

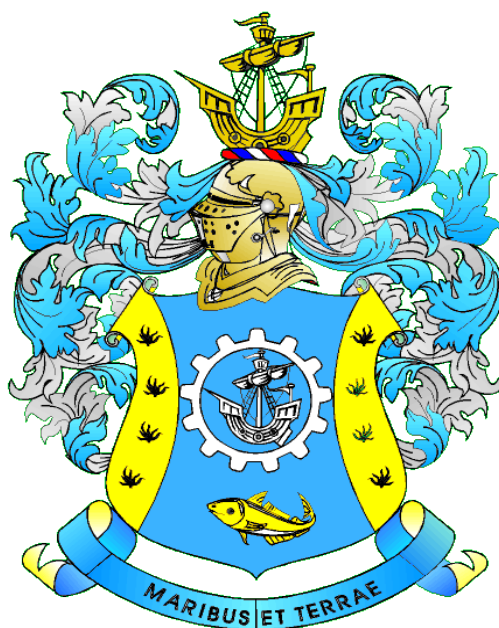
# ИЗВЕСТИЯ КГТУ

2024

№ 72

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.

*Редакционный совет:*

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

*С. Т. Антипов*, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;

*В. Ф. Белей*, д-р техн. наук, проф., Калининградский государственный технический университет, заведующий кафедрой энергетики;

*О. А. Булатов*, д-р биол. наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, директор по научной работе;

*Е. А. Криксунов*, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, заведующий лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии;

*В. А. Панфилов*, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств;

*О. Я. Тимофеев*, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, декан факультета кораблестроения и океанотехники;

*Мирослав Шредер*, д-р экон. наук, проф., Гданьский университет (г. Гданьск, Польша), декан факультета управления;

*А. В. Юров*, д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет имени И. Канта, директор образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий»;

*Марек Якубовский*, д-р техн. наук, проф., Национальный научно-исследовательский институт морского рыболовства (г. Гдыня, Польша), профессор кафедры технологии переработки и механизации.

*Редакционная коллегия:*

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

*Выпускающий редактор С. В. Супрунова*

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,  
2024





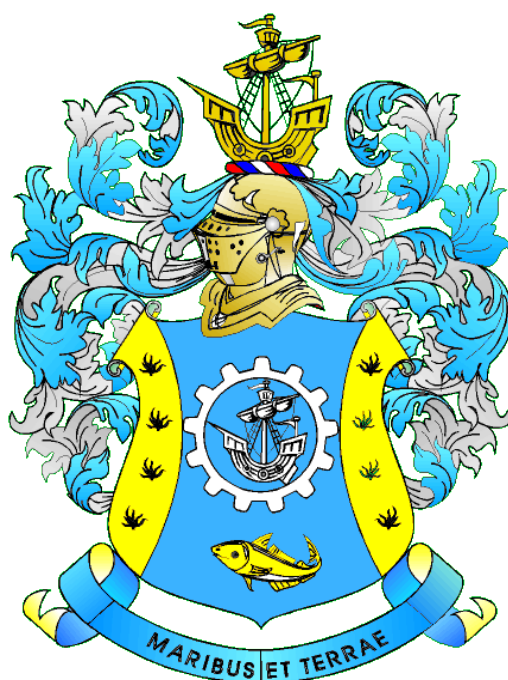
# KSTU NEWS

2024

№ 72

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>Алдушин А. В., Алдушина Ю. К.</i> Характеристика нерестового хода рыб рек бассейна Вислинского залива на примере р. Прохладной .....	11
<i>Бедарева О. М., Троян Т. Н., Артемьев А. А.</i> Растительные сообщества рекреационной зоны Куршской косы: разнообразие, обилие, виталитет . .	26

### **Техника и технология пищевых производств**

<i>Ахмедова Н. Р., Левичева О. И., Наумов В. А.</i> Оценка рабочих характеристик установок для подачи высоковязких пищевых масс с помощью кулачковых насосов российского производства .....	41
<i>Будченко Н. С., Долгий Н. А., Устич В. И.</i> Идентификация математической модели автоклава МАГ-3/1100 .....	57
<i>Воробьев В. И., Чернега О. П., Нижникова Е. В.</i> Разработка способа получения пищевой добавки на основе нерестовой чешуи салаки .....	70
<i>Казакова В. С., Землякова Е. С.</i> Комплексная переработка коллагенсодержащего рыбного сырья .....	81
<i>Сушина А. Д., Мезенова О. Я.</i> Безопасность и качество рыбы бездымного горячего копчения с применением коптильно-водорослевой композиции .	92

### **Судостроение, машиностроение и энергетика**

<i>Недоступ А. А., Сергеев Е. И., Чуреев Е. А.</i> Экспериментальные исследования модели катамарана .....	105
<i>Сукиасов В. Г., Федоров С. В., Панкратов А. В.</i> Анализ прочности болтового крепления тягового электродвигателя трамвайного вагона с боковым подвесом привода .....	115

CONTENT

***Biology, ecology and fisheries***

<i>Aldushin A. V., Aldushina Yu. K.</i> Characteristics of the fish spawning migration in the rivers of the Vistula Lagoon basin on the example of the Prokhladnaya River . . . . .	11
<i>Bedareva O. M., Troyan T. N., Artemyev A. A.</i> Plant communities of the Curonian Spit recreational zone: diversity, abundance, vitality . . . . .	26

***Processes and technology of food manufacturing***

<i>Akhmedova N. R., Levicheva O. I., Naumov V. A.</i> Performance evaluation of high-viscosity food masses feeding installations using Russian-made lobe pumps . . . . .	41
<i>Budchenko N. S., Dolgiy N. A., Ustich V. I.</i> Identification of the mathematical model of the MAG-3/1100 autoclave . . . . .	57
<i>Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Nizhnikova E. V.</i> Development of a method for producing a food additive based on spawning scales of Baltic herring . . . . .	70
<i>Kazakova V. S., Zemlyakova E. S.</i> Integrated processing of collagen-containing fish raw materials . . . . .	81
<i>Sushina A. D., Mezenova O. Ya.</i> Safety and quality of smokeless hot smoked fish with the use of smoked algae composition . . . . .	92

***Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering***

<i>Nedostup A. A., Sergeev E. I., Chureev E. A.</i> Experimental studies of the catamaran model . . . . .	105
<i>Sukiasov V. G., Fedorov S. V., Pankratov A. V.</i> Strength analysis of the traction electric motor bolted fastening of a tram car with a lateral drive suspension . . . . .	115



# **БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО**



Научная статья

УДК 597.5: 591.543.43(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-11-25

### Характеристика нерестового хода рыб рек бассейна Вислинского залива на примере р. Прохладной

Андрей Викторович Алдушин<sup>1</sup>, Юлия Казимировна Алдушина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Россия

<sup>1</sup>aldushin@klgtu.ru

<sup>2</sup>yuliya.aldushina@klgtu.ru

**Аннотация.** Работа посвящена применению комплексного подхода к изучению нерестовых миграций рыб в речные бассейны Вислинского залива. Исследовался нерестовый ход рыб в р. Прохладную в 2019–2020 гг. Оценка численности, видовой и размерной структуры нерестовой миграции проведена в нижнем течении реки с помощью гидроакустического комплекса NetCog и данных по уловам ставных сетей с шагом ячеи от 14 до 60 мм. Основу уловов составляли плотва, лещ и уклейка, на долю которых приходилось 77 % от общей биомассы. Мелкоразмерные особи были представлены плотвой, уклейкой и ершом, рыбы с длиной тела 14–24 см – густерой, плотвой и окунем, крупноразмерные особи – лещом, реже – судаком. Среди рыб длиной свыше 47 см в уловах встречалась только щука. Нерестовый ход начинался в первой декаде апреля при достижении температуры воды 7–8 °С, а массовый ход – при температуре 11–12 °С. Суточная динамика нерестового хода за рассматриваемый период не претерпевала существенных изменений. Отмечено уменьшение общей численности проходных рыб в 2020 г. более чем два раза по сравнению с 2019 г. Установлена сходная размерно-видовая структура ихтиоценоза р. Прохладной в 2019–2020 гг. Различия в интенсивности нерестового хода в эти годы, вероятно, связаны с низким уровнем воды в 2020 г. и наличием преграды в виде заиленного устья реки, препятствующего свободному заходу рыбы к местам ее нереста.

**Ключевые слова:** река Прохладная, Вислинский залив, нерестовый ход рыб, гидроакустические исследования, видовая и размерная характеристики.

**Для цитирования:** Алдушин А. В., Алдушина Ю. К. Характеристика нерестового хода рыб рек бассейна Вислинского залива на примере реки Прохладной // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 11–25. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-11-25.

Original article

### Characteristics of the fish spawning migration in the rivers of the Vistula Lagoon basin on the example of the Prokhladnaya River

Andrey V. Aldushin<sup>1</sup>, Yuliya K. Aldushina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>aldushin@klgtu.ru

<sup>2</sup>yuliya.aldushina@klgtu.ru

**Abstract.** The study is devoted to the use of an integrated approach to the research of fish spawning migration into the river basins of the Vistula Lagoon. The fish spawning migration into the Prokhladnaya River in 2019–2020 has been studied. The number of spawning migrating fish in lower river was estimated by echo-sounder and species and size structures of fishes was carried out based on catch data from gill nets with a mesh 14–60 mm in the lower part of the river. The most numerous species of the catches are roach, bream, and bleak, accounting for 77% of the total biomass. The small-sized fishes in the catches are roach, bleak and ruffe. The fish examples with a body length of 14–24 cm are silver bream, roach and perch. Large-sized individuals are represented by bream, less often pikeperch. Fishes over 47 cm in length are represented in the catches only by pike. The spawning migration begins in the first decade of April when the water temperature reaches 7–8 deg. C, and the mass migration begins at a water temperature of 11–12 deg. C. The daily dynamics of the spawning migration in these years does not undergo significant changes. There was a more than two-fold decrease in the total number of migrating fish in 2020 compared to 2019. A similar size-species structure of the ichthyocenosis of the Prokhladnaya River in 2019–2020 has been established. The differences in the intensity of the spawning migration in these years are probably due to the low water level in 2020 and presence of a barrier in the form of a silted river mouth, preventing the free entry of fish to their spawning grounds.

**Keywords:** river Prokhladnaya, Vistula Lagoon, spawning migration, hydroacoustic research, species and size characteristics.

**For citation:** Aldushin A. V., Aldushina Yu. K. Characteristics of the fish spawning migration in the rivers of the Vistula Lagoon basin on the example of the Prokhladnaya River. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72) : 11–25. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-11-25.

## ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг анадромных миграций промысловых видов рыб является важным аспектом при оценке их запасов и регулировании промысла. Изучение особенностей хода рыбы, его суточной динамики и интенсивности, морфологических условий водных объектов, оказывающих влияние на миграцию, зачастую труднодостижимы при использовании традиционных методов исследований. Одним из достаточно информативных и эффективных подходов является применение гидроакустических комплексов, которые позволяют оперативно проводить оценку состояния водных биоресурсов в определенный момент времени и осуще-

ствлять их количественный учет. Средства акустики с 60-х годов прошлого века успешно применяются для оценки запасов рыб в морях и океанах [1–3], однако в последние десятилетия наблюдается использование данного метода и на внутренних водоемах [4–8].

На реках для подобных рыбохозяйственных целей используются системы горизонтального зондирования, осуществляющие сканирование сечения реки, позволяющие восстанавливать распределение силы цели и определять направление движения рыб в грациях вверх-вниз по течению [5, 9, 10]. Для получения с высокой точностью данных видового и размерного состава регистрируемых гидробионтов необходимо проводить контрольные обловы в зоне работы гидроакустического комплекса, поэтому применение комплексного подхода к изучению ихтиоценозов с использованием традиционных подходов, дополненных данными гидроакустических исследований, позволяет определить не только видовые и размерные характеристики, но и оценить пространственную и временную структуры, а также получить абсолютные количественные значения ихтиоценоза [11].

Река Прохладная принадлежит бассейну Вислинского залива и является местом нереста не только постоянно живущих промысловых видов рыб (лещ, судак, плотва и др.) данного водоема, но и анадромных видов, обитающих в бассейне Балтийского моря (кумжа, лосось).

Цель данной работы – характеристика нерестовых миграций рыб р. Прохладной на основании применения вышеизложенного комплексного подхода.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследование динамики нерестовых миграций рыб в 2019 и 2020 гг. осуществлялось путем проведения комплексных исследований на р. Прохладной, включающих следующие виды работ:

- изучение морфометрических характеристик реки;
- гидроакустическое сканирование реки с целью оценки численности и размерной структуры рыб, совершающих нерестовые миграции;
- проведение контрольных обловов ставными одностенными сетями с различным шагом ячеи в зоне, непосредственно примыкающей к гидроакустическому створу, для определения видового и размерного состава рыб.

В рамках проводимых исследований обследован участок реки протяженностью 13,5 км от пос. Косатухино до устьевой части в пос. Ушаково.

Морфометрические характеристики реки определяли с помощью гидроакустического комплекса AsCor, применение которого для указанных целей возможно и на мелководных водоемах [12]. Количественная оценка заходящих на нерест рыб проводилась гидроакустическим комплексом NetCor, позволяющим определять направление их движения и восстанавливать размерный состав рыб [13]. Последнее рассчитывалось на основании уравнения для бокового ракурса [14].

$$TS = 24,2 \text{ LgL} - 68,3 + d,$$

где  $TS$  – сила цели, дБ;  $L$  – длина, см;  $d$  – поправка при разных используемой и референтной частотах.

Оценка видового и размерного состава заходящих на нерест рыб осуществлялась на основании контрольных обловов ставными жаберными сетями с шагом ячеи от 14 до 60 мм, которые выставлялись выше по течению в непосредственной близости (50–100 м) от гидроакустического комплекса, а также в местах предполагаемых нерестилищ. Сбор и обработка материалов проводились в соответствии с общепринятыми методиками ихтиологических исследований [15] и оригинальными методиками исследований, адаптированных для условий внутренних водоемов Калининградской области [16].

Обработка данных видового и размерного состава рыб велась в информационно-аналитической системе «Рыбвод» [16]. Были проанализированы результаты обловов на р. Прохладной как за 2019–2020 гг., так и за предшествующие (2011–2017 гг.). В целом проведено 104 облова.

Схема расположения гидроакустического створа и мест проведения контрольных обловов представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения станций мониторинга нерестового хода рыб на р. Прохладной (2019–2020 гг.)

Fig. 1. Map of monitoring stations of fish spawning migration in the Prokhladnaya River (2019–2020)

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Река Прохладная является типичной нерестовой рекой бассейна Вислинского залива и одной из наиболее протяженных малых рек Калининградской области.

Результаты морфометрических работ показали наличие в устье р. Прохладной бара высотой 2,5–3 м, который снижает ее глубину в данной части до 0,3 м. На протяжении почти 10 км от устья глубина русла составляет более 1 м, за исключением двух участков: самого устья и участка реки на расстоянии порядка 7 км от него, где встречаются отмели [17]. Существование бара отмечалось с 2014 г. как один из факторов, определяющих состояние реки с экологической и рыбохозяйственной точек зрения [18].

На основании данных контрольных обловов установлено, что ихтиоценоз р. Прохладной представлен 11 видами. По численности преобладали уклейка,

плотва, окунь и густера, по массе – лещ, уклейка, плотва, густера, окунь (рис. 2 – 3). В группу «прочие» объединены виды, наличие которых в контрольных уловах не превышало 5 % по численности и 10 % – по биомассе.

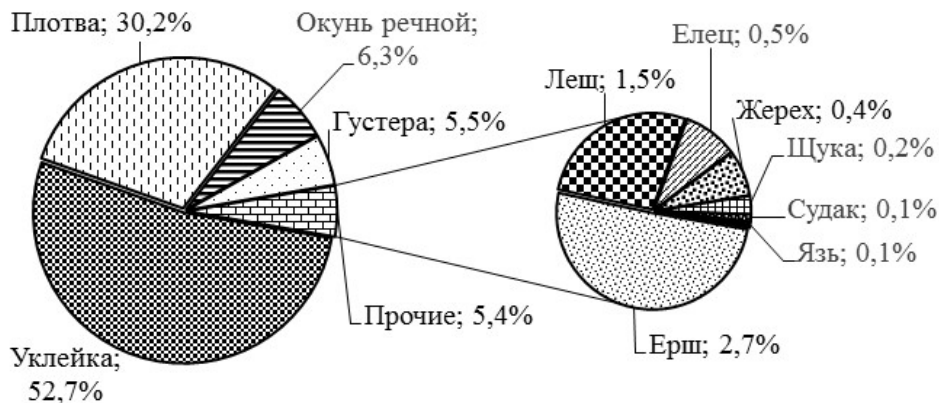


Рис. 2. Видовая структура ихтиоценоза р. Прохладной по численности, %  
 Fig. 2. Species structure of the ichthyocenosis of the Prokhladnaya River by number, %

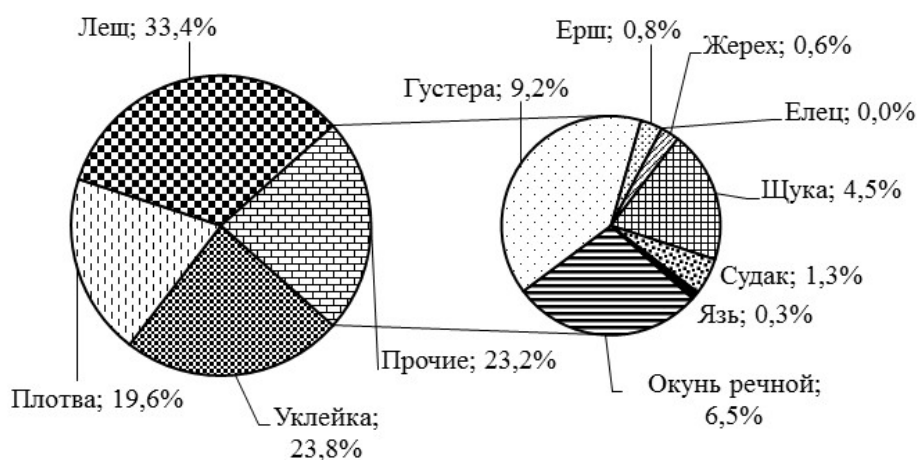


Рис. 3. Видовая структура ихтиоценоза р. Прохладной по биомассе, %  
 Fig. 3. Species structure of the ichthyocenosis of the Prokhladnaya River by weight, %

Анализ размерно-видовой структуры, полученной по данным контрольных обловов, показал, что основная доля рыб по численности в уловах среди размерных групп до 10 см приходилась на плотву, уклейку и ерша. Особи длиной 10–13 см в подавляющем большинстве представлены уклейкой. Среди рыб с длиной тела 14–24 см преобладали густера, плотва и окунь, в этой же группе встречались жерех, язь. Крупные рыбы с длиной тела свыше 30 см (до 47 см) представлены



исключительно лещом, иногда встречался судак (размерная группа 41–42 см). Среди особей длиной свыше 47 см в уловах отмечалась только щука (рис. 4).

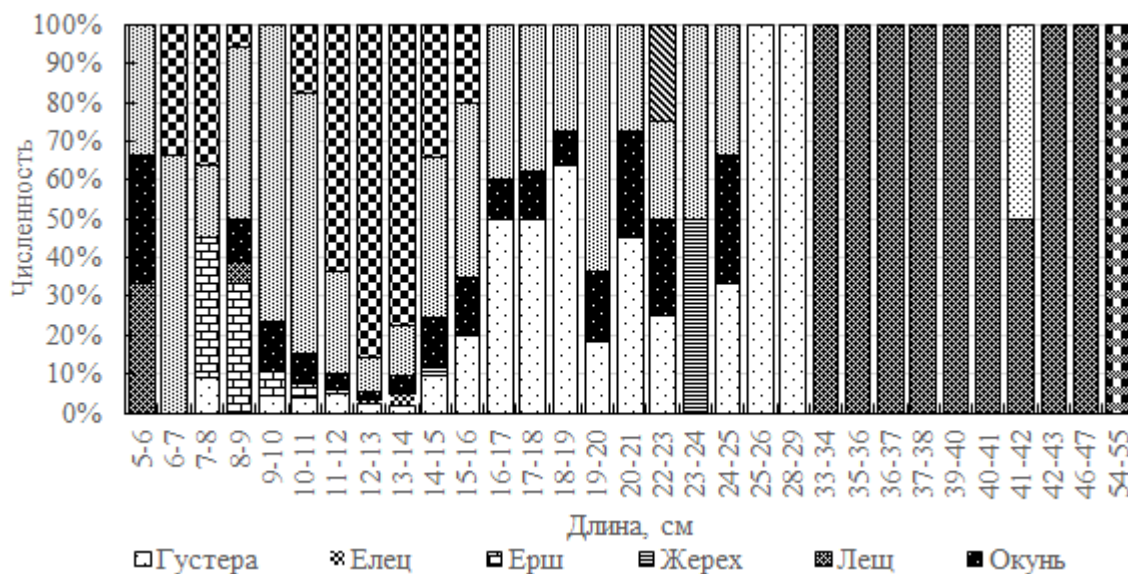


Рис. 4. Размерно-видовая структура рыбного сообщества р. Прохладной  
 Fig. 4. Size and species structure of the fish community of the Prokhladnaya River

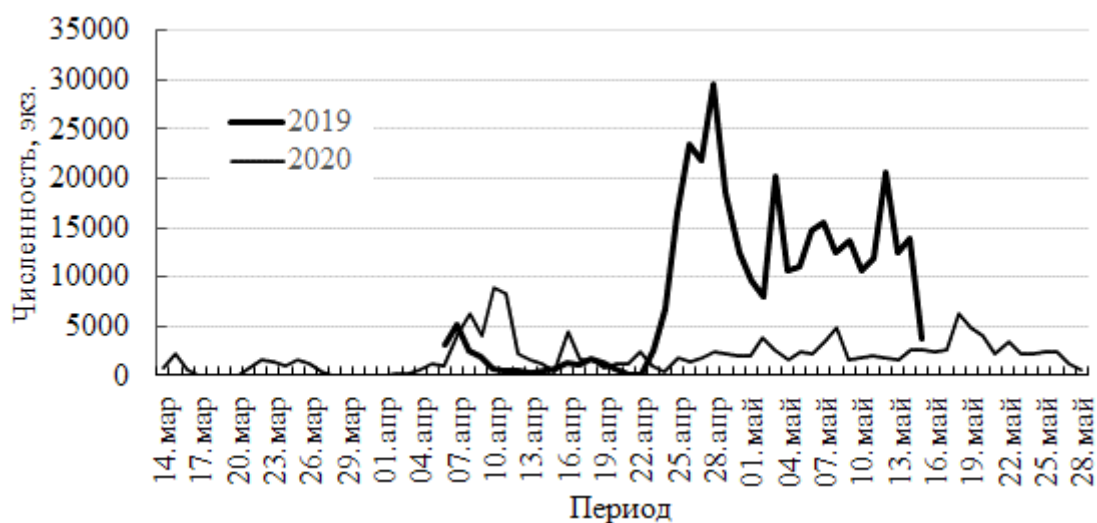


Рис. 5. Интенсивность нерестового хода рыб в р. Прохладной  
 Fig. 5. Intensity of fish spawning migration in the Prokhladnaya River

Первая миграционная активность рыб на р. Прохладной фиксировалась в начале апреля, когда температура воды достигла 7–8 °С. Основная волна массового хода представителей рыбного сообщества отмечалась при достижении температуры воды 11–12 °С. Дальнейшие колебания данного параметра выше указанной отметки не оказывали существенного влияния на интенсивность нерестовых



миграций и их продолжительность, а динамика уже определялась совокупностью других факторов (рис. 5–6).

