,8	42,0	50,2	–	Менее 0,1
5 Порошок чешуи судака после термической обработки	6,7	26,4	50,3	16,1	0,5
6. Кожа судака	8,1	90,6	1,3	–	Менее 0,1

Как видно из табл. 1, при термической обработке в яблочном соке очищенной рыбьей кожи массовая доля белка увеличилась с 0,3 до 4,1 % (в 13,7 раза), сухих веществ – с 9,5 до 11,4 % при уменьшении золы с 0,3 до 0,2 % и углеводов с 8,9 до 7,1 %.

При термической обработке в яблочном соке очищенной рыбьей чешуи массовая доля белка увеличилась с 0,3 до 2,0 % (в 6,7 раза), сухих веществ – с 9,5 до 10,5 %, золы – с 0,3 до 0,5 % при уменьшении углеводов с 8,9 до 8,0 %. При этом полученная после фракционирования, высушивания и измельчения рыбья чешуя (порошок) имела значительное снижение массовой доли белка с 42,0 до 26,4 % (в 1,6 раза) при увеличении углеводов до 16,1 %, о чем свидетельствовало изменение цвета порошка чешуи на светло-коричневый.

Аминокислотный состав исходного сырья (яблочный сок прямого отжима, рыбья кожа и чешуя судака) и полученных после термической обработки продуктов (порошок чешуи судака и яблочные соки с кожей и чешуей судака) представлен в табл. 2.

Таблица 2. Аминокислотный состав (массовая доля, %) исходного сырья (яблочный сок прямого отжима, рыбная кожа и чешуя судака) и полученных после термической обработки продуктов (порошок чешуи судака и яблочные соки с кожей и чешуей судака)

Table 2. Amino acid composition (mass fraction, %) of the initial raw material (directly squeezed apple juice, fish skin and zander scales) and products obtained after heat treatment (powder of pike perch scales and apple juices with skin and pike perch scales)

Аминокислоты	*Сок яблочный	Кожа судака	Чешуя судака	После термической обработки			
				*Сок яблочный с кожей	*Сок яблочный с чешуей	Кожа судака	Чешуя судака
Arg	Менее 0,5	7,65	3,49	1,22	0,27	0,62	1,51
Lys	Менее 0,25	3,85	1,91	0,31	0,12	0,46	0,78
Tyr	Менее 0,25	0,77	0,49	0,15	0,08	0,24	0,32
Phe	Менее 0,25	1,90	1,00	0,50	0,25	0,32	0,60
His	Менее 0,25	1,18	0,87	0,28	0,15	0,13	0,55
Leu+ile	Менее 0,25	3,20	1,60	0,82	0,41	0,81	0,97
Met	Менее 0,25	1,26	1,11	0,46	0,19	0,42	0,50
Val	Менее 0,5	7,10	3,70	1,72	1,02	0,35	1,99
Pro	Менее 0,25	11,00	5,88	3,27	1,78	0,77	3,11
Thr	Менее 0,25	2,79	1,56	0,67	0,39	0,43	0,80
Ser	Менее 0,25	4,36	2,52	1,18	0,70	0,60	1,27
Ala	Менее 0,25	9,65	5,13	2,74	1,56	0,70	2,62
Gly	Менее 0,5	20,80	11,60	6,19	3,49	1,20	5,88
Glu	Менее 0,5	–	–	–	–	0,71	–
Asp	Менее 0,5	–	–	–	–	0,68	–
Cys-Cys	Менее 0,5	–	–	–	–	0,08	–
Trp	Менее 0,1	–	–	–	–	0,00	–

*Определение проводилось в высушенных до постоянной массы образцах

Из табл. 2 видно, что в процессе термической обработки рыбьей кожи в яблочном соке прямого отжима массовая доля глицина в полученном напитке увеличилась более 12,4 раза, а пролина – в 13,1 раза (превалирующие аминокислоты коллагена), также существенно возросло содержание аланина, валина, аргинина и серина.

При термической обработке в яблочном соке рыбьей чешуи массовая доля глицина в полученном напитке увеличилась более чем в 7,0 раз, пролина – в 7,1 раза и аланина – в 6,2 раза.

Аминокислотный анализ полученных в аналогичных условиях пастеризованных и стерилизованных сокодержающих напитков (яблочный сок прямого отжима) с использованием покровных тканей рыб (кожа, чешуя) представлен в табл. 3.

Таблица 3. Аминокислотный состав (массовая доля, %) яблочного сока прямого отжима и полученных пастеризованных (95 °С) и стерилизованных (110 °С, P=0,11 МПа) сокодержающих напитков с использованием рыбьей кожи и чешуи судака

Table 3. Amino acid composition (mass fraction, %) of directly squeezed apple juice and obtained pasteurized (95 deg C) and sterilized (110 deg C, P=0.11 MPa) juice drinks using fish skin and pike perch scales

*Аминокислоты	Сок яблочный	Сок яблочный с кожей (пастеризованный)	Сок яблочный с кожей (стерилизованный)	Сок яблочный с чешуей (пастеризованный)	Сок яблочный с чешуей (стерилизованный)
1	2	3	4	5	6
Аргинин (Arg)	Менее 0,5	Менее 0,5	1,22	Менее 0,5	0,27
Лизин (Lys)	Менее 0,25	Менее 0,25	0,31	Менее 0,25	0,12
Тирозин (Tyr)	Менее 0,25	Менее 0,25	0,15	Менее 0,25	0,08
Фенилаланин (Phe)	Менее 0,25	Менее 0,25	0,50	Менее 0,25	0,25
Гистидин (His)	Менее 0,25	Менее 0,5	0,28	Менее 0,5	0,15
Лейцин + изолейцин (Leu+ile)	Менее 0,25	Менее 0,25	0,82	Менее 0,25	0,41
Метионин (Met)	Менее 0,25	Менее 0,25	0,46	Менее 0,25	0,19
Валин (Val)	Менее 0,5	Менее 0,5	1,72	Менее 0,5	1,02
Пролин (Pro)	Менее 0,25	Менее 0,25	3,27	Менее 0,25	1,78
Треонин (Thr)	Менее 0,25	Менее 0,5	0,67	0,70	0,39
Серин (Ser)	Менее 0,25	Менее 0,25	1,18	Менее 0,25	0,70

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Аланин (Ala)	Менее 0,25	Менее 0,25	2,74	0,47	1,56
Глицин (Gly)	Менее 0,5	0,40	6,19	1,07	3,49
Глутаминовая кислота + Глутамин (Glu)	Менее 0,5	Менее 0,5	–	Менее 0,5	–
Аспарагиновая кислота+ Аспарагин (Asp)	Менее 0,5	Менее 0,5	–	Менее 0,5	–
Цистин + цистеин (Cys-Cys)	Менее 0,5	Менее 0,1	–	Менее 0,1	–
Триптофан (Trp)	Менее 0,1	Менее 0,1	–	Менее 0,1	–

* Определение проводилось в высушенных до постоянной массы образцах

Из табл. 3 видно, что увеличение температуры обработки (стерилизация) яблочного сока прямого отжима с использованием рыбьей кожи и чешуи, по сравнению с аналогично получаемыми пастеризованными продуктами, оказывает существенное влияние на увеличение массовой доли основных аминокислот коллагеновых белков (глицина и пролина), а также других аминокислот (аланина, валина, аргинина и серина), перешедших из рыбного сырья в жидкость.

Масса фракционированной после термической обработки (пастеризации) рыбьей кожи в зависимости от времени и температуры обработки, а также вида рыбы может составлять от 20 до 75 % массы сырой очищенной кожи, а при стерилизации 5–10 %.

Полученные сокодержущие (яблочный сок прямого отжима) коллагеновые напитки представлены на рис. 1.



Рис. 1. Сокодержущие коллагеновые напитки (1 – яблочный сок прямого отжима, 2 – термически обработанный яблочный сок с добавлением рыбьей кожи, 3 – термически обработанный яблочный сок с добавлением рыбьей чешуи)
 Fig. 1. Collagen juice drinks (1 – directly squeezed apple juice, 2 – thermally processed apple juice with the addition of fish skin, 3 – thermally processed apple juice with the addition of fish scales)

На рис. 1 видно, что термически обработанный (стерилизованный) яблочный сок с добавлением кожи имеет более темный оттенок как жидкой части, так и осадка (№ 2) по сравнению с исходным яблочным соком (№ 1), что связано с переходом 93 % массы очищенной кожи в напиток. Термически обработанный (стерилизованный) яблочный сок с добавлением очищенной чешуи имеет более светлый оттенок и меньшее количество осадка (№ 3) по сравнению с исходным яблочным соком.

Полученная после фракционирования термически обработанная, высушенная и измельченная чешуя судака представлена на рис. 2.



Рис. 2. Термически обработанная в яблочном соке, высушенная и измельченная чешуя судака

Fig. 2. Heat-treated in apple juice, dried and crushed zander scales

Таким образом, термически обработанная чешуя легко измельчилась и приобрела светло-коричневый оттенок, соответствующий цвету яблочного сока, а также легкий фруктовый аромат, что объясняется некоторым количеством углеводов и красящих веществ (16,1 %), перешедших из яблочного сока и адсорбированных на чешуе (см. табл. 1).

ВЫВОДЫ

Увеличение температуры обработки (стерилизация при 110 °С) яблочного сока прямого отжима с использованием рыбьей кожи и чешуи, по сравнению с аналогично получаемыми пастеризованными (95 °С) продуктами, оказывает существенное влияние на увеличение массовой доли основных аминокислот коллагеновых белков (глицина и пролина), а также других аминокислот (аланина, валина, аргинина и серина), перешедших из рыбного сырья в жидкость.

Масса фракционированной после термической обработки (пастеризации) рыбьей кожи в зависимости от температуры и времени обработки, а также вида рыбы может составлять от 20 до 75 % массы сырой очищенной кожи, при стерилизации ее масса достигает 5–10 % массы необработанной кожи.

Термически обработанная в яблочном соке и высушенная рыба чешуя легко измельчается и приобретает светло-коричневый оттенок цвета, аналогичный применяемой жидкости, и имеет легкие нотки фруктового аромата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tziveleka, L. A. Collagen from the marine sponges *Axinella cannabina* and *Suberites carnosus*: Isolation and morphological, biochemical, and biophysical characterization / L. A. Tziveleka, E. Ioannou, D. Tsiourvas, P. Berillis [at al.] // *Marine drugs*. – 2017. – Vol. 15. – № 6. – P. 152.
2. Wu, J. Isolation and Comparative Study on the Characterization of Guanidine Hydrochloride Soluble Collagen and Pepsin Soluble Collagen from the Body of Surf Clam Shell (*Coelomactra antiquata*) / J. Wu, X. Guo, H. Liu, L. Chen // *Foods*. – 2019. – Vol. 8. – № 1. – P. 11.
3. Shoulders, M. D., Raines, R. T. Collagen structure and stability / M. D. Shoulders, R. T. Raines // *Annual review of biochemistry*. – 2009. – Vol. 78. – Pp. 929–958.
4. Sibilla, S. An overview of the beneficial effects of hydrolysed collagen as a nutraceutical on skin properties: Scientific background and clinical studies / S. Sibilla, M. Godfrey, S. Brewer, A. Budh-Raja [at al.] // *The Open Nutraceuticals Journal*. – 2015. – Vol. 8. – № 1. – Pp. 29–42.
5. Varani, J. Decreased collagen production in chronologically aged skin: roles of age-dependent alteration in fibroblast function and defective mechanical stimulation / J. Varani, M. K. Dame, L. Rittie, S. E. Fligiel [at al.] // *The American journal of pathology*. – 2006. – Vol. 168. – № 6. – Pp. 1861–1868.
6. Baumann, L. Skin ageing and its treatment / L. Baumann // *The Journal of Pathology: A Journal of the Pathological Society of Great Britain and Ireland*. – 2007. – Vol. 211. – № 2. – Pp. 241–251.
7. León-López, A. Hydrolyzed Collagen – Sources and Applications / A. León-López, A. Morales-Peñaloza, V. M. Martínez-Juárez, A. Vargas-Torres [at al.] // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24. – № 22. – Pp. 4031.
8. Hashim, P. Collagen in food and beverage industries / P. Hashim, M. M. Ridzwan, J. Bakar, M. D. Hashim // *International Food Research Journal*. – 2015. – Vol. 22. – № 1. – P. 1.
9. Bilek, S. E. Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen / S. E. Bilek, S. K. Bayram // *Journal of functional foods*. – 2015. – Vol. 14. – Pp. 562–569.
10. Пат. № 2718862 РФ, МПК А 23L 17/00. Способ обработки рыбной чешуи для получения функционального напитка, функциональной пищевой добавки и косметического скраба / Воробьев В. И.; опубл. 15.04.2020, Бюл. № 11 – 10 с.
11. Пат. № 2734034 РФ, МПК А 23L 29/281, А 23L 17/00, 23L 33/28. Способ получения пищевых коллагенсодержащих продуктов / Воробьев В. И.; опубл. 12.10.2020, Бюл. № 29 – 12 с.
12. Филиппова, Р. Л. Бактерии рода *Alicyclobacillus* – возбудители порчи фруктовых соков и напитков / Р. Л. Филиппова, А. Ю. Колеснов, Т. Г. Мухамеджанова // *Пиво и напитки*. – 2004. – № 3. – С. 30–31.

13. Ferrentino, G. Microbial inactivation and shelf life of apple juice treated with high pressure carbon dioxide / G. Ferrentino, M. Bruno, G. Ferrari, M. Poletto [at al.] // *Journal of Biological Engineering*. – 2009. – Vol. 3. – № 1. – P. 3.

14. Perestrelo, R. Differentiation of fresh and processed fruit juices using volatile composition / R. Perestrelo, C. Silva, P. Silva, S. Medina [at al.] // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24. – № 5. – P. 974.

REFERENCES

1. Tziveleka L. A., Ioannou E., Tsiourvas D., Berillis P., Foufa E., Roussis V. Collagen from the marine sponges *Axinella cannabina* and *Suberites carnosus*: Isolation and morphological, biochemical, and biophysical characterization. *Marine drugs*, 2017, vol. 15, no. 6, pp. 152.

2. Wu J., Guo X., Liu H., Chen L. Isolation and Comparative Study on the Characterization of Guanidine Hydrochloride Soluble Collagen and Pepsin Soluble Collagen from the Body of Surf Clam Shell (*Coelomacra antiquata*). *Foods*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 11.

3. Shoulders M. D., Raines R. T. Collagen structure and stability. *Annual review of biochemistry*, 2009, vol. 78, pp. 929–958.

4. Sibilla S., Godfrey M., Brewer S., Budh-Raja A., Genovese L. An overview of the beneficial effects of hydrolysed collagen as a nutraceutical on skin properties: Scientific background and clinical studies. *The Open Nutraceuticals Journal*, 2015, vol. 8, no. 1, pp. 29–42

5. Varani J., Dame M. K., Rittie L., Fligiel S. E., Kang S., Fisher G. J., Voorhees J. J. Decreased collagen production in chronologically aged skin: roles of age-dependent alteration in fibroblast function and defective mechanical stimulation. *The American journal of pathology*, 2006, vol. 168, no. 6, pp. 1861–1868.

6. Baumann L. Skin ageing and its treatment. *The Journal of Pathology: A Journal of the Pathological Society of Great Britain and Ireland*, 2007, vol. 211, no. 2, pp. 241–251.

7. León-López A., Morales-Peñaloza A., Martínez-Juárez V. M., Vargas-Torres A., Zeugolis D. I., Aguirre-Álvarez G. Hydrolyzed Collagen – Sources and Applications. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 22, pp. 4031.

8. Hashim P., Ridzwan M. M., Bakar J., Hashim M. D. Collagen in food and beverage industries. *International Food Research Journal*, 2015, vol. 22, no. 1, pp. 1.

9. Bilek S. E., Bayram S. K. Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen. *Journal of functional foods*, 2015, vol. 14, pp. 562–569.

10. Pat. (RU) 2718862 MPK A 23L 17/00. Sposob obrabotki rybnoy cheshui dlya polucheniya funktsional'nogo napitka, funktsional'noy pishchevoy dobavki i kosmeticheskogo skraba [Patent (RU) 2718862 IPC A 23L 17/00. Method of processing fish scales for obtaining a functional drink, a functional food additive and a cosmetic scrub]. Vorob'yov V. I.; opubl. 15.04.2020, Byul. no. 11, 10 p.

11. Pat. (RU) 2734034 MPK A 23L 29/281, A 23L 17/00, 23L 33/28. Sposob polucheniya pishchevykh kollagensoderzhashchikh produktov [Patent (RU) 2734034 IPC A 23L 29/281, A 23L 17/00, 23L 33/28 Method of obtaining food collagen-containing products]. Vorob'yov V. I.; opubl. 12.10.2020, Byul. no. 29, 12 p.

12. Filippova R. L., Kolesnov A. Yu., Mukhamedzhanova R. L. Bakterii roda Ali-cyclobacillus – возбудители porchi fruktovykh sokov i napitkov [Juices and beverages spoilage Ali-cyclobacillus bacteria]. *Pivo i napitki*, 2004, no. 3, pp. 30–31.

13. Ferrentino G., Bruno M., Ferrari G., Poletto M., Balaban M. O. Microbial inactivation and shelf life of apple juice treated with high pressure carbon dioxide. *Journal of Biological Engineering*, 2009, vol. 3, no. 1, pp. 3.

14. Perestrelo R., Silva C., Silva P., Medina S., Câmara J. S. Differentiation of fresh and processed fruit juices using volatile composition. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 5, pp. 974.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Воробьев Виктор Иванович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры химии;
E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

Vorobyov Viktor Ivanovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry;
E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

УДК 664.951

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-85-96

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИ СУХОМ ПОСОЛЕ САЛАКИ СОЛЮ, ОБОГАЩЕННОЙ ФИТОКОМПОНЕНТАМИ ЧЕСНОКА

В. Ф. Гужова, В. А. Шуманов, М. В. Шуманова, А. В. Чернова

STUDY OF DIFFUSION PROPERTIES WHEN DRY SALTING BALTIC HERRING WITH SALT ENRICHED WITH PHYTOCOMPONENTS OF GARLIC

V. F. Guzhova, V. A. Shumanov, M. V. Shumanova, A. V. Chernova

Посол является традиционным и наиболее целесообразным процессом технологической обработки для рыб семейства сельдевых. В рамках представленной работы исследован процесс сухого посола салаки. Определены коэффициенты диффузии соли методом фотонной корреляционной спектроскопии. При посоле применялись два вида соли: поваренная пищевая и обогащенная фитоконпонентами чеснока. Показано, что коэффициенты диффузии соли обогащенной на порядок выше, чем коэффициенты диффузии поваренной пищевой. Интенсивность диффундирующих веществ соли, обогащенной фитоконпонентами чеснока, также на протяжении всего эксперимента была выше в 1,5 раза, однако при достижении глубины 4 мм интенсивность рассеяния света у обоих образцов выравнивалась. Увеличение коэффициента диффузии говорит о том, что процесс посола интенсифицируется, так как соль, являясь носителем фитоконпонентов, проникает в ткани салаки, и, как следствие, фитоконпоненты, которыми она обогащена, также диффундируют внутрь тканей рыбы. Высокое значение интенсивности рассеяния света у образцов салаки с обогащенной солью свидетельствует о том, что более активно образуются «кластеры» соли с водой. Последнее объясняется ее влагоудерживающей способностью и подтверждает результаты проведенных ранее исследований. В данном случае можно говорить о том, что соль, обогащенная фитоконпонентами чеснока, служит комплексным барьером в технологии гидробионтов, так как обладает высоким коэффициентом диффузии, а кроме этого антимикробными и антиоксидантными свойствами, что положительно скажется на качестве готового продукта, а также его безопасности.