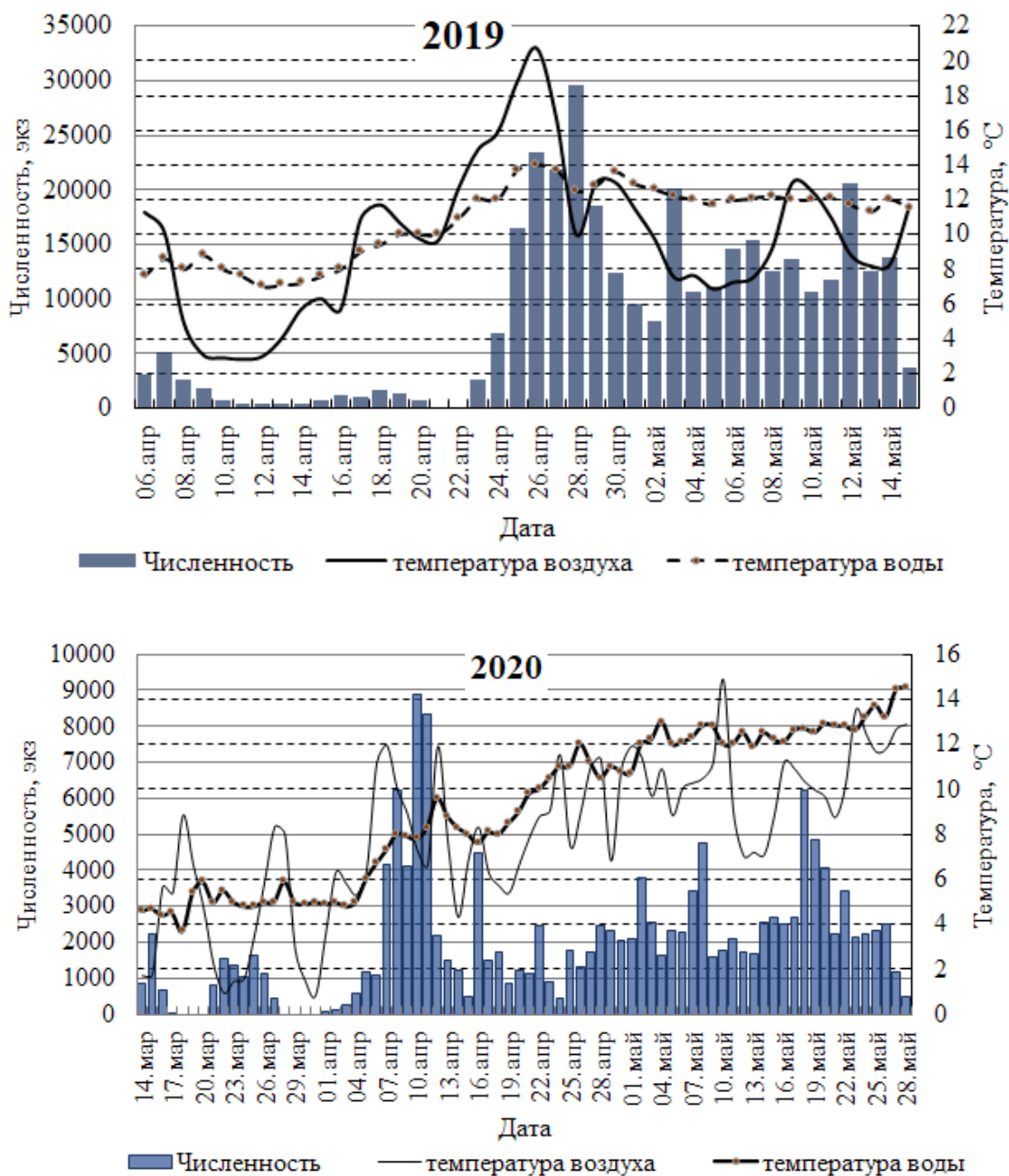


Рис. 6. Динамика температурных условий и хода рыбы в р. Прохладной  
Fig. 6. Dynamic of temperature conditions and fish spawning migration in the Prokhladnaya River

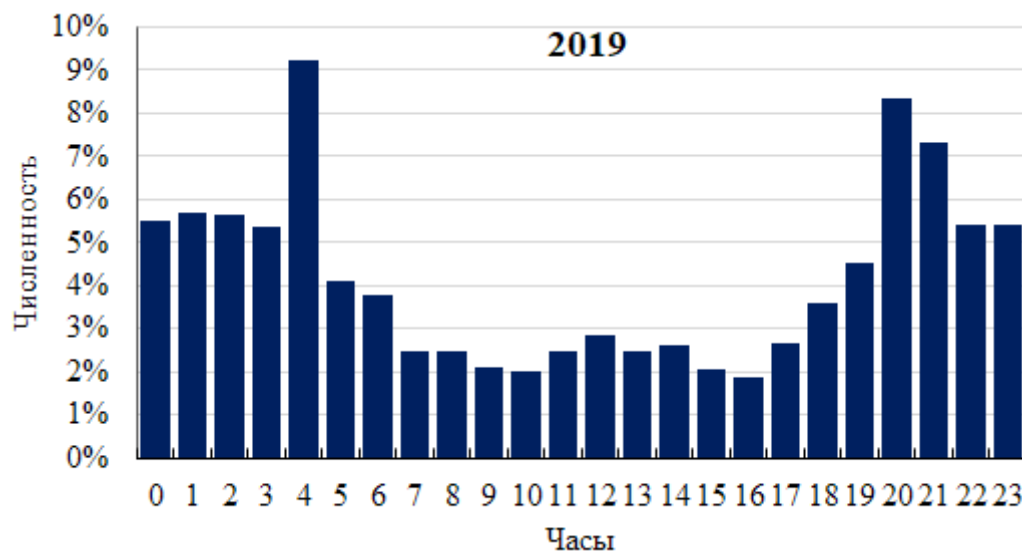


Рис. 7. Суточная динамика хода рыбы по данным гидроакустических исследований на р. Прохладной в 2019 г.

Fig. 7. Daily dynamics of fish migration according to hydroacoustic studies on the Prokhladnaya River in 2019

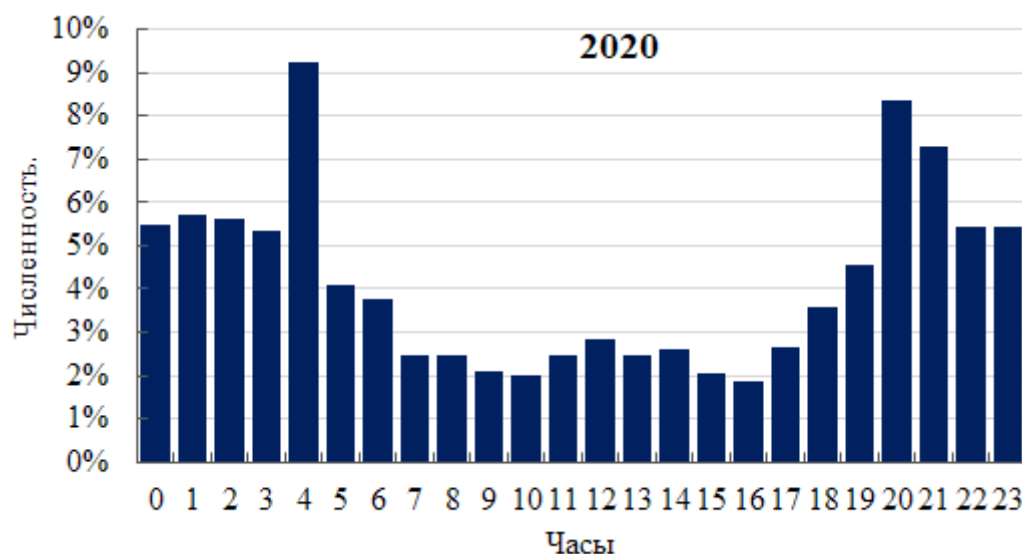


Рис. 8. Суточная динамика хода рыбы по данным гидроакустических исследований на р. Прохладной в 2020 г.

Fig. 8. Daily dynamics of fish migration according to hydroacoustic studies on the Prokhladnaya River in 2020

Анализ суточной динамики хода рыбы в два смежных года на р. Прохладной показал, что данная миграционная активность в 2019 г. соответствовала таковой в 2020 г. (рис. 7–8). Следует отметить, что ее интенсивность претерпевала существенные суточные колебания вплоть до полного прекращения движения рыбы. Указанные изменения могут зависеть от многих факторов,

прежде всего климатических, таких как температура воды и воздуха, направление и сила ветра, уровень воды в реке, солнечная активность. Отмечено, что нерестовый ход происходил преимущественно в темное время суток, днем рыбы практически не перемещались.

По силе отраженного сигнала за рассматриваемый период наблюдений была определена размерная структура мигрирующих в р. Прохладную рыб. Переход от значений силы цели, регистрируемых комплексом NetCor, к линейным характеристикам рыб осуществлялся по уравнению [14] (рис. 9–10). В первой декаде апреля в 2019 и в 2020 гг. в зоне акустической регистрации сигналов фиксировались особи длиной 27–36 см с преобладающей размерной группой 30–33 см. Принимая во внимание сроки захода рыбы, температурные условия, биологию видов и данные контрольных обловов, можно сделать вывод о том, что учтенные комплексом NetCor скопления характеризовали ход ранних весенне-нерестующих видов рыб (елец, язь, лещ, щука).

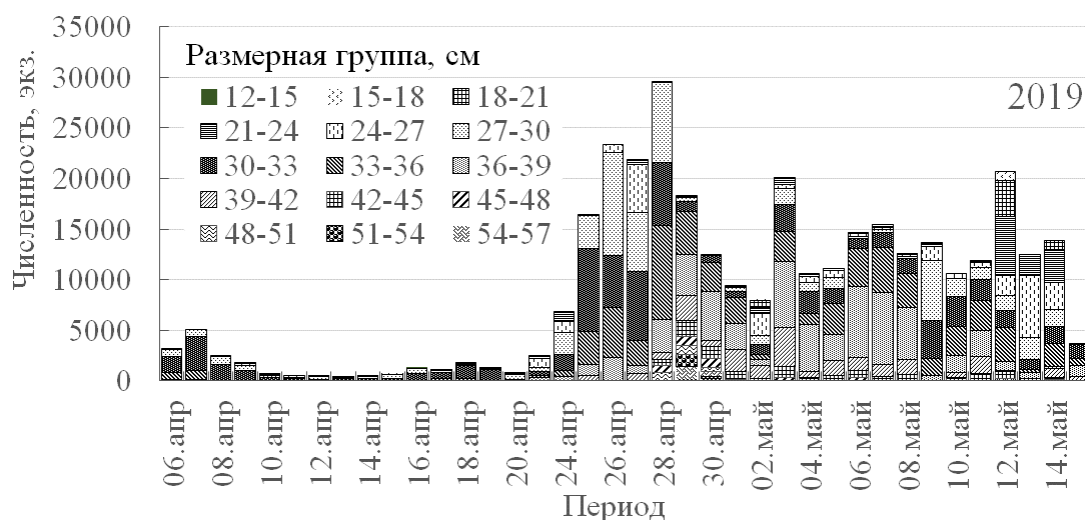


Рис. 9. Размерная структура мигрирующих рыб по данным гидроакустических исследований на р. Прохладной в 2019 г.  
 Fig. 9. Size structure of migrating fish according to hydroacoustic studies on the Prokhladnaya River in 2019

Начало массовых нерестовых миграций рыб, приходящихся на третью декаду апреля, характеризовалось заходом особей с преобладающей длиной 30–36 см. Затем произошло смещение регистрируемых комплексом размерных характеристик рыб в сторону меньших длин, при этом модальная группа соответствовала длине 24–27 см. Подобная динамика изменения указанного параметра наблюдалась оба года и наступала во второй декаде мая. Сопоставляя имеющуюся информацию, можно сделать вывод о том, что период с конца апреля по первую декаду мая характеризовался ходом леща, после которого отмечались миграции более мелких по размеру (относительно леща) густеры, а также плотвы.

Анализ количественной оценки прошедших через сканируемое гидроакустическим комплексом сечение р. Прохладной особей показал уменьшение общей численности проходных рыб в 2020 г. более чем два раза по сравнению с

2019 г. (табл.). При этом динамика суточной миграционной активности рыб, а также их размерная структура за рассматриваемые два года наблюдений в целом сопоставимы, что говорит о сходной видовой структуре рыбного сообщества р. Прохладной в 2019–2020 гг. Различия связаны, прежде всего, с разной интенсивностью нерестового хода, которая в 2019 г. была значительно выше, чем в 2020 г. Предположительно, один из факторов, который оказал влияние на снижение количества мигрировавших рыб в 2020 г., – это низкий уровень воды в указанный период, что наряду с заиленным устьем реки является серьезной преградой для свободного захода рыбы к местам ее нереста.

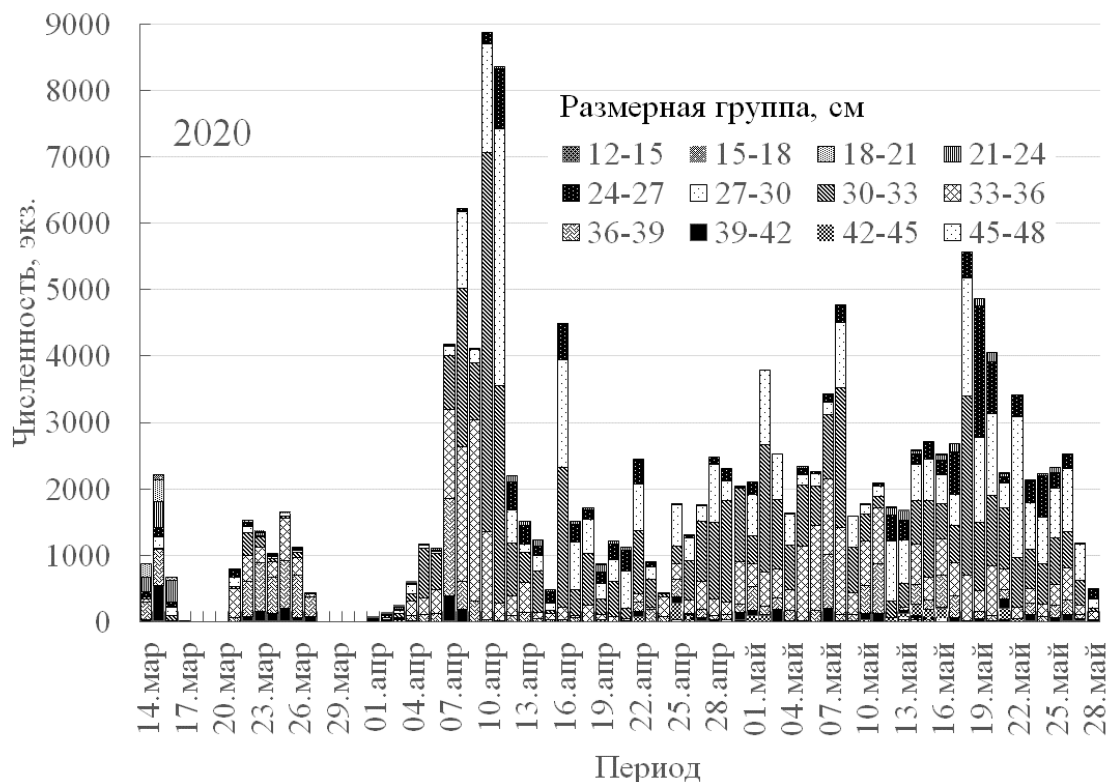


Рис. 10. Размерная структура мигрирующих рыб по данным гидроакустических исследований на р. Прохладной в 2020 г.

Fig. 10. Size structure of migrating fish according to hydroacoustic studies on the Prokhladnaya River in 2020

Таблица. Количество мигрировавших рыб в реку Прохладную в 2019–2020 гг.  
 Table. Number of migrating fish in the Prokhladnaya River in 2019–2020.

Численность, экз.	2019	2020
Все виды рыб	342 071	152 206
Лещ	191 000	63 800

Полученные данные позволяют сделать вывод о доминировании леща (42 – 55 % от общей численности мигрирующих рыб) в нерестовой части ихтиоценоза р. Прохладной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение современных гидроакустических научно-исследовательских комплексов позволяет не только расширить возможности традиционных методов ихтиологических наблюдений на внутренних водоемах, но и получить количественные значения численности изучаемых рыбных сообществ, которые играют важную роль при разработке оценок возможных объемов добычи водных биоресурсов. Более того, это позволяет определить текущие условия их нерестовых миграций и воспроизводства, а также сопоставить полученные результаты с данными количественных оценок воспроизводства рыб, полученных по стандартным методикам [19].

Данная информация особенно актуальна как при рассмотрении необходимости проведения мелиоративных работ на нерестовых реках, когда можно оценить эффект от рыбохозяйственной мелиорации, так и при расчете компенсации ущерба водным биоресурсам, наносимого в результате различных видов хозяйственной деятельности, когда искусственное воспроизводство может быть заменено и/или дополнено проведением мелиоративных работ [20].

## Список источников

1. Вологдин В. Н. Вклад ТИНРО в развитие гидроакустического метода оценки запасов и изучения поведения рыб // Известия ТИНРО. 2005. Т. 141. С. 382–392.
2. Кудрявцев В. И. Гидроакустика рыбохозяйственная. М.: ВНИРО, 2018. 460 с.
3. Jen-Ming Liu, Hendra Setiazi, Po-Yuk So. Fisheries hydroacoustic assessment: A bibliometric analysis and direction for future research towards a blue economy // Regional Studies in Marine Science. 2023. V. 60. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485523000270> (дата обращения: 17.11.2023).
4. Оценка коэффициентов уравнения акустической силы цели на основе морфологии плавательного пузыря байкальского омуля / П. Н. Аношко [и др.] // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. № 1 (54). С. 89–98.
5. Оценка численности мигрирующих на нерест производителей нерки (*Oncorhynchus nerka*) стада р. Озерной гидроакустическим методом / К. М. Малых, Д. В. Демченко, В. А. Дубынин, М. Н. Коваленко // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2020. № 56. С. 63–73.
6. Vertical distribution and diel migration of mesopelagic fishes on the northern slope of the South China Sea / X. Wang [et al.] // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2019. V. 167. P. 128–141.
7. Hydroacoustic assessment of fish resources in three reservoirs: The effects of different management strategies on fish density, biomass and size / Aihuan Guo, Julin Yuan, Tianjiang Chu, Qingping Lian // Fisheries Research. 2019. V. 215. P. 90–96.
8. First Hydroacoustic Assessment of Fish Abundance and Distribution in the Shallow Sub-basin of Lake Titicaca / E. Loayza [et al.] // Aquaculture and Fisheries.

2020. 4: 034. URL: <https://www.researchgate.net/publication/348157133> (дата обращения: 17.11.2023).

9. Борисенко Э. С., Павлов Д. С., Кузицин К. В. Гидроакустические исследования анадромной миграции микижи *Parasalmo mykiss* (Salmonidae) реки Квачина (Западная Камчатка) // Вопросы ихтиологии. 2022. Т. 62. № 6. С. 770–780.

10. Плотность и распределение рыб в реке, с ярко выраженной гетерогенностью среды, по результатам гидроакустической съемки / Герасимов Ю. В. [и др.] // Биология внутренних вод. 2019. № 2, вып. 2. С. 68–74.

11. Алдушин А. В. Пространственно-временная динамика пелагического ихтиоценоза олиготрофного озера на примере озера Виштынецкого: дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.06. Калининград, 2021. 160 с.

12. Дегтев А. И., Ивантер Д. Э. Автоматизированная система количественной оценки рыбных запасов гидроакустическим методом АСКОР-2 // Рыбное хозяйство. 2002. № 4. С. 32–40.

13. Количественная оценка проходных рыб гидроакустическим методом на мелководных водотоках / А. И. Дегтев [и др.] // Рыбное хозяйство. 2007. № 6. С. 102.

14. Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*) / J. Lilja [et al.] // Aquatic Living Resources. 2000. V. 13. P. 355–360.

15. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

16. Шибает С. В. Теоретические основы применения системного подхода в рыбохозяйственных исследованиях и информационном обеспечении управления водными биоресурсами внутренних водоемов. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.10. Калининград, 2002. 42 с.

17. Алдушин А. В., Новожилов О. А. Гидроакустическая оценка условий нерестовых миграций рыб на примере реки Прохладной Калининградской области // Рыбное хозяйство. 2023. № 6. С. 38–41.

18. Нагорнова Н. Н., Берникова Т. А., Цупикова Н. А. Формирование гидрологических особенностей малых рек в физико-географических условиях Калининградской области на примере р. Прохладной // Вестник РУДН. 2014. № 4. С. 77–86.

19. Шибает С. В., Новожилов О. А., Федотова Т. С. Первые результаты количественной оценки воспроизводства леща в р. Промысловой бассейна Куршского залива // IX Балтийский морской форум: материалы. Калининград, 2021. Т. 3. С. 180–184.

20. Оценка воспроизводительной способности и возможного эффекта рыбохозяйственной мелиорации на примере реки Промысловой бассейна Куршского залива / С. В. Шибает [и др.] // Известия КГТУ. 2019. № 55. С. 145–160.

## References

1. Vologdin V. N. Vklad TINRO v razvitie gidroakusticheskogo metoda otsenki zapasov i izucheniya povedeniya ryb [TINRO contribution to the development of the



hydroacoustic method for assessing stocks and studying fish behavior]. *Izvestiya TINRO*, 2005, vol. 141, pp. 382–392.

2. Kudryavtsev V. I. *Gidroakustika rybokhozyaystvennaya* [Fishery hydroacoustics]. Moscow, VNIRO Publ., 2018, 460 p.

3. Jen-Ming Liu, Hendra Setiazi, Po-Yuk So. Fisheries hydroacoustic assessment: A bibliometric analysis and direction for future research towards a blue economy. *Regional Studies in Marine Science*. 2023, vol. 60. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485523000270> (Accessed 17 November 2023).

4. Anoshko P. N. [i dr.]. Otsenka koeffitsientov uravneniya akusticheskoy sily tseli na osnove morfologii plavatel'nogo puzyrya baykal'skogo omulya [Estimation of coefficients of the target strength equation based on the morphology of the Baikal omul swim bladder]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, 2020, vol. 15, no. 1 (54), pp. 89–98.

5. Malykh K. M., Demchenko D. V., Dubynin V. A., Kovalenko M. N. Otsenka chislennosti migriruyushchikh na nerest proizvoditeley nerki (*Oncorhynchus nerka*) stada r. Ozernoy gidroakusticheskim metodom [Estimation of the number of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) spawners migrating to spawn in the herd of the river Ozernoy hydroacoustic method]. *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana*, 2020, no. 56, pp. 63–73.

6. Vertical distribution and diel migration of mesopelagic fishes on the northern slope of the South China Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2019, vol. 167, pp. 128–141.

7. Aihuan Guo, Julin Yuan, Tianjiang Chu, Qingping Lian. Hydroacoustic assessment of fish resources in three reservoirs: The effects of different management strategies on fish density, biomass and size. *Fisheries Research*. 2019, vol. 215, pp. 90–96.

8. Loayza E. [et al.]. First Hydroacoustic Assessment of Fish Abundance and Distribution in the Shallow Sub-basin of Lake Titicaca. *Aquaculture and Fisheries*. 2020. 4: 034. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/348157133> (Accessed 17 November 2023).

9. Borisenko E. S., Pavlov D. S., Kuzishchin K. V. Gidroakusticheskie issledovaniya anadromnoy migratsii mikizhi *Parasalmo mykiss* (Salmonidae) reki Kvachina (Zapadnaya Kamchatka) [Hydroacoustic studies of anadromous migration of mykiss *Parasalmo mykiss* (Salmonidae) in the Kvachina River (Western Kamchatka)]. *Voprosy ikhtiologii*, 2022, vol. 62, no. 6, pp. 770–780.

10. Gerasimov Y. V., Borisenko E. S., Bazarov M. I., Stolbunov I. A. Plotnost' i raspredelenie ryb v reke, s yarko vyrazhennoy geterogenost'yu sredy, po rezul'tatam gidroakusticheskoy s'emki [Density and distribution of fish in a river with a pronounced heterogeneity of the environment, according to the results of hydroacoustic survey]. *Biologiya vnutrennikh vod*, 2019, no. 2, iss. 2, pp. 68–74.

11. Aldushin A. V. *Prostranstvenno-vremennaya dinamika pelagicheskogo ikhtotsenoza oligotrofnogo ozera na primere ozera Vishtynetskogo*. Dis. cand. biol. nauk

[Spatiotemporal dynamics of pelagic ichthyocenosis of an oligotrophic lake using the example of Lake Vishtynetskoye. Dis. cand. biol. sci.]. Kaliningrad, 2021, 160 p.

12. Degtev A. I., Ivanter D. E. Avtomatizirovannaya sistema kolichestvennoy otsenki rybnokh zapasov gidroakusticheskim metodom ASKOR-2 [Automated system for quantitative assessment of fish stocks using the hydroacoustic method ASCOR-2]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2002, no. 4, pp. 32–40.

13. Degtev A. I. [i dr.]. Kolichestvennaya otsenka prokhlodnykh ryb gidroakusticheskim metodom na melkovodnykh vodotokakh [Quantitative assessment of anadromous fish by hydroacoustic method in shallow watercourses]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2007, no. 6, pp. 102.

14. Lilja J. [et al.]. Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*). *Aquatic Living Resources*. 2000, vol. 13, pp. 355–360.

15. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* [A guide to the study of fishes (mostly freshwater)]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1966, 376 p.

16. Shibaev S. V. *Teoreticheskie osnovy primeneniya sistemnogo podkhoda v rybokhozyaystvennykh issledovaniyakh i informatsionnom obespechenii upravleniya vodnymi bioresursami vnutrennikh vodoemov. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk.* [Theoretical basis for the application of a systems approach in fisheries research and information support for the management of aquatic biological resources of inland water bodies. Abstract of dis. dr. sci.]. Kaliningrad, 2002, 42 p.

17. Aldushin A. V., Novozhilov O. A. Gidroakusticheskaya otsenka usloviy nerestovykh migratsiy ryb na primere reki Prokhladnoy Kaliningradskoy oblasti [Hydroacoustic assessment of the conditions of spawning migrations of fish for the example of the Prokhladnaya River in the Kaliningrad Region]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2023, no. 6, pp. 38–41.

18. Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Formirovanie gidrologicheskikh osobennostey malyykh rek v fiziko-geograficheskikh usloviyakh Kaliningradskoy oblasti na primere r. Prokhladnoy [Formation of hydrological features of small rivers in the physical and geographical conditions of the Kaliningrad region using the example of the river Prokhladnaya]. *Vestnik RUDN*, 2014, no. 4, pp. 77–86.

19. Shibaev S. V., Novozhilov O. A., Fedotova T. S. Pervye rezul'taty kolichestvennoy otsenki vosproizvodstva leshcha v r. Promyslovoy basseyna Kurshskogo zaliva [The first results of a quantitative assessment of bream reproduction in the river Promyslovaya of the Curonian Lagoon basin]. *Materialy IX Baltiyskogo morskogo foruma* [Materials Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2021, vol. 3, pp. 180–184.

20. Shibaev S. V. [i dr.]. Otsenka vosproizvoditel'noy sposobnosti i vozmozhnogo effekta rybokhozyaystvennoy melioratsii na primere reki Promyslovoy basseyna Kurshskogo zaliva [Assessment of the reproductive capacity and possible effect of fi-



shery reclamation using the example of the Promyslovaya River in the Curonian Lagoon basin]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 55, pp. 145–160.

#### **Информация об авторах**

**А. В. Алдушин** – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

**Ю. К. Алдушина** – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

#### **Information about the authors**

**A. V. Aldushin** – Ph.D. in Biology, Associate Professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

**Y. K. Aldushina** – Ph.D. in Biology, Associated Professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.

The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.

Научная статья  
УДК 502/504:581  
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-26-38

**Растительные сообщества рекреационной зоны Куршской косы:  
разнообразие, обилие, виталитет**

**Ольга Михайловна Бедарева<sup>1</sup>, Татьяна Николаевна Троян<sup>2</sup>, Антон Александрович Артемьев<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия,

<sup>3</sup>Центр агрохимической службы «Калининградский», Калининград, Россия

anton.artemev@klgtu.ru

<sup>1</sup>olga.bedareva@klgtu.ru

<sup>2</sup>tatyana.troyan@klgtu.ru

<sup>3</sup>anton.artemev@klgtu.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы устойчивого равновесного состояния природных систем на территории национального парка «Куршская коса». Преобладающий вид антропогенного влияния на изменение природных комплексов – туристско-рекреационная деятельность. В связи с этим сделан акцент на изучении видового состава растений в рекреационной зоне по рубежам с особо охраняемой территорией, поскольку именно эта территория относится к наиболее уязвимой и неустойчивой. Для оценки степени сохранения природной среды в выделенных ключевых участках определены растительные сообщества, выделен тип леса в окрестностях пос. Лесное. По данным мониторинга проведен сравнительный анализ группировок по Жаккару, где выявлен процент участия. Все исследования по оценке виталитета, обилия, проективного покрытия проведены в стадию генеративной зрелости растений –  $g_2$ . Доминанты древесных видов – *Pinus sylvestris* L., *Pinus mugo* Turra, являющиеся интродуцентами. С учетом изменяющейся динамики общей доли рекреационного пространства в национальном парке по отношению к охраняемой зоне полученные данные свидетельствуют о бережном расширении естественных границ на рубеже рекреации и экологической черты охраняемых природных комплексов. Нагрузка рекреационной зоны соответствует требованиям, предъявляемым к таким территориям. Проведение регулярных геоэкологических исследований позволяет научно констатировать актуальную информацию о состоянии древесно-кустарникового и травянистого ярусов. Такой подход направлен на сохранение историко-культурного, природного комплекса, сформированного в результате длительной трансформации на всей протяженности Куршской косы.

**Ключевые слова:** национальный парк, особо охраняемая природная территория, рекреационная зона, растительность, видовое разнообразие, обилие, виталитет, коэффициент общности.

**Для цитирования:** Бедарева О. М., Троян Т. Н., Артемьев А. А. Растительные сообщества рекреационной зоны Куршской косы: разнообразие, обилие, виталитет // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 26–38. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-26-38.

Original article

**Plant communities of the Curonian Spit recreational zone:  
diversity, abundance, vitality**

**Ol'ga M. Bedareva<sup>1</sup>, Tatyana N. Troyan<sup>2</sup>, Anton A. Artemyev<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>3</sup>Agrochemical service center "Kaliningradsky", Kaliningrad, Russia

olga.bedareva@klgtu.ru

tatyana.troyan@klgtu.ru

anton.artemev@klgtu.ru

**Abstract.** The scientific article examines the problems of a stable equilibrium state of natural systems on the territory of a specially protected area – the Curonian Spit National Park. The predominant type of anthropogenic influence on changes in natural complexes is tourism and recreational activity. In this regard, emphasis has been placed on studying the species composition of plants in the recreational zone along the boundaries of the specially protected territory, since this territory is one of the most vulnerable and unstable. To assess the degree of conservation of the natural environment in the selected key areas, plant communities have been determined; the type of forest in the vicinity of the village Lesnoye has been identified. Based on the monitoring data, a comparative analysis of Jaccard groupings has been carried out, where the percentage of participation has been identified. All studies to assess vitality, abundance, and plant cover have been carried out at the stage of generative maturity of plants –  $g_2$ . The dominant tree species are *Pinus sylvestris* L., *Pinus mugo* Turra, which are introduced species. Taking into account the changing dynamics of the total share of recreational space in the national park in relation to the protected zone, the data obtained indicate a careful expansion of natural boundaries at the boundary of recreation and the ecological features of protected natural complexes. The load of the recreational zone meets the requirements for such areas. Carrying out regular geoecological studies allows us to scientifically state current information on the state of the tree, shrub and herbaceous layers. This approach is aimed at preserving the historical, cultural, natural complex formed as a result of long-term transformation along the entire length of the Curonian Spit.

**Keywords:** national park, specially protected natural area, recreational area, vegetation, species diversity, abundance, vitality, generality coefficient.

**For citation:** Bedareva O. M., Troyan T. N., Artemyev A. A. Plant communities of the Curonian Spit recreational zone: diversity, abundance, vitality. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(72): 26–38. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-26-38.

## ВВЕДЕНИЕ

В границах Калининградской области и Республики Литвы расположен Национальный парк «Куршская коса» протяженностью 98 км, с варьированием ширины от 400 м до 4 км – объект всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО, включенный в международную сеть особо охраняемых природных территорий (Изумрудная сеть Европы, решение от 30.11.2012 № Т-PVS/PA (2012) 18). Это парк общей площадью 6 621 га, с растительным разнообразием – 362 вида, из которых 6 видов европейского значения, 14 – включены в Красную книгу Калининградской области, 6 – в Красную книгу РФ [1–3].

Система управления особо охраняемыми территориями требует комплексного подхода к сохранению репрезентативности площадей, в связи с чем для таких объектов определяются уникальные стратегии регулирования, в том числе и законодательного характера [4–6]. Так, согласно ст. 13 Федерального закона от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (с изменениями и дополнениями)<sup>1</sup>, в национальных парках требуется сохранение в естественном состоянии уникальных и типичных природных комплексов и объектов, объектов растительного и животного мира, естественных экологических систем, биоразнообразия.

Главной природоохранной проблемой культурного ландшафта [7] на территории Куршской косы является противостояние двух принципов природопользования – антропоцентризма и биоцентризма, что отражается в различных исследовательских площадках государственного экологического мониторинга окружающей среды национального парка и научного сообщества. Направления исследований касаются различных сторон био-, геосистем и экосистем: изучение берегового разреза со стороны моря, видового разнообразия флоры и фауны, реликтовых лагунных илов, эоловых песков, загрязнения потенциально вредными элементами илистой, глинистой фракций (рис.), palve – песчаной равнины; определение ширины затопления пляжа на морском аккумулятивном берегу; разработки дистанционных методов контроля за дендрофлорой, наземных методов укрепления береговой линии для уменьшения дрейфа песка к подвижным дюнам [8–13]. Все направления имеют научно-обоснованный подход и применяются в целях управления прибрежной зоной и дюнным валом Куршской косы.

---

<sup>1</sup> Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 №33-ФЗ. Ст. 15 «Режим особой охраны территорий национальных парков». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_6072/8592549a295537e88d3a26fa7362dc2a2e9c4d/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/8592549a295537e88d3a26fa7362dc2a2e9c4d/)

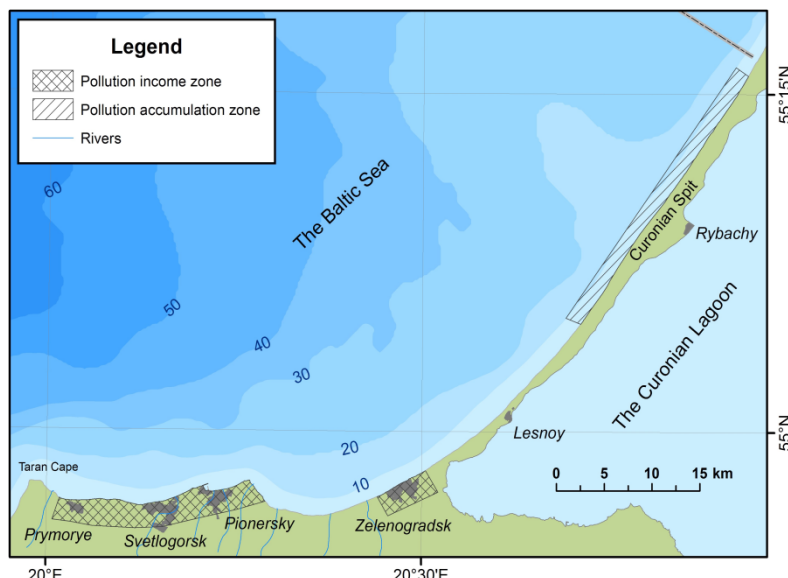


Рис. Области потенциальных источников и накопления вредных веществ  
Fig. Areas of potential sources and accumulation of harmful substances

Множество исследований выполнено по изучению растительности (естественному распространению и интродукции видов), формирующей аккумулятивный слой для песчаной толщи. Проведение детальных экологических обследований на территории национального парка «Куршская коса» имеет высокую практическую значимость для особо охраняемой природной территории.

Рациональное природопользование в границах парка, согласно ст. 15 «Режим особой охраны территорий национальных парков», предполагает выделение функционального зонирования: заповедная зона, особо охраняемая зона, рекреационная зона, зоны хозяйственного назначения и традиционного экстенсивного природопользования [14]. Заповедная зона составляет 783 га, что соответствует 12 % территории национального парка, охватывает природные комплексы, исключая все виды антропогенной деятельности; 36,3 % площади парка приходится на туристско-рекреационную территорию [15], предназначенную для обеспечения и осуществления рекреационной деятельности. Зонированные доли парка за 30-летний период значительно менялись по площади: при неизменной площади особо охраняемой природной территории общая доля зон, выполняющих защитную и охранную функцию, сократилась с 80 % от общей доли площади ООПТ в 1987 г. до 63 % в 2015 г., а площади рекреационных зон увеличились с 15 % общей площади национального парка в 1989 г. до 31 % в 2015 г. [16, 17].

Цель работы – оценка актуального состояния растительности в зоне рекреации Национального парка «Куршская коса» как элемента биологических ресурсов природно-ландшафтного комплекса с особым природоохранным статусом.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – растительные сообщества в рекреационной зоне пос. Лесное на территории Куршской косы Калининградской области. Ключевые участки граничат с особо охраняемой территорией.

Исследования проводились в пределах прибрежных равнин с дюнами и пальве, по генезису относящихся к ландшафтам морского и лагунного происхождения. Ключевые участки выделены по естественным и антропогенным рубежам, расположены на дерново-подзолистых почвах в сочетании с дерново-мелкоподзолистыми на мелко- и среднезернистых эоловых песках [18]. Отмечены два типа ландшафта: автоморфный (элювиальный) на водоразделах с вариантом трансэлювиального и супераквальный.

В работе использованы традиционные методы полевых геоботанических и экологических почвенных исследований. Определение коэффициента (%) общности видов древесной, кустарниковой и травянистой растительности проводили по П. Жаккару (1901), обилие растений – по шкале О. Друде глазомерно.

В основу работы положены материалы исследований и наблюдений авторов, выполненных в рамках инициативной научно-исследовательской темы «Растительные и кормовые ресурсы Калининградской области: инвентаризация, экология, продуктивность, управление» (Рег. № 13.16.021.2).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Куршская коса – уникальный природный объект в Калининградской области, представленный полуостровной природно-антропогенной системой – дюнным валом [19]. Границы песчаного массива проходят по естественным природным (лесной массив, залив) и антропогенным рубежам (дорога).

На территории Куршской косы в результате интродукции можно встретить такие виды, как сосна черная, сосна Банка, сосна Веймутова, сосна Мюррея. Наибольшее практическое значение имеет сосна горная, которая сыграла большую роль в разгар песчаных катастроф. В целом же леса Национального парка очень разнообразны. Встречаются боры-беломошники, боры-зеленомошники, боры луговиковые, березняки марьянниковые, ольшанники.

В пределах анализируемой территории выделен лесной массив с кустарниковым и травянистым ярусами, с мохово-лишайниковым напочвенным покровом. Численность и возрастная структура исследовались в генеративный период жизненного цикла – генеративные особи (индекс  $g_2$ ) [20, 21]. Обследуемый объект состоит из нескольких участков, отличающихся почвами и растительностью (табл).

Таблица. Морфометрические показатели и жизненность видов  
 Table. Morphometric indicators and vitality of species

Вид	Обилие по О. Друде*	ПП, %	Высота, м	Виталитет, балл
<b>Участок 1</b>				
Древесная и кустарниковая растительность				
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Cop<sub>1</sub></i>	0,4	18,0	5
<i>Salix fragile</i> L.	<i>Sp</i>	0.3	12,0	5
Травянистая растительность				
<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Cop<sub>1</sub></i>	60	0,80	5
<i>Veronica chamaedris</i> L.	<i>Cop</i>	20	0,18	5
<i>Medicago lupulina</i> L.	<i>Sp</i>	6	0,06	5

<i>Ranunculus repens</i> L.	<i>Sp</i>	6	0,15	5
<i>Galium mollugos</i> L.	<i>Sp</i>	6	0,22	5
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L. Medik	<i>Un</i>	0,01	0,2	5
<i>Chelidonium majus</i> L.	<i>Sol</i>	0,1	0,3	5
<b>Участок 2</b>				
Древесная и кустарниковая растительность				
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Cop<sub>1</sub></i>	0,4	16	5
<i>Pinus mugo</i> Turra	<i>Cop<sub>1</sub></i>	0,4	14	5
<i>Rubus caesius</i> L.	<i>Sp</i>	6	0,4	5
<i>Ribes rubrum</i> L.	<i>Sp</i>	1	1,1	5
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S.F.Blake	<i>Sol</i>	0,1	0,8	5
<i>Sórbus aucupária</i> L.	<i>Sp</i>	6	3-5	5
<i>Sambucus nigrum</i> L.	<i>Sol</i>	0,1	3	5
<i>Acer platanoides</i> L.	<i>sol</i>	0,1	6,0	5
<i>Crataegus monogina</i> Jacq.	<i>sol</i>	0,1	1,2	5
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	<i>Sp</i>	1,0	0,45	5
<i>Chamaecýparis pisífera</i> (Siebold& Zucc.) Endl.	<i>Sp</i>	1,0	1,5-2,0	5-4
<i>Arónia melanocárpa</i> (Michx.) Elliott	<i>Un</i>	0,01	2,0	5
Травянистая растительность				
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	<i>Cop<sub>1</sub></i>	60	0,5	5
<i>Calamagróstis epigéjos</i> (L.) Roth	<i>Cop</i>	40	0,8	5
<i>Glechóma hederácea</i> L.	<i>Sol</i>	0,1	0,1	5
<i>Fragária vesca</i> L.	<i>Sp</i>	1,0	0,06	5
<i>Urtica dioica</i> L.	<i>Sp</i>	1,0	0,4	5
<i>Ficária véрна</i> Huds.	<i>Sp</i>	1,0	0,08	5
<i>Alliaria petiolate</i> (M.Bieb.) Cava- ra& Grande	<i>Sol</i>	0,1	0,18	5
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd	<i>Sol</i>	0,1	0,20	5
<i>Dryópters filix-mas</i> (L.) Schott	<i>Sp</i>	1,0	0,50	5
<i>Oxalis acetosélla</i> L.	<i>Sol</i>	2,0	0,05	5
<i>Polýtrichum commúne</i> Hedw.	<i>Cop</i>	10-15	0,20	5
<i>Peltigira canina</i> L.	<i>Sol</i>	0,1	0,02	5
<b>Участок 3</b>				
Древесная и кустарниковая растительность				
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Cop<sub>1</sub></i>	0,4	16-17	5
<i>Bétula péndula</i> Roth	<i>Sp</i>	0,3	18	5
<i>Sórbus aucupária</i> L.	<i>Sp</i>	6	3-5	5
<i>Chamaecýparis pisífera</i> (Siebold& Zucc.) Endl.	<i>Sp</i>	1,0	1,5-2,0	5-4
<i>Berberis vulgaris</i> L.	<i>Sp</i>	1	1,1	5
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S.F.Blake	<i>Sol</i>	0,1	0,8	5
<i>Sórbus aucupária</i> L.	<i>Sp</i>	6	3-5	5



<i>Sambucus nigrum</i> L.	Sol	0,1	3	5
<i>Acer platanoides</i> L.	sol	0,1	6,0	5
<i>Crataegus monogina</i> Jacq.	sol	0,1	1,2	5
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Sp	1,0	0,45	5
<i>Arónia melanocárpa</i> (Michx.) Eliott)	Un	0,01	2,0	5
<b>Травянистая растительность</b>				
<i>Óxalis acetosélla</i> L.	Sol	2,0	0,05	5
<i>Fragária vesca</i> L.	Sp	1,0	0,06	5
<i>Polýtrichum commúne</i> Hedw	Cop	10-15	0,20	5
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	Cop <sub>1</sub>	60	0,5	5
<i>Dryópterus filix-mas</i> (L.) Schott	Sp	1,0	0,50	5
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	Sp	1,0	0,18	5
<i>Stellária nemórum</i> L.	Cop <sub>1</sub>	30	0,14	5
<i>Geranium collinum</i> Stephan ex Willd	Sol	0,1	0,18	5
<i>Achillea millefolium</i> L.	Sol	0,1	0,20	5
<b>Участок 4</b>				
<b>Древесная и кустарниковая растительность</b>				
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Cop <sub>1</sub>	0,4	18-20	5
<i>Sórbus aucupária</i> L.	Sp	-	6	5
<i>Ribes rubrum</i> L.	Sp	1	1,1	5
<i>Chamaecýparis pisífera</i> (Siebold & Zucc.) Endl	Sp	1,0	1,5-2,0	5-4
<i>Berberis vulgaris</i> L.	Sp	1	1,1	5
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S.F.Blake	Sol	0,1	0,8	5
<i>Sambucus nigrum</i> L.	Sol	0,1	3	5
<i>Acer platanoides</i> L.	sol	0,1	6,0	5
<i>Crataegus monogina</i> Jacq.	sol	0,1	1,2	5
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Sp	1,0	0,45	5
<i>Arónia melanocárpa</i> (Michx.) Eliott	Un	0,01	2,0	5
<i>Sambucus nigrum</i> L.	Sol	0,1	3	5
<b>Травянистая растительность</b>				
<i>Óxalis acetosélla</i> L.	Sol	2,0	0,05	5
<i>Polýtrichum commúne</i> Hedw.	Cop	10-15	0,20	5
<i>Fragária vesca</i> L.	Sp	1,0	0,06	5
<i>Dryópterus filix-mas</i> (L.) Schott	Sp	1,0	0,50	5
<i>Chelidonium majus</i> L.	Sol	0,1	0,3	5
<i>Ficária véрна</i> Huds.	Sp	1,0	0,08	5
<i>Alliaria petiolate</i> (M.Bieb.) Cavara & Grande	Sol	0,1	0,18	5
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd	Sol	0,1	0,20	5
<i>Rumex acetosella</i> L.	Sp	1-2	0,3	5
<i>Polygonatum multiiflorum</i> L. All.	Sp	1-2	0,5	5



<i>Anemone nemorosa</i> L.	<i>Sp</i>	1-2	0,15	5
<b>Участок 5</b>				
Древесная и кустарниковая растительность				
<i>Álnus glutinósa</i> (L.) Gaertn	<i>Cop<sub>1</sub></i>	0,4	15-16	4
<i>Sórbus aucupária</i> L.	<i>Sp</i>	0,3	6	5
<i>Populus tremulla</i> L.	<i>Sp</i>	0,3	12	5
<i>Ribes rubrum</i> L.	<i>Sp</i>	1	1,1	5
<i>Rubus idaeus</i> L.	<i>Sol</i>			
Травянистая растительность				
<i>Óxalis acetosélla</i> L.	<i>Sol</i>	2,0	0,05	5
<i>Pāris quadrifólia</i> L.	<i>Cop</i>	10	0,5	5
<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort.	<i>Sp</i>	1,0	0,22	5
<i>Anemone nemorosa</i> L.	<i>Sp</i>	1-2	0,15	5
<b>Участок 6</b>				
Древесная и кустарниковая растительность				
<i>Álnus glutinósa</i> Gaertn	<i>Cop<sub>1</sub></i>	0,4	15-16	5
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Sp</i>	0,3	15-16	5
<i>Padus racemosa</i> (Lam.) C.K.Schneid.	<i>Sol</i>	-	15-16	5
<i>Sórbus aucupária</i> L.	<i>Sp</i>	0,3	6	5
<i>Populus tremulla</i> L.	<i>Sp</i>	0,3	12	5
<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Sp</i>	-	5-6	5
<i>Ribes rubrum</i> L.	<i>Sp</i>	1	1,1	5
<i>Crataegus monogina</i> Jacq.	<i>Sp</i>	1	1,2	5
<i>Chamaecýparis pisífera</i> (Siebold & Zucc.) Endl	<i>Sp</i>	1	1,8	5
Травянистая растительность				
<i>Anthoxatum odoratum</i> L.	<i>Sp</i>	1-3	0,5	5
<i>Polygonatum multiiflorum</i> L. All.	<i>Sp</i>	1-3	0,5-0,6	5
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch.	<i>Sp</i>	3	0,4	5
<i>Urtica dioica</i> L.	<i>Sp</i>	1	0,7	5
<i>Aethusa cynapium</i> L.	<i>Sp</i>	5	1,1	5
<i>Politricum commune</i> Hedw.	<i>Cop</i>	7	0,25	5
<i>Fragária vesca</i> L.	<i>Sp</i>	2	0,08	5

Доминантами древесного яруса на территории рекреации являются сосна обыкновенная и сосна горная, относящаяся к насаждениям антропогенного происхождения.