посол, соль, салака, фитоконпоненты, чеснок, коэффициент диффузии, интенсивность рассеяния, рэлеевское рассеяние, фотонная корреляционная спектроскопия

The salting process is traditional and most expedient process of technological processing for clupeidae. Within the framework of the presented work, the process of dry salting of herring has been investigated. The diffusion coefficients of salt have been determined by the method of photon correlation spectroscopy. When salting, two types of salt were used: table salt and salt enriched with phytocomponents of garlic. It was

shown that the diffusion coefficients of salt enriched with phytocomponents of garlic are an order of magnitude higher than the diffusion coefficients of table salt. The intensity of the diffusing substances of the salt enriched with phytocomponents of garlic was also 1.5 times higher throughout the experiment; however, when the depth of 4 mm was reached, the intensity of light scattering in both samples leveled off. An increase in the diffusion coefficient indicates that the salting process is intensified, since salt, being a carrier of phytocomponents, penetrates into the tissues of herring, and, as a result, phytocomponents that are enriched with salt also penetrate into the tissues of fish. The high value of the intensity of light scattering in the samples of herring with salt enriched with phytocomponents of garlic indicates that "clusters" of salt with water are more actively formed, which means that the water-holding capacity increases, which is confirmed by previous studies. In this case, it can be said that salt enriched with phytocomponents of garlic serves as a complex barrier in the technology of aquatic organisms, since it has a high diffusion coefficient, and besides this, antimicrobial and antioxidant properties, which will have a positive effect on the quality of the finished product, as well as on its safety.

salting, salt, Baltic herring, phytocomponents, garlic, diffusion coefficient, scattering intensity, Rayleigh scattering, photon correlation spectroscopy

ВВЕДЕНИЕ

Посол – это сложный массообменный процесс, состоящий из диффузионного перехода соли в рыбу, диффузионно-осмотического переноса влаги из тканей рыбы через кожу в окружающую среду.

В процессе посола происходят:

- физико-химические и биохимические изменения;
- денатурация и гидролиз белков, липидов и экстрактивных веществ;
- изменения микрофлоры и витаминов [1].

Различают следующие способы посола: сухой, мокрый (тузлучный) и смешанный [1]. Тузлучный посол для сельди подробно исследован как экспериментально, так и теоретически [2]. Технологическое решение комбинировать смешанный посол рыбы с использованием холода было исследовано А. М. Ершовым с группой сотрудников [3]. Однако изучение технологии и процессов, происходящих при сухом посоле рыбы, остается актуальной задачей.

В основном для сельдевых применяется технология тузлучного посола, так как при сухом часто возникают пороки готовой продукции или соленого полуфабриката, такие как ожоги. Соленый полуфабрикат имеет непродолжительный срок хранения, поскольку именно в промежутках между технологическими операциями существует риск контаминации полуфабриката микроорганизмами порчи, намного интенсивнее протекают окислительные процессы, что влияет на обеспечение безопасности и качества готовой продукции. Поэтому необходим поиск путей совершенствования получения соленого полуфабриката с заданными технологическими свойствами. Возможным решением может быть использование барьерной технологии с применением антиоксидантов и антисептиков природного происхождения.

Фитокомпоненты растений содержат в своем составе вещества, обладающие антимикробными и антиокислительными свойствами, и могут выступить в

качестве комплексного барьера, позволяющего повысить качественные характеристики готовой продукции.

Исходя из вышесказанного, необходимо изучить динамику массообменных процессов, происходящих при сухом посоле, а также понять, проникают ли фитокомпоненты, используемые при посоле, в толщу тканей рыбы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Семейство сельдевых является традиционным видом сырья, для них посол – наиболее целесообразный вид обработки. Салака, или сельдь балтийская, – один из основных промысловых видов рыб Балтийского моря, дающий около половины всего улова, добываемого в этом водоеме [4, 5].

При проведении эксперимента применялась соль, обогащенная фитокомпонентами чеснока, технологические свойства которой были изучены ранее [5].

Исследования выполняли с помощью нанотехнологии – метода фотонной корреляционной спектроскопии (ФКС), связанного с рэлеевским рассеянием света.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Более подробное ее описание и сущность метода представлены в ранних работах [2]. Отметим лишь то, что с помощью данной установки возможно измерять интенсивность рассеяния света, коэффициент диффузии соли в тканях рыбы, а также размеры диффундирующих частиц.

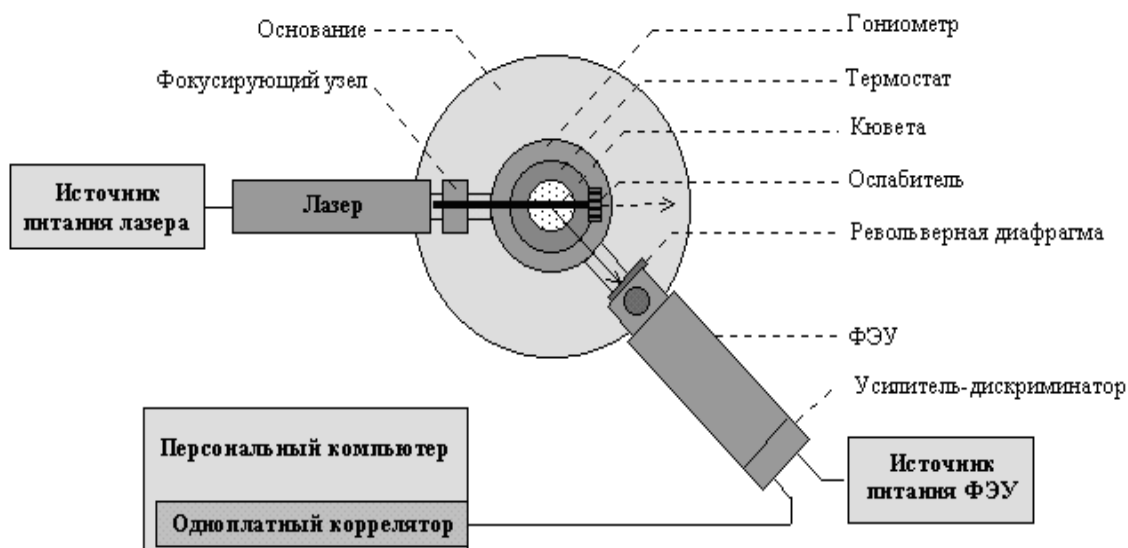


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Fig. 1. Experimental device scheme

Настоящая информация позволяет с помощью пространственно-временного распределения данных величин показать характер процесса посола.

Объектом исследования служила сельдь балтийская, или салака (*Clupea harengus membras*). Опытные образцы выделяли из средней части тела рыбы, далее помещали вырезанные кусочки салаки кожей вверх в кювету, затем посыпали солью поваренной пищевой, а также обогащенной фитокомпонентами чеснока. С

помощью лазерного луча с боковой грани кюветы сканировали образец по ее высоте. Измеряли значения интенсивности, коэффициентов диффузии и размеров диффундирующих частиц по толщине слоя салаки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 представлены распределения коэффициентов диффузии с течением времени в двух срезах:

- 1 – на коже (рис. 2, а);
- 2 – в тканях салаки на глубине 3 мм от кожи (рис. 2, б).

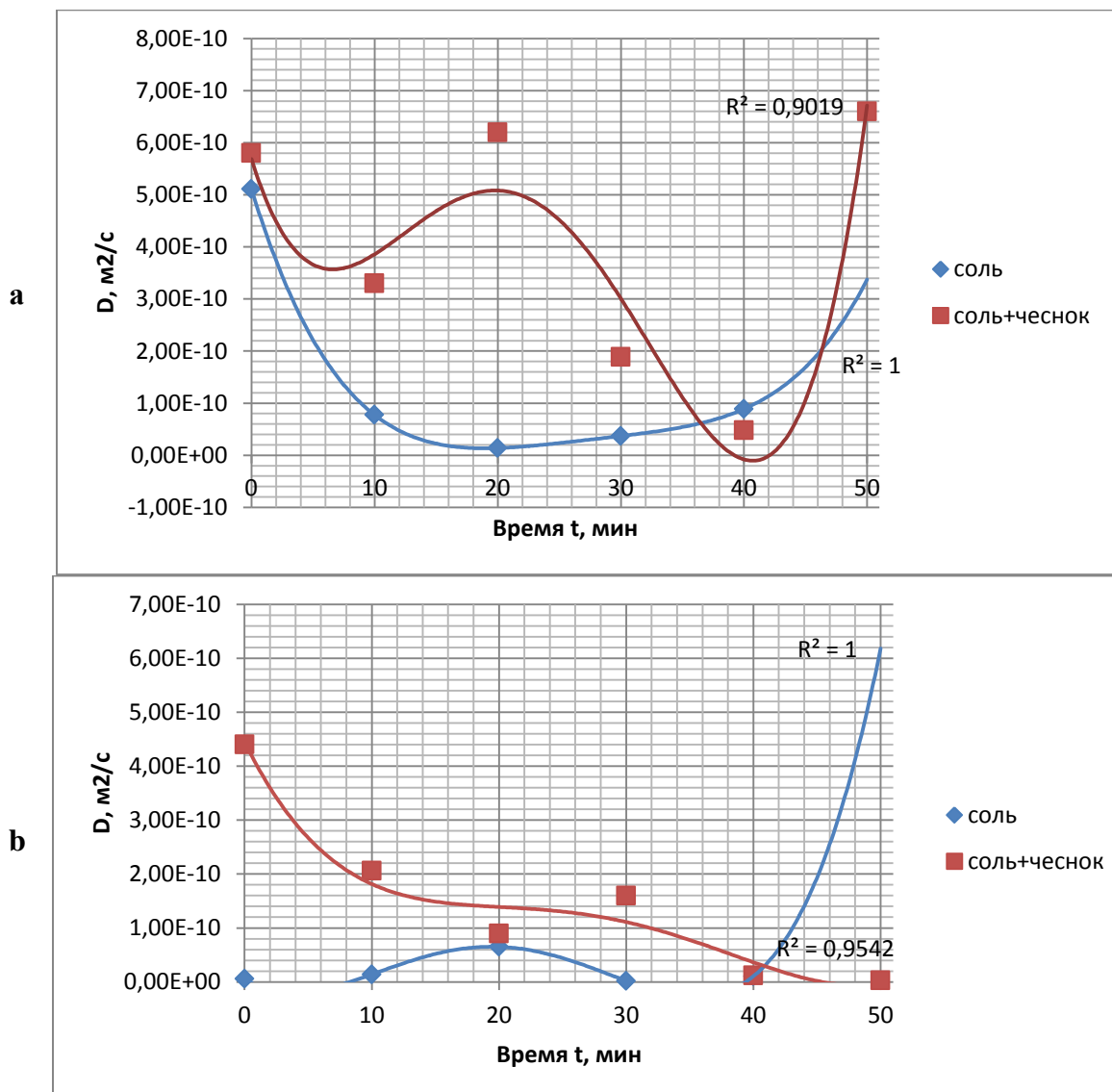


Рис. 2. Распределение коэффициента диффузии в зависимости от времени (а – на коже; б – на глубине 3 мм от кожи)
 Fig. 2. Distribution of the diffusion coefficient depending on time (a – on the skin; b – at a depth of 3 mm from the skin)

Как видно из рисунков, значение коэффициентов диффузии через 40 мин после начала процесса посола выравнивается как на коже, так и на глубине 3 мм у двух исследуемых образцов. Это практически наблюдается и для других срезов (рис. 3 а, b, с).

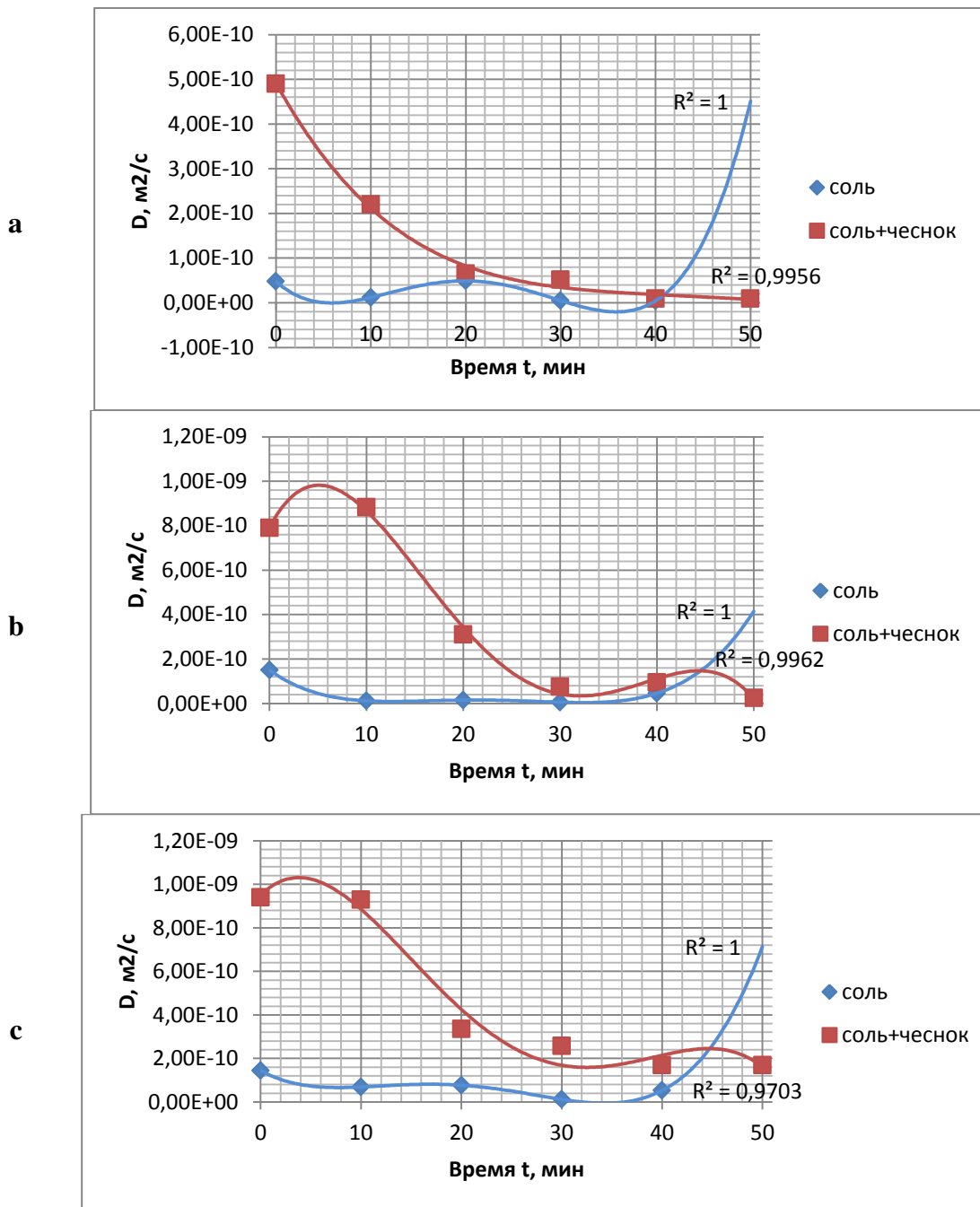


Рис. 3. Распределение коэффициента диффузии в зависимости от времени (а – на глубине 2 мм от кожи; б – на глубине 4 мм от кожи; с – на глубине 5 мм от кожи)

Fig. 3. Distribution of the diffusion coefficient depending on time (a – at a depth of 2 mm from the skin; b – at a depth of 4 mm from the skin; c – at a depth of 5 mm from the skin)

Следует отметить также, что коэффициенты диффузии при сухом посоле солью всегда меньше, чем таковые при посоле солью, обогащенной фитоконпонентами чеснока.

На рис. 4 представлены характеры зависимости коэффициентов диффузии от кожи (0 мм) вглубь ткани салаки в начальный момент посола (рис. 4, а) и через 30 мин после начала (рис. 4, б). Коэффициент диффузии в толще ткани салаки имеет ярко выраженные пульсации при посоле солью, обогащенной фитоконпонентами чеснока, нежели при посоле поваренной пищевой. Это, по-видимому, связано с взаимодействием встречных потоков влаги из ткани салаки и соли, обогащенной фитоконпонентами чеснока, в ткань через кожу.

Данный эффект наблюдался и при тузлучном посоле сельди [2].

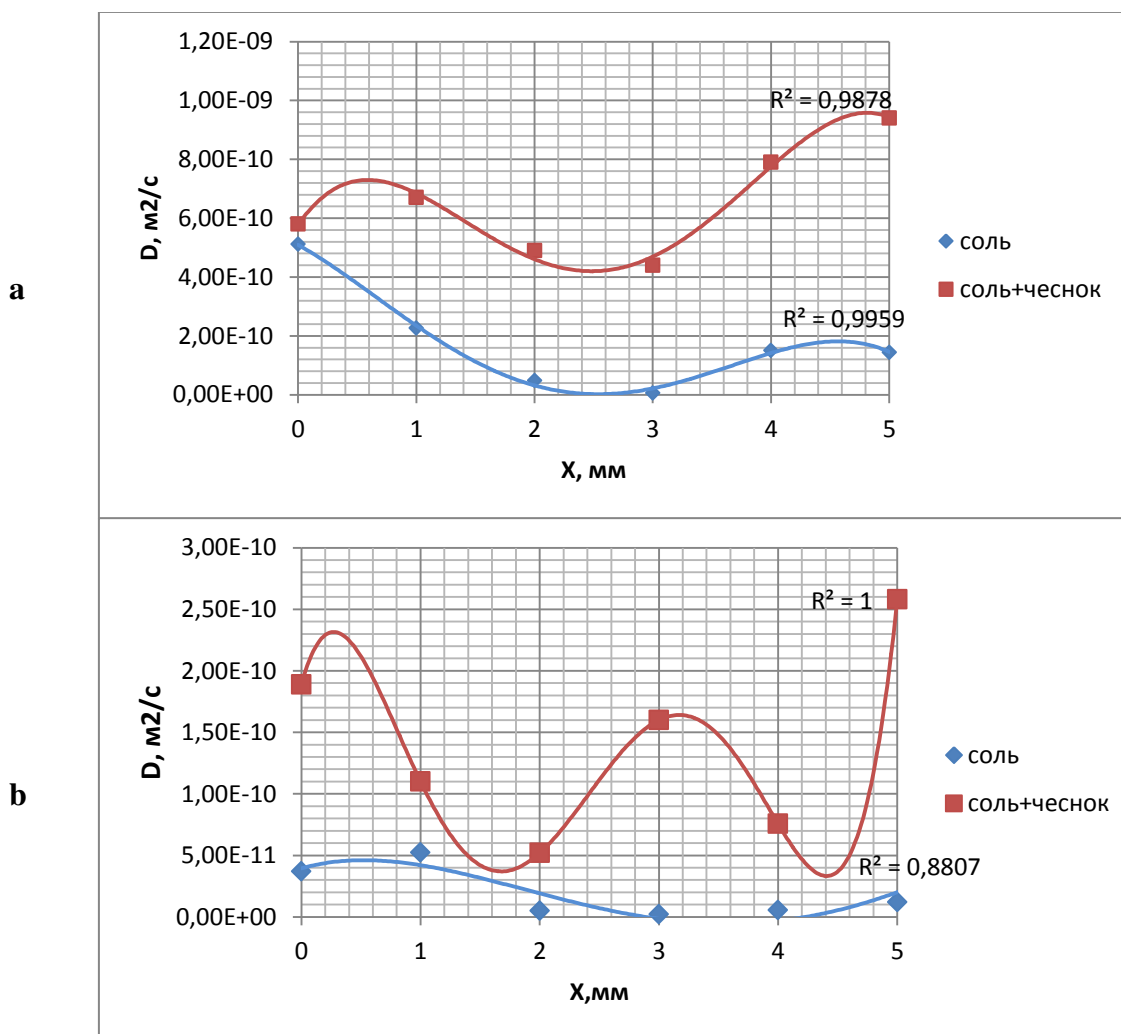


Рис. 4. Распределение коэффициента диффузии в зависимости от расстояния (а – в начальный момент посола; б – через 30 мин посола)

Fig. 4. Distribution of the diffusion coefficient depending on distance (a – at the initial moment of salting; b – after 30 minutes of salting)

Как известно [6–8], интенсивность рассеяния света линейно связана с концентрацией частиц. Данные частицы, на которых происходит рассеяние света, являются молекулами соли (точнее, ионы Na^+ и Cl^-), которые связывают с собой большое количество молекул воды, тем самым образуя «кластеры» [9].