В травянистом ярусе преобладают *Dactylis glomerata*, *Veronica chamaedris*, *Anthoxanthum odoratum*, *Calamagrostis epigejos*, *Stellaria nemorum*, *Paris quadrifolia*, *Polytrichum commune*, также отмечены *Chelidonium majus*. В древесном ярусе присутствуют *Álnus glutinosa*, *Pinus sylvestris*, *Pinus mugo*. Представитель кустарникового яруса *Symphoricarpos albus* встречается на исследуемых рубежах, вероятно, вследствие декоративного использования вида на территории рекреации и его последующего размножения.

Один из участков представляет собой крупное понижение. Здесь лес образован черноольшаником, присутствует осина. На территории отмечается регулярное подтопление. В силу экологических условий произошла смена доминантов: сосна заместила ольхой черной. На участке выявлена омохovelость почвы.

Напротив, на повышении рельефа в травянистом ярусе встречаются лапчатка, зонтичные – растения мезо-ксерофитного типа.

Коэффициент общности видов древесной растительности по ключевым участкам равен 25–50 %. Наименьшее сходство отмечено между первым и вторым ключевыми участками, максимальное – между вторым и третьим.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного геоботанического исследования выявлены доминирующие группы ассоциаций с обозначением ярусного сложения, проективного покрытия, высоты, жизненности. В целом на территории объекта господствуют фитоценозы древесной растительности. Выделены экобиоморфы – фанерофиты, хамефиты, гемикпритофиты, геофиты.

Под ольшаником преобладают дерново-подзолистые и дерновые почвы различной степени оподзоленности и оглеения разного гранулометрического состава. Присутствуют растения медоносные и лекарственные – *Achillea*, *Potentilla*, *Fragaria*, *Rubus*, *Crataegus*.

К особо ценным древесным породам относятся сосна горная и сосна обыкновенная. Состояние древесной растительности и травянистого покрова удовлетворительное, поскольку большая часть видов оценена в 5 баллов по шкале виталитета (жизненности). Растения, внесенные в Красную книгу РФ, на ключевых участках в районе исследования не обнаружены.

### Список источников

1. Национальный парк «Куршская коса» : официальный сайт ФГБУ. URL: <http://park-kosa.ru/> (дата обращения: 04.12.2023).
2. ООПТ России / Куршская коса. URL: <http://www.oopt.aari.ru/oopt/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%88%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%B0> (дата обращения: 04.12.2023).
3. Изумрудная книга Российской Федерации. Территории особого природоохранного значения Европейской России. Предложения по выявлению. Москва: Институт географии РАН, 2011–2013. С. 31.
4. Burksiene V., Dvorak J. Performance management in protected areas: Localizing governance of the Curonian spit National park, Lithuania / Public Administration Issues. 2020. N 1. P. 105–124.
5. Buzmakov S. A., Sannikov P. Yu. Landscape and biological diversity of protected areas network in Perm krai / American Journal of Environmental Sciences. 2014. V. 10. N 5, P. 516–522.
6. National Commission for Cultural Heritage / The Parliament of the Republic of Lithuania is asked to Initiate a Preparation of the Special Law Dedicated for the Curonian Spit. URL: <https://vkpk.lt/en/naujienos/the-parliament-of-the-republic-of>

lithuania-is-asked-to-initiate-a-preparation-of-the-special-law-dedicated-for-the-curonian-spit/ (дата обращения: 06.12.2023).

7. Куршская коса. Культурный ландшафт / В. И. Кулаков, В. А. Паевский, А. А. Соколов [и др.]. Калининград, 2008. 431 с.

8. Curonian Spit Coastal Dunes Landscape: Climate Driven Change Calls for the Management Optimization / R. Šimanauskienė, R. Linkevičienė, R. Povilanskas, J. Satkunas // Land. 2022. N 11 (6). URL: [https://www.researchgate.net/publication/361209931\\_Curonian\\_Spit\\_Coastal\\_Dunes\\_Landscape\\_Climate\\_Driven\\_Change\\_Calls\\_for\\_the\\_Management\\_Optimization](https://www.researchgate.net/publication/361209931_Curonian_Spit_Coastal_Dunes_Landscape_Climate_Driven_Change_Calls_for_the_Management_Optimization) (дата обращения: 06.12.2023).

9. О развитии песчаных отложений южной части Куршской косы / Д. В. Ерошенко, М. Г. Напреенко, Е. В. Дорохова, Г. С. Харин, И. П. Жуковская, Л. Д. Баширова // Океанология. 2023. Т. 63. № 2. С. 276–291.

10. Koroleva A., Sliviak V., Raguzina G. The Curonian spit: In Danger of Losing Its Outstanding Universal Value Report to the UNESCO World Heritage Committee // Ecodefense. Russia, 2020. URL: <https://ecdru.files.wordpress.com/2020/12/report-on-world-heritage-property-no.-994-curonian-spit.pdf> (дата обращения: 06.12.2023).

11. Vegetation cover dynamics mapping of the Curonian Spit National Park using satellite imagery Alos and Sentinel-2 / A. Nikitina [et al.] // Forest science issues. 2020. V. 1 (3). P. 1–21.

12. Danchenkov A. R. Wind waves and beach inundation width modelling for studying Curonian spit National park foredune stability // Journal Advances in current natural sciences. 2020. N 3. P. 65–71.

13. Pollution of the sediments of the coastal zone of the Sambia Peninsula and the Curonian Spit (Southeastern Baltic Sea) / A. Krek, V. Krechik, A. Danchenkov, E. Krek // Environmental Science. 2018. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.4770> <https://peerj.com/articles/4770/> (дата обращения: 04.12.2023).

14. Материалы, обосновывающие организацию государственного природного национального парка «Куршская коса». Москва: Союзгипролесхоз, 1987. 168 с.

15. Шидловская Ю. А., Калина А. А., Поплавская Л. Г., Жуковская И. П. Организация управления единым трансграничным объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО «Куршская коса» // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сборник научных статей. Калининград, 2013. Вып. 9. С. 4–9.

16. Шидловская Ю. А. Эволюция функционального зонирования национального парка «Куршская коса» // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 1. С. 72–78.

17. Shidlovskaya Yu. The evolution of functioning zoning of the Curonian Spit national park / Natural and medical sciences. 2015. N 1. P 72–78.

18. Калининградская область: географический атлас / гл. ред. В. Орленок; зам. гл. ред. Г. Федоров // Атлас мира. Выпуск 20. Калининград: Мастерская «Коллекция», 2011. 96 с.

19. Козлович И. И. Ландшафтно-экологические исследования Куршской косы (ретроспективный взгляд) // Вестник РГУ им. И. Канта. Естественные науки. 2006. № 1. С. 22–27.

20. Бедарева О. М., Троян Т. Н., Карачинова Л. В. Оценка гетерогенности популяций *Dactylis glomerata* L. в зависимости от условий биотопа // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 11–19.

21. Структура ценопопуляций *Dracoscephalum ruyschiana* (Lamiaceae) на юге Сибири / Г. Р. Денисова, Н. И. Гордеева, Е. К. Комаревцева, А. А. Гусева // Ботанический журнал. 2019. Т. 104. № 11. С. 1712–1726.

### References

1. Natsional'nyy park «Kurshskaya kosa», available at: <http://park-kosa.ru/> (Accessed 04 December 2023).

2. ООПТ России. Kurshskaya kosa, available at: <http://www.oopt.aari.ru/oopt/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%88%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%B0> (Accessed 04 December 2023).

3. *Izumrudnaya kniga Rossiyskoy Federatsii. Territorii osobogo prirodookhrannogo znacheniya Evropeyskoy Rossii. Predlozheniya po vyyavleniyu* [Emerald Book of the Russian Federation. Territories of special environmental significance in European Russia. Suggestions for identification]. Moscow, Institut geografii RAN Publ., 2011–2013, p. 31.

4. Burksiene V., Dvorak J. Performance management in protected areas: Localizing governance of the Curonian spit National park, Lithuania. *Public Administration Issues*, 2020, no. 1, pp. 105–124.

5. Buzmakov S. A., Sannikov P. Yu. Landscape and biological diversity of protected areas network in Perm krai. *American Journal of Environmental Sciences*, 2014, vol. 10, no. 5, pp. 516–522.

6. National Commission for Cultural Heritage. The Parliament of the Republic of Lithuania is asked to Initiate a Preparation of the Special Law Dedicated for the Curonian Spit, available at: <https://vkpk.lt/en/naujienos/the-parliament-of-the-republic-of-lithuania-is-asked-to-initiate-a-preparation-of-the-special-law-dedicated-for-the-curonian-spit/> (Accessed 06 December 2023).

7. Kulakov V. I. [et al.] *Kurshskaya kosa. Kul'turnyy landshaft* [Curonian Spit. Cultural landscape]. Kaliningrad, 2008, 431 p.

8. Šimanauskienė R., Linkevičienė R., Povilanskas R., Satkunas J. Curonian Spit Coastal Dunes Landscape: Climate Driven Change Calls for the Management Optimization. *Land*, 2022, no. 11 (6), available at: [https://www.researchgate.net/publication/361209931\\_Curonian\\_Spit\\_Coastal\\_Dunes\\_Landscape\\_Climate\\_Driven\\_Change\\_Calls\\_for\\_the\\_Management\\_Optimization](https://www.researchgate.net/publication/361209931_Curonian_Spit_Coastal_Dunes_Landscape_Climate_Driven_Change_Calls_for_the_Management_Optimization) (Accessed 06 December 2023).

9. Eroshenko D. V., Napreenko M. G., Dorokhova E. V., Kharin G. S., Zhukovskaya I. P., Bashirova L. D. O razvitií peschanykh otlozheniy yuzhnoy chasti Kurshskoy kosy [On the development of sandy deposits in the southern part of the Curonian Spit]. *Okeanologiya*, 2023, vol. 63, no. 2, pp. 276–291.

10. Koroleva A., Sliviak V., Raguzina G. The Curonian spit: In Danger of Losing Its Outstanding Universal Value Report to the UNESCO World Heritage Committee, Ecodefense. Russia, 2020, available at:

<https://ecdru.files.wordpress.com/2020/12/report-on-world-heritage-property-no.-994-curonian-spit.pdf> (Accessed 06 December 2023).

11. Nikitina A. [et al.] Vegetation cover dynamics mapping of the Curonian Spit National Park using satellite imagery Alos and Sentinel-2. *Forest science issues*, 2020, vol. 1 (3), pp. 1–21.

12. Danchenkov A. R. Wind waves and beach inundation width modelling for studying Curonian spit National park foredune stability. *Journal Advances in current natural sciences*, 2020, no. 3, pp. 65–71.

13. Krek A., Krechik V., Danchenkov A., Krek E. Pollution of the sediments of the coastal zone of the Sambia Peninsula and the Curonian Spit (Southeastern Baltic Sea). *Environmental science*, 2018, available at: <https://doi.org/10.7717/peerj.4770> <https://peerj.com/articles/4770/> (Accessed 04 December 2023).

14. *Materialy, obosnovyvyayushchie organizatsiyu gosudarstvennogo prirodnogo natsional'nogo parka «Kurshskaya kosa»* [Materials justifying the organization of the state natural national park «Curonian Spit»]. Moscow, Soyuzgiproleskhoz Publ., 1987, 168 p.

15. Shidlovskaya Yu. A., Kalina A. A., Poplavskaya L. G., Zhukovskaya I. P. Organizatsiya upravleniya edinyim transgranichnym ob"ektom Vsemirnogo naslediya YUNESKO «Kurshskaya kosa» [Organization of management of a single transboundary UNESCO World Heritage Site “Curonian Spit”]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsional'nogo parka «Kurshskaya kosa»: sbornik nauchnykh statey* [Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the “Curonian Spit National Park”: collection of scientific articles]. Kaliningrad, 2013, no. 9, pp. 4–9.

16. Shidlovskaya Yu. A. Evolyutsiya funktsional'nogo zonirovaniya natsional'nogo parka «Kurshskaya kosa» [Evolution of the functional zoning of the Curonian Spit National Park]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2015, no. 1, pp. 72–78.

17. Shidlovskaya Yu. The evolution of functioning zoning of the Curonian Spit national park. *Natural and medical sciences*, 2015, no. 1, pp. 72–78.

18. *Kaliningradskaya oblast': geograficheskiy atlas* [Kaliningrad region: geographical atlas]. Gl. red. V. Orlenok; zam. gl. red. G. Fedorov. Kaliningrad, masterskaya «Kollektsiya» Publ., 2011. 96 p.

19. Kozlovich I. I. Landshaftno-ekologicheskie issledovaniya Kurshskoy kosa (retrospektivnyy vzglyad) [Landscape-ecological studies of the Curonian Spit (retrospective view)]. *Vestnik RGU im. I. Kanta. Estestvennye nauki*, 2006, no. 1, pp. 22–27.

20. Bedareva O. M., Troyan T. N., Karachinova L. V. Otsenka geterogenosti populyatsiy *Dactylis glomerata* L. v zavisimosti ot usloviy biotopa [Assessment of heterogeneity of *Dactylis glomerata* L. populations depending on biotope conditions]. *Izvestiya KGTU*, 2023, no. 69, pp. 11–19.

21. Denisova G. R., Gordeeva N. I., Komarevtseva E. K., Guseva A. A. Struktura tsenopopulyatsiy *Dracocephalum ruyschiana* (*Lamiaceae*) na yuge Sibiri [Structure of coenopopulations of *Dracocephalum ruyschiana* (*Lamiaceae*) in southern Siberia]. *Botanicheskiy zhurnal*, 2019, vol. 104, no. 11, pp. 1712–1726.

### **Информация об авторах**

**О. М. Бедарева** – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Агрономия и агроэкология»

**Т. Н. Троян** – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Агрономия и агроэкология»

**А. А. Артемьев** – аспирант кафедры «Агрономия и агроэкология»

### **Information about the authors**

**O. M. Bedareva** – Doctor of Biology, Professor, Head of the Department of Agronomy and Agroecology

**T. N. Troyan** – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Agronomy and Agroecology

**A. A. Artemyev** – postgraduate student of the Department of Agronomy and Agroecology

Статья поступила в редакцию 07.12.2023; одобрена после рецензирования 11.12.2023; принята к публикации 14.12.2023.

The article was submitted 07.12.2023; approved after reviewing 11.12.2023; accepted for publication 14.12.2023.

# **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**





Научная статья  
УДК 621.66, 637.1.02  
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-41-56

**Оценка рабочих характеристик установок для подачи  
высоковязких пищевых масс с помощью кулачковых насосов российского  
производства**

**Наталья Равиловна Ахмедова<sup>1</sup>, Оксана Игоревна Левичева<sup>1</sup>, Владимир  
Аркадьевич Наумов<sup>1</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Россия

<sup>1</sup> isfendi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3483-3580>

<sup>2</sup> levicheva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5922-9123>

<sup>3</sup> van-old@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

**Аннотация.** В пищевой промышленности для перекачивания рабочих сред используют кулачковые насосы, которые являются одними из самых сложных в изготовлении. При этом у насосов данного типа есть ряд преимуществ: низкие эксплуатационные затраты, длительный срок службы и бережное перемещение пищевых масс без повреждения их структуры. В данной работе рассматриваются рабочие характеристики кулачковых насосов российского производства с целью разработки метода оценки рабочих характеристик по параметрам технического паспорта. Установлено, что с увеличением безразмерного коэффициента динамической вязкости возрастает как подача, так и затраченная мощность кулачковых насосов серии КНП российского производства, но с увеличением вязкости влияние ее на подачу уменьшается, а на затраченную мощность – возрастает. При этом результаты расчета показывают, что с ростом вязкости перекачиваемой жидкости показатели энергетической эффективности сначала улучшаются, а затем начинают ухудшаться. Это связано с тем, что для перекачивания более вязких пищевых масс требуются большие энергетические затраты. Выполнен гидравлический расчет технологического трубопровода при перекачивании пищевой массы (плавленого сыра), который показал, что при транспортировании высоковязких продуктов уменьшение диаметра трубопровода слабо влияет на подачу, но приводит к заметному увеличению гидравлических потерь, затраченной мощности и ухудшению энергетической эффективности установки. Предложен метод, который позволит получить приближенные рабочие характеристики кулачковых насосов российского производства по насосу-аналогу. Полученные в данной работе характеристики кулачковых насосов позволяют рассчитать расход, перепад давления и затраченную мощность в рабочей точке для заданного технологического трубопровода.

**Ключевые слова:** кулачковые насосы, нагрузочные характеристики, подача, напор, мощность, аналоги, КПД, рабочая точка.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания 2022 года по теме «Разработка и совершенствование производственных систем пищевой отрасли».

**Для цитирования:** Ахмедова Н. Р., Левичева О. И., Наумов В. А. Оценка рабочих характеристик установок для подачи высоковязких пищевых масс с помощью кулачковых насосов российского производства // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 41–56. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-41-56.

Original article

### Performance evaluation of high-viscosity food masses feeding installations using Russian-made lobe pumps

Natal'ya R. Akhmedova<sup>1</sup>, Oksana I. Levicheva<sup>2</sup>, Vladimir A. Naumov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup> isfendi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3483-3580>

<sup>2</sup> levicheva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5922-9123>

<sup>3</sup> van-old@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

**Abstract.** In the food industry, lobe pumps are used to pump working media, which are among the most difficult to manufacture. At the same time, pumps of this type have a number of advantages: low operating costs, long service life and careful movement of food masses without damaging their structure. This paper examines the performance characteristics of Russian-made lobe pumps with the aim of developing a method for assessing performance characteristics based on the parameters of the technical passport. It has been established that with an increase in the dimensionless coefficient of dynamic viscosity, both the flow and the expended power of the lobe pumps of the KNP series of Russian production increase, but with an increase in viscosity its effect on the flow decreases, and on the expended power it increases. At the same time, the calculation results show that with an increase in the viscosity of the pumped liquid, the energy efficiency indicators first improve and then begin to deteriorate. This is due to the fact that pumping more viscous food masses requires large energy costs. A hydraulic calculation of the process pipeline when pumping food mass (processed cheese) has been carried out, which showed that when transporting highly viscous products, a decrease in the diameter of the pipeline has little effect on the flow, but leads to a noticeable increase in hydraulic losses, consumed power and a deterioration in the energy efficiency of the installation. A method has been proposed that will allow one to obtain approximate performance characteristics of Russian-made lobe pumps based on an analogue pump. The characteristics of the lobe pumps obtained in this work make it possible to calculate the flow rate, pressure drop and consumed power at the operating point for a given process pipeline.

**Keywords:** lobe pumps, load characteristics, flow, pressure, power, analogues, efficiency, operating point

**Funding:** The work was carried out within the framework of the state assignment for 2022 on the topic «Development and improvement of production systems in the food industry».

**For citation:** Akhmedova N. R., Levicheva O. I., Naumov V. A. Performance evaluation of high-viscosity food masses feeding installations using Russian-made lobe pumps. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72) : 41–56. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-41-56.

## ВВЕДЕНИЕ

Кулачковый насос (КН, другие названия – роторно-кулачковый, коловратный насос) – один из самых сложных в изготовлении типов насосов, так как требует высокого качества материалов и комплектующих, обработки поверхности и профессиональной сборки. Сложность изготовления и высокая стоимость КН по сравнению с насосами других типов компенсируется низкой стоимостью эксплуатации. В КН практически отсутствуют изнашиваемые части, он рассчитан на постоянную работу, конструкция позволяет проводить обработку насоса острым паром, что важно для пищевой промышленности [1].

Основной критерий при выборе насоса – это сохранение качества транспортируемого продукта. Главное же достоинство КН – бережное перемещение пищевых масс без повреждения их структуры, таких как плавленые сыры, мед, паштеты, мороженное, джемы с целыми ягодами, шоколад с орехами или изюмом, майонез с овощами и др. В связи с этим в последние годы возрос интерес к исследованию различных направлений усовершенствования конструкции и использования КН в пищевой промышленности [2–9].