На рис. 5 а, b, с, d, e представлено изменение интенсивности на различных слоях образцов салаки в зависимости от времени (через каждые 10 мин после начала посола).

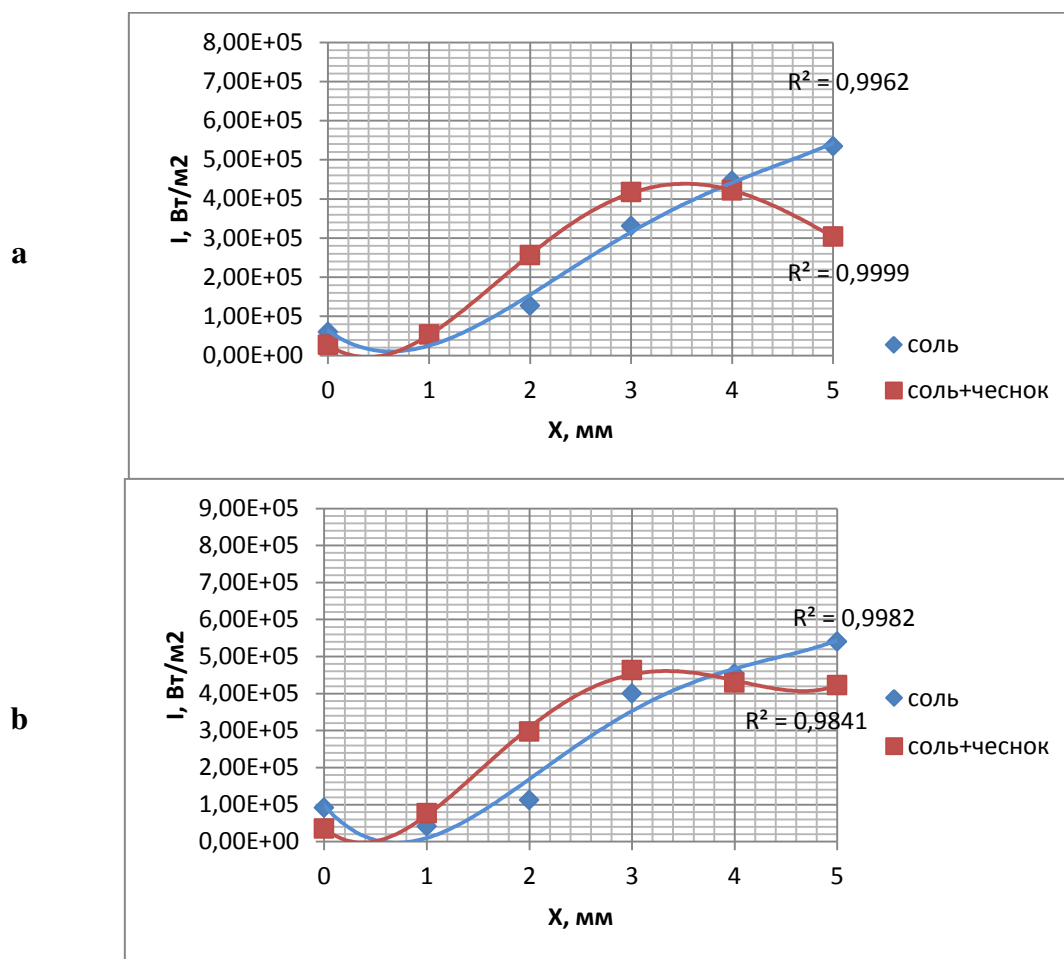


Рис. 5. Зависимость интенсивности рассеяния света от глубины слоя в течение времени (через каждые 10 мин): а – момент начала посола; б – через 10 мин после начала посола; с – через 20 мин после начала посола; d – через 30 мин после начала посола; e – через 40 мин после начала посола
 Fig. 5. Dependence of the intensity of light scattering on the depth of the layer, over time (every 10 minutes): a – start of salting; b – 10 minutes after the start of salting; c – 20 minutes after the start of salting; d – 30 minutes after the start of salting; e – 40 minutes after the start of salting

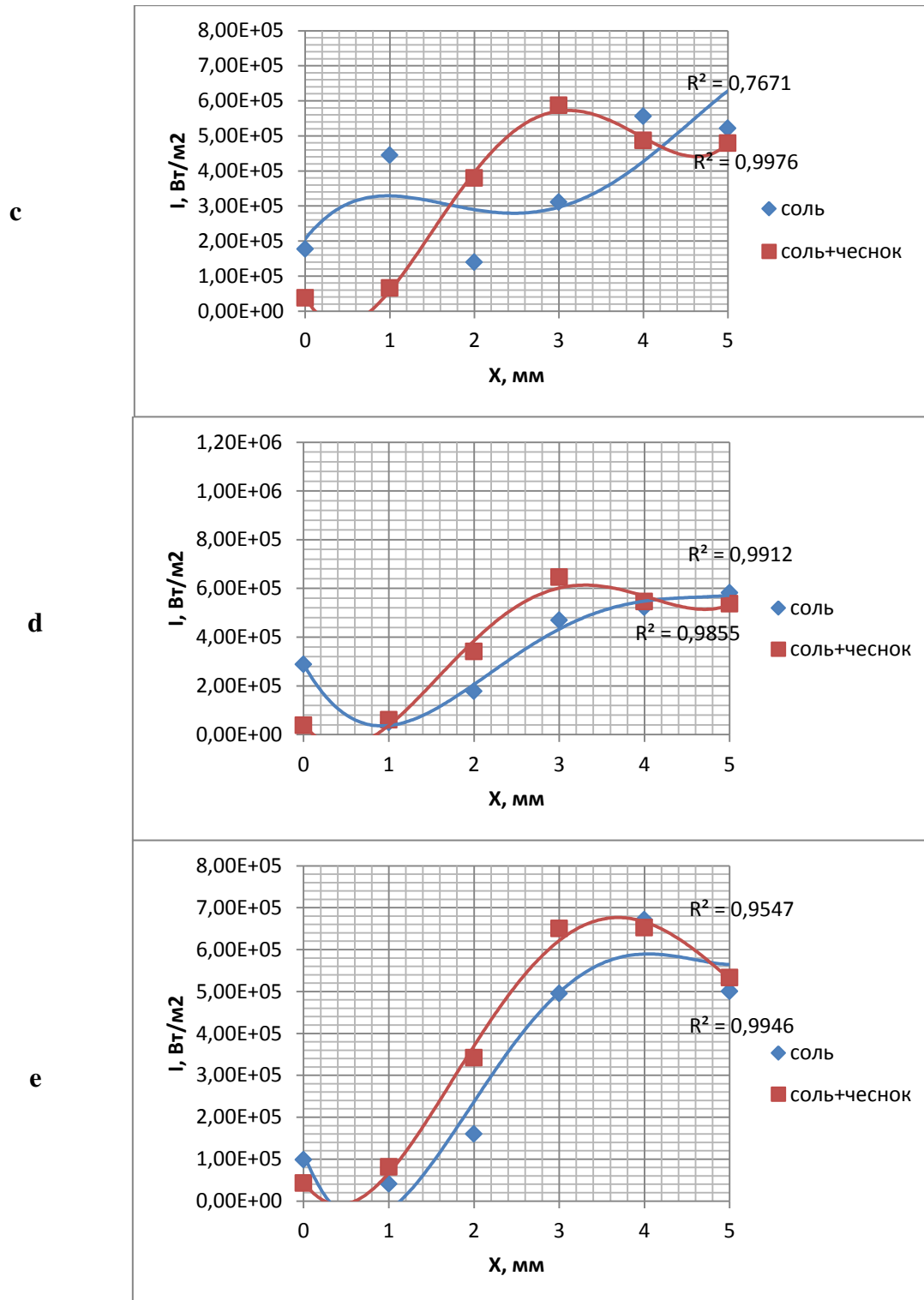


Рис. 5. Окончание
Fig. 5. Ending

На коже ($X = 0$ мм) в начальный момент времени интенсивность рассеяния света, а следовательно, и концентрация «кластеров» поваренной соли с водой

были практически одинаковы для двух исследуемых образцов – при посоле солью поваренной пищевой и при посоле таковой, обогащенной фитоконпонентами чеснока. На глубине 1 мм интенсивность рассеяния света выравнивается уже через 10 мин после начала посола (рис. 5, b).

Соль, обогащенная фитоконпонентами чеснока, проникала вглубь тканей салаки интенсивнее, чем обычная. На протяжении первых 20 мин различия эти незначительны, а начиная с 30-й минуты посола интенсивность рассеяния света увеличивается в 1,5 раза в сравнении с обычной солью. К 40-й минуте скорость образования «кластеров» выравнивается.

ВЫВОДЫ

С помощью метода фотонной корреляционной спектроскопии (ФКС) были получены следующие результаты:

1 – коэффициенты диффузии при сухом посоле салаки солью, обогащенной фитоконпонентами чеснока, были выше, нежели при посоле поваренной пищевой во всех проведенных экспериментах;

2 – наблюдались значительные пульсации коэффициентов диффузии при посоле салаки солью, обогащенной фитоконпонентами чеснока, в сравнении с обычной. Этот эффект связан с взаимодействием встречных потоков тканевой жидкости из рыбы и соли в рыбу;

3 – соль как носитель фитоконпонентов чеснока при посоле диффундирует в ткани салаки, и, как следствие, фитоконпоненты, которыми она обогащена, также проникают внутрь тканей рыбы. При этом происходит интенсификация процесса посола, что подтверждается увеличением коэффициента диффузии;

4 – высокое значение интенсивности рассеяния света у образцов салаки с солью, обогащенной фитоконпонентами чеснока, свидетельствует о том, что более активно образуются «кластеры» соли с водой, следовательно, увеличивается ее влагоудерживающая способность, что коррелирует с ранее проведенными исследованиями.

Таким образом, соль, обогащенная фитоконпонентами чеснока, обладающая антимикробными и антиоксидантными свойствами и высоким коэффициентом диффузии, проникая в ткани салаки, обеспечивает безопасность готовой продукции. Кроме того, она также является комплексным барьером, отвечающим всем требованиям, предъявляемым к таковым в технологии гидробионтов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технология рыбы и рыбных продуктов: учебник / под ред. А. М. Ершова. – Москва: Колос, 2010. – 1064 с.
2. Шуманова, М. В. Исследование посола рыбы нанотехнологическими методами: моногр. / М. В. Шуманова, Ю. А. Фатыхов, В. А. Шуманов / под ред. проф. Ю. А. Фатыхова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. – 106 с.
3. Исследование массообменных процессов при комбинированном сухом посоле рыбы / А. М. Ершов, А. С. Бестужев, Ю. А. Фатыхов, С. О. Балашов // Вестник МГТУ. – 2010. – Т. 13. – № 4/1. – С. 673–677.

4. Федотова, Е. Особенности нереста сельди и динамика ее улова в прибрежных водах Литвы / Е. Федотова, Ю. Максимов, М. Феттер // Инновации в науке и образовании – 2006: IV Междунар. науч. конф.: материалы. – Калининград: КГТУ, 2006. – Ч. 1. – С. 66–68.

5. Гужова, В. Ф. Исследование свойств соли, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и специй / В. Ф. Гужова, А. В. Чернова, О. В. Казимирченко // Вестник Международной академии холода. – 2017. – № 4. – С. 9–17.

6. Фатыхов, Ю. А. Применение нанотехнологических методов для исследования процесса посола сельди // Ю. А. Фатыхов, М. В. Шуманова, В. А. Шуманов // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. науч. конф.: труды: в 2 ч. – Калининград: КГТУ, 2013. – Ч. 1. – С. 261–263.

7. Применение оптических методов для определения концентрации соли (NaCl) в растворах / Ю. А. Фатыхов, М. В. Шуманова, В. А. Шуманов, А. М. Иванов [и др.] // Вестник Российской Академии естественных наук: сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО «КГТУ»; ЗНЦ ИЦ РАЕН. – Калининград: КГТУ, 2013. – Вып. 7. – С. 136–140.

8. Применение нанотехнологических методов для определения концентрации поваренной соли в растворах / М. В. Шуманова, Ю. А. Фатыхов, В. А. Шуманов, М. С. Капелевич // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. науч. конф.: труды: в 2 ч. – Калининград: КГТУ. – 2013. – Ч. 1. – С. 265–268.

9. Глинка, Н. А. Общая химия: учеб. пособие для вузов / Н. Л. Глинка; под ред. А. И. Ермакова. – изд. 29-е, исправл. – Москва: Интеграл-Пресс, 2001. – 728 с.

REFERENCES

1. *Tekhnologiya ryby i rybnykh produktov: uchebnik dlya vuzov* [Technology of fish and fish products: textbook for universities]. Moscow, Kolos, 2010, 1064 p.

2. Shumanova M. V., Fatykhov Ju. A., Shumanov V. A. *Issledovanie posola ryby nanotekhnologicheskimi metodami* [Research of fish salting by nanotechnological methods]. Kaliningrad, KGTU, 2017, 106 p.

3. Ershov A. M. Bestuzhev A. S., Fatykhov Ju. A., Balashov S. O. *Issledovanie massoobmennyykh protsessov pri kombinirovannom sukhom posole ryby* [Investigation of mass transfer processes at combined dry salting of fish]. *Vestnik MGTU*, 2010, vol. 13, iss. 4(1), pp. 673–677.

4. Fedotova E., Maksimov Ju., Fetter M. *Osobennosti neresta sel'di i dinamika ee ulova v pribrezhnykh vodakh Litvy* [Features of herring spawning and dynamics of its catch in coastal waters of Lithuania]. *Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Innovatsii v nauke i obrazovanii-2006* [Materials of the IV Int. Conf. "Innovations in Science and Education-2006]. Kaliningrad, KGTU, 2006, part 1, pp. 66–68.

5. Guzhova V. F., Chernova A. V., Kazimirchenko O. V. *Issledovanie svoystv soli, obogashchennoy fitokomponentami lekarstvennykh trav i spetsiy* [Properties of salt enriched by phytocomponents of medicinal herbs and spices]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2017, no. 4, pp. 9–17.

6. Fatykhov Ju. A., Shumanova M. V., Shumanov V. A. *Primenenie nanotekhnologicheskikh metodov dlya issledovaniya protsessa posola sel'di* [The use of na-

notechnology techniques to study the process of salted herring]. *Trudy XI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Innovatsii v nauke, obrazovanii i biznese-2013"* [Proc. XI Int. Sci. Conf. "Innovations in Science, Education and Business–2013"]. Kaliningrad, KGTU, 2013, part 1, pp. 261–263.

7. Fatykhov Ju. A., Shumanova M. V., Shumanov V. A., Ivanov A. M., Kapelevich M. S. *Primenenie opticheskikh metodov dlya opredeleniya kontsentratsii soli (NaCl) v rastvorakh* [Application of optical methods to determine the concentration of salt (NaCl) in solutions]. *Vestnik Rossiyskoy Akademii estestvennykh nauk: sb. nauch. tr. FGBOU VPO "KGTU"; ZNTS NTS RAEN* [Bulletin of Russian Academy of Natural Sciences: collection of articles. scientific. proc., FSBEI HPE "KSTU"; ZSC NTS RANS]. Kaliningrad, KGTU, 2013, iss. 7, pp. 136–140.

8. Shumanova M. V., Fatykhov Ju. A., Shumanov V. A., Kapelevich M. S. *Primenenie nanotekhnologicheskikh metodov dlya opredeleniya kontsentratsii povarennoy soli v rastvorakh* [Application of nanotechnological methods to determine the concentration of common salt in solutions]. *Trudy XI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Innovatsii v nauke, obrazovanii i biznese-2013"* [Proc. XI Int. Sci. Conf. "Innovations in Science, Education and Business–2013"]. Kaliningrad, KGTU, 2013, part 1, pp. 265–268.

9. Glinka N. A. *Obshchaya khimiya: uchebnoe posobie dlya vuzov* [General chemistry: textbook for universities]. Moscow, Integral-Press, 2001, 728 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гужова Виктория Федоровна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: viktoriya.guzhova@klgtu.ru

Guzhova Victoria Fedorovna – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of Food Products Technology;
E-mail: viktoriya.guzhova@klgtu.ru

Шуманов Вячеслав Анатольевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат физико-математических наук; доцент кафедры физики; E-mail: vyacheslav.shumanov@klgtu.ru

Shumanov Vyacheslav Anatol'evich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Physics and Mathematics; Associate Professor of the Department of Physics;
E-mail: vyacheslav.shumanov@klgtu.ru

Шуманова Мария Вячеславовна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: maria.shumanova@klgtu.ru

Shumanova Maria Vyacheslavovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering; Associate Professor of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: maria.shumanova@klgtu.ru

Чернова Анастасия Валерьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: anastasia.chernova@klgtu.ru

Chernova Anastasia Valer'evna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology; E-mail: anastasia.chernova@klgtu.ru

УДК 664.951.65

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-97-110

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РЕЦЕПТУРЫ
ФОРМОВАННЫХ МОРОЖЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ
ИЗ РЕЧНОГО ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS*
ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ

А. В. Макеева, Н. Ю. Ключко

RESEARCH ON RECIPE OF MOLD FROZEN
SEMI-MANUFACTURED GOODS IMPROVING FROM RIVER PERCH *PERCA*
FLUVIATILIS WITH INCREASED BIOLOGICAL VALUE

A. V. Makeeva, N. Yu. Klyuchko

Актуальным направлением исследований является расширение ассортимента формованных мороженных полуфабрикатов за счет использования рыб внутренних водоемов страны, включение в рецептуру растительных ингредиентов для обеспечения сбалансированности, а также повышение функционально-технологических свойств продукта с помощью применения нетрадиционных структурообразователей. На основе данных химического анализа мышечная ткань речного окуня *Perca fluviatilis* по содержанию белка относится к группе белковых рыб (17,3 %), а жира – к среднежирным видам (2,6 %). Проведенные исследования дали возможность обнаружить в мышечной ткани речного окуня все незаменимые аминокислоты, рассчитать их скоры (114,8–206,1 %) и биологическую ценность (60,9 %), что позволяет масштабно использовать данный вид рыбы в производственных целях. На основе анализа химического, минерального, витаминного состава, а также функционально-технологических свойств и распространенности был произведен выбор растительных ингредиентов, включенных в состав рецептуры формованных полуфабрикатов из речного окуня повышенной биологической ценности: яблочного жмыха, семян льна, листовой капусты Кале. Исследования подтвердили значительное содержание витамина С в листовой капусте Кале (17,16 %) и яблочном жмыхе, полученном из разных сортов яблок. Самое большое его количество (3,52 %) отмечено в Антоновке, которая и была выбрана для рецептуры. С помощью математического планирования эксперимента установлены оптимальные значения процесса производства формованных полуфабрикатов: масса яблочного жмыха составляет 11 г на 100 г продукта, а набухших семян льна – 7 г на 100 г. Средний балл органолептической оценки – 15,27, что свидетельствует о высокой категории продукта в соответствии с разработанным дифференцированным уровнем качества. Построенные профили вкуса и консистенции позволили более детально характеризовать готовый продукт.

формованный рыбный полуфабрикат, речной окунь, химический состав, аминокислотный состав, математическое моделирование

Contemporary relevant studies show that there is a tendency of the assortment expansion of molded frozen semi-manufactured products due to the use of fish from inland water bodies of the country as well as the inclusion of plant ingredients in the formulation to ensure balance and the increase of the functional and technological properties of the product through the use of non-traditional structure formers. Based on chemical analysis, the muscle tissue of the river perch *Perca fluviatilis* in terms of protein content belongs to the group of protein fish (17,3 %) and in terms of fat content it belongs to medium-fat fish (2,6 %). Carried out studies made it possible to detect all essential amino acids in the muscle tissue of the river perch *Perca fluviatilis*, calculate their rates (114,8 – 206,1 %) and biological value (60,9 %) making it possible to use it on a large scale in production purposes. Based on the analysis of the chemical, mineral, vitamin composition, as well as the functional and technological properties and prevalence, a selection of herbal ingredients was made, included in the formulation of molded semi-manufactured products from river perch of increased biological value - apple cake, flax seeds, kale collard. Studies on the content of vitamin C have confirmed its large amount in kale (17,16%), and in apple pomace obtained from different varieties of apples, the largest amount falls on the variety Antonovka (3,52 %), which was chosen for the recipe. With the help of mathematical planning of the experiment the optimal values of the production process of molded semi-manufactured goods were established: the mass of apple cake is 11 g per 100 g of the product, and the mass of swollen flax seeds is 7 g per 100 g of the product. The average organoleptic assessment score was 15.27 points, which indicates an "excellent" category in accordance with the developed differentiated quality level. The constructed profiles of taste and consistency characterize the manufactured product in more detail.

molded fish semi-manufactured goods, river perch, chemical composition, amino acid composition, mathematical modeling

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мороженые рыбные полуфабрикаты, которые относятся к продуктам массового потребления, пользуются широким спросом среди покупателей [1]. Следовательно, весьма актуальное направление исследований – расширение ассортимента рыбных полуфабрикатов. Последнего можно достичь с помощью включения в рецептуру растительного сырья, в том числе нетрадиционного, что позволит сбалансировать состав, повысить биологическую ценность и функционально-технологические свойства готового продукта [1]. Также к перспективным направлениям относят использование рыб внутренних водоемов страны.

В качестве основного сырья для производства формованных мороженых полуфабрикатов был выбран речной окунь *Perca fluviatilis* – один из самых многочисленных обитателей внутренних вод Калининградской области. По химическому составу его мышечная ткань в период весеннего вылова следующая: влага – 76–82 %, жир – 0,7–2,6, белок – 15–19, зола – 1,0–1,8 % [2, 3]. По органолептическим свойствам речной окунь отличается приятным запахом отварного мяса, белым цветом мышечной ткани, плотной консистенцией и отсутствием мышечных костей [4].

Несмотря на богатый химический состав и достойные вкусовые качества, на прилавках города речного окуня можно встретить относительно редко и глав-

ным образом в виде свежей, охлажденной, вяленой или копченой продукции. В Калининградском регионе основными местами промысла речного окуня являются Куршский и Калининградский заливы, реки Неман и Преголя, Виштынецкое озеро, Правдинское водохранилище. Наибольший объем вылова приходится на Куршский и Калининградский заливы: порядка 150 и 30 т в год соответственно [2, 5]. Значительные объемы промысла позволяют использовать речного окуня в производстве рыбной продукции более широко.

С целью совершенствования классической рецептуры, а также обогащения и повышения биологической ценности формованных мороженых полуфабрикатов предлагается заменить основные компоненты (хлеб и яйцо) на нетрадиционные. Хлеб можно заменить яблочным жмыхом, который отличается низкой калорийностью и высоким содержанием сложных полисахаридов. Клетчатка и пектин, присутствующие в значительном количестве в яблочном жмыхе, нормализуют работу желудочно-кишечного тракта, выводят токсины и тяжелые металлы из организма. Кроме того, жмых является вторичным сырьем, что делает его применение экономически выгодным [6].

В качестве нетрадиционного структурообразователя для связки всех компонентов взамен яйца предлагается использовать семена льна, которые в процессе набухания формируют водорастворимые гелеобразующие волокна, способные связывать различные компоненты рецептуры между собой и держать заданную форму. Льняное семя – ценное пищевое сырье, так как содержит в своем составе все необходимые вещества для жизнедеятельности человека: белки, липиды с высоким содержанием ПНЖК, усвояемые углеводы, пищевые волокна, лигнаны, витамины группы В, витамин С, токоферолы, минеральные вещества. Лигнаны оказывают предотвращающее действие на разных стадиях канцерогенеза, нарушая рост опухолевых клеток, и обладают мощным антиоксидантным действием, благодаря которому рекомендуются при лечении атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Также семена льна способны положительно влиять на работу желудочно-кишечного тракта [7, 8].

Повысить биологическую ценность и функционально-технологические свойства продукта можно и за счет внесения в его рецептуру сырья, имеющего в составе балластные вещества. В настоящее время широкой популярностью пользуется листовая капуста Кале, в ней значительное количество полноценного белка (все незаменимые аминокислоты), незаменимые жирные кислоты, витамины, минеральные вещества, а также сульфوران, индол-3-карбинол, зеаксантин и лютеин, являющиеся сильными антиоксидантами [9, 10].

Благодаря высокому содержанию витамина С и природных антиоксидантов в растительном сырье готовый продукт будет характеризоваться хорошей хранимоспособностью при соблюдении необходимых условий [6, 9]. Поэтому совершенствование технологии формованных рыбных полуфабрикатов является целесообразным. Кроме того, готовый продукт будет содержать функциональные ингредиенты, обладать улучшенными технологическими свойствами и повышенной биологической ценностью за счет использования рыб внутренних водоемов, в том числе обыкновенного окуня, экономически выгодного влагоудерживающего агента – яблочного жмыха, высокоэффективного структурообразующего вещества – набухших семян льна – и обогащения нетрадиционным растительным сырьем с высоким содержанием витаминов, минеральных веществ, антиоксидантов – ли-

стовой капусты Кале. Новому изделию будут присущи повышенная биологическая ценность, улучшенные функционально-технологические и органолептические свойства.

Цель исследований заключалась в разработке и оптимизации рецептуры формованных рыбных полуфабрикатов из речного окуня *Perca fluviatilis*, обогащенных нетрадиционным растительным сырьем.

Для достижения цели были выполнены следующие задачи:

– исследован химический и аминокислотный состав речного окуня *Perca fluviatilis*;

– подобраны растительные компоненты для обогащения фаршевой смеси;

– установлены оптимальные параметры процесса производства формованных мороженных полуфабрикатов с использованием методов математического планирования эксперимента по матрице ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) второго порядка для двух факторов;

– разработана и апробирована органолептическая оценка опытных образцов методом балльной шкалы с учетом коэффициентов весомости, а также методом построения профилей вкуса и консистенции;

– исследовано содержание витамина С в листовой капусте Кале и яблочном жмыхе, приготовленном из наиболее распространенных сортов яблок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлась мышечная ткань речного окуня *Perca fluviatilis*, выловленного в конце осени 2019 г. в Куршском заливе Калининградской области. Готовый продукт представляет собой формованный мороженный полуфабрикат – рыбные котлеты из речного окуня, обогащенные растительными компонентами.

Химические показатели речного окуня – жир, белок, вода, минеральные вещества – были исследованы стандартными методами по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Энергетическую ценность определяли расчетным методом, а аминокислотный состав – методом капиллярного электрофореза на приборе марки «Капель 105», принцип действия которого основан на разделении компонентов сложной смеси под действием электрического поля.

Ингредиенты растительного происхождения, входящие в состав рецептуры, подбирались с учетом их функционально-технологических свойств, химического, аминокислотного, витаминного и минерального состава, а также распространенности и доступности.

Содержание витамина С в листовой капусте Кале и яблочном жмыхе, приготовленном из наиболее распространенных сортов яблок Антоновка, Гала, Гренни Смит, определяли по ГОСТ 24556-89 «Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения витамина С», который базируется на экстрагировании витамина С раствором кислоты с последующим титрованием.

Установление оптимальных параметров процесса изготовления формованных мороженных полуфабрикатов из речного окуня повышенной биологической ценности проводилось с помощью математического планирования эксперимента

ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов [11].

Водоудерживающая способность (ВУС) определялась по ГОСТ 7636-85.

Оценку органолептических показателей производили для готового формованного полуфабриката (жареных котлет) по специально разработанной 5-балльной шкале с учетом коэффициентов значимости отдельных показателей.

Оценку формуемости фарша осуществляли органолептическим методом посредством специально разработанной балльной шкалы [12].

Оценку вкуса и консистенции готового продукта выполняли профильным методом с помощью построения соответствующих профилей [12].

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали стандартные методы статистического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по общему химическому составу мышечной ткани речного окуня *Perca fluviatilis* приведены в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав мышечной ткани речного окуня *Perca fluviatilis*

Table 1. Chemical composition of muscle tissue of river perch *Perca fluviatilis*

Вид рыбы	Массовая доля, %				Энергетическая ценность, ккал
	влага	белок	жир	зола	
Речной окунь <i>Perca fluviatilis</i>	78,7±0,2	17,3±0,1	2,6±0,1	1,5±0,2	95,1

Согласно табл. 1 мышечная ткань речного окуня отличается высоким содержанием белка. Данный показатель дает возможность отнести его к группе белковых рыб (15–20 %), а по содержанию жира – к среднежирным видам (2–8 %).

Массовая доля основных компонентов позволяет причислить речного окуня к наиболее распространенным видам морских рыб (треске, путассу, наваге, пикше), что подтверждает актуальность его масштабного использования при создании поликомпонентных пищевых продуктов. Невысокая энергетическая ценность (95,1 ккал) дает возможность создавать диетическую продукцию на основе мышечной ткани речного окуня.

Аминокислотный состав мышечной ткани речного окуня (*Perca fluviatilis*) представлен в виде диаграммы на рис. 1, которая наглядно демонстрирует, какие кислоты содержатся в наибольшем количестве, какие – в лимитированном, а также содержание белка относительно белка-эталоны.

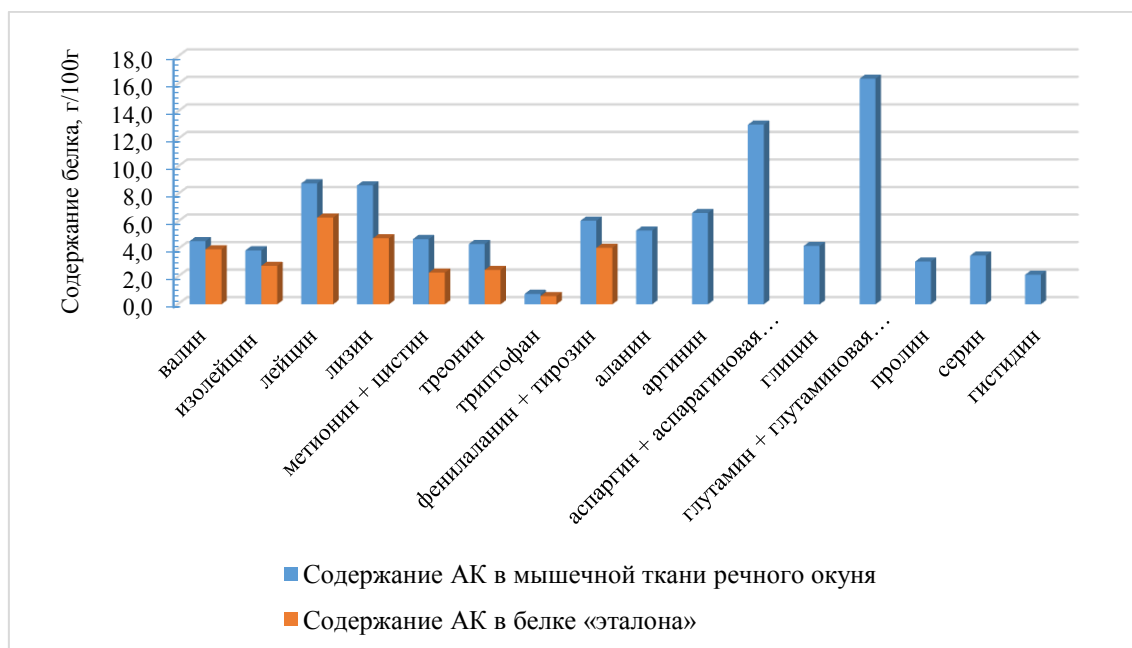


Рис. 1. Аминокислотный состав мышечной ткани речного окуня (*Perca fluviatilis*), грамм на 100 г белка

Fig. 1. Amino acid composition of muscular tissue of river perch (*Perca fluviatilis*), g per 100 g of protein

По приведенным на рис. 1 данным видно, что в мышечной ткани речного окуня *Perca fluviatilis* присутствуют все незаменимые аминокислоты (43,5 %), которые необходимы для нормальной жизнедеятельности организма человека. В наибольшем количестве в ней содержатся лейцин (8,8 г на 100 г белка) и лизин (8,6 г на 100 г белка), лимитирующей незаменимой аминокислотой является триптофан (0,8 г на 100 г белка), а относительно белка-эталона – такие аминокислоты, как лизин, треонин, а также метионин с цистеином (суммарно). Их в мышечной ткани речного окуня примерно в два раза больше.

На долю заменимых аминокислот приходится 56,5 %, причем наибольшее количество – на глутамин и глутаминовую кислоту (суммарно) – 16,4 г на 100 г белка, аспаргин и аспарагиновую кислоту (суммарно) – 13,0 г на 100 г белка, аргинин – 6,6 г на 100 г белка, в лимитирующем количестве находится гистидин – 2,2 г на 100 г белка.

Скоры всех незаменимых аминокислот выше 100 % (114,8–206,1 %), что свидетельствует о полноценности мышечной ткани речного окуня *Perca fluviatilis*. Биологическая ценность белка составляет 60,9 %, на основании чего можно рекомендовать данное сырье с целью производства широкого ассортимента рыбной продукции.

Выбор обогащающих растительных компонентов для формованных полуфабрикатов из речного окуня производился на основе оценки их химического, аминокислотного, минерального, витаминного состава, а также высоких функционально-технологических свойств, чтобы готовый продукт держал форму.

Анализ показал, что яблочный жмых содержит значительное количество витамина С, пектина и клетчатки, которые помогут сбалансировать состав по углеводам, а также оказывают положительное действие на желудочно-кишечный

тракт (ЖКТ). Набухшие семена льна образуют водорастворимые гелеобразующие волокна, содействующие повышению формуемости готового продукта, и содержат растворимую и нерастворимую клетчатку. Листовая капуста Кале пользуется в настоящее время широкой популярностью и отличается ценным химическим составом (минеральные вещества, витамины, углеводы, природные антиоксиданты). Высокое содержание витамина С и антиоксидантов положительно скажется на сроке годности. Готовый продукт будет сбалансирован по составу, иметь хорошие реологические свойства, достойные органолептические показатели и положительно влиять на ЖКТ.

В табл. 2 представлены данные по содержанию витамина С в листовой капусте Кале и яблочном жмыхе из яблок различных сортов.

Таблица 2. Содержание витамина С, %

Table 2. Vitamin C content, %

Наименование продукта	Содержание витамина С, %
Яблочный жмых из яблок сорта Антоновка	3,52±0,01
Яблочный жмых из яблок сорта Гала	2,63±0,02
Яблочный жмых из яблок сорта Гренни Смит	1,95±0,02
Листовая капуста Кале	17,16±0,03

На основании табл. 2 можно сделать вывод о том, что яблочный жмых из яблок сорта Антоновка отличается наибольшим количеством витамина С (3,52 %), в связи с чем и был включен в состав рецептуры формованных полуфабрикатов повышенной биологической ценности. За счет комбинации яблочного жмыха и листовой капусты Кале с высоким содержанием витамина С, который характеризуется антиоксидантными свойствами, готовый продукт будет обладать хорошей хранимоспособностью.

Определение оптимальных параметров процесса изготовления формованных мороженых полуфабрикатов из речного окуня повышенной биологической ценности осуществляли с использованием математического планирования эксперимента по схеме ортогонального центрального композиционного плана второго порядка.

Яблочный жмых ($W_{\text{жмых}}$) и набухшие семена льна ($W_{\text{лен}}$), взятые в граммах на 100 г продукта, были выбраны в качестве варьируемых частных факторов, подлежащих регулированию и оптимизации. В состав безразмерного обобщенного показателя «У» были включены следующие частные отклики: органолептическая оценка в баллах, водоудерживающая способность в процентах и формуемость в баллах.

Для оценки формуемости фарша из речного окуня с добавлением растительных компонентов нами выбран метод органолептической оценки. Балльная шкала органолептической оценки формуемости представлена в табл. 3.

Таблица 3. Балльная шкала органолептической оценки формуемости фарша из речного окуня с добавлением растительных компонентов

Table 3. The point scale for the organoleptic assessment of the formability of minced river perch with the addition of vegetable components

Показатель	Характеристика	Балл
Формуемость	Фарш слишком влажный или слишком твердый/плотный, не поддается формованию и изменению формы, образует жидкую кашицу либо твердый комок	0
	При формовании сильно прилипает/не держит форму/растекается. Консистенция фарша киселеобразная. Фарш липкий, мясистый, мажущийся. Консистенция фарша сухая, рыхлая, крошащаяся, продукт после формования легко разрушается, превращается в куски неправильной формы	1
	Фарш прилипает, продукт недостаточно держит форму, растекается, консистенция студнеподобная. Фарш сухой/рыхлый, при прикосновении с небольшим усилием разделяется на отдельные части, консистенция рассыпчатая	2
	Фарш не очень хорошо формуется, прилипает, продукт изменяет форму после формования. Фарш формуется, но продукт не держит форму при проведении дальнейших технологических операций. Консистенция фарша недостаточно эластичная	3
	Фарш хорошо формуется, но немного прилипает либо незначительно рассыпается, изделие держит форму. Консистенция фарша эластичная, упругая	4
	Фарш не прилипает, отлично формуется, продукт отлично держит форму. Консистенция фарша эластичная, упругая	5

Эксперимент проводился с помощью матрицы ОЦКП. План эксперимента и результаты оптимизации процесса производства формованного полуфабриката из речного окуня повышенной биологической ценности показан в табл. 4. Сущность приготовления котлет повышенной биологической ценности заключалась в следующем: подготовка компонентов рецептуры (разделка и измельчение окуня, капусты Кале, лука, замачивание семян льна) и их дозирование, смешивание, внесение яблочного жмыха, приправ, формование, панировка в сухарях и обжаривание до готовности на растительном масле.

Таблица 4. План эксперимента и результаты оптимизации процесса производства котлет из речного окуня повышенной биологической ценности

Table 4. Experimental plan and results of optimization of the production process of cutlets from river perch of increased biological value

№ п/п	План эксперимента		Частные отклики			Частные безразмерные отклики			Y
	W _{жмых} , г на 100 г продукта	W _{лен} , г на 100 г продукта	Органолептическая оценка, балл	Вододерживающая способность, %	Формуемость, балл	S ² _{орг.оц.}	S ² _{вус}	S ² _{формуем.}	
1	17	9	11,2	76,4	4,4	0,1032	0,0084	0,0144	0,1260
2	3	9	13,2	64,7	3,6	0,0400	0,0057	0,0784	0,1241
3	17	1	11,3	67,2	4,0	0,0993	0,0016	0,0400	0,1409
4	3	1	11,1	62,8	2,4	0,1071	0,0106	0,2704	0,3881
5	17	5	12,2	63,3	4,4	0,0679	0,0092	0,0144	0,9015
6	3	5	11,3	73,4	3,4	0,0993	0,0024	0,1024	0,2041
7	10	9	15,0	69,9	4,6	0,0083	0,000002	0,0064	0,0147
8	10	1	13,7	75,4	4,0	0,0287	0,0060	0,0400	0,0747
9	10	5	16,2	70,1	4,8	0,0003	0,000002	0,0016	0,0019

После вычислений независимых коэффициентов и их подстановки в кодированное выражение получили математическое уравнение с натуральными значениями уровней факторов, которое представлено в формуле (1):

$$y = 0,0029\omega_{\text{ж}}^2 + 0,0029\omega_{\text{л}}^2 + 0,0022\omega_{\text{ж}}\omega_{\text{л}} - 0,0779\omega_{\text{ж}} - 0,0649\omega_{\text{л}} + 0,6340. \quad (1)$$

С помощью математических преобразований, дифференцирования и решения системы уравнения в натуральном виде были найдены оптимальные значения факторов: масса яблочного жмыха ($\omega_{\text{жмых}}$) составляет 11 г на 100 г продукта, а набухших семян льна ($\omega_{\text{лен}}$) – 7 г на 100 г продукта. Новый обогащенный продукт получил название «Окунек».