В [2] представлены результаты разработки интегрированной автоматизированной системы проектирования ротора КН. Система генерирует новый профиль лепестка ротора и автоматически вычисляет расход и неравномерность расхода КН в соответствии с созданным профилем. Полученные результаты исследования позволяют повысить эффективность работы КН. Целью [3] было численное исследование гидродинамики лопастных насосов и факторов, которые могут повлиять на производительность насоса, включая профиль поверхности ротора, количество лопастей, размер зазора между ротором и корпусом, зазор между двумя роторами и т. д. Широкий диапазон исследуемых скоростей (от 1000 до 5000 об./мин) позволил получить значительный объем информации о характере потока, полях скоростей и давления. Результаты данного исследования подтвердили большое влияние размера зазора между ротором и стенкой корпуса на эффективность насоса и доказали, что многолопастные, трех- и четырех лопастные КН не повышают, но обеспечивают более стабильную производительность по сравнению с двухлопастными КН. В [4] авторы работы доказали, что форма поверхностей ротора существенно влияет на производительность КН. В [5] представлена новая конструкция полости роторного лопастного насоса с постепенно изменяющимся зазором для уменьшения величины и колебаний радиальной возбуждающей силы на роторе. В результате исследований установлено, что по мере увеличения изменяемого значения зазора интенсивность обратного вращающегося вихря на выходе уменьшается, и пульсация вторичного потока на выходном участке эффективно ослабляется. Цель исследования [6] заключалась в проведении сравнительной оценки влияния двух различных насосов (шестеренчатого и кулачкового) на структуру мороженого при его транспортировании по трубопроводу. В качестве доказательства преимущества применения КН приведены ре-

зультаты органолептической оценки показателей: внешний вид, цвет, консистенция, вкус и запах экспериментальных образцов мороженого, изготовленных с использованием названных насосов. В ходе исследования [7] авторами было установлено положительное влияние КН на консистенцию и взбитость готового продукта. Чтобы выявить влияние вязкости среды на характеристики КН, в работе [8] изучена производительность пяти сред с различной вязкостью в диапазоне от 1 (cst) до 110 (cst). Результаты данного исследования позволяют сделать вывод, что вязкость оказывает существенное влияние на производительность КН. С увеличением вязкости расход жидкости в полости ротора имеет тенденцию к постоянству, сила вязкости может в некоторой степени препятствовать утечке среды в полость ротора. В статье [9] рассмотрен метод расчета диаграмм производительности кулачковых насосов ( $Q-P$ ) с учетом влияния вязкости перекачиваемых жидких пищевых продуктов на основе результатов их испытаний. Для примера были рассмотрены характеристики WCB RF-024, Romac PLP 1-1.5. Анализ результатов испытаний показал необходимость учитывать в расчетах минимальную частоту вращения ротора (ЧВР)  $n_0$ , при которой начинается перекачивание жидкости. Установлено, что минимальная ЧВР  $n_0$  является нелинейной функцией давления, а объем жидкости, перекачиваемой за один оборот, практически не зависит от перепада давления. При исследовании зависимости производительности КН от ЧВР и температур было определено, что повышение температуры пищевой жидкости приводит к снижению производительности КН.

Все приведенные выше исследования выполнены по результатам испытаний КН нескольких известных зарубежных компаний [10, 11], которые размещают данные в открытом доступе. Проведенный в [12] анализ показал, что в России производится оборудование для изготовления и транспортирования плавленных сыров (ПС) с достаточно широким диапазоном технических параметров, что позволяет подобрать оборудование как для малых предприятий, так и для крупных производств. Однако известные зарубежные компании в своей технической документации размещают результаты исследований о влиянии вязкости пищевых масс на производительность и энергетические затраты, тогда как в технической (и рекламной) документации российских производителей такие сведения отсутствуют. Проведение этих исследований и заводских испытаний позволит повысить конкурентную способность российского оборудования для производства и транспортирования ПС.

Цель данной статьи – разработка метода оценки рабочих характеристик КН российского производства по параметрам технического паспорта.

## РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КН РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрим технические параметры кулачковых насосов серии КНП российского производства [13], представленные в таблице ( $N_E$  – мощность электродвигателя.). В ней приведена подача (на воде) при минимальной рабочей частоте вращения ротора  $n_{min} = 200$  об./мин (или  $3,33 \text{ c}^{-1}$ ) и максимальной –  $n_{max} = 500$  об./мин ( $8,33 \text{ c}^{-1}$ ). Для каждого насоса эти две точки показаны на рис. 1.

На рис. 1 через экспериментальные точки проведены прямые. Видно, что все они проходят через начало координат, это соответствует перепаду давления

$\Delta P = 0$ . В [9] на основе анализа данных испытаний WCB [10] была получена зависимость подачи КН от  $\Delta P$ , ЧВР и вязкости перекачиваемой жидкости:

$$Q \equiv f(n, p, \mu b) = f_1(n, 0) - (f_1(n, 0) - f_1(n, p)) / \mu b^\gamma, \quad (1)$$

$$f_1(n, p) = V_1 \cdot [n - n_0(p)], \quad n_0 = B \cdot p^\beta, \quad (2)$$

где  $Q_W = f_1(n, p)$  – зависимость подачи воды от ЧВР и перепада давления;  $V_1$  – объем воды, перекачиваемой за один оборот;  $n$  – ЧВР,  $\text{с}^{-1}$ ;  $n_0$  – минимальная ЧВР начала перекачивания жидкости,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\mu b$  – безразмерный коэффициент динамической вязкости (БКДВ) исследуемой жидкости, отнесенный к соответствующему значению у воды при  $20^\circ\text{C}$ ;  $p = \Delta P / P_A$  – безразмерный перепад давления;  $P_A$  – атмосферное давление;  $\beta$ ,  $B$  – эмпирические константы;  $\gamma$  – эмпирический показатель влияния вязкости жидкости на производительность КН.

Таблица. Технические параметры кулачковых насосов серии КНП [8]

Table. Technical parameters of the lobe pumps of the KNP series [8]

Модель	Подача $Q$ , $\text{дм}^3/\text{час}$ при ЧВР		Диаметр (входной и выходной), $D$ , мм	Мощность $N_E$ , кВт
	$n_{min}$	$n_{max}$		
КНП-6	650	1600	25	0,75
КНП-8	850	2100	32	1,5
КНП-12	1300	3200	38	2,2
КНП-20	2100	5400	38	3,0
КНП-30	3200	8000	51	4,0
КНП-52	5600	11000	51	5,5
КНП-66	7100	14000	63	7,5
КНП-78	9000	18000	63	7,5

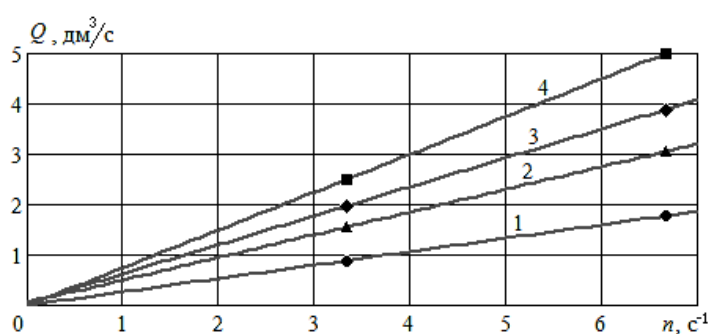


Рис. 1. Зависимость подачи воды от ЧВР: 1 – КНП-30, 2 – КНП-52, 3 – КНП-66, 4 – КНП-78. Точки – экспериментальные данные [13], линии – расчет по формуле (1)

Fig. 1. Dependence of water supply on rotor speed: 1 – KNP-30, 2 – KNP-52, 3 – KNP-66, 4 – KNP-78. Points are experimental data [13], lines are calculated according to formula (1)

Найти эмпирические константы  $\beta$ ,  $B$ ,  $\gamma$  по данным [13] не представляется возможным, так как они не содержат зависимости от перепада давления и от вязкости перекачиваемой субстанции. Предлагается в таком случае воспользоваться методом аналогий – использовать результаты испытаний КН аналогичной конструкции с двухлепестковым ротором и близким объемом подачи за один оборот ротора  $V_1$ . В наименовании (КНП-30) число 30 означает объем жидкости в литрах, подаваемой за 100 оборотов, то есть  $V_1 = 0,30 \text{ дм}^3$ . В качестве аналога можно использовать агрегат компании Ромас [11] PLP 2-2 с  $V_1 = 0,30 \text{ дм}^3$ .

Тогда по формуле (1) можем рассчитать влияние вязкости и перепада давления на зависимость подачи воды от ЧВР (рис. 2).

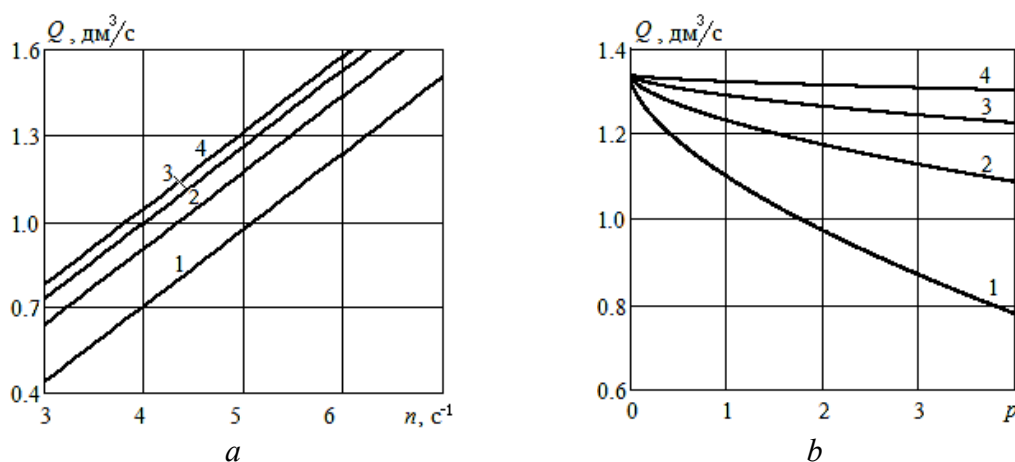


Рис. 2. Зависимость подачи КНП-30: (а) – от ЧВР при  $p = 2$ ; (б) – от  $p$  при  $n = 5 \text{ с}^{-1}$ :  
 1 –  $\mu b = 2$ ; 2 –  $\mu b = 10$ ; 3 –  $\mu b = 50$ ; 4 –  $\mu b = 500$

Fig. 2. Dependence of the KNP-30 pump flow: (a) – on the rotor speed at  $p = 2$ ;  
 (b) – from  $p$  at  $n = 5 \text{ s}^{-1}$ : 1 –  $\mu b = 2$ ; 2 –  $\mu b = 10$ ; 3 –  $\mu b = 50$ ; 4 –  $\mu b = 500$

Формула для затраченной мощности КН из [9]:

$$N \equiv \varphi(n, p, \mu b) = A_N \cdot n \cdot [1 + b_1 \cdot p + b_2 \cdot n + b_3 (\mu b - 1)^\chi], \quad (3)$$

где значения эмпирических констант приняты такими же, как у насоса-аналога ( $b_1 = 1,10$ ;  $b_2 = 0,154$ ;  $b_3 = 0,113$ ;  $\chi = 0,517$ ), а механическая работа за один оборот КН может быть рассчитана по его КПД:  $A_N = 0,021 \text{ кДж}$ . Последнее предположение снижает точность расчета. Предельная относительная погрешность определения  $Q$  составляет 10 %, тогда как  $N - 20 \%$ .

Результаты расчета по формуле (3) представлены на рис. 3.



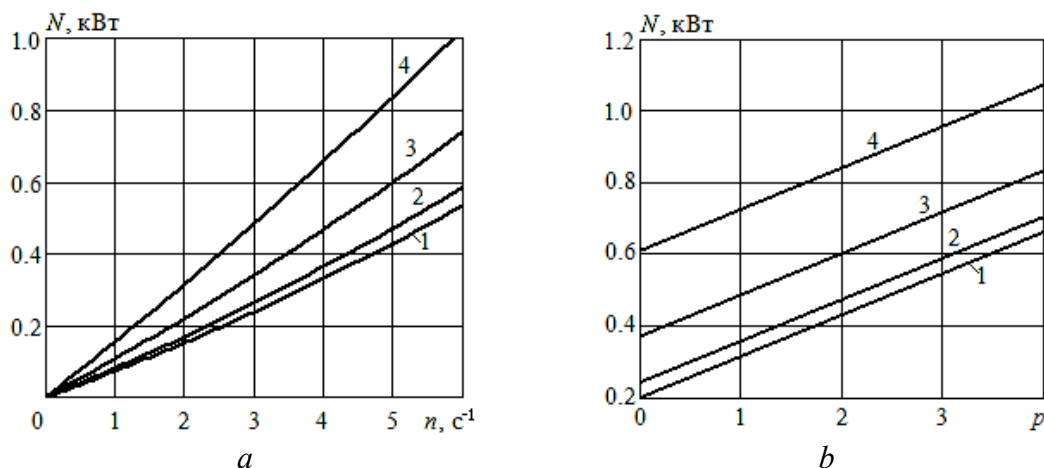


Рис. 3. Зависимость затраченной мощности КНП-30: (а) – от ЧВР при  $p = 2$ ; (б) – от  $p$  при  $n = 5 \text{ с}^{-1}$ : 1 –  $\mu b = 2$ ; 2 –  $\mu b = 20$ ; 3 –  $\mu b = 200$ ; 4 –  $\mu b = 1000$   
 Fig. 3. Dependence of the consumed power of the KNP-30 pump: (a) – on the rotor speed at  $p = 2$ ; (b) – from  $p$  at  $n = 5 \text{ s}^{-1}$ : 1 –  $\mu b = 2$ ; 2 –  $\mu b = 20$ ; 3 –  $\mu b = 200$ ; 4 –  $\mu b = 1000$

С увеличением БКДВ возрастает как подача, так и затраченная мощность КН, но с увеличением вязкости влияние ее на подачу уменьшается (рис. 2), а на затраченную мощность – возрастает (рис. 3).

По функциям (1) и (3) можно рассчитать гидравлический коэффициент полезного действия насоса (ГКПД, %)  $\eta$  и показатель удельных энергетических затрат (ПУЭЗ, кДж/дм<sup>3</sup>)  $E$ :

$$\eta = 100 \cdot Q \cdot P / N = 100 \cdot f(n, p, \mu b) \cdot (P/P_A) / \varphi(n, p, \mu b), \quad (4)$$

$$E = N / Q = \varphi(n, p, \mu b) / f(n, p, \mu b). \quad (5)$$

Результаты расчета по формулам (4), (5) на рис. 4 позволяют сделать вывод, что с ростом вязкости перекачиваемой жидкости показатели энергетической эффективности КН сначала улучшаются ( $\eta$  увеличивается,  $E$  уменьшается), а затем начинают ухудшаться. Влияние перепада давления не столь однозначно. С ростом  $\Delta P$  ПУЭЗ монотонно увеличиваются, что говорит об ухудшении энергетической эффективности, тогда как ГКПД-возрастание – об ее улучшении. При большой вязкости такое возрастание отмечается на всем рабочем диапазоне перепада давления. Конечно, вывод об улучшении энергетической эффективности установки с увеличением гидравлического сопротивления технологического трубопровода противоречит физическому смыслу, что связано с особенностями ГКПД, отличающегося от КПД, принятого в классической механике.



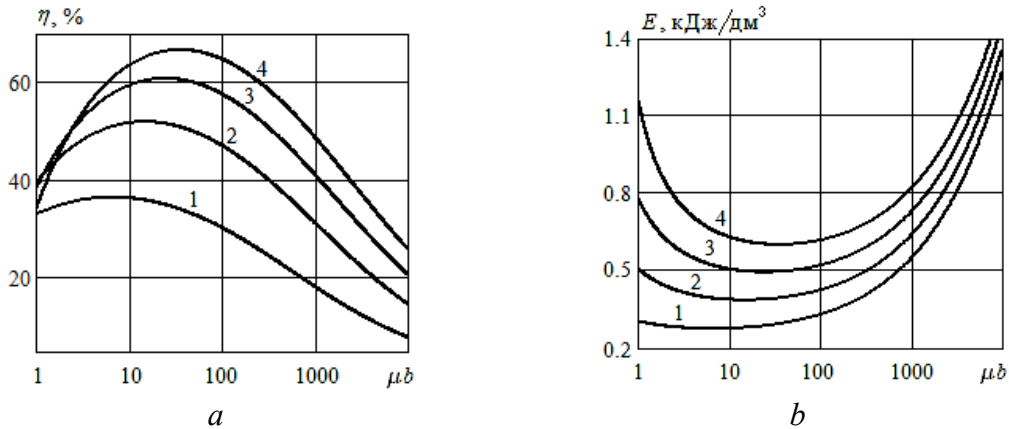


Рис. 4. КПД (а) и ПУЭЗ (б) КНП-20 при ЧВР  $n = 5\text{с}^{-1}$  и разных значениях перепада давления: 1 –  $p = 1$ , 2 –  $p = 2$ , 3 –  $p = 3$ , 4 –  $p = 4$   
 Fig. 4. Efficiency (a) and specific energy consumption indicator (b) of the KNP-20 pump at rotor speed  $n = 5\text{s}^{-1}$  and different pressure drop values: 1 –  $p = 1$ , 2 –  $p = 2$ , 3 –  $p = 3$ , 4 –  $p = 4$

В зависимости от предоставляемых технических данных КН метод оценки рабочих характеристик может корректироваться. Так российские предприятия [14, 15] производят КН марки ОНР (или их аналог ВЗ-ОРА). В обозначении буква О – отрасль (пищевая), НР – насос роторный. Для ОНР-2 [14] указан рабочий диапазон ЧВР (от 374 до 740 об./мин) и соответствующий им диапазон подачи – от 0,5 до 2,0 м³/час при номинальном перепаде давления  $\Delta P = 200$  кПа. На рис. 5а показаны эти две экспериментальные точки. Прямая линия, проведенная через указанные точки, позволяет найти  $V_1 = 0,30$  дм³ и  $n_0 = 2,22$  с⁻¹ (при  $p = 2$ ), откуда в формуле (2)  $B = 1,45$ .

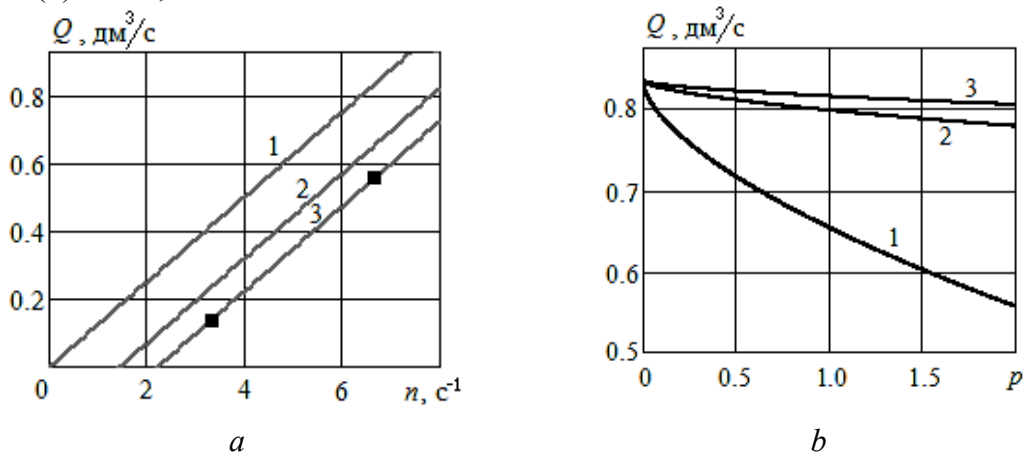


Рис. 5. Зависимость подачи ОНР-2  
 (а) – от ЧВР при  $\mu b = 1$ : 1 –  $p = 0$ ; 2 –  $p = 1$ ; 3 –  $p = 2$ ;  
 (б) – от  $p$  при  $n = 6,67$  с⁻¹: 1 –  $\mu b = 1$ ; 2 –  $\mu b = 25$ ; 3 –  $\mu b = 92$   
 Fig. 5. Dependence of pump flow ONR-2  
 (a) – on the rotor speed at  $\mu b = 1$ : 1 –  $p = 0$ ; 2 –  $p = 1$ ; 3 –  $p = 2$ ;  
 (b) – from  $p$  at  $n = 6.67$  с⁻¹: 1 –  $\mu b = 1$ ; 2 –  $\mu b = 25$ ; 3 –  $\mu b = 92$

Для насосов ОНР в [14] приведен рабочий диапазон вязкости перекачиваемой жидкости ( $\mu b = 25\text{--}92$ ). На рис. 5b видно (линии 2 и 3), что в указанном диапазоне БКДВ подача КН мало отличается от теоретического значения и с ростом перепада давления снижается незначительно, тогда как для воды подача много меньше и сильно падает с увеличением  $p$  (линия 1)

#### ПРИМЕР РАСЧЕТА

Для гидравлического расчета необходимо задать реологические параметры перекачиваемой пищевой массы. В качестве примера рассмотрим транспортирование ПС по круглой трубе диаметром  $d$ , длиной  $L = 30$  м с помощью насоса КНП-30 при статическом перепаде давления 50 кПа ( $p_C = 0,5$ ).

Установлено, для ПС наилучшим образом подходит реологическая модель степенной жидкости (модель Оствальда – де Вааля) [16–18]. Формула Оствальда для эффективной динамической вязкости (Па·с) имеет вид:

$$\mu_E = K \cdot \omega^{m-1}, \quad (6)$$

где  $m$  – показатель неньютоновского поведения жидкости;  $K$  – коэффициент консистенции жидкости, Па·с <sup>$m$</sup> ;  $\omega$  – градиент (сдвиг) скорости, с<sup>-1</sup>.

Для вращательного движения жидкости в КНП можно оценить сдвиг скорости по ЧВР:  $\omega \approx 2\pi n$ . БКДВ исследуемой жидкости рассчитывается так:  $\mu b = \mu_E/\mu_0$ , где  $\mu_0$  – коэффициент динамической вязкости воды при 20 °С.

Воспользуемся экспериментальными данными [16], полученными для ПС следующего состава: сыр Гауда – 50,5 %, вода – 37,5 %, сухое обезжиренное молоко – 9 %, натриевая соль лимонной кислоты – 3 %. По этим данным мы получили зависимости реологических параметров от температуры  $T$  в такой форме:

$$m = a + b \cdot T; \quad K = K_0 \cdot T^{-\alpha}, \quad (7)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $K_0$ ,  $\alpha$  – эмпирические константы, найденные методом наименьших квадратов. На рис. 6a приведено сравнение результатов расчетов по формулам (7) с экспериментальными данными [16].

Гидравлические потери в трубопроводе находим по известной формуле Дарси-Вейсбаха, но вместо обычного числа Рейнольдса, как в [19, 20], подставляем его аналог  $Re_{PL}$ :

$$Re_{PL} = \frac{W^{2-m} d^m \rho}{8^{m-1} K \cdot \left(\frac{3m+1}{4m}\right)^m}. \quad (8)$$

Тогда характеристика технологического трубопровода (зависимость требуемого давления от расхода) может быть записана в такой форме:

$$\psi(Q) = P_C + 2^{3m-4} K \cdot \left(\frac{3m+1}{4m} \cdot \frac{4Q}{\pi d^3}\right)^m \cdot \left(64 \frac{L}{d} + \Sigma \Theta\right), \quad (9)$$

где  $P_C$  – статическое давление, обусловленное разностью уровней и давлений в исходной и конечной емкости;  $\Theta$  – безразмерный коэффициент, зависящий

от типа местного гидравлического сопротивления и его безразмерных параметров, который принимаем, как в [20].

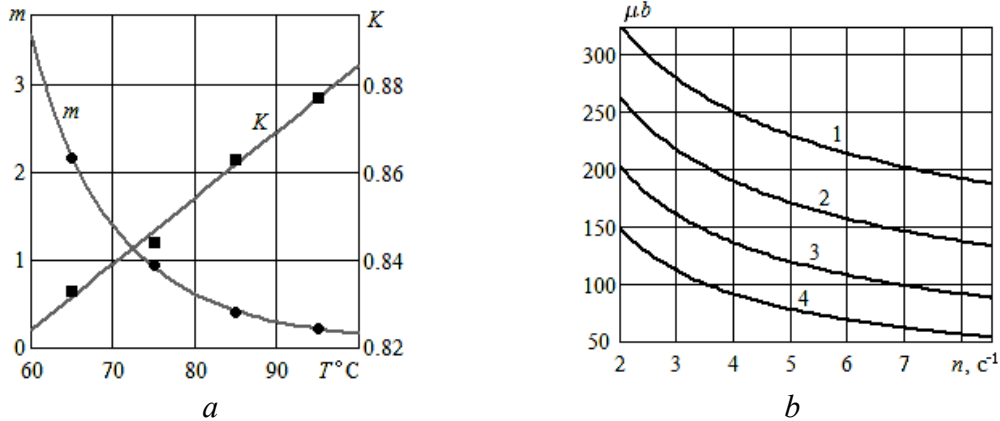


Рис. 6. Влияние температура на вязкость ПС:  $a$  – зависимость реологических параметров от температуры, точки – экспериментальные данные [16], линии – расчет по формулам (7);  $b$  – зависимость безразмерной динамической вязкости ПС от ЧВР при различных температурах, 1 –  $T = 80$  °C, 2 –  $T = 82$  °C, 3 –  $T = 85$  °C, 4 –  $T = 90$  °C

Fig. 6. Effect of temperature on the viscosity of processed cheese:  $a$  – dependence of rheological parameters on temperature, experimental data points [16], lines – calculation using formulas (7);  $b$  – dependence of the dimensionless dynamic viscosity of processed cheese on the rotor speed at different temperatures, 1 –  $T = 80$  °C, 2 –  $T = 82$  °C, 3 –  $T = 85$  °C, 4 –  $T = 90$  °C

Приравнивая функцию  $\psi(Q)$  и перепад давления насоса  $\Delta P$ , найдем значения подачи и затраченной мощности в рабочей точке насосной установки. На рис. 7–9 приведены результаты расчета при различных значениях задаваемых параметров.

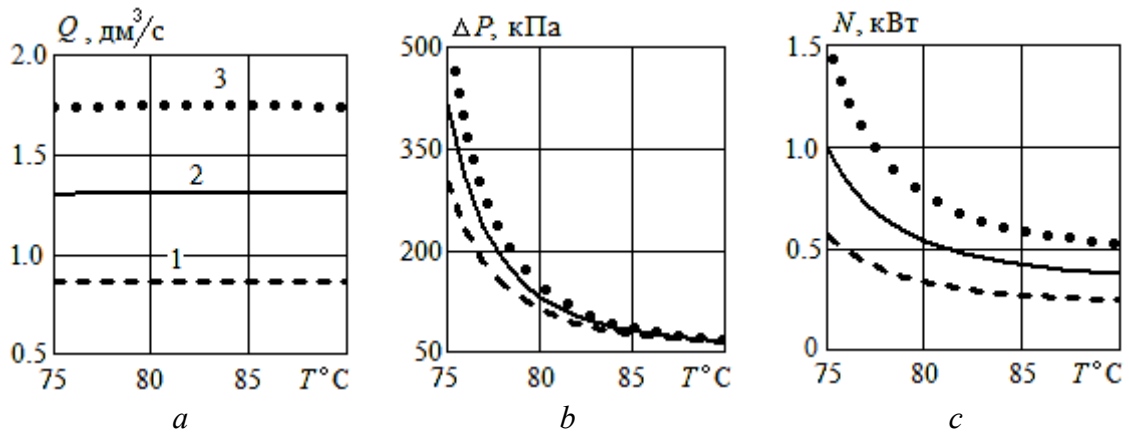


Рис. 7. Зависимость параметров КН в рабочей точке от температуры при  $d = 40$  мм и разных значениях ЧВР: 1 –  $n = 3,33$   $c^{-1}$ ; 2 –  $n = 5$   $c^{-1}$ ; 3 –  $n = 6,67$   $c^{-1}$ ; (a) – подача, (b) – перепад давления, (c) – затраченная мощность

Fig. 7. Dependence of the parameters of the lobe pump at the operating point on temperature at  $d = 40$  mm and different values of the rotor speed: 1 –  $n = 3.33$   $s^{-1}$ ; 2 –  $n = 5$   $s^{-1}$ ; 3 –  $n = 6.67$   $s^{-1}$ ; (a) – flow, (b) – pressure drop, (c) – consumed power

По рис. 7а и 8а расход мало изменяется как с уменьшением температуры ПС, так и с увеличением диаметра технологического трубопровода. Снижение температуры ПС и уменьшение диаметра трубопровода приводят к заметному увеличению гидравлических потерь и затраченной мощности КН (рис. 7б, 7с, 8б, 8с).

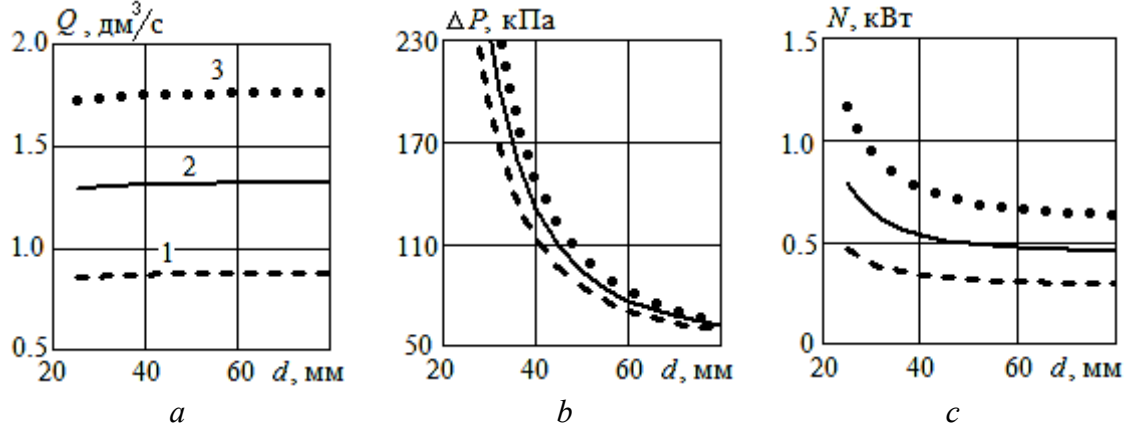


Рис. 8. Зависимость параметров КН в рабочей точке от диаметра при температуре 80 °С и разных значениях ЧВР: 1 –  $n = 3,33 \text{ с}^{-1}$ ; 2 –  $n = 5 \text{ с}^{-1}$ ; 3 –  $n = 6,67 \text{ с}^{-1}$ ;

(а) – подача, (б) – перепад давления, (с) – затраченная мощность

Fig. 8. Dependence of the parameters of the lobe pump at the operating point on the diameter at a temperature of 80 °С and different values of the rotor speed: 1 –  $n = 3.33 \text{ s}^{-1}$ ; 2 –  $n = 5 \text{ s}^{-1}$ ; 3 –  $n = 6.67 \text{ s}^{-1}$ ;

(a) – flow, (b) – pressure drop, (c) – consumed power

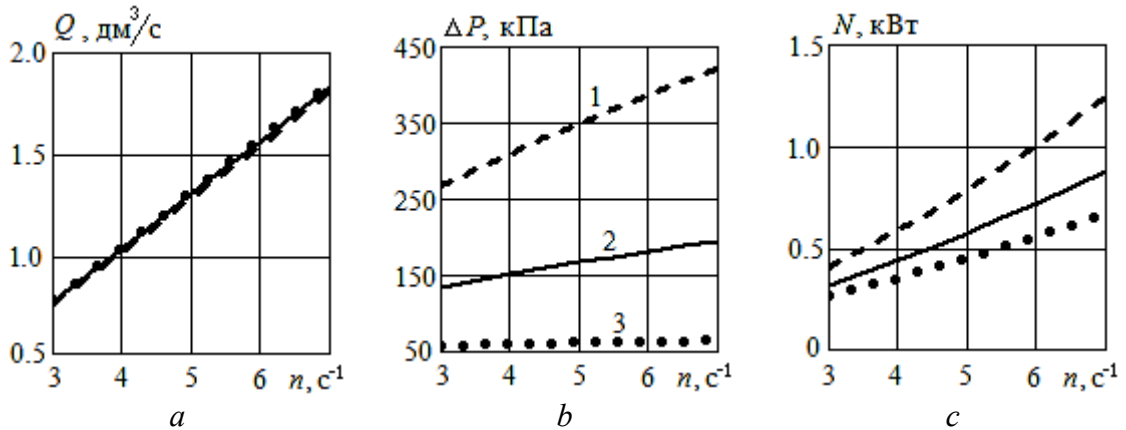


Рис. 9. Зависимость параметров КН в рабочей точке от ЧВР при температуре 80 °С и разных значениях диаметра: 1 –  $d = 25 \text{ мм}$ ; 2 –  $d = 35 \text{ мм}$ ; 3 –  $d = 80 \text{ мм}$ ;

(а) – подача, (б) – перепад давления, (с) – затраченная мощность

Fig. 9. Dependence of the parameters of the lobe pump at the operating point on the rotor speed at a temperature of 80 °С and different diameters: 1 –  $d = 25 \text{ mm}$ ;

2 –  $d = 35 \text{ mm}$ ; 3 –  $d = 80 \text{ mm}$ ; (a) – flow, (b) – pressure drop, (c) – consumed power

При увеличении ЧВР (рис. 9) получили рост (близкий к линейному) и  $Q$ , и  $\Delta P$ , и  $N$ . При этом изменение диаметра технологического трубопровода в наибольшей степени сказывается на перепаде давления (рис. 9б), в меньшей степени

– на затраченной мощности (рис. 9с) и практически не влияет на расход жидкости (рис. 9а).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный метод позволяет получить приближенные рабочие характеристики кулачковых насосов российского производства по насосу-аналогу. Чтобы оценить зависимость подачи от перепада давления и ЧВР, необходимо, как минимум, знать  $Q$  при определенном перепаде давления и двух значениях ЧВР. Для оценки зависимости затраченной мощности КН от перепада давления и ЧВР требуется значение КПД при известных значениях аргументов. Относительная погрешность определения первой характеристики была оценена примерно в 10 %, второй – в 20 %.

Найденные рабочие характеристики КН позволяют рассчитать расход, перепад давления и затраченную мощность в рабочей точке для заданного технологического трубопровода. Установлено, что с ростом вязкости перекачиваемой жидкости показатели энергетической эффективности вначале растут (БКДВ примерно до 15–30 в зависимости от перепада давления), а затем заметно падают. Это связано с тем, что для перекачивания более вязких пищевых масс требуются большие энергетические затраты.

При транспортировании высоковязких пищевых масс (например, ПС) уменьшение диаметра технологического трубопровода в исследованном диапазоне слабо влияет на подачу, но приводит к заметному увеличению затраченной мощности и ухудшению энергетической эффективности установки.

## Список источников

1. Karassik I. J., Messina J. P., Cooper P., Heald C. C. Displacement Pumps // Pump Handbook. Ed. I. J. Karassik. New York: McGraw-Hill, 2001. P. 609–640.
2. Jung S. Y., Han S. M., Cho H. Y., Kim C. Automated design system for a rotor with an ellipse lobe profile // Journal of Mechanical Science and Technology Mechanical Science and Technology. 2009. V. 23. N 11. P. 2928–2937.
3. Kang Y. H., Vu H. H., Hsu C. Factors impacting on performance of lobe pumps: A numerical evaluation // Journal of Mechanics. 2012. V. 28. N 2. P. 229–238.
4. Kang Y. H., Vu H. H. A newly developed rotor profile for lobe pumps: Generation and numerical performance assessment // Journal of Mechanical Science and Technology. 2014. V. 28. N 3. P. 915–926.
5. Li Y., Guo D., Li X. Mitigation of radial exciting force of rotary lobe pump by gradually varied gap // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. 2018. V. 12. P. 711–723.
6. Гинойн Р. В., Кулаткова А. С., Денисюк Е. А. Влияние конструктивных особенностей насосов для подачи смеси мороженого на процесс фризирования и качество готового продукта // Перспективы развития агропромышленного и лесного производства Союзного государства России и Белоруссии: Международная научно-практическая конференция (26.09.2019): материалы. Нижний Новгород: Нижегород. ГСХА, 2019. С. 155–158.

7. Гинойн Р. В., Кулаткова А. С. Применение кулачковых насосов в технологической линии производства мороженого с целью стабилизации подачи смеси // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: VI Международная научно-практическая конференция (31.03.2020): материалы. Краснодар: КубГАУ, 2020. С. 88–92.
8. Li Y. B., Du J., Guo D. S. Numerical research on viscous oil flow characteristics inside the rotor cavity of rotary lobe pump // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2019. V. 41. P. 1–11.
9. Akhmedova N. R., Levicheva O. I., Naumov V. A. Influence of liquid food products viscosity on lobe pump performance (case of pumping fish oil) // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2022. N 3. P. 74–81.
10. Waukesha Cherry-Burrell. Rectangular flange positive displacement pumps. URL: <https://www.spxflow.com/waukesha-cherry-burrell/products/universal-1-series-rectangular-flange-positive-displacement-pumps/> (дата обращения: 08.08.2023).
11. Pomac Pumps Co. Lobe Pumps PLP Series. URL: <https://www.pomacpumps.com/en/pharma/lobe-pump-pKH/> (дата обращения: 08.08.2023).
12. Левичева О. И., Наумов В. А. Некоторые проблемы исследования и подбора оборудования для производства плавящихся сыров: краткий обзор // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т. 9. № 3. С. 27–42.
13. ООО «Технология». Пищевые кулачковые насосы. URL: <https://newhomogenizer.ru/catalog/kulachkovii-nasos/> (дата обращения: 09.09.2023).
14. ООО «ПК Константа». Роторные насосы ОНР. URL: <http://pkkonstanta.ru/katalog/nasosy-pishevye/nasosy-rotornye-onr-ora-pishevye.html> (дата обращения: 09.09.2023).
15. АО «Некрасовский машиностроительный завод». Каталог пищевых роторных насосов ОРА. URL: [http://nmz-yaroslavl.ru/product/pumps/shesterennye\\_nasosy/rotornye\\_nasosy\\_ora/](http://nmz-yaroslavl.ru/product/pumps/shesterennye_nasosy/rotornye_nasosy_ora/) (дата обращения: 09.09.2023).
16. Dimitreli G., Thomareis A. S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity // Journal of Food Engineering. 2004. V. 64. P. 265–271. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2003.10.008.
17. Реологические основы расчета оборудования производства жиросохраняющих пищевых продуктов / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Г. П. Забровский, Л. К. Николаев. Санкт-Петербург: СПбГУиПТ, 2006. 435 с.
18. Исследование реологических характеристик плавленого сыра / С. А. Бредихин, В. Н. Андреев, А. Н. Мартыха, Ю. М. Березовский // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 35–40. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.005.
19. Csizmadia P., Till S. The effect of rheology model of an activated sludge on to the predicted losses by an elbow // Periodica Polytechnica. Mech. Eng. 2018. V. 62. N 4. P. 305–311.
20. Bibok M., Csizmadia P., Till S. Experimental and numerical investigation of the loss coefficient of a 90° pipe bend for power-law fluid // Periodica Polytechnica. Chem. Eng. 2020. V. 64. N 4. P. 469–478.



## References

1. Karassik I. J., Messina J. P., Cooper P., Heald C. C. Displacement Pumps. Pump Handbook. Ed. I. J. Karassik. New York, McGraw-Hill, 2001, pp. 609–640.
2. Jung S. Y., Han S. M., Cho H. Y., Kim C. Automated design system for a rotor with an ellipse lobe profile. Journal of Mechanical Science and Technology Mechanical Science and Technology, 2009, vol. 23, no. 11, pp. 2928–2937.
3. Kang Y. H., Vu H. H., Hsu C. Factors impacting on performance of lobe pumps: A numerical evaluation. Journal of Mechanics, 2012, vol. 28, no. 2, pp. 229–238.
4. Kang Y. H., Vu H. H. A newly developed rotor profile for lobe pumps: Generation and numerical performance assessment. Journal of Mechanical Science and Technology, 2014, vol. 28, no. 3, pp. 915–926.
5. Li Y., Guo D., Li X. Mitigation of radial exciting force of rotary lobe pump by gradually varied gap. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 2018, vol. 12, pp. 711–723.
6. Ginoyan R. V., Kulatkova A. S., Denisyuk E. A. Vliyanie konstruktivnykh osobennostey nasosov dlya podachi smesi morozhenogo na protsess frizerovaniya i kachestvo gotovogo produkta [Comparative evaluation of ice-cream samples produced with application of various pump constructions for submitting a mixture before milling]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivy razvitiya agropromyshlennogo i lesnogo proizvodstva Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii"* [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Prospects for the development of agro-industrial and forestry production of the Union State of Russia and Belarus"]. Nizhniy Novgorod, 2019, pp. 155–158.
7. Ginoyan R.V., Kulatkova A. S. Primenenie kulachkovykh nasosov v tekhnologicheskoy linii proizvodstva morozhennogo s tsel'yu stabilizatsii podachi smesi [The use of lobe pumps in an ice cream production line to stabilize the mixture supply]. *Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii"* [Materials of the VI International Scientific and Practical Conference "Modern aspects of production and processing of agricultural products"]. Krasnodar, 2020, pp. 88–92.
8. Li Y. B., Du J., Guo D. S. Numerical research on viscous oil flow characteristics inside the rotor cavity of rotary lobe pump. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2019, vol. 41, pp. 1–11.
9. Akhmedova N. R., Levicheva O. I., Naumov V. A. Influence of liquid food products viscosity on lobe pump performance (case of pumping fish oil). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 2022, no. 3, pp. 74–81.
10. Waukesha Cherry-Burrell. Rectangular flange positive displacement pumps, available at: <https://www.spxflow.com/waukesha-cherry->



burrell/products/universal-1-series-rectangular-flange-positive-displacement-pumps/ (Accessed 08 August 2023).

11. Pomac Pumps Co. Lobe Pumps PLP Series, available at: <https://www.pomacpumps.com/en/pharma/lobe-pump-pKH/> (Accessed 08 August 2023).

12. Levicheva O. I., Naumov V. A. Nekotorye problemy issledovaniya i podbora oborudovaniya dlya proizvodstva plavlenykh syrov: kratkiy obzor [Some problems of research and selection of equipment for the production of processed cheeses: a brief overview]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2023. vol. 9, no. 3, pp. 27–42.

13. ООО "Технология". *Пishchevye kulachkovye nasosy* [LLC "Technology" Food Cam Pumps], available at: <https://newhomogenizer.ru/catalog/kulachkovii-nasos/> (Accessed 09 September 2023).

14. ООО "PK Konstanta". *Rotornye nasosy ONR* [PC Constanta LLC. Rotary pumps ONR], available at: <http://pkkonstanta.ru/katalog/nasosy-pishevye/nasosy-rotornye-onr-ora-pishevye.html> (Accessed 09 September 2023).

15. АО "Некрасовский машиностроительный завод". *Каталог pishchevykh rotornykh nasosov ORA* [JSC Nekrasovsky Machine-Building Plant. Catalog of food rotary pumps ORA], available at: [http://nmz-yaroslavl.ru/product/pumps/shesterennye\\_nasosy/rotornye\\_nasosy\\_ora/](http://nmz-yaroslavl.ru/product/pumps/shesterennye_nasosy/rotornye_nasosy_ora/) (Accessed 09 September 2023).

16. Dimitreli G., Thomareis A. S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, 2004, vol. 64, pp. 265–271. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2003.10.008.

17. Aret V. A., Nikolaev B. L., Zabrovskiy G. P., Nikolaev L. K. *Reologicheskie osnovy rascheta oborudovaniya proizvodstva zhirosoderzhashchikh pishchevykh produktov* [Rheological principles for calculating equipment for the production of fat-containing food products]. Saint-Petersburg, SPbGUiPT, 2006, 435 p.

18. Bredikhin S. A., Andreev V. N., Martekha A. N., Berezovskiy Yu. M. Issledovanie reologicheskikh kharakteristik plavlenogo syra [Investigation of the rheological characteristics of processed cheese]. *Polzunovskiy vestnik*, 2021, no. 4, pp. 35–40. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.005.

19. Csizmadia P., Till S. The effect of rheology model of an activated sludge on to the predicted losses by an elbow. *Periodica Polytechnica. Mech. Eng.*, 2018, vol. 62, no. 4, pp. 305–311.

20. Bibok M., Csizmadia P., Till S. Experimental and numerical investigation of the loss coefficient of a 90° pipe bend for power-law fluid. *Periodica Polytechnica. Chem. Eng.*, 2020, vol. 64, no. 4, pp. 469-478.

### **Информация об авторах**

**Н. Р. Ахмедова** – кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства

**О. И. Левичева** – аспирант кафедры техносферной безопасности и природообустройства

**В. А. Наумов** – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства

### **Information about the authors**

**N. R. Akhmedova** – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Environmental Management

**O. I. Levicheva** – graduate student of the Department of Technosphere Safety and Environmental Management

**V. A. Naumov** – Doctor of Engineering, Professor of the Department of Technosphere Safety and Environmental Management

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.

The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.