Для исследованных образцов готового продукта (жареных котлет), приготовленных по полученным оптимальным параметрам, провели дегустацию согласно специально разработанной шкале с учетом коэффициентов весомости отдельных показателей для определения органолептических свойств продукта. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5. Органолептические показатели котлет из речного окуня повышенной биологической ценности

Table 5. Organoleptic characteristics of river perch cutlets of increased biological value

Показатель	Характеристика уровня качества
Внешний вид	Правильная круглая форма, полностью сохранившаяся, неповрежденная, без наружных повреждений, поверхность запанирована равномерно
Вид на разрезе	Однородный, перемешанный и измельченный фарш с равномерно распределенными рецептурными компонентами
Цвет на разрезе	От желто-зеленого до коричнево-зеленого, однородный, с заметными включениями
Запах (аромат)	Выраженный, приятный, свойственный данному виду рыбы, с ароматом добавленных компонентов, сбалансированный, без посторонних оттенков
Вкус	Приятный, свойственный данному виду рыбы и добавленных компонентов, в меру соленый, перченый, сбалансированный по основным оттенкам, без посторонних привкусов
Консистенция	Сочная, нежная, плотная для рыбы и добавленных компонентов

В результате дегустации и статистической обработки оценок экспертов были рассчитаны комплексные показатели качества. Средний балл органолептической оценки – 15,27, что свидетельствует об «отличной» категории качества готового продукта.

Чтобы разложить основные компоненты формованного полуфабриката «Окунек» на составные части, использовали профильный метод, на основе которого построены профили вкуса и консистенции, представленные на рис. 2 и 3.

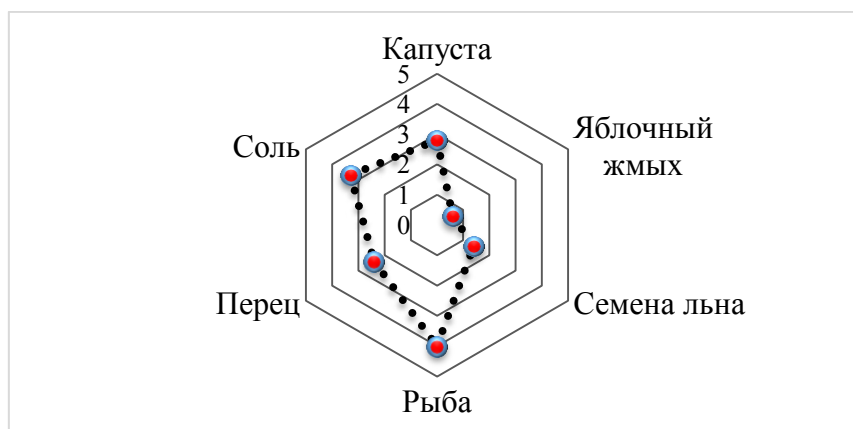


Рис. 2. Профиль вкуса готового формованного полуфабриката из речного окуня повышенной биологической ценности «Окунек»
Fig. 2. Taste profile of the manufactured molded semi-manufactured product from river perch of increased biological value "Okunyok"

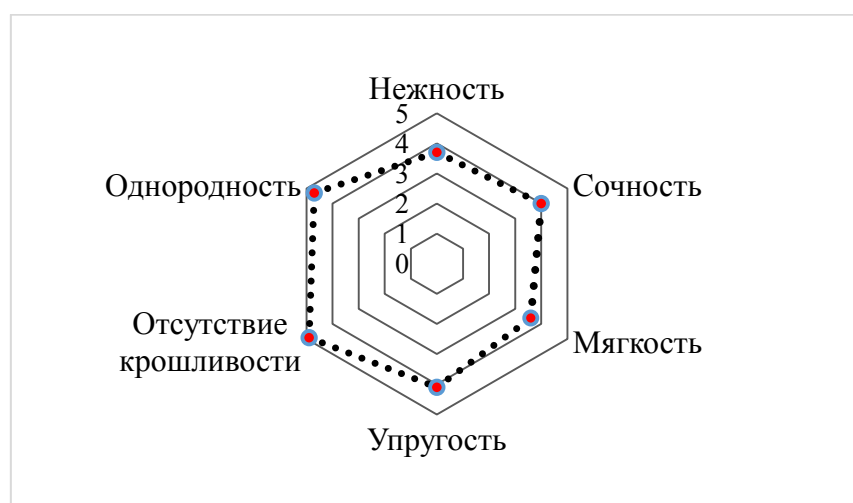


Рис. 3. Профиль консистенции готового формованного полуфабриката из речного окуня повышенной биологической ценности «Окунек»
Fig. 3. Consistency profile of the manufactured molded semi-manufactured product from river perch of increased biological value "Okunyok"

Полученный профиль вкуса формованного полуфабриката из речного окуня повышенной биологической ценности «Окунек» характеризуется умеренной интенсивностью вкуса рыбы, капусты и соли и едва ощущаемой (слабой) – вкуса яблочного жмыха и семян льна. Профилю консистенции свойственны однородность, отсутствие крошливости, умеренная интенсивность нежности, сочности, мягкости и упругости.

ВЫВОДЫ

По результатам исследования установлено, что мышечная ткань речного окуня *Perca fluviatilis* отличается богатым химическим и аминокислотным составом.

Исследования позволили обнаружить в мышечной ткани речного окуня все незаменимые аминокислоты, рассчитать их скорости и биологическую ценность.

На основе анализа химического, минерального, витаминного состава, а также функционально-технологических свойств и распространенности растительных ингредиентов в рецептуру формованных полуфабрикатов повышенной биологической ценности были включены яблочный жмых, семена льна и листовая капуста Кале.

Исследования подтвердили высокое содержание витамина С в листовой капусте Кале, а в яблочном жмыхе, полученном из разных сортов яблок, большее количество отмечено в Антоновке, которая и была выбрана для рецептуры.

С помощью математического планирования эксперимента установлены оптимальные значения процесса изготовления формованных мороженых полуфабрикатов из речного окуня повышенной биологической ценности для натуральных влагоудерживающих и структурообразующих веществ – яблочного жмыха и набухших семян льна.

В результате проведенной дегустации и статистической обработки оценок экспертов рассчитаны комплексные показатели качества готового продукта. Построенные профили вкуса и консистенции позволили более детально характеризовать котлеты из речного окуня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ключко, Н. Ю. Исследование рынка рыбных полуфабрикатов в Калининградской области и пути повышения их биологической ценности / Н. Ю. Ключко, А. В. Макеева // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование – 2020: Национальная (Все-российская) научно-практическая конференция. – № 11. – С. 168–172.
2. Кухоренко, К. Г. Рыбы Балтики и заливов (Калининградский регион) / К. Г. Кухоренко, К. В. Тылик. – Калининград: Терра Балтика, 2013. – 151 с.
3. Кудерский, Л. А. Избранные труды. Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам / Л. А. Кудерский // Сборник научных трудов ФГБНУ ГосНИОРХ: в 6 т. – Москва; Санкт-Петербург: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – Т. 5, вып. 344. – 292 с.
4. Fiogbe, E. D. Variation of whole body amino acid profile in Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared in an inorganic fertilized pond / E. D. Fiogbe // Int. J. Biol. Chem. Sci. – 2009, V # 3. – № 1. – S. 117–124.
5. Стецюк, В. В. Современное состояние и проблемы рыбной промышленности Российской Федерации / В. В. Стецюк // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. – 2019. – № 2 (87). – С. 65–76.
6. Перфилова, О. В. Яблочные выжимки как источник биологически активных веществ в технологии продуктов питания / О. В. Перфилова // Новые технологии. – 2017. – №. 4. – С. 65–71.

7. Клевцов, К. Н. Физико-технологические свойства и химический состав семян льна и конопли / К. Н. Клевцов // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2015. – №. 4. – С. 104–110.
8. Зеленцов, С. В. Количественная и качественная оценка слизей семян масличных сортов льна *Linum usitatissimum* / С. В. Зеленцов, Е. В. Мошненко // Масличные культуры. – 2012. – №. 2. – С. 151–152.
9. Šamec, D. Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement / D. Šamec, B Urlič., B. Salopek-Sondi // Critical reviews in food science and nutrition. – 2019. – Т. 59. – №. 15. – С. 2411–2422.
10. Ayaz, F. A. Nutrient contents of kale (*Brassica oleraceae* L. var. *acephala* DC.) / F. A. Ayaz et al. // Food Chemistry. – 2006. – Т. 96. – №. 4. – С. 572–579.
11. Мезенова, О. Я. Моделирование и оптимизация технологических процессов производства продуктов питания путем математического планирования эксперимента / О. Я. Мезенова. – Калининград: КГТУ, 2008. – 45 с.
12. Родина, Т. Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров: учебник / Т. Г. Родина. – Москва: АСADBМА, 2004. – 204 с.

REFERENCES

1. Klyuchko N. Yu., Makeeva A. V. Issledovanie rynka rybnikh polufabrikatov v Kaliningradskoy oblasti i puti povysheniya ikh biologicheskoy tsennosti [Market research of semi-manufactured fish products in the Kaliningrad region and ways to increase their biological value]. *Natsional'naya (vsrossiyskaya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie"*, 2020, no. 11, pp. 168–172.
2. Kuhorenko K. G., Tylik K. V. *Ryby Baltiki i zalivov (Kaliningradskiy region)* [Fish of the Baltic and bays (Kaliningrad region)]. Kaliningrad, Terra Baltika, 2013, 151 p.
3. Kuderskiy L. A. Izbrannye trudy. Issledovaniya po ikhtiologii, rybnomu khozyaystvu i smezhnym distsiplinam [Selected works. Research in ichthyology, fisheries, and related disciplines]. Sbornik nauchnykh trudov FGBNU GosNIORH. Moscow, Saint-Petersburg, *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, 2017, vol. 5, iss. 344, 292 p.
4. Fiogbe E. D. Variation of whole body amino acid profile in Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared in an inorganic fertilized pond. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2009, vol. 3, no. 1, pp. 117–124.
5. Stetsyuk V. V. Sovremennoe sostoyanie i problemy rybnoy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii [Current state and problems of the fishing industry of the Russian Federation]. *Tamozhennaya politika Rossii na Dal'nem Vostoke*. 2019, no. 2(87), pp. 65–76.
6. Perfilova O. V. Yablochnye vyzhimki kak istochnik biologicheskii aktivnykh veshchestv v tekhnologii produktov pitaniya [Apple pomace as a source of biologically active substances in food technology]. *Novye tekhnologii*, 2017, no. 4, pp. 65–71.
7. Klevtsov K. N. Fiziko-tekhnologicheskie svoystva i khimicheskiy sostav se-myan l'na i konopli [Physico-technological properties and chemical composition of flax and hemp seeds]. *Vestnik Khersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 4, pp. 104–110.

8. Zelentsov S. V., Moshnenko E. V. Kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka slizey semyan maslichnykh sortov l'na *Linum usitatissimum* [Quantitative and Qualitative Evaluation of the Slimes of *Linum usitatissimum* Oilseed Flax Seeds]. *Maslichnye kul'tury*, 2012, no. 2, pp. 151–152.

9. Šamec D., Urlić B., Salopek-Sondi B. Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2019, vol. 59, no. 15, pp. 2411–2422.

10. Ayaz F. A. et al. Nutrient contents of kale (*Brassica oleraceae* L. var. *acephala* DC.) *Food Chemistry*, 2006, vol. 96, no. 4, pp. 572–579.

11. Mezenova O. Ya. *Modelirovanie i optimizatsiya tekhnologicheskikh processov proizvodstva produktov pitaniya putem matematicheskogo planirovaniya eksperimenta* [Modeling and optimization of technological processes for the production of food products by mathematical planning of the experiment]. Kaliningrad, KGTU, 2008, 45 p.

12. Rodina T. G. *Sensornyy analiz prodovol'stvennykh tovarov: uchebnik* [Sensory Analysis of Food Products: a textbook]. Moscow, ACADBMA, 2004, 204 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ключко Наталья Юрьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

Klyuchko Natalia Yurievna – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor, PhD in Engineering; E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

Макеева Алена Владимировна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: alena_struchkova@mail.ru

Makeeva Alyona Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Master student; Department of food biotechnology; E-mail: alena_struchkova@mail.ru

УДК 533.5:621.526

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-111-122

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ВОДОКОЛЬЦЕВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН НА ПЕРЕКАЧИВАНИЕ ВОЗДУХА

В. А. Наумов

INFLUENCE OF ROTOR FREQUENCY OF WATER RING COMPRESSOR MACHINES ON AIR PUMPING

V. A. Naumov

Одним из важных преимуществ водокольцевых компрессорных машин (ВКМ) является возможность работы как в режиме вакуумного насоса, так и в режиме воздуходувки. Производители размещают в открытом доступе результаты испытаний ВКМ. Исследователям доступны зависимости скорости откачки (закачки) воздуха и затраченной мощности от давления в рабочей камере в обоих указанных режимах. Ранее в Калининградском государственном техническом университете (КГТУ) был разработан метод моделирования нагрузочных характеристик ВКМ по результатам испытаний. Нагрузочные характеристики использовались для расчета динамики давления в рабочей камере при перекачивании воздуха с помощью ВКМ. Установлено заметное влияние коэффициента утечки на параметры процесса. Все исследования были выполнены при фиксированной частоте вращения ротора ВКМ. Современные ВКМ позволяют эксплуатировать их в широком диапазоне частот. Нами проанализировано влияние частоты вращения ротора ВКМ на подачу воздуха и затраченную мощность. Получены регрессионные зависимости подачи и мощности от давления при различных частотах. Параметры этих зависимостей определены по малому количеству экспериментальных точек, их числовые значения следует считать оценочными. Для уточнения последних требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований в широком диапазоне частот. Была сформулирована и решена численным методом задача Коши для давления в рабочей камере. В режиме вакуумного насоса минимальное давление в ней не зависит от изменения частоты вращения, в режиме компрессора максимальное давление растет с увеличением частоты. В обоих режимах скорость перекачивания воздуха увеличивается, как и затраченная механическая работа. При этом время достижения заданного давления в рабочей камере уменьшается. Для перекачивания воздуха в рабочие камеры большего объема требуется затратить большую механическую энергию.

водокольцевые компрессорные машины, производительность, затраченная мощность, давление, частота вращения ротора

The ability of water-ring compressor machines (WCM) to operate both in the vacuum pump mode and in the blower mode is one of their important advantages. Man-

ufacturers publish the results of WCM tests in the public domain. The dependences of the air pumping rate and the power consumed on the pressure in the working chamber are available to researchers in both of these modes. A method for modeling the load characteristics of WCM based on test results has been earlier developed at Kaliningrad State Technical University (KSTU). The load characteristics were used to calculate the pressure dynamics in the working chamber when pumping air using the WCM. The noticeable effect of the leakage coefficient on the process parameters was found. All these studies were performed at a fixed rotation frequency of the WCR. Modern WCM allows you to operate them in a wide frequency range. The article presents the analysis of the influence of the WCM rotor speed on the air supply and power consumed. Regression dependences of supply and power on pressure at different frequencies were found. The parameters of these dependencies have been determined from a small number of experimental points. Their numerical values should be considered estimates. Additional experimental studies are required over a wide frequency range to clarify these values. The Cauchy problem for the pressure in the working chamber was formulated and solved numerically. The minimum pressure in the working chamber does not depend on the increase in the speed of rotation in the vacuum pump mode. The maximum pressure in compressor mode increases with increasing frequency. The air pumping speed increases in both modes. The time to reach the set pressure in the working chamber decreases, and the mechanical work spent increases. A large amount of mechanical energy is required to pump air into the working chambers of a larger volume.

water-ring compressor machines, capacity, power consumed, pressure, rotor frequency

ВВЕДЕНИЕ

Водокольцевые компрессорные машины (ВКМ) благодаря своим преимуществам находят широкое применение в различных отраслях. Главным их недостатком является невысокий коэффициент полезного действия. На повышение энергетической эффективности и производительности ВКМ направлены многочисленные исследования ([1–5] и библиография в них). Так в [2] для снижения энергетических затрат рекомендуется выбирать ВКМ по параметрам, приведенным в техническом паспорте. При этом не учитывается, что ВКМ нередко работает не в номинальном режиме.

Авторы [3–5] предлагают различные математические модели, описывающие функционирование ВКМ, но их адекватность реальным процессам не всегда удовлетворительна. В [6, 7] разработан метод аппроксимации нагрузочных характеристик ВКМ по результатам испытаний, который показал хорошее согласие результатов расчетов с экспериментальными данными. Эмпирические зависимости производительности ВКМ от давления в рабочей камере использованы в [8], где были сформулированы и решены дифференциальные уравнения как в режиме вакуумного насоса, так и в режиме компрессора. В [9] было изучено влияние коэффициента утечки на динамику откачки воздуха с помощью ВКМ.

Все перечисленные работы выполнены при фиксированной частоте вращения ротора, тогда как современные ВКМ позволяют варьировать частотой в довольно широком диапазоне [10]. Цель данной статьи – исследование влияния изменения частоты ротора на характеристики ВКМ и динамику процесса перекачивания воздуха.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВКМ

На рис. 1, 2 точками показаны экспериментальные зависимости производительности ВКМ фирмы Samson [10] от давления в рабочей камере при различных значениях частоты вращения ротора n .

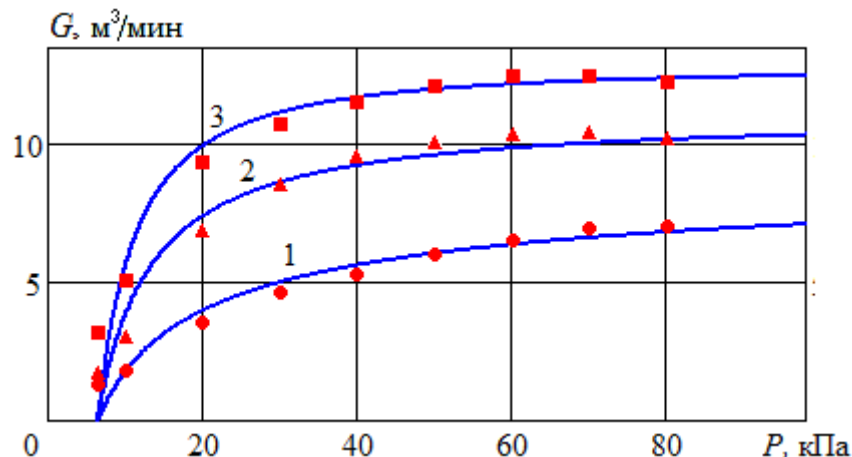


Рис. 1. Зависимость производительности Samson KS625 в режиме вакуумного насоса от давления всасывания при различной частоте вращения ротора: 1 – 1000 об/мин; 2 – 1450 об/мин; 3 – 1750 об/мин. Точки – экспериментальные данные [10], линии – результаты расчета по формуле (1)

Fig. 1. Dependence of the Samson KS625 performance in the compressor mode on the discharge pressure: 1 – 1000 rpm; 2 – 1450 rpm; 3 – 1750 rpm. Points – experimental data [10], lines – calculation results according to the formula (1)

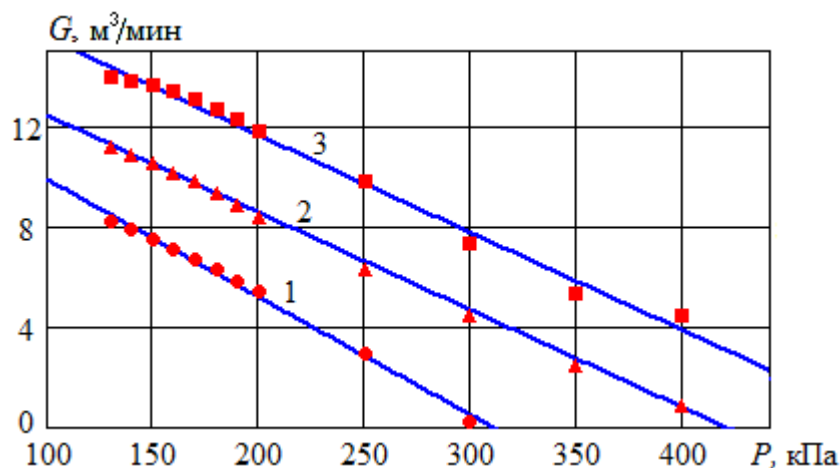


Рис. 2. Зависимость производительности Samson KS625 в режиме компрессора от давления нагнетания при различной частоте вращения ротора: 1 – 1200 об/мин; 2 – 1450 об/мин; 3 – 1750 об/мин. Точки – экспериментальные данные [10], линии – результаты расчета по формуле (3)

Fig. 2. Dependence of the Samson KS625 performance in compressor mode on the discharge pressure at different rotor speeds: 1 – 1200 rpm; 2 – 1450 rpm; 3 – 1750 rpm. Points – experimental data [10], lines – calculation results according to the formula (3)

В [11] было отмечено, что при определенной частоте вращения ротора производительность ВКМ G в режиме вакуумного насоса может быть рассчитана по формуле (при $P > P_V$):

$$G \equiv f_1(P, n) = G_M(n) \cdot \frac{1 - (P_V / P)^\alpha}{1 - (P_V / P_A)^\alpha}, \quad (1)$$

где P – абсолютное давление в рабочей камере, кПа; P_A – атмосферное давление, кПа; P_V – минимальное абсолютное давление, создаваемое вакуумным насосом, кПа; G_M – производительность (скорость откачки) вакуумного насоса при атмосферном давлении, м³/мин; α – эмпирический показатель степени.

Анализ экспериментальных данных показал, что величины G_M и α в исследованном диапазоне линейно зависят от частоты вращения (рис. 3). Например, для установки Samson KS625:

$$\alpha = 0,001174 \cdot n - 0,723, \quad G_M = V_1 \cdot n, \quad (2)$$

где $V_1 = 0,00710$ м³ – объем воздуха, откачиваемый вакуумным насосом за один оборот при атмосферном давлении.

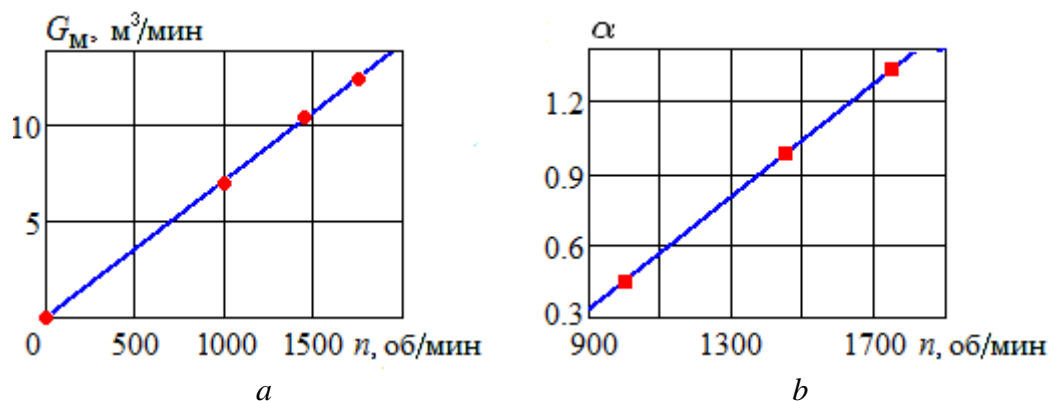


Рис. 3. Зависимость параметров в формуле (1) от частоты для KS625: a – производительность при атмосферном давлении; b – показатель степени.

Точки – по экспериментальным данным, линии – результаты расчета по (2)

Fig. 3. Dependence of parameters in formula (1) on frequency for KS625:

a – performance at atmospheric pressure; b – exponent.

Points are based on experimental data, lines are calculated by (2)

По рис. 2 зависимость производительности ВКМ в режиме компрессора от давления нагнетания близка к линейной:

$$G \equiv f_2(P, n) = G_A(n) - K(n) \cdot (P - P_A), \quad (3)$$

где G_A – производительность компрессора при атмосферном давлении, м³/мин; K – эмпирический коэффициент, м³/(мин·кПа). Зависимость названных параметров от частоты вращения ротора KS625 показана на рис. 4.

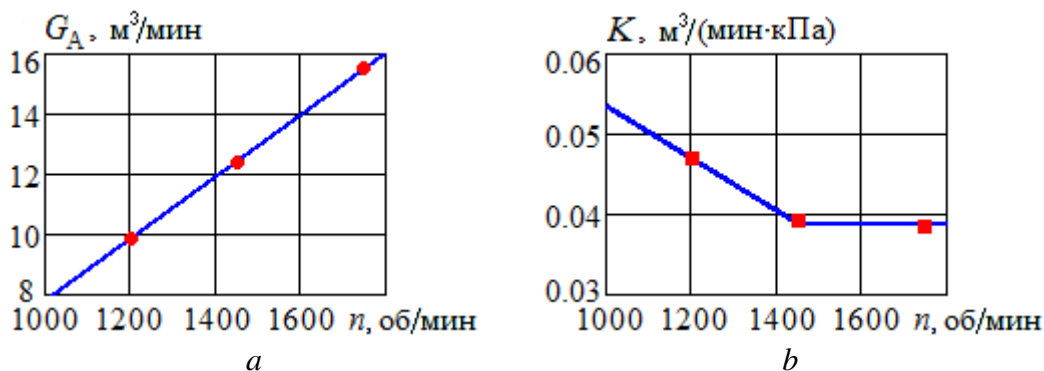


Рис. 4. Зависимость параметров в формуле (3) от частоты для KS625: a – производительность при атмосферном давлении; b – коэффициент. Точки – по экспериментальным данным, линии – результаты расчета
 Fig. 4. Dependence of parameters in formula (3) on frequency for KS625: a – performance at atmospheric pressure; b – coefficient. Points are based on experimental data, lines are calculation results

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА НА ЗАТРАЧЕННУЮ МОЩНОСТЬ ВКМ

На рис. 5, 6 точками обозначены экспериментальные зависимости затраченной мощности ВКМ фирмы Samson [10] от давления в рабочей камере при различных значениях частоты вращения ротора n .

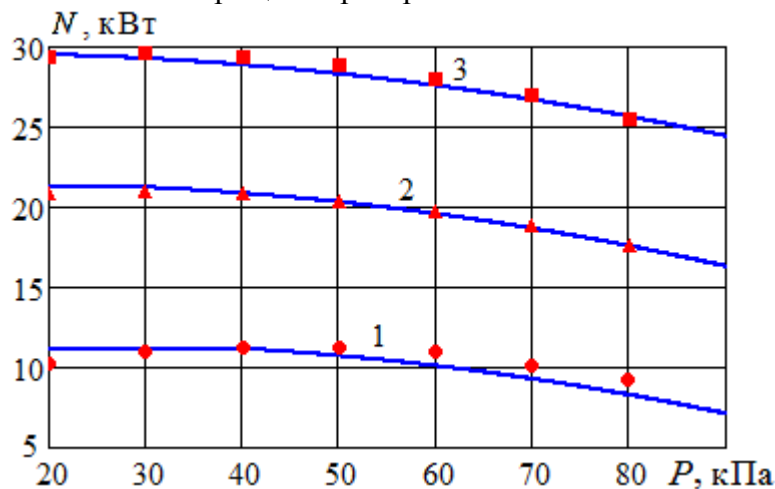


Рис. 5. Зависимость затраченной мощности Samson KS625 в режиме вакуумного насоса от давления всасывания при различной частоте вращения ротора: 1 – 1000 об/мин; 2 – 1450 об/мин; 3 – 1750 об/мин. Точки – экспериментальные данные [10], линии – результаты расчета по формуле (4)
 Fig. 5. Dependence of the consumed power of the Samson KS625 in the vacuum pump mode on the suction pressure at different rotor speeds: 1 – 1000 rpm; 2 – 1450 rpm; 3 – 1750 rpm. Points – experimental data [10], lines – calculation results according to the formula (4)

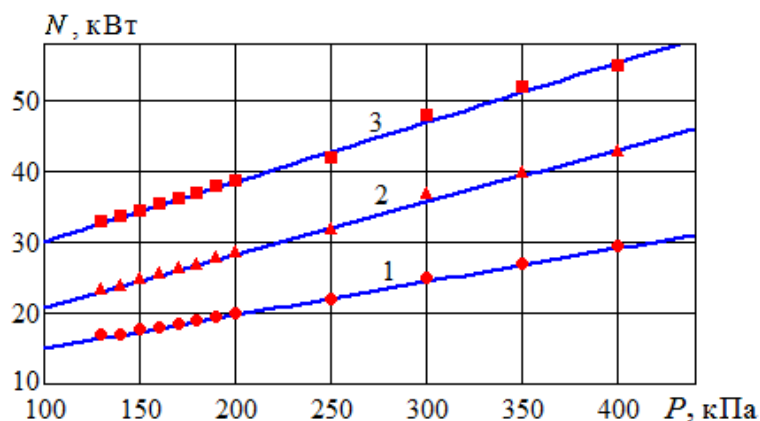


Рис. 6. Зависимость затраченной мощности Samson KS625 в режиме компрессора от давления нагнетания при различной частоте вращения ротора: 1 – 1200 об/мин; 2 – 1450 об/мин; 3 – 1750 об/мин. Точки – экспериментальные данные [10], линии – результаты расчета по формуле (6)

Fig. 6. Dependence of the consumed power of the Samson KS625 in compressor mode on the discharge pressure at different rotor speeds: 1 – 1200 rpm; 2 – 1450 rpm; 3 – 1750 rpm. Points – experimental data [10], lines – calculation results according to the formula (6)

По рис. 5 затраченная мощность растет при уменьшении давления в рабочей камере до некоторого значения P_1 , а затем изменяется незначительно. В [7, 11] было показано, что зависимость затраченной мощности от давления может быть аппроксимирована параболой. В данной работе учтем влияние частоты вращения ротора на параметры:

$$N \equiv \varphi_1(P, n) = \begin{cases} N_M(n) - B_1 \cdot P \cdot (P - P_1(n)), & \text{при } P \geq P_1(n); \\ N_M(n), & \text{при } P < P_1(n). \end{cases} \quad (4)$$

Параметры в (4) рассчитаны по формулам (5), подобранным по экспериментальным данным для Samson KS625 (рис. 7):

$$N_M(n) = 6,739 \cdot 10^{-5} \cdot n^{1,739}, \quad P_1(n) = 66,84 - 0,0263 \cdot n. \quad (5)$$

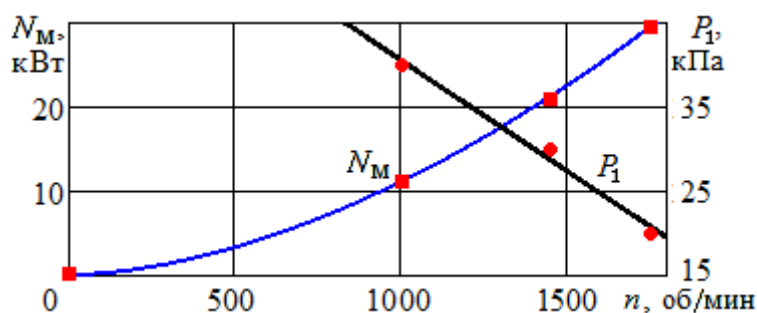


Рис. 7. Зависимость параметров затраченной мощности от частоты. Точки – экспериментальные данные, линии – расчет по формулам (5)

Fig. 7. Dependence of parameters of the spent power on frequency. Points – experimental data, lines – calculation using formulas (5)

Коэффициент B в формуле (4) с ростом частоты меняется незначительно, он может быть принят постоянным, в частности, для Samson KS625 $B \approx 8,729 \cdot 10^{-4}$ кВт/Па³.

По рис. 6 зависимость затраченной мощности от давления в режиме компрессора близка к линейной. С учетом влияния частоты вращения запишем:

$$N \equiv \varphi_2(P, n) = N_A(n) + B_2(n) \cdot (P - P_A). \quad (6)$$

Зависимость параметров в (4) от величины n для ВКМ Samson KS625 показана на рис. 8.

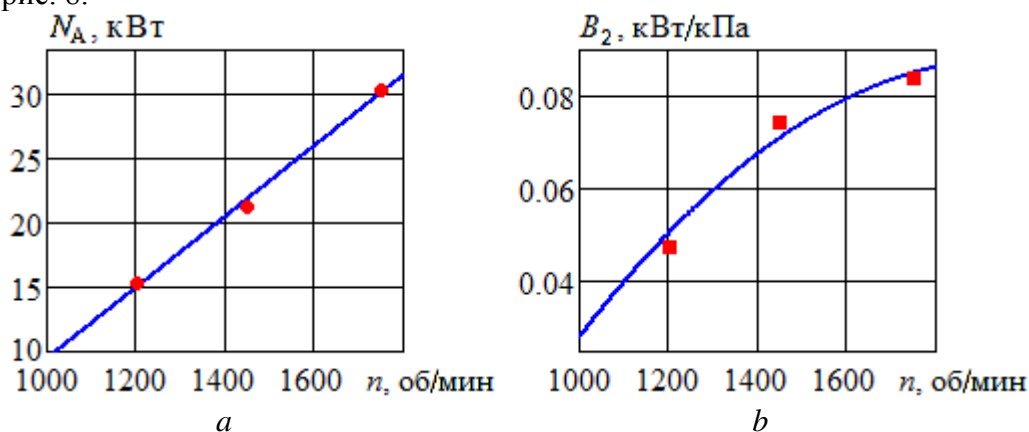


Рис. 8. Зависимость параметров в формуле (6) от частоты для KS625:

a – затраченная мощность при атмосферном давлении; b – коэффициент.

Точки получены по экспериментальным данным, линии – результаты расчета

Fig. 8. Dependence of the parameters in formula (6) on the frequency for KS625:

a – power consumed at atmospheric pressure; b – coefficient.

Points are obtained from experimental data, lines – calculation results

Заметим, что эмпирические зависимости на рис. 3, 4, 7, 8 следует считать оценочными, так как таковые получены всего по трем экспериментальным точкам. В дальнейшем они должны быть уточнены, для чего требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований.

ДИНАМИКА ПРОЦЕССА ОТКАЧИВАНИЯ И ЗАКАЧИВАНИЯ ВОЗДУХА ВКМ

Изменение давления в рабочей камере при откачивании воздуха с помощью ВКМ из резервуара объемом V описывается дифференциальным уравнением [8, 12]:

$$V \cdot \frac{dP}{dt} = f_1(P(t), n) \cdot (k \cdot P_A - (1 + k) \cdot P(t)), \quad P(0) = P_A, \quad (7)$$

где $P(t)$ – абсолютное давление в резервуаре; t – время; k – коэффициент утечки; $f_1(P, n)$ – зависимость производительности ВКМ в режиме вакуумного насоса от давления и частоты вращения ротора (см. формулу (1)).

Задача Коши (7) была решена численным методом в среде Mathcad. Результаты расчета при $V = 3 \text{ м}^3$, $k = 0,05$ представлены на рис. 9. Рост частоты вращения ротора заметно увеличивает скорость откачки. Так, чтобы уменьшить давление в резервуаре до 20 кПа при $n = 800$ об/мин (линия 1), потребуется 80 с, а при $n = 1800$ об/мин (линия 3) – менее 30.

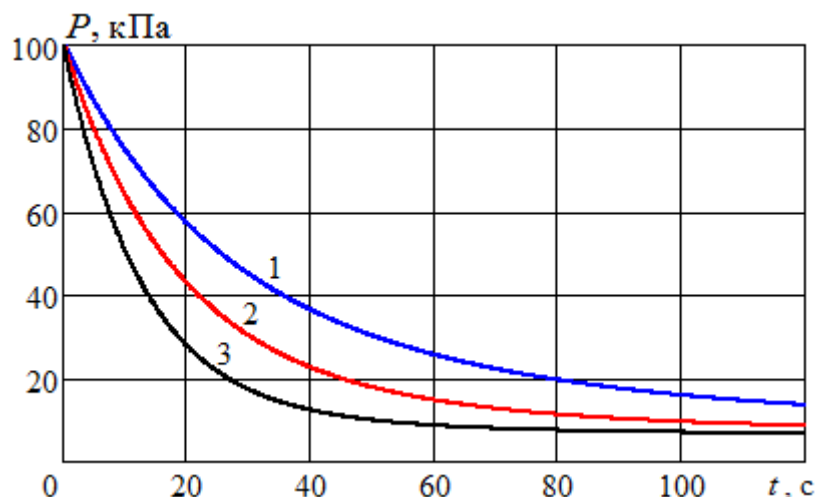


Рис. 9. Динамика откачки воздуха при различных значениях частоты вращения ротора ВКМ KS625: 1 – 800 об/мин, 2 – 1200 об/мин, 3 – 1800 об/мин
 Fig. 9. Dynamics of air pumping at different values of the WCM KS625 rotation frequency: 1 – 800 rpm, 2 – 1200 rpm, 3 – 1800 rpm

Дифференциальное уравнение закачки воздуха в резервуар [8,12]:

$$V \cdot \frac{dp}{dt} = f_2(P(t), n) \cdot ((1 - k) \cdot P(t) + k \cdot P_A), \quad P(0) = P_A, \quad (8)$$

где $f_2(P, n)$ – зависимость производительности ВКМ в режиме воздуходувки от давления в резервуаре (см. формулу (3)).

Результаты решения задачи Коши (8) численным методом при $V = 3 \text{ м}^3$, $k = 0,1$ представлены на рис. 10. В режиме компрессора частота вращения ротора

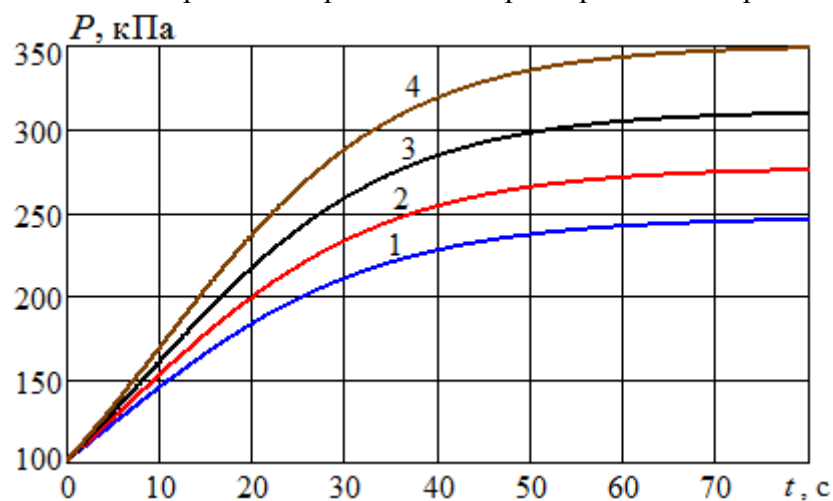


Рис. 10. Динамика закачки воздуха в рабочую камеру при различных значениях частоты вращения ротора ВКМ KS625: 1 – 1000 об/мин, 2 – 1100 об/мин, 3 – 1200 об/мин, 4 – 1300 об/мин
 Fig. 10. Dynamics of air injection into the working chamber at different values of the rotor speed of the WCM KS625: 1 – 1000 rpm, 2 – 1100 rpm, 3 – 1200 rpm, 4 – 1300 rpm

влияет на динамику процесса еще в большей степени, чем в режиме вакуумного насоса. На рис. 10 рассмотрено изменение величины частоты даже не во всем допустимом диапазоне (800–1800 об/мин). С ростом частоты вращения ротора увеличивается не только скорость закачки воздуха, но и предельное давление, которое может быть достигнуто. Так при $n = 1000$ об/мин (линия 1) предельное давление равно 250 кПа, а при $n = 1300$ об/мин (линия 4) – 350 кПа.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для ВКМ KS625 в режиме вакуумного насоса было рассчитано время T_1 , необходимое для снижения абсолютного давления в резервуаре до 20 кПа (см. рис. 9), и величина затраченной при этом механической работы A_1 :

$$A_1(n) = \int_0^{T_1} \varphi_1(P(t, n), n) dt. \quad (9)$$

По рис. 11 с увеличением частоты вращения ротора время откачки уменьшается, а затраченная работа растет линейно.