Научная статья  
УДК 681.5.03  
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-57-69

### Идентификация математической модели автоклава МАГ-3/1100

Наталья Сергеевна Будченко<sup>1</sup>, Николай Алексеевич Долгий<sup>2</sup>, Владимир Иванович Устич<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

natalya.budchenko@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4480-8402>

dolgi@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2198-952X>

ustich@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8150-2912>

**Аннотация.** Целью работы являлось получение параметров численной математической модели автоклава МАГ-3/1100, широко используемого предприятиями Калининградской области для стерилизации мясных и рыбных консервов. На этапе анализа автоклава как объекта автоматизации установлены точки контроля основных технологических параметров процесса стерилизации с учетом конструктивных особенностей горизонтального автоклава. Разработана функциональная схема процесса стерилизации мясных консервов с применением горизонтального автоклава МАГ-3/1100 и приведено описание ее работы. В качестве устройства управления автоклавом в системе автоматического регулирования температуры стерилизации выбран программируемый логический контроллер ПЛК210-04 фирмы «ОВЕН». Рассмотрен алгоритм идентификации параметров математической модели автоклава с использованием экспериментальных данных процесса стерилизации, полученных на мясоконсервном заводе «Арго» в г. Калининграде. Идентификация математической модели автоклава представлена передаточными функциями апериодического звена первого порядка с запаздыванием. Моделированием динамики изменения температуры с помощью пакета Solid Thinking Embed определены параметры численной модели. При использовании полученных значений параметров модели автоклава инженерным методом определены оптимальные параметры ПИД-регулятора в системе автоматического регулирования температуры стерилизации. В математической модели максимальное отклонение значения температуры от его действительного значения в автоклаве составило не более 2 °С. С помощью численных параметров идентификации разработана программа управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100 в среде разработки приложений CODESYS V3.5, предложена организация автоматизированного рабочего места оператора управления горизонтальным автоклавом для оперативного контроля текущих значений температуры и давления с целью принятия решений в системе управления процессом стерилизации.

**Ключевые слова:** автоклав, идентификация, модель, передаточная функция, температура стерилизации, регулятор.

**Для цитирования:** Будченко Н. С., Долгий Н. А., Устич В. И. Идентификация математической модели автоклава МАГ-3/1100 // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 57–69. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-57-69.

Original article

### Identification of the mathematical model of the MAG-3/1100 autoclave

Natal'ya S. Budchenko<sup>1</sup>, Nikolay A. Dolgiy<sup>1</sup>, Vladimir I. Ustich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

natalya.budchenko@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4480-8402>

dolgi@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2198-952X>

ustich@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8150-2912>

**Abstract.** The goal of the work was to obtain the parameters of a numerical mathematical model of the MAG-3/1100 autoclave, widely used by enterprises in the Kaliningrad region for the sterilization of canned meat and fish. At the stage of analyzing the autoclave as an automation object, control points for the main technological parameters of the sterilization process have been established, taking into account the design features of the horizontal autoclave. A functional diagram of the process of sterilization of canned meat using a horizontal autoclave MAG-3/1100 has been developed and a description of its operation has been given. The programmable logic controller OWEN PLC210-04 has been selected as the autoclave control device in the automatic sterilization temperature control system. An algorithm for implementing the identification of parameters of a mathematical model of an autoclave using experimental data of the sterilization process obtained at the ARGO meat-packing plant in Kaliningrad has been considered. Identification of the mathematical model of the autoclave is represented by the transfer functions of the first order aperiodic link with delay. By modeling the dynamics of temperature changes using the Solid Thinking Embed package, the parameters of the numerical model have been determined. Using the obtained values of the autoclave model parameters, the optimal parameters of the PID controller in the automatic sterilization temperature control system have been determined using the engineering method. In the mathematical model, the maximum deviation of the temperature value from its actual value in the autoclave was no more than 2 °C. Using numerical identification parameters, a control program for the horizontal autoclave MAG-3/1100 has been developed in the application development environment CODESYS V3.5, and the organization of an automated workstation for the operator of the control of the horizontal autoclave has been proposed for operational monitoring of current temperature and pressure values in order to make management decisions in the sterilization process control system.

**Keywords:** autoclave, identification, model, transfer function, sterilization temperature, regulator.

**For citation:** Budchenko N. S., Dolgiy N. A., Ustich V. I. Identification of the mathematical model of the MAG-3/1100 autoclave. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72) : 57–69. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-57-69.

## ВВЕДЕНИЕ

Стерилизация консервов как технологическая операция завершающей тепловой обработки гарантирует безопасность и сохранность продукта консервации [1]. В зависимости от выбранного технологического режима обработки конкретного вида продукта значение температуры стерилизации изменяется от 100 до 130 °С. Выполнение точного регламента режима стерилизации особенно характерно для мясных консервов, так как они содержат животные продукты, обогащенные жирами и белками, и при нарушении режима переработки или хранения консервов возникают оптимальные условия для развития бактерий [2]. Нарушение регламента режима стерилизации консервов в автоклаве может привести к их возможной разгерметизации [3].

В настоящее время для стерилизации консервов используются разнообразные конструкции промышленных автоклавов. В пищевой промышленности это вертикальные и горизонтальные автоклавы широкого спектра разновидностей, размеров и принципов действия, которые при необходимости снабжаются внутренними, наружными или выносными теплообменниками, механическими, электромагнитными либо пневматическими перемещающимися устройствами и контрольно-измерительными приборами для фиксации и регулирования давления, температуры, уровня жидкости, расхода воды и пара. Точное соблюдение формулы стерилизации, включающей подъем, выдержку определенной величины и снижение давления и температуры в автоклаве, может быть обеспечена только применением системы автоматического управления, синтез которой и параметрическая настройка ее регуляторов требуют знания математической модели процесса автоклава [4].

Одним из распространенных видов аппаратов, используемых для стерилизации мясных консервов, является промышленный горизонтальный автоклав МАГ-3/1100. Цель работы – получение параметров его численной математической модели.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассматриваемый горизонтальный автоклав МАГ-3/1100 периодического действия является одним из распространенных видов автоклавов в Калининградской области. Он позволяет осуществлять процесс стерилизации консервов любого размера при любых значениях температуры и давления, которые выбираются в зависимости от номера банки. Устройство горизонтального автоклава МАГ-3/1100 показано на рис. 1. Конструктивно автоклав представляет собой металлический корпус 1 из нержавеющей стали размером 3480 x 1700 x 1650 мм и диаметром отверстия 1100 мм, рассчитанный на загрузку трех корзин с консервной продукцией 2, к которому подведены трубопроводы подачи в автоклав воды 3, пара 4, сжатого воздуха 5, трубопроводы продувки 6 и слива воды 7. Спереди автоклава расположена его крышка 8, которая имеет герметизирующее уплотнение, позволяющее плотно закрывать крышку перед началом каждого цикла стерили-

лизации. Внутри корпуса автоклава МАГ-3/1100 расположена камера стерилизации 9, в которой вмонтированы паровой барботер 10 для нагрева до температуры

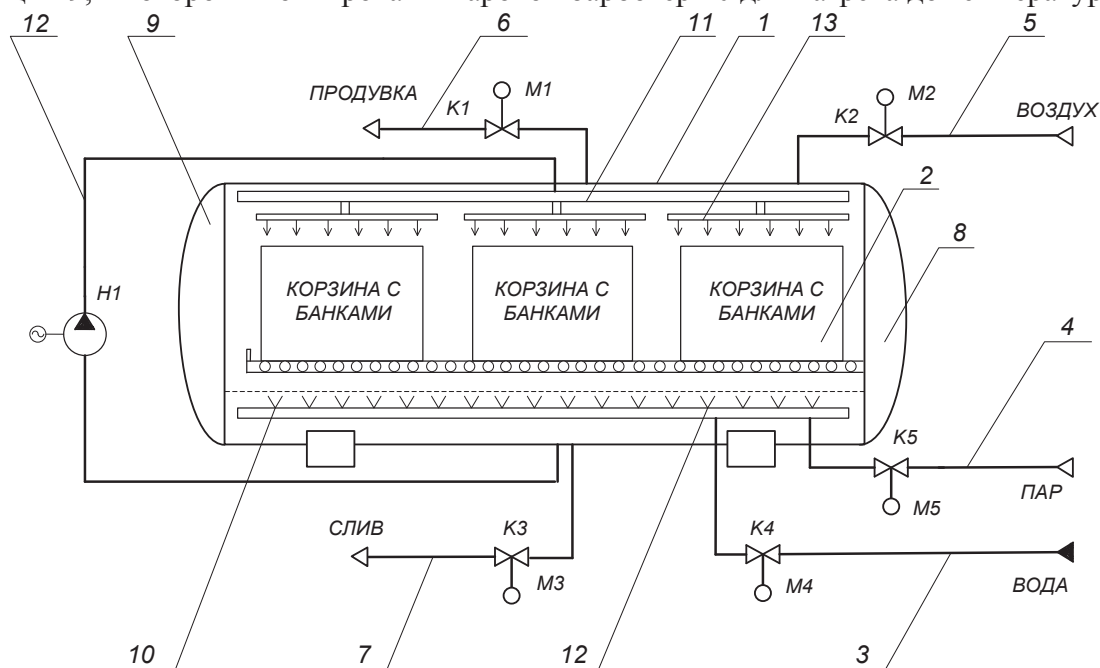


Рис. 1. Устройство горизонтального автоклава МАГ-3/1100  
Fig. 1. Design of the horizontal autoclave MAG-3/1100

стерилизации поступающей в автоклав воды, устройство орошения 11, представляющее собой трубу, в которую по циркуляционному трубопроводу 12 попадает вода, металлические пластины для равномерного орошения 13 и направляющие с роликами для загрузки или выгрузки корзин из автоклава 14.

При анализе автоклава как объекта автоматизации разработана функциональная схема автоматизации автоклава МАГ-3/1100 (рис. 2). На ней отображены точки контроля и регулирования технологических параметров процесса стерилизации. В качестве управляющего устройства используется программируемый логический контроллер ПЛК 210-04 фирмы «ОВЕН».

После закрытия крышки автоклава, положение которой отслеживается датчиком ZE9-A, и запуска программы стерилизации контроллер открывает клапан продувки K1 для сброса избыточного давления из автоклава. При нулевом значении датчика давления PE2-A клапан K1 закрывается и открывается клапан подачи воды K4, поднимая уровень воды в автоклаве до нижнего рабочего значения, который отслеживается датчиком уровня LE6-A. При достижении нижнего рабочего уровня клапан подачи воды K4 закрывается. Индикатор HL4 отслеживает отклонение давления от нормы в трубопроводе подачи воды.

Для нагрева воды контроллер формирует управляющий сигнал на клапан подачи пара K5 и включает циркуляционный насос Н1, запуская электродвигатель M1. Работа насоса фиксируется индикатором HL1, температура воды измеряется с помощью датчика TE1-A. Датчики PE3-A и FE5-A отслеживают давление циркуляционного насоса Н1 и расход воды.



При нагреве воды до заданной температуры контроллер выключает клапан пара, используя показания датчика TE1-A.

Через фиксированный интервал времени контроллер дает команду открыть клапан подачи сжатого воздуха K2 для создания внутри автоклава противодействия. Клапан K2 закроется при условии, если показания датчика давления будут равны 0,22 МПа. Сразу после этого контроллер открывает клапан подачи воды K4 для поднятия ее уровня внутри автоклава до верхнего рабочего уровня, уровень воды отслеживается датчиком LE6-A. При достижении верхнего заданного значения уровня клапан K4 закроется, но откроется клапан слива K5, чтобы слить воду до нижнего уровня. Когда уровень доходит до нижнего значения, снова открывается клапан подачи воды K4. Таким образом происходит замещение воды, следовательно, вода охлаждается, что фиксируется датчиком температуры TE1-A. Цикл замещения воды завершится, когда показания датчика температуры TE1-A будут равны 35–40 °С, после чего клапаны K3 и K4 закроются.

В конце по команде контроллера выключается циркуляционный насос Н1, сбрасывается давление клапаном K1, сливается вся вода из автоклава посредством клапана K3.

Для построения математической модели автоклава использовались экспериментально полученные зависимости температуры и давления процесса стерилизации в автоклаве МАГ-3/1100 [5–9]. Параметры модели должны быть определены в результате решения задачи идентификации по измеряемым значениям управляемого и управляющего сигналов при работе автоклава в режимах промышленной эксплуатации [10–12].

Алгоритм идентификации параметров математической модели автоклава был реализован следующим образом. В момент начала стерилизации, после заполнения автоклава водой, регулятор температуры установлен на заданное значение 124 °С, что соответствует стерилизации консервов «Говядина тушеная», банка № 8. Далее значения температуры и давления в автоклаве, поступающего с датчика температуры ДТС045М-50М.0,5.120.МГ.РС, с точностью  $\pm 1$  °С фиксировались контроллером ПЛК210-04.

Пример просмотра протокола стерилизации показан на рис. 3. Повышение температуры происходит за счет подачи пара в низ автоклава, где осуществляется передача тепла греющей среде (циркулирующей воде). Повышение давления осуществляется путем подачи воздуха через клапан в автоклав. Конечная температура должна достигнуть температуры стерилизации  $T_{стр}$ , конечное давление  $P_{стр}$  – противодействия стерилизации.

Как видно из рис. 3, фаза нагрева разбита на два этапа:

– *этап 1* (предварительный нагрев). Максимально быстрый подъем температуры до значения не выше 95 °С, при этом клапан пара и клапан продувки постоянно открыты;

– *этап 2* (регулируемый нагрев). Линейное повышение температуры и давления до значения, заданного выбранной формулой стерилизации. Повышение температуры происходит за счет подачи пара в низ автоклава, где тепло передается греющей среде (циркулирующей воде).

Повышение давления осуществляется путем подачи воздуха через клапан в автоклав.



Параметры численной математической модели стерилизационной камеры горизонтального автоклава идентифицированы с помощью аperiодического звена первого порядка с запаздыванием [13, 14]:

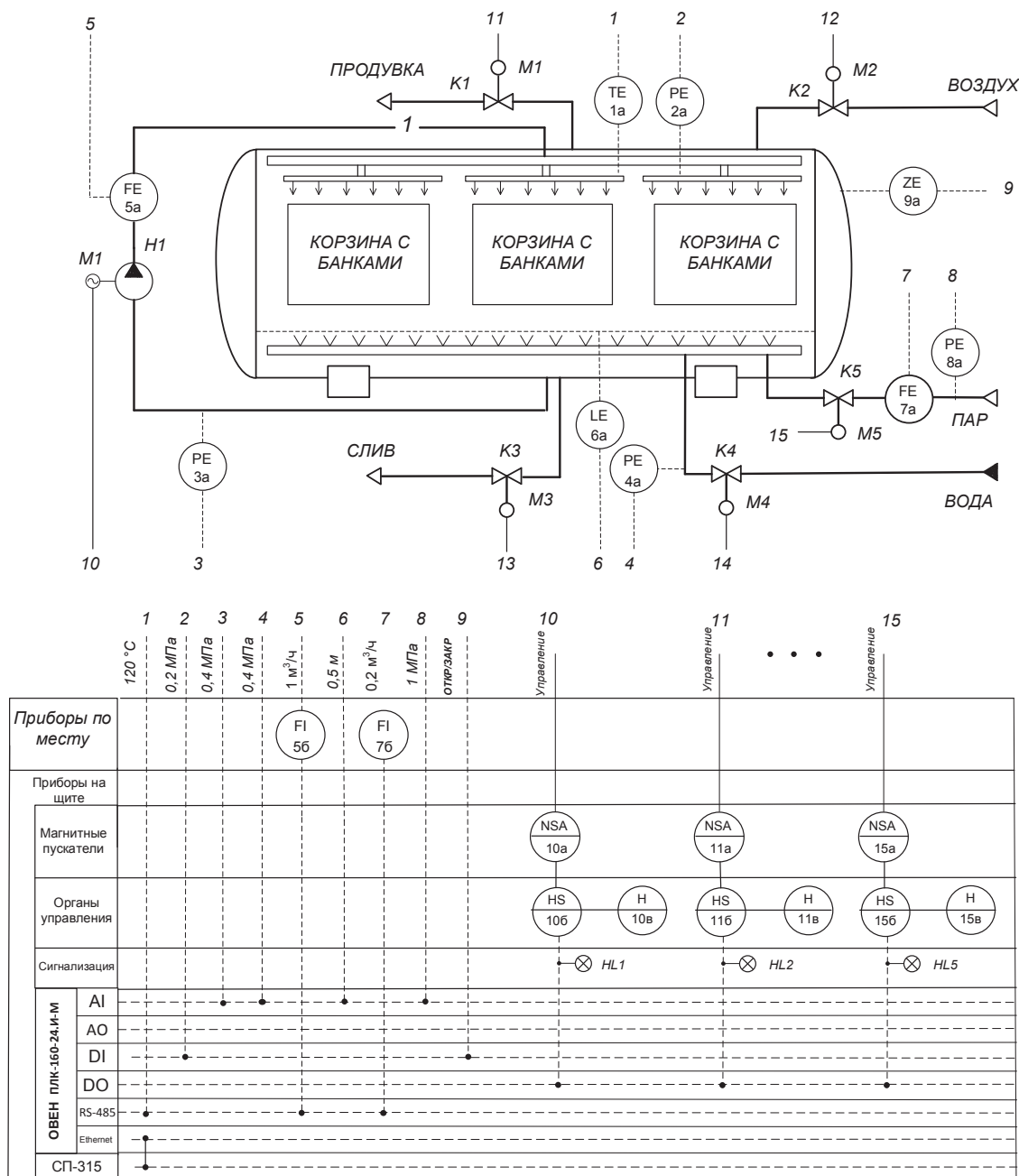


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации автоклава МАГ-3/1100  
 Fig. 2. Functional diagram of autoclave automation MAG-3/1100

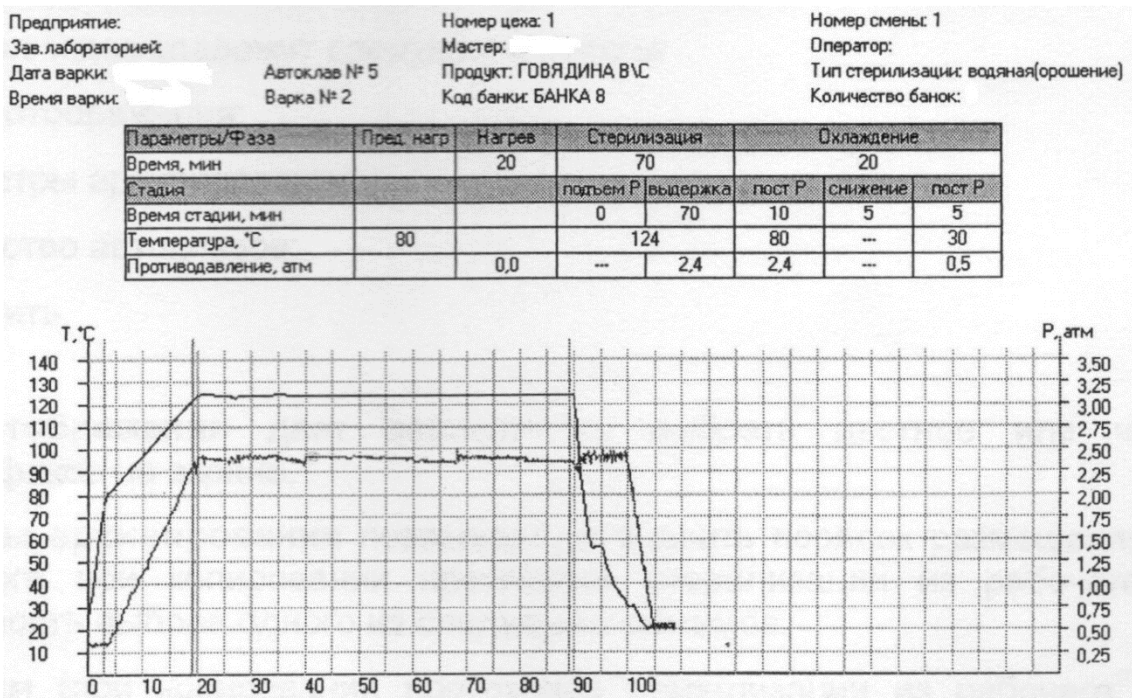


Рис. 3. Пример архивного протокола процесса стерилизации консервов  
 Fig. 3. An example of an archival protocol for the sterilization process of canned food

$$W(s) = \frac{k}{T*s+1} * e^{-s*t},$$

где  $k$  – коэффициент передачи объекта управления (автоклава),  $с^{\circ}C/кг$ ;  
 $T$  – постоянная времени, мин;  
 $t$  – время запаздывания, мин.

При нагреве автоклава передаточная функция принимает следующий вид:

$$W(s) = \frac{30}{17*s+1} * e^{-s*3}.$$

Для подтверждения адекватности математической модели температуры автоклава проведен эксперимент, в котором среда полости автоклава нагревалась в температурных диапазонах от 30 до 124 °С и от 15 до 95 °С. Используя программный продукт Solid Thinking Embed для моделирования температурных режимов работы автоклава, были определены параметры численной модели ( $k$ ,  $T$ ,  $t$ ). Максимальное отклонение численной математической модели температуры автоклава от истинного значения в аппарате не превысило 2 °С.

По полученным значениям параметров численной модели автоклава был проведен подбор оптимальных параметров ПИД-регулятора на основе критерия максимальной степени устойчивости [15].

В результате моделирования для установки температуры 95 °С с учетом начальной температуры 15 °С были подобраны следующие коэффициенты ПИД-регулятора:  $Kn = 0,09$ ;  $Ki = 0,006$ ;  $Kd = 0,1$ . Переходная характеристика модели представлена на рис. 4.

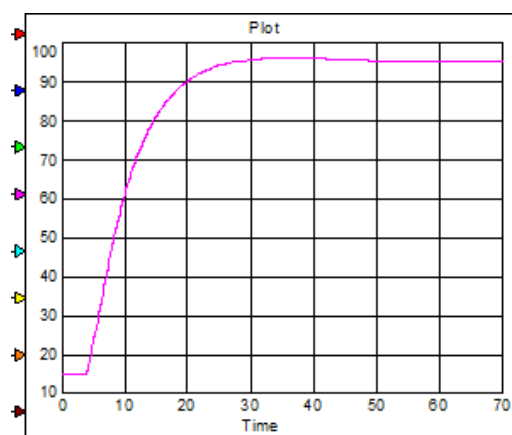


Рис. 4. Переходной процесс численной модели температуры автоклава с ПИД-регулятором с оптимальными параметрами настройки  
Fig. 4. Transient process of numerical autoclave temperature model with PID controller with optimal settings

Создана программа управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100 в среде разработки приложений CODESYS V3.5, а также создана необходимая база для расширения автоматизации производства консервной продукции путем создания АРМ и выбора многофункционального современного контроллера ПЛК210-04-CS. Автоматизированное рабочее место для управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100 представлено на рис. 4. Визуализация изменения температуры в автоклаве показана на рис. 5.