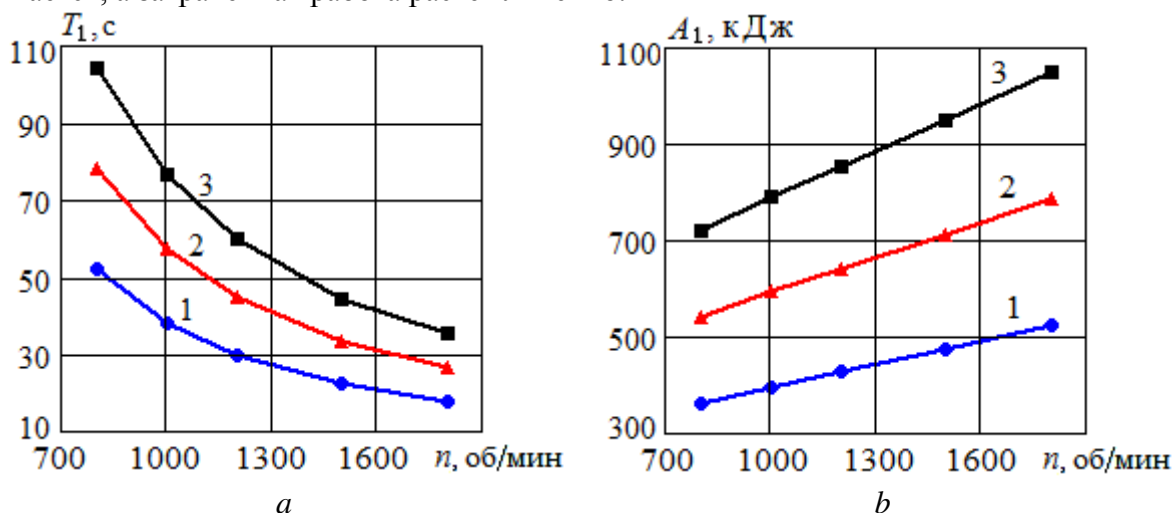


Рис. 11. Зависимость параметров откачки воздуха до давления 20 кПа от частоты вращения ротора ВКМ KS625 при различном объеме резервуара: a – время откачки; b – затраченная работа; 1 – $V = 2 \text{ м}^3$; 2 – $V = 3 \text{ м}^3$; 3 – $V = 4 \text{ м}^3$

Fig. 11. Dependence of air pumping parameters to a pressure of 20 kPa on the rotor speed of the KS625 WCM for different tank volumes: a – pumping time; b – work expended; 1 – $V = 2 \text{ м}^3$; 2 – $V = 3 \text{ м}^3$; 3 – $V = 4 \text{ м}^3$

Для ВКМ KS625 в режиме компрессора насоса были рассчитаны время T_2 , необходимое для повышения абсолютного давления в резервуаре до 200 кПа (см. рис. 10), и величина затраченной при этом механической работы A_2 :

$$A_2(n) = \int_0^{T_2} \varphi_2(P(t, n), n) dt. \quad (10)$$

На рис. 12, как и на рис. 11, увеличение частоты вращения ротора приводит к снижению времени процесса и нелинейному возрастанию затраченной работы. Во всех случаях чем больше объем резервуара, тем больше и рассмотренные величины.

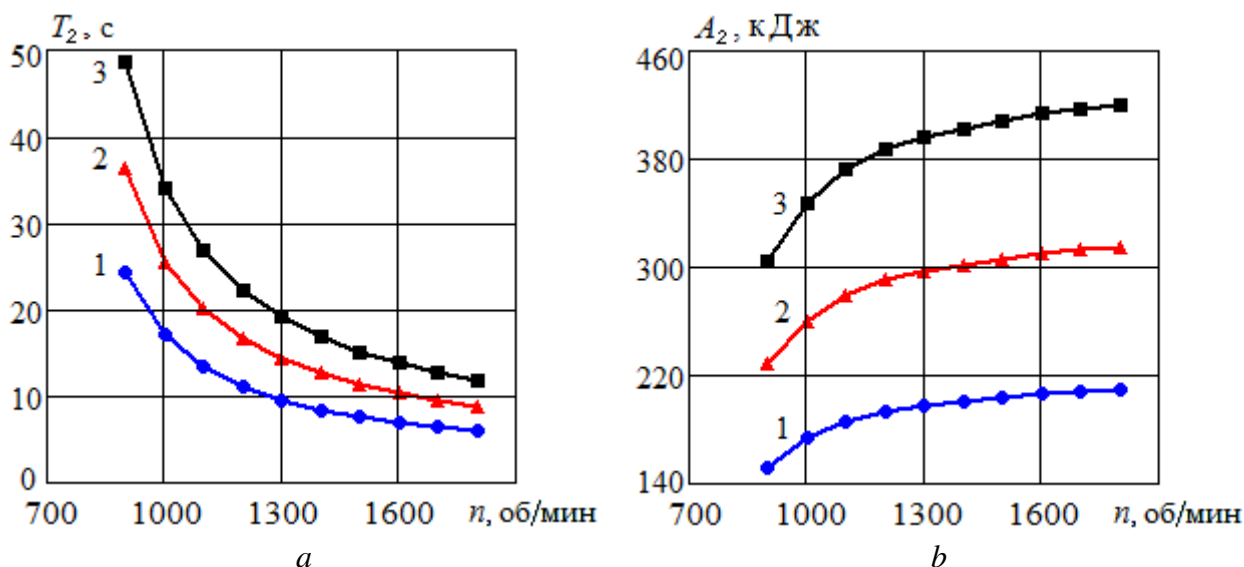


Рис. 12. Зависимость параметров закачки воздуха до давления 200 кПа от частоты вращения ротора ВКМ KS625 при различном объеме резервуара: a – время закачки; b – затраченная работа; 1 – $V = 2 \text{ м}^3$; 2 – $V = 3 \text{ м}^3$; 3 – $V = 4 \text{ м}^3$

Fig. 12. Dependence of air injection parameters to a pressure of 200 kPa on the rotor speed of the KS625 VCM for different tank volumes: a – injection time; b – work expended; 1 – $V = 2 \text{ m}^3$; 2 – $V = 3 \text{ m}^3$; 3 – $V = 4 \text{ m}^3$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ нагрузочных характеристик ВКМ показал линейное увеличение наибольшей производительности (при атмосферном давлении) с ростом частоты вращения ротора как в режиме вакуумного насоса, так и в режиме компрессора. Аналогичные зависимости получены для затраченной мощности ВКМ. Влияние частоты n на параметры при других давлениях может считаться лишь оценочным и требует дополнительного изучения, так как получено всего по трем экспериментальным точкам.

Рост частоты вращения ротора ВКМ приводит к увеличению скорости процесса перекачивания воздуха и в режиме вакуумного насоса, и в режиме компрессора. Но в первом режиме предельно низкое давление в рабочей камере не зависит от n , а во втором – предельно большое давление увеличивается с ростом n .

Механическая работа, затраченная ВКМ в режиме компрессора для достижения определенного давления в резервуаре, увеличивается с ростом частоты вращения ротора. Поэтому эксплуатировать ВКМ на высоких частотах рекомендуется лишь при необходимости уменьшения времени перекачивания воздуха. С точки зрения энергетической эффективности наилучшими являются невысокие частоты вращения ротора ВКМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов, О. В. Исследование производительности водокольцевых вакуумных насосов различных типов / О. В. Смирнов, В. Н. Костеренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 390–395.

2. Yu, H. M. Analysis on selection of water ring vacuum pumps in the chemical industry / H. M. Yu // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vol. 325–326. – P. 1435–1439.
3. Шилин, В. А. Теоретические исследования работы водокольцевого вакуумного насоса / В. А. Шилин, О. А. Герасимова // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2015. – № 1 (17). – С. 142–158.
4. Huang, S. Theoretical model for the performance of liquid ring pump based on the actual operating cycle / S. Huang, J. He, X. Wang, G. Qiu // *International Journal of Rotating Machinery*. – 2017. – 9 p. – URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3617321> (Дата обращения: 20 октября 2020).
5. Performance monitoring analysis of liquid ring vacuum pumps / G. Q. Qiu, S. Huang, L. L. Zhu, Y. Chen, J. He // *Applied Mechanics and Materials*. – 2017. – Vol. 853. – P. 463–467.
6. Великанов, Н. Л. Компрессорные машины вакуумных рыбонасосов / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов // *Рыбное хозяйство*. – 2018. – № 6. – С. 78–81.
7. Naumov, V. A. Simulation of operational characteristics of the water-ring vacuum pumps / V. A. Naumov, N. L. Velikanov // *IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 537. – 5 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/3/032029/pdf> (Дата обращения: 20 октября 2020).
8. Великанов, Н. Л. Динамические характеристики вакуумных насосов и компрессоров рыбонасосных установок / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов // *Рыбное хозяйство*. – 2019. – № 1. – С. 79–83.
9. Naumov, V. A. Influence of leakage on characteristics of the vacuum transport unit based on the water-ring pump / V. A. Naumov // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 862. – 6 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/862/3/032007/pdf> (Дата обращения: 20 октября 2020).
10. Samson Pumps [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.samson-pumps.com/downloads/vacuum-pumps.html> (Дата обращения: 20 октября 2020).
11. Великанов, Н. Л. Моделирование характеристик водокольцевых вакуумных насосов / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов // *Известия вузов. Машиностроение*. – 2019. – № 10. – С. 70–77.
12. Наумов, В. А. Этапы работы вакуумной рыбонасосной установки / В. А. Наумов, Н. Л. Великанов // *Рыбное хозяйство*. – 2020. – № 2. – С. 108–112.

REFERENCES

1. Smirnov O. V., Kosterenko V. N. Issledovanie proizvoditel'nosti vodokol'cevykh vakuumnnykh nasosov razlichnykh tipov [Study of the performance of liquid ring vacuum pumps of various types]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2011, no 7, pp. 390–395.
2. Yu H. M. Analysis on selection of water ring vacuum pumps in the chemical industry. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 325–326, pp. 1435–1439.
3. Shilin V. A., Gerasimova O. A. Teoreticheskie issledovaniya raboty vodokol'ceвого vakuumnogo nasosa [Theoretical studies of water-ring vacuum pump]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2015, no. 1 (17), pp. 142–158.

4. Huang S., He J., Wang X., Qiu G. Theoretical model for the performance of liquid ring pump based on the actual operating cycle. *International Journal of Rotating Machinery*. 2017. 9 p. Available at: <https://doi.org/10.1155/2017/3617321> (Accessed 20 October 2020).

5. Qiu G. Q., Huang S., Zhu L. L. et al. Performance monitoring analysis of liquid ring vacuum pumps. *Applied Mechanics and Materials*, 2017, vol. 853, pp. 463–467.

6. Velikanov N. L., Naumov V. A. Kompessornye mashiny vakuumnykh rybnososov [Compressor machines of vacuum fish pumps]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2018, no 6, pp. 78–81.

7. Naumov V. A., Velikanov N. L. Simulation of operational characteristics of the water-ring vacuum pumps. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering. 2019, vol. 537, 5 p. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/3/032029/pdf> (Accessed 20 October 2020).

8. Velikanov N. L., Naumov V. A. Dinamicheskie kharakteristiki vakuumnykh nasosov i kompressorov rybnososnykh ustanovok [Dynamic characteristics of vacuum pumps and compressors of fish pump units]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2019, no. 1, pp. 79–83.

9. Naumov V. A. Influence of leakage on characteristics of the vacuum transport unit based on the water-ring pump. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 862, 6 p. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/862/3/032007/pdf> (Accessed 20 October 2020).

10. Samson Pumps. Available at: <https://www.samson-pumps.com/downloads/vacuum-pumps.html> (Accessed 20 October 2020).

11. Velikanov N. L., Naumov V. A. Modelirovanie kharakteristik vodokol'tsevykh vakuumnykh nasosov [Modeling of water-ring vacuum pumps characteristics]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 2019, no. 10, pp. 70–77.

12. Naumov V. A., Velikanov N. L. Etapy raboty vakuumnoy rybnososnoy ustanovki [Operation stages of the vacuum fish pump unit]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2020, no. 2, pp. 108–112.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Наумов Владимир Аркадьевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор;
зав. кафедрой водных ресурсов и водопользования;
E-mail: van-old@rambler.ru

Naumov Vladimir Arkadievich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Water Resources
and Water Management; E-mail: van-old@rambler.ru

УДК 621.837.7

DOI 10.46845/1997-3071-2021-60-123-131

ПОИСК ВИДА ШАТУННОЙ КРИВОЙ В БАЗОВЫХ МЕХАНИЗМАХ
ПИЩЕВЫХ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ СИЛОВЫХ
НАГРУЗКАХ

Н. А. Середа, С. В. Федоров

SEARCH FOR THE COUPLER CURVE TYPE IN THE BASIC MECHANISMS
OF FOOD MACHINES OPERATING AT VARIABLE POWER LOADS

N. A. Sereda, S. V. Fedorov

Выполнен анализ конструкций двух базовых механизмов, работающих при переменных силовых нагрузках. Известна конструкция механизма, в которой максимум технологической нагрузки имеет место в конце прямого хода, при этом на начало обратного приходится ее повышенное значение. Последнее к концу обратного интервала движения снижается. Упомянутый механизм применяется в пищевых машинах для фракционирования кусковых материалов. Его рабочий орган связан с шатуном, на котором закреплен лоток для размещения вышеозначенных материалов. Существует базовый механизм с характерным максимумом силового нагружения в середине интервала рабочего хода. Отметим, что в начале рабочего интервала движения у такового значение силовой нагрузки выше, чем в его конце. Этот механизм работает в составе щековой дробилки пищевой машины. В данном случае рабочий орган может быть связан с шатуном либо с коромыслом. Оба базовых механизма – кривошипно-коромысловые, содержащие две структурные группы. Предмет нашего исследования – вид шатунной кривой рассматриваемых механизмов. Предложен графоаналитический метод построения шатунной кривой – траектории характерной точки, расположенной на шатуне. Этот метод основан на определении длины отрезка и угла его наклона к межцентровому расстоянию базового механизма. Упомянутый отрезок соединяет точку на шатуне с шарнирно-неподвижной опорой анализируемого механизма. Последняя является подвижной связью коромысла со стойкой. Предложены зависимости для определения длины отрезка и угла его наклона к межцентровому расстоянию в аналитическом виде, полученные в функции угла поворота кривошипа базового механизма и ряда его геометрических параметров. В дальнейшем проводятся построение и анализ вида шатунной кривой кривошипно-коромыслового механизма. Показано, что шатун упомянутого механизма для фракционирования кусковых материалов движется возвратно-поступательно на большей части интервала кинематического цикла.

базовый механизм, силовая нагрузка, шарнирный четырехзвенник, шатунная кривая, графоаналитический метод, алгоритм построения

The article analyzes the structures of two basic mechanisms operating under variable power loads. There is a known mechanism in which the maximum power load occurs at the end of the forward stroke, while at the beginning of the reverse stroke there is an increased value of the power load. This value decreases towards the end of the return stroke. This mechanism is used in food machines for fractionating lumpy materials. The working body of such a mechanism is connected with a connecting rod, on which a tray is fixed for placing lumpy materials on it. There is a basic mechanism with a characteristic maximum force loading in the middle of the working stroke interval. Note that in such a mechanism at the beginning of the working stroke, the value of the power load is higher than at the end of this stroke. The named mechanism works as part of a food machine jaw crusher. In this case, the working body can be associated with a connecting rod or a rocker arm. Both basic mechanisms are crank-yoke mechanisms containing two structural groups. The subject of the research is the type of the coupler curve of the two basic mechanisms. A graphic-analytical method for constructing a coupler curve is proposed – the trajectory of a characteristic point located on the connecting rod. This method is based on determining the length of the segment and the angle of its inclination to the center-to-center distance of the base mechanism. The mentioned segment connects the point on the connecting rod with the articulated fixed support of the basic mechanism. The named support is a hinged connection of the rocker arm with the rack. Dependences are proposed for determining the length of a segment and the angle of inclination of this segment to the center-to-center distance of the mechanism in an analytical form. These dependences are obtained as a function of the crank angle of the basic mechanism and a number of geometric parameters. In the future, construction and analysis of the type of the coupler curve of the basic mechanism is carried out. It is shown that the connecting rod of the basic mechanism for fractionation of lumpy materials moves back and forth over most of the kinematic cycle interval.

basic mechanism, power load, four-bar motion, coupler curve, graphic-analytical method, construction algorithm

ВВЕДЕНИЕ

В статье в качестве объектов исследования рассматриваются два базовых механизма. На рис. 1 приведена кинематическая схема одного из них [1], функционирующего в условиях переменного силового нагружения. Силовая нагрузка в таком механизме изменяется от минимального значения в начале прямого хода до максимального, наблюдаемого к концу этого хода. Обратный ход начинается с повышенного значения технологической нагрузки, которая к его концу уменьшается. Отметим, что прямой и обратный интервалы движения при работе базового механизма по рис. 1 являются рабочими.

Из рисунка видно, что кривошип 1 и коромысло 3 базового механизма шарнирно связаны со стойкой OO_1 . Шатун 2 образует вращательные кинематические пары с кривошипом 1 и коромыслом 3. На шатуне 2 закреплен рабочий орган 4, выполненный в виде короба. При движении шатуна объект обработки, представляющий собой кусковой материал, перемещается по коробу и фракционируется.

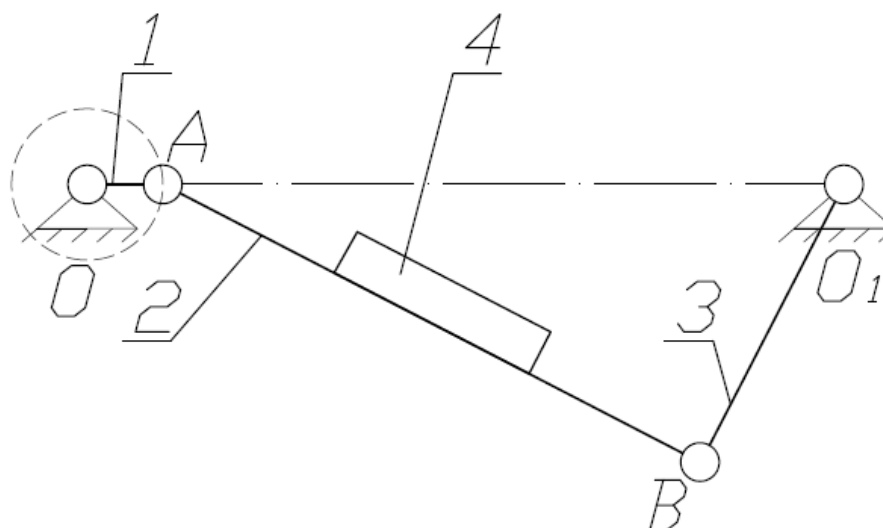


Рис. 1. Кинематическая схема базового механизма [1]
 Fig. 1. Kinematic diagram of the basic mechanism [1]

Отметим, что геометрические параметры базового механизма соответствуют семейству ККМ-3 [2]. Максимум функции угла передачи имеет место в положении этого механизма, когда кривошип расположен на линии центров [2].

Известна кинематическая схема устройства [3], предназначенного для работы в условиях переменного силового нагружения (рис. 2). Схема по рис. 2 содержит кривошип 1, шатун 2 и коромысло 3, соединенные между собой подвижно. При этом упомянутые кривошип и коромысло укреплены на стойке. Рабочий орган 4, представляющий собой щеку дробилки, может находиться в жесткой связи с шатуном 2 либо с коромыслом 3 (последнее показано на рис. 2 пунктиром). Силовая нагрузка в интервале рабочего хода рассматриваемого базового механизма по рис. 2 характеризуется явно выраженным максимумом в его середине. При этом в начале интервала рабочего движения числовое значение силовой нагрузки выше, чем в его конце. В периоде кинематического цикла при работе базового механизма по рис. 2 в отличие от его аналога по рис. 1 имеет место холостой ход, предполагающий работу без вышеозначенной нагрузки.

Напомним, что геометрические параметры базового механизма по рис. 2 соответствуют семейству ККМ-6 [4]. Максимум функции угла передачи наблюдается в положении этого устройства, когда кривошип и коромысло перпендикулярны шатуну.

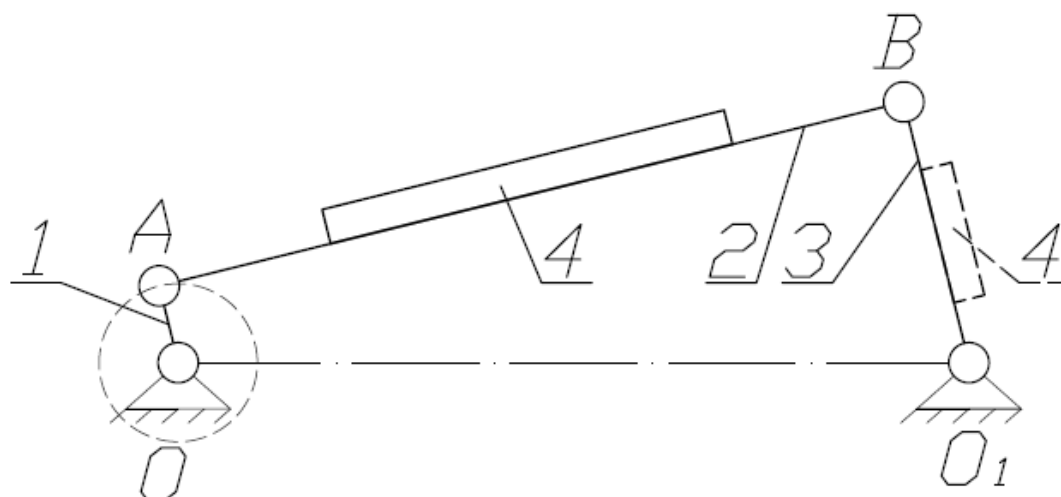


Рис. 2. Кинематическая схема базового механизма [3]
 Fig. 2. Kinematic diagram of the basic mechanism [3]

Поскольку рабочий орган рассматриваемых базовых механизмов связан с шатуном 2, выполним анализ методов построения их шатунной кривой.

Установить вид шатунной кривой исследуемых устройств можно графическим методом, т. е. путем построения ряда текущих положений [5–7]. В качестве исходных параметров для определения ее вида заданы длины звеньев, включая стойку механизма. Для соблюдения точности таких построений необходимо их повторять через малый угловой шаг кривошипа.

В работах [8, 9] рассматривается метод синтеза прямолинейно-направляющих рычажных механизмов и механизмов с выстоем звена с рабочим органом, основанный на применении точек распрямления четвертого и пятого порядков соответственно. Основное уравнение, которое используется в данном методе, получено в неявном виде. По такому уравнению нельзя выполнить построение шатунной кривой без дополнительных математических операций. Последнее является недостатком метода синтеза, основанного на применении точек распрямления четвертого и пятого порядков.

В статьях [10, 11] предлагаются методики синтеза базовых четырехзвенных механизмов. В результате синтеза по полученным геометрическим размерам выполняются построения ряда положений базового механизма, устанавливается вид шатунной кривой.

В настоящей статье разработан алгоритм графоаналитического метода построения шатунной кривой. Его применение включает укрупненно два последовательных этапа, связанных с определением:

1) длины отрезка, соединяющего точки O_1 и m , расположенные на шатуне. Она устанавливается в функции угла передачи и ряда геометрических параметров механизма. Названная функция, в свою очередь, зависит от текущих значений угла поворота кривошипа и геометрических параметров базового механизма;

2) значения угла $\theta = \tau_1 + \tau_2$. На этот угол должен быть отклонен отрезок O_1m от точки O_1 межцентрового расстояния. Отметим, что значения названного угла θ зависят от геометрических параметров базового механизма и угла поворота кривошипа, введенного в формулу в неявном виде.

1. ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ШАТУННОЙ КРИВОЙ БАЗОВЫХ МЕХАНИЗМОВ СЕМЕЙСТВ ККМ-3 И ККМ-6

Предлагаемый графоаналитический метод построения шатунной кривой рассмотрим на примере базового механизма, геометрические параметры которого соответствуют семейству ККМ-3 [11]. На рис. 3 приведена схема, поясняющая вывод расчетных формул.

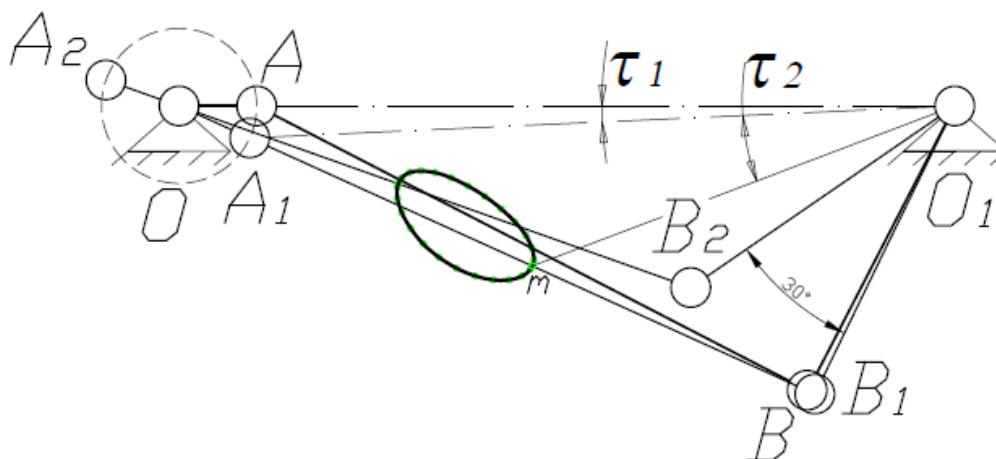


Рис. 3. Схема к выводу формул для графоаналитического метода построения шатунной кривой

Fig. 3. Scheme for the derivation of formulas for the graphical-analytical method for constructing the coupler curve

1. Длину отрезка O_1m отнесем к длине межцентрового расстояния и обозначим λ_4 . Упомянутая относительная длина составит:

$$\lambda_4 = \frac{O_1m}{O_1O} = \sqrt{0,25\lambda_2^2 + \lambda_3^2 - \lambda_2\lambda_3 \cos(\mu_i)}. \quad (1)$$

2. Функция угла передачи μ_i для базового механизма – представителя семейства ККМ-3 – определяется по известной формуле [2]:

$$\mu_i = \arccos\left(\frac{\lambda_1(1 - \cos(\varphi_i))}{\lambda_2\lambda_3}\right). \quad (2)$$

3. Функция угла передачи μ_i для базового механизма – представителя семейства ККМ-6 – устанавливается по формуле [4]:

$$\mu_i = \arccos\left(\frac{\lambda_1(\cos(\varphi_i) - \lambda_1 + \lambda_3)}{\lambda_2\lambda_3}\right). \quad (3)$$

4. Поставим формулы (2) и (3) в зависимость (1) и получим параметр λ_4 для механизмов – представителей двух семейств ККМ-3 и ККМ-6 соответственно:

$$\lambda_4 = \frac{O_1 m}{O_1 O} = \sqrt{0,25\lambda_2^2 + \lambda_3^2 - \lambda_1(1 - \cos(\varphi_i))} \quad (4)$$

$$\lambda_4 = \frac{O_1 m}{O_1 O} = \sqrt{0,25\lambda_2^2 + \lambda_3^2 - \lambda_1(\cos(\varphi_i) - \lambda_1 + \lambda_3)} \quad (5)$$

5. Длина отрезка $O_1 A$, отнесенная к длине межцентрового расстояния, обозначается λ_5 и составляет:

$$\lambda_5 = \frac{O_1 A_1}{O_1 O} = \sqrt{\lambda_1^2 + 1 - 2\lambda_1 \cos(\varphi_i)} \quad (6)$$

6. Углы τ_1 и τ_2 (см. рис. 3) устанавливаются по формулам (7) и (8)

$$\tau_1 = \arccos \frac{1 + \lambda_5^2 - \lambda_1^2}{2\lambda_5} \quad (7)$$

$$\tau_2 = \arccos \frac{\lambda_5^2 + \lambda_4^2 - 0,25\lambda_2^2}{2\lambda_5\lambda_4} \quad (8)$$

7. Угол θ , на который отклонится отрезок $O_1 m$ от линии $O_1 O$, равен

$$\theta = \tau_1 + \tau_2 = \arccos \frac{1 + \lambda_5^2 - \lambda_1^2}{2\lambda_5} + \arccos \frac{\lambda_5^2 + \lambda_4^2 - 0,25\lambda_2^2}{2\lambda_5\lambda_4} \quad (9)$$

Формулы (1)–(9) положены в основу графоаналитического метода построения шатунных кривых базовых механизмов.

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

С использованием зависимостей (1)–(9) получены расчетные данные для построения шатунных кривых базовых механизмов по рис. 1 и 2. Шатунная кривая базового механизма по рис. 1 представлена на рис. 3. Она построена при следующих геометрических параметрах базового механизма: кривошип OA – 15, шатун AB – 120, коромысло BO_1 – 62, стойка OO_1 – 150. Все упомянутые длины взяты в миллиметрах. Напомним, что по характеру силового нагружения базовый механизм относится к известному семейству ККМ-3.

Подмечено, что шатун AB в интервале кинематического цикла остается параллельным самому себе в ряде положений базового механизма. Это свидетельствует о том, что звено AB совершает движение, близкое к возвратно-поступательному. Последнее благоприятно сказывается на технологическом процессе фракционирования кускового материала, совершаемом или проводимом посредством базового механизма по рис. 1.

Вид шатунной кривой устройства по рис. 2 приведен на рис. 4. Такая кривая получена для базового механизма со следующими геометрическими параметрами: длинами звеньев $OA - 15$; $AB - 145,5$; $BO_1 - 51$; $OO_1 - 150$. Все перечисленные размеры приведены в миллиметрах.

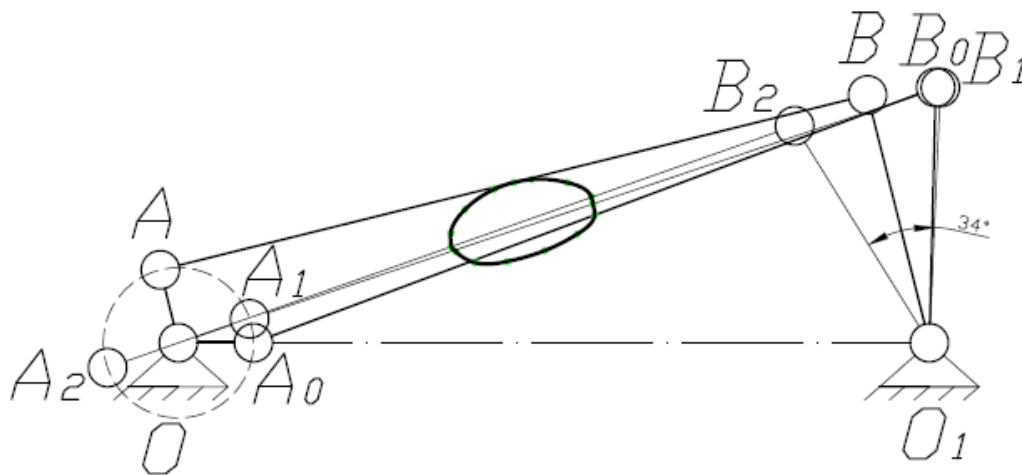


Рис. 4. Вид шатунной кривой базового механизма по рис. 2

Fig. 4. View of the connecting rod curve of the basic mechanism in Fig. 2

Напомним, что по характеру силового нагружения базовый механизм по рис. 2 относится к семейству ККМ-6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены кинематические схемы базовых механизмов, работающих в условиях переменного силового нагружения. Один из них является представителем известного семейства ККМ-3, другой – ККМ-6.

2. Предложены аналитические зависимости (1)–(9), положенные в основу графоаналитического метода построения шатунной кривой базовых механизмов, относящихся к семействам ККМ-3 и ККМ-6.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Механизм для передачи силовых нагрузок / Горлатов А. С.: пат. 2141586. № 98116532/28; заявл. 01.09.1998; опубл. 20.11.1999. Бюл. № 11. – 5 с.

2. Горлатов, А. С. Кинематический синтез кривошипно-коромысловых механизмов третьей группы / А. С. Горлатов // Научное обозрение. – 2010. – № 5. – С. 29 – 33.

3. Механизм для передачи переменных нагрузок / Горлатов А. С.: Пат. 2114348. № 96118741/28; заявл. 20.09.1996; опубл. 27.06.1998. Бюл. № 6. – 5 с.

4. Горлатов, А. С. Кинематический синтез кривошипно-коромысловых механизмов шестой группы / А. С. Горлатов // Научное обозрение. – 2011. – № 1. – С. 63–68.

5. Артоболевский, С. И. Теория механизмов и машин / С. И. Артоболевский. – Москва: Высшая школа, 1967. – 364 с.

6. Желиговский, А. В. Концепция построения и содержания аналитического атласа шатунных кривых / А. В. Желиговский // Проектирование технологических машин: сб. науч. тр. / Под ред. д.т.н., проф. А. В. Пуша. – Москва: Изд-во «Станкин», 2000. – Вып. 17. – С. 18 – 21.

7. Кольман-Иванов, Э. Э. Машины-автоматы и автоматические линии химических производств / Э. Э. Кольман-Иванов, Ю. И. Гусев. – Москва: МГУИЭ, 2003. – 496 с.

8. Харжевский, В. А. Метод определения положения шатунных точек для проектирования рычажных прямолинейно направляющих механизмов / В. А. Харжевский // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2015. – № 4. – С. 7 – 13.

9. Харжевский, В. А. Синтез рычажных механизмов с выстоем выходного звена с использованием точек распрямления пятого порядка / В. А. Харжевский // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2016. – № 4. – С. 21 – 27.

10. Лагутина, Т. А. Кинематический анализ и синтез четырехзвенного механизма по динамическим критериям / Т. А. Лагутина, С. А. Зарубин // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 1. – С. 120 – 125.

11. Гебель, Е. С. Оптимизационный кинематический синтез четырехзвенного рычажного механизма по двум заданным положениям / Е. С. Гебель, Е. А. Чигринова // Омский научный вестник. – 2020. – № 3 (170). – С. 21 – 25.

REFERENCES

1. Gorlatov A. S. Mekhanizm dlya peredachi silovykh nagruzok [Mechanism for transferring power loads]. Patent 2141586. No. 98116532/28; declared 01/09/1998; publ. 20/11/1999. Bull. № 11, 5 p.

2. Gorlatov A. S. Kinematicheskiy sintez krivoshipno-koromyslovykh mekhanizmov tret'ey gruppy [Kinematic synthesis of crank-rocker mechanisms of the third group]. *Nauchnoe obozrenie*, 2010, no. 5, pp. 29 – 33.

3. Gorlatov A. S. Mekhanizm dlya peredachi peremennykh nagruzok [Mechanism for transferring power loads]. Patent 2114348. No. 96118741/28; declared 20/09/1996; publ. 27/06/1998. Bull. № 6, 5 p.

4. Gorlatov A. S. Kinematicheskiy sintez krivoshipno-koromyslovykh mekhanizmov shestoy gruppy [Kinematic synthesis of crank-rocker mechanisms of the sixth group]. *Nauchnoe obozrenie*, 2011, no. 1, pp. 63 – 68.

5. Artobolevskiy S. I. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Vysshaya shkola, 1967, 364 p.

6. Zheligovskiy A.V. Kontseptsiya postroeniya i sodержaniya analiticheskogo atlasa shatunnykh krivyykh [The concept of construction and content of the analytical atlas of connecting rod curves]. *Proektirovanie tekhnologicheskikh mashin: sb. nauchn. trudov. Vypusk 17* [Design of technological machines: collection of scientific papers, issue 17]. Moscow, Stankin, 2000, pp. 18 – 21.

7. Kol'man-Ivanov E. E., Gusev Yu. I. *Mashiny-avtomaty i avtomaticheskie linii khimicheskikh proizvodstv* [Automatic machines and automatic lines for chemical production]. Moscow, Moscow Gos. Univ., 2003, 496 p.

8. Kharzhevskiy V. A. Metod opredeleniya polozheniya shatunnykh toчек dlya proektirovaniya ryчazhnykh pryamolineyno napravlyayushchikh mekhanizmov [Method for determining the position of connecting rod points for the design of linkage rectilinear guide mechanisms]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*, 2015, no. 4, pp. 7 – 13.

9. Kharzhevskiy V. A. Sintez ryчazhnykh mekhanizmov s vystoem vykhodnogo zvena s ispol'zovanie toчек raspriamleniya pyatogo poryadka [Synthesis of link mechanisms with the endurance of the output link using the fifth order straightening points]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*, 2016, no. 4, pp. 21 – 27.

10. Lagutina T. A. Kinematičeskij analiz i sintez četyrekhzvennogo mekhanizma po dinamicheskim kriteriyam [Kinematic analysis and synthesis of the four-link mechanism by dynamic criteria]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*, 2014, no. 1, pp. 120 – 125.

11. Gebel' E. S. Optimizatsionnyy kinematičeskij sintez četyrekhzvennogo ryчazhnogo mekhanizma po dvum zadannym polozheniyam [Optimization kinematic synthesis of a four-link linkage mechanism for two given positions]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2020, no. 3 (170), pp. 21 – 25.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Sereda Natalya Aleksandrovna – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин; E-mail: natalya.sereda@klgtu.ru

Sereda Natalya Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts; E-mail: natalya.sereda@klgtu.ru

Fedorov Sergey Vasilievich – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин; E-mail: fedorov@klgtu.ru

Fedorov Sergey Vasilievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Professor; Head of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts; E-mail: fedorov@klgtu.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал 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. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

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

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную подписью и печатью ученого секретаря со словами: «Подпись рецензента такого-то заверяю, должность заверяющего, фамилия, роспись, число». Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научный журнал». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье (иногородние могут выслать электронной почтой).

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

Объем статьи

Объем статьи составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

Структура статьи

– **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт не жирный);

– **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

Составные части статьи и порядок их следования

1. **Индекс** по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов)** (кегель 12, шрифт обычный).

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт обычный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 1000–2000 знаков (200–250 слов). 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° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg С».

7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** со строчной, через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация на английском языке** (кегель 12, обычный, слово «Аннотация» не указывается).

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.

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** со строчной через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.**

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегель 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее семи источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.

2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.

2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14–16.

2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препа-

ратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74–80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpru-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразии паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52–56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // 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.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: 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 / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [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.

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit-online.ru/> и настроив перевод: **ё** → **yo**; **й** → **y**; **х** → всегда **kh**; **ц** → **ts**; **щ** → **shch**; **э** → **e** (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

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://vestnik.mednet.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 resursoberegayushchie 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.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе(ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы (аббревиатуру расшифровать) и город; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)31-39-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;

- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- 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 (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка 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; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. 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 (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). 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 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 Tab. 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 латин-

ского 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, exp 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.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавтор-

стве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

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.

Редакторы: Г. А. Смирнова, С. В. Супрунова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Подписано в печать 29.01.2021. Выход в свет 01.02.2021. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 17,6. Уч.-изд. л. 11,3. Тираж 1000 экз. Заказ № 3.