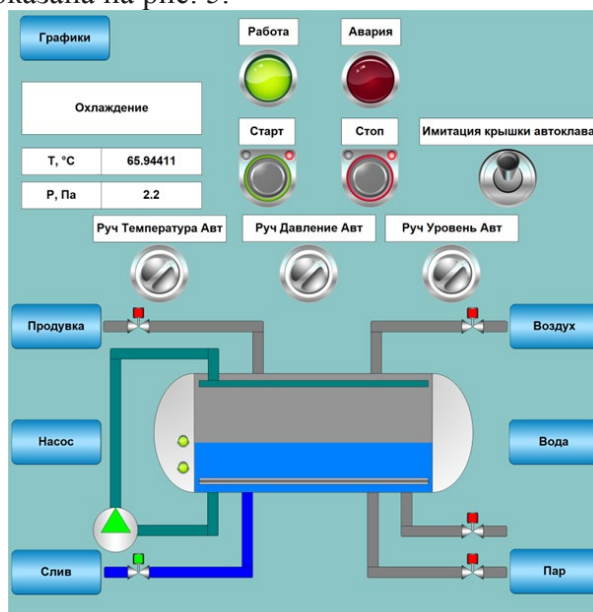


Рис. 5. Автоматизированное рабочее место для управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100  
Fig. 5. Automated workstation for controlling the horizontal autoclave MAG-3/1100

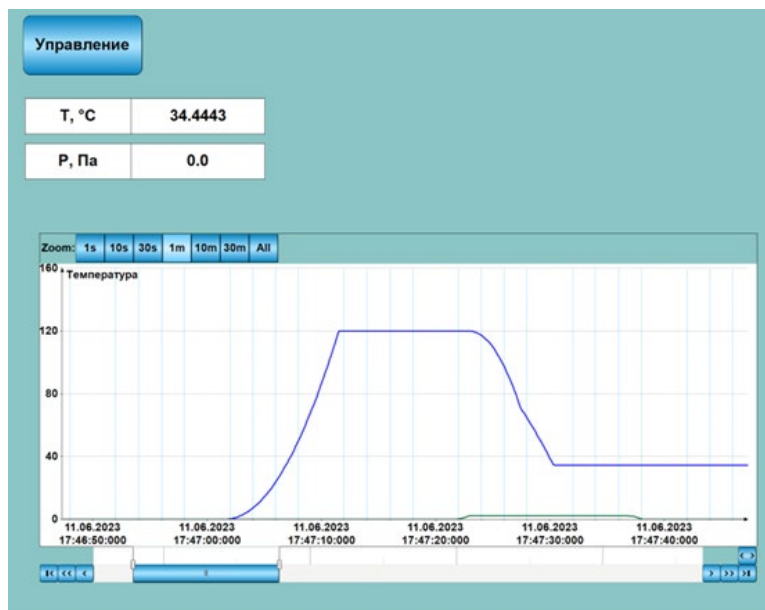


Рис. 6. График изменения температуры в автоклаве  
Fig. 6. Graph of temperature changes in the autoclave

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математическая модель представлена передаточными функциями, построенными по переходной характеристике процесса стерилизации. Информация о температуре и давлении в автоклаве поступала с датчиков в программируемый логический контроллер «ОВЕН» ПЛК210-04-CS. В математической модели максимальное расхождение значения температуры от истинного его значения в автоклаве составило не более 2 °С. С целью получения переходного процесса регулирования температуры в автоклаве при регламентированном значении отклонения  $\pm 1$  °С в системе автоматического управления был использован ПИД-регулятор, параметры настройки которого определены инженерным методом.

В результате выполненной работы получена математическая модель горизонтального автоклава МАГ-3/1100, определены параметры математической модели температуры в автоклаве, разработана программа управления автоклавом с оптимальными параметрами регулирования, с применением программной среды CoDeSys. Полученные результаты планируется использовать при модернизации САУ автоклава МАГ-3/1100.

### Список источников

1. Бабарин В. П. Стерилизация консервов: справочник. СПб: ГИОРД, 2006. 305 с.
2. Мишанин Ю. Ф., Рашидова Г. М. Состав микроорганизмов при производстве мясных консервов // Современные научные исследования и инновации в области применения суб- и сверхкритических технологий: Международная научно-

техническая конференция (21 мая 2014): материалы. КубГТУ. Краснодар, 2014. С. 81–87.

3. Будченко Н. С., Долгий Н. А. Автоматизированный контроль герметичности стерилизованных консервов // Балтийский морской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума, 04–09 октября 2021 года. Калининград, Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. Т. 6. С. 109–112.

4. Варламов Н. А., Назаров М. А. Математическая модель процесса автоклавирования гипсового щебня как объекта управления // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы, 08–12 апреля 2019 года. Комсомольск-на-Амуре, Изд-во КНАГТУ, 2019. Ч. 2. С. 250–253.

5. Мокрушин С. А., Благовещенский И. Г. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2022. 169 с. ISBN 978-5-907679-35-1.

6. Методика идентификации объекта управления с целью его дальнейшей автоматизации / С. А. Мокрушин, В. С. Хорошавин, А. В. Шабалин, К. А. Михайлов // Общество, наука, инновации (НПК-2013): Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция (15-26 апреля): материалы. Киров: Вятский государственный университет, 2013. С. 1126–1130.

7. Тюков Н. И., Даутов А. И., Закурдаева Е. А. Математическая модель управления процессом разогрева автоклава при производстве изделий из композиционных материалов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2008. Т. 10. № 2. С. 159–163.

8. Предварительный подбор режима стерилизации консервов «Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла» на основе разработанных математических моделей процесса / А. А. Маслов, А. В. Столянов, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 4. С. 861–868.

9. Stolyanov A., Zhuk A., Vlasov A. Complex for modeling and optimization the sterilization process // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH-2019, Rostov-on-Don: V. 403. P. 012016. DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012016.

10. Исследование влияния неоднородности температурного поля при продувке стерилизационной камеры автоклава на различие стерилизующих эффектов в банках / А. М. Ершов, В. А. Гроховский, А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченев // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12. № 1. С. 52–57.

11. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / пер. с англ. В. А. Лотоцкого, А. С. Манделя; под ред. А. С. Райбмана. М.: Мир, 1975. 686 с. [Pieter Eykhoff. System identification. Parameter and state estimation. University of Technology. Eindhoven, Netherlands. Wiley, 1974. 555 p.].

12. Льюнг Л. Идентификация систем: теория для пользователя / пер. с англ. А. С. Манделя, А. В. Назина; под ред. Я. З. Цыпкина. М.: Наука, 1991. 432 с. [Len-



nart Ljung. System identification: theory for the user. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N. J., 1987. 511 p.].

13. Идентификация параметров численной математической модели стерилизационной камеры судового автоклава ASCAMAT 230 с целью разработки оптимальной системы автоматического управления / А. В. Кайченков, А. В. Власов, А. А. Маслов, А. А. Жук, В. В. Яценко // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2018. № 1. С. 7–17.

14. Жук А. А. Численный поиск параметров математических моделей пищевых продуктов из гидробионтов для процессов пастеризации // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2021. № 2. С. 89–98.

15. Магергут В. З., Вент Д. П., Кацер И. А. Выбор промышленных регуляторов и расчет их оптимальных настроек: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. 239 с.

### References

1. Babarin V. P. *Sterilizatsiya konservov: spravochnik* [Sterilization of canned food: reference book]. Saint-Petersburg, GIORД Publ., 2006, 305 p.

2. Mishanin Yu. F., Rashidova G. M. Sostav mikroorganizmov pri proizvodstve myasnykh konservov [Composition of activities in the production of canned meat]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii v oblasti primeneniya sub- i sverkhkriticheskikh tekhnologiy: Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konfe-rentsiya (21 maya 2014): materialy* [Modern scientific research and innovation in the field of application of sub- and supercritical technologies: International scientific and technical conference (May 21, 2014): proceedings]. KubGTU Publ., Krasnodar, 2014, pp. 81–87.

3. Budchenko N. S., Dolgiy N. A. Avtomatizirovannyi kontrol' germetichnosti sterilizovannykh konservov [Automated control of the tightness of sterilized canned food]. *Baltiyskiy morskoy forum: materialy IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 04–09 oktyabrya 2021 goda* [Baltic Maritime Forum: proceedings of the IX International Baltic Maritime Forum, October 04–09, 2021]. Kaliningrad, BGARF FGBOU VO «KGTU» Publ., 2021, vol. 6, pp. 109–112.

4. Varlamov N. A., Nazarov M. A. Matematicheskaya model' protsessa avtoklavirovaniya gipsovogo shchebnaya kak ob"ekta upravleniya [Mathematical model of the process of autoclaving gypsum crushed stone as object control]. *Molodezh' i nauka: aktual'nye problemy fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy: II Vserossiyskaya natsional'naya nauchnaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh: materialy, 08–12 aprelya 2019 goda* [Youth and science: current problems of fundamental and applied research: II All-Russian National Scientific Conference of students, postgraduate students and young scientists: materials, April 08–12, 2019]. Komsomol'skiy-na-Amure, Izd-vo KnAGTU, 2019, part 2, pp. 250–253.

5. Mokrushin S. A., Blagoveshchenskiy I. G. *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy upravleniya tekhnologicheskim protsessom sterilizatsii konservov v promyshlennom avtoklave* [Development of an automated control system for the technological process of sterilization of canned food in an industrial autoclave]. Kursk, Zakrytoe aktsionnoe obshchestvo "Universitetskaya kniga" Publ., 2022, 169 p. ISBN 978-5-907679-35-1.

6. Mokrushin S. A., Khoroshavin V. S., Shabalin A. V., Mikhaylov K. A. Metodika identifikatsii ob"ekta upravleniya s tsel'yu ego dal'neyshey avtomatizatsii [Methodology for identifying a control object for the purpose of its further automation]. *Obshchestvo, nauka, innovatsii (NPK-2013): Vserossiyskaya ezhegodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (15–26 aprelya): materialy* [Society, science, innovation (NPK-2013). All-Russian annual scientific and practical conference (April 15-26): proceedings]. Kirov, Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2013, pp. 1126–1130.
7. Tyukov N. I., Dautov A. I., Zakurdaeva E. A. Matematicheskaya model' upravleniya protsessom razogreva avtoklava pri proizvodstve izdeliy iz kompozitsionnykh materialov [Mathematical model for controlling the autoclave heating process during the production of products from composite materials]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008, vol. 10, no. 2, pp. 159–163.
8. Maslov A. A., Stolyanov A. V., Kaychenov A. V., Kuranova L. K. Predvaritel'nyy podbor rezhima sterilizatsii konservov «Skumbriya atlanticheskaya na-tural'naya s dobavleniem masla» na osnove razrabotannykh matematicheskikh modeley protsessa [Preliminary selection of the sterilization mode for canned food «Natural Atlantic mackerel with added oil» based on developed mathematical models of the process]. *Vestnik MGTU*, 2016, vol. 19, no. 4, pp. 861–868.
9. Stolyanov A., Zhuk A., Vlasov A. Complex for modeling and optimization the sterilization process. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH-2019, Rostov-on-Don, vol. 403, p. 012016. DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012016.
10. Ershov A. M., Grokhovskiy V. A., Maslov A. A., Vlasov A. V., Kaychenov A. V. Issledovanie vliyaniya neodnorodnosti temperaturnogo polya pri produvke sterilizatsionnoy kamery avtoklava na razlichie sterilizuyushchikh effektiv v bankakh [Study of the influence of inhomogeneity of the temperature field when purging the sterilization chamber of an autoclave on the difference in sterilizing effects in jars]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 12, no. 1, pp. 52–57.
11. Eykhhoff P. System identification. Parameter and state estimation. University of Technology, Eindhoven, Netherlands, Wiley, 1974. 555 p. (Russ. Ed.: Eykhhoff P, Raibman A. S., Lototsky V. A., Mandel A. S. Osnovy identifikatsii sistem upravleniya. Otsenivanie parametrov i sostoyaniya. Moscow, Mir Publ., 1975, 686 p.).
12. L'yung L. System identification: theory for the user. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N. J., 1987. 511 p. (Russ. Ed.: L'yung L., S., Tsyarkin Ya. Z., Mandel A. S., Nazin A. V. Identifikatsiya sistem: teoriya dlya pol'zovatelya. Moscow, Nauka Publ., 1991, 432 p.).
13. Kaychenov A. V., Vlasov A. V., Maslov A. A., Zhuk A. A., Yatsenko V. V. Identifikatsiya parametrov chislennoy matematicheskoy modeli sterilizatsionnoy kamery sudovogo avtoklava ASCAMAT 230 s tsel'yu razrabotki optimal'noy sistemy avtomaticheskogo upravleniya [Identification of parameters of the numerical mathematical model of the sterilization chamber of the ship autoclave ASCAMAT 230 in order to develop an optimal automatic control system]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no. 1, pp. 7–17.



14. Zhuk A. A. Chislennyy poisk parametrov matematicheskikh modeley pishchevykh produktov iz gidrobiontov dlya protsessov pasterizatsii [Numerical search for parameters of mathematical models of food products from hydrobionts for pasteurization processes]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 2, pp. 89–98.

15. Magergut V. Z., Vent D. P., Katser I. A. Vybor promyshlennykh regulyatorov i raschet ikh optimal'nykh nastroek [Selection of industrial regulators and calculation of their optimal settings]. Belgorod, BGTU Publ., 2009, 239 p.

### **Информация об авторах**

**Н. С. Будченко** – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

**Н. А. Долгий** – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

**В. И. Устич** – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматики

### **Information about the authors**

**N. S. Budchenko** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

**N. A. Dolgii** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

**V. I. Ustich** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.

The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.

Научная статья  
УДК 639.385(06)  
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-70-80

### Разработка способа получения пищевой добавки на основе нерестовой чешуи салаки

Виктор Иванович Воробьев<sup>1</sup>, Ольга Павловна Чернега<sup>2</sup>, Елена Владимировна Нижникова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

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

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

<sup>3</sup>elena.nizhnikova@klgtu.ru <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

**Аннотация.** Исследование направлено на разработку экономически приемлемого способа, позволяющего вовлечь практически неиспользуемый побочный продукт переработки нерестовой салаки, чешую с прочно прикрепленной к ней икрой в промышленное производство пищевых добавок. Определены общий химический состав высушенной нерестовой чешуи салаки (белок – 67,89 %, зола – 19,08 %, жир – 0,14 %, влага – 12,10 %), а также очищенной от икры чешуи (белок – 38,01 %, зола – 48,27 %, жир – 0,20 %, влага – 12,90 %). Выявлено, что процесс высушивания нерестовой чешуи салаки горячим воздухом сопровождается образованием комков, которые необходимо постоянно измельчать. Последующее измельчение ножевой мельницей полученного высушенного продукта приводит к быстрому образованию монолитной пластичной массы и остановке оборудования. С целью оптимизации процесса сушки и последующего измельчения предложено перед обработкой смешивать нерестовую чешую салаки с растительным сырьем (дробленой пшеницей) в массовом соотношении 30:70, что способствует предотвращению образования комков и сокращает продолжительность процесса обезвоживания, а также позволяет измельчить высушенную смесь до состояния муки, имеющей незначительную крупитчатость. Полученный продукт в виде муки был использован в качестве панировочной смеси для кулинарных полуфабрикатов (охлажденного филе окуня и трески, морковных и мясных котлет, творожников) перед их термообработкой. Представлено изменение массы опытных и контрольных (панировка пшеничной мукой) образцов кулинарных изделий до и после их обжарки в масле. Показано, что панировочная смесь, состоящая из нерестовой чешуи салаки и пшеницы, улучшает органолептические показатели качества и снижает потери массы кулинарных полуфабрикатов в процессе их обжарки по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** рыба чешуя, пищевая добавка, икра салаки, панировочная смесь, кулинарные полуфабрикаты.

**Финансирование:** Исследование осуществлялось в рамках проекта Федерального агентства по рыболовству (Министерство сельского хозяйства Российской Федерации) с рег. № 122030900086-1 от 09.03.2022, код 01-32-05-1 «Развитие и совершенствование производственных систем пищевой промышленности».

**Для цитирования:** Воробьев В. И., Чернега О. П., Нижникова Е. В. Разработка способа получения пищевой добавки на основе нерестовой чешуи салаки // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 70–80. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-70-80.

Original article

### **Development of a method for producing a food additive based on spawning scales of Baltic herring**

**Viktor I. Vorob'ev<sup>1</sup>, Ol'ga P. Chernega<sup>2</sup>, Elena V. Nizhnikova<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

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

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

<sup>3</sup>elena.nizhnikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

**Abstract.** The research is aimed at developing an economically acceptable way to involve a practically unused by-product of the processing of spawning Baltic herring, scales with its caviar firmly attached to it, into the industrial production of food additives. The general chemical composition of dried herring spawning scales has been determined (protein – 67.89%, ash – 19.08%, fat – 0.14%, moisture – 12.10%), as well as its scales cleaned from caviar (protein – 38.01%, ash – 48.27%, fat – 0.20%, moisture – 12.90%). It has been revealed that the process of drying (hot air) of herring spawning scales is accompanied by the formation of lumps, which must be constantly crushed. Subsequent grinding (knife mill) of the resulting dried product leads to the rapid formation of a monolithic plastic mass and stopping the equipment. In order to optimize the drying process and subsequent grinding, it has been proposed to mix the spawning scales of herring with plant raw materials (crushed wheat) in a mass ratio of 30:70 before processing, which helps prevent the formation of lumps and reduces the duration of the dehydration process, and also allows Grind the dried mixture to a slightly coarse flour. The resulting product, in the form of flour, has been used as a breading mixture for semi-finished culinary products (chilled perch and cod fillets, carrot and meat cutlets, cottage cheese) before their heat treatment. The paper presents changes in mass of experimental and control (breaded with wheat flour) samples of culinary products before and after frying in oil. It has been shown that a breading mixture consisting of spawning scales of herring and wheat improves organoleptic quality indicators and reduces weight loss of culinary semi-finished products during frying compared to the control.

**Keywords:** fish scales, food additive, herring caviar, breading mixture, culinary semi-finished products.

**Funding:** The research was carried out within the framework of the project of the Federal Agency for Fishery (Ministry of Agriculture of the Russian Federation) with

reg. № 122030900086-1 from 03.09.2022, code 01-32-05-1 "Development and improvement of production systems of food industry".

**For citation:** Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Nizhnikova E. V. Development of a method for producing a food additive based on spawning scales of Baltic herring. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72) : 70–80. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-70-80.

## ВВЕДЕНИЕ

Международный совет по исследованию морей (ICES) 31 мая 2023 г. опубликовал научные рекомендации по резкому сокращению промысла балтийской сельди, или салаки (*Clupea harengus membras*), путем сокращения квоты на вылов примерно на 50 % по сравнению с 2023 годом, так как ее запасы находятся на очень низком уровне [1].

При этом, по данным Института природных ресурсов (Финляндия, 2021 г.), только около 3 % от общего вылова салаки идет в пищу, остальное количество поступает на корм пушным зверям и разводимой рыбе, а также на производство рыбной муки (на Финляндию и Швецию приходится более 50 % всего вылова салаки) [2, 3].

Основным аргументом непищевого применения салаки является высокий уровень диоксида и полихлорбиофенила (ПХБ) в Балтийском море, хотя лосось, камбала, треска, килька, выловленные в данной акватории, практически полностью используются в пищевом направлении [3, 4]. Кроме того, за последние 40 лет уровень токсинов в Балтийском море снизился до 80 %, особенно у мелкой рыбы [5, 6]. Проведенные исследования по определению концентрации диоксинов у салаки длиной менее 19 см показали, что они ниже пороговых значений, установленных Европейским союзом, и имеют тенденцию к дальнейшему снижению [6].

Быстрый рост населения планеты и увеличивающийся дефицит животного белка требуют изыскания безотходных технологий, позволяющих перерабатывать рыбу и побочные продукты ее переработки на пищевые цели экономически приемлемыми способами.

В процессе вылова нерестовой салаки и последующей ее мойки образуется значительное количество (исчисляется в тоннах) легко отделяющейся от рыбы чешуи и икры, прочно удерживаемой на ее поверхности, которые практически не используются.

Известен способ переработки рыбьей чешуи, когда после предварительной очистки и сушки чешую измельчают и сепарируют, получая коллагенсодержащую добавку, используемую в рецептурах различной пищевой продукции (хлебобулочные изделия и др.) [7,8].

Учитывая высокую биологическую ценность икры салаки и ее чешуи как источника коллагена и гидроксиапатита кальция, являющегося основой костей, зубов животных и человека, возникает необходимость разработки технологии, способствующей созданию новой пищевой продукции из побочных продуктов переработки рыбы [9].

Промышленная переработка чешуи салаки с прилипшей к ней ее икрой позволит получить новую белковую пищевую добавку и снизить негативную антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Цель работы – разработка экономически приемлемого способа получения пищевой продукции с использованием нерестовой чешуи салаки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сырьем для исследований являлась чешуя нерестовой салаки (*Clupea harengus membras*) с прилипшей к ней ее икрой, полученная в процессе обработки рыбы на рыбокомбинате «За Родину» (п. Взморье, Калининградская обл.). Общий химический анализ образцов чешуи салаки (влаги, жира, белка, зола) определялся в сертифицированной испытательной лаборатории ООО «Калининградский испытательный центр» в соответствии с нормативной документацией<sup>1</sup>.

Наработка опытных и контрольных образцов кулинарной продукции осуществлялась в лабораториях кафедр продуктов питания и органической химии Калининградского государственного технического университета (КГТУ).

Потери сырья при обжарке панированных полуфабрикатов, а также органолептическую оценку опытных образцов полученной кулинарной продукции определяли стандартными и общепринятыми методами<sup>2,3</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что белки рыбьей чешуи обладают достаточно высокой биологической ценностью (88,42 % и 89,50 % соответственно у горбуши и толстолобика) по сравнению с другими субпродуктами этих рыб (67,03–85,52 % – головы, жабры, кости, кожа, плавники, внутренности), образующимися при разделке гидробионтов [10]. Рыбья чешуя имеет жесткую иерархическую структуру «фанерного» типа, представленную поверхностным высокоминерализованным (костным) слоем, состоящим преимущественно из гидроксипатита кальция, и внутренним (базальным) в виде плотно упакованных пучков коллагеновых волокон (ламелей), образующих слои (ламинаты) [11–15]. Для снижения жесткости чешуи рыб и использования в пищевых целях осуществляют ее гидролиз (кислотный, щелочной, ферментативный, термический), что значительно увеличивает себестоимость конечной продукции и существенно ограничивает ее производство в промышленных масштабах. Для устранения указанных недостатков был разработан экономически приемлемый способ переработки рыбьей чешуи нерестовой салаки с прилипшей к ней ее икрой (ЧИС), где отсутствовал процесс гидролиза.

Чешуя салаки представляет собой тонкую пластинку площадью 4–10 мм<sup>2</sup>, по форме близкую к эллипсоиду.

---

<sup>1</sup> ГОСТ 7636-85 (2010) «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». М.: Стандартинформ.

<sup>2</sup> ГОСТ 31988-2012 (2019) «Услуги общественного питания. Метод расчета отходов и потерь сырья и пищевых продуктов при производстве продукции общественного питания». М.: Стандартинформ.

<sup>3</sup> ГОСТ 31986-2012 (2019) «Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания». М.: Стандартинформ.

Внешний вид высушенной ЧИС и механически очищенной от икры чешуи салаки (кратковременная обработка высушенной ЧИС в высокоскоростном ножевом измельчителе (5 с) с последующим сепарированием (сито 2 мм) и отделением икры) показан на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид высушенной нерестовой чешуи салаки с ее икрой (слева) и очищенной от икры чешуи (справа)  
Fig. 1. Appearance of dried spawning scales of Baltic herring with eggs (left) and scales cleaned from eggs

Общий химический состав высушенной ЧИС и механически очищенной от ее икры чешуи салаки представлен в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав высушенной ЧИС и механически очищенной от ее икры чешуи салаки  
Table 1. General chemical composition of dried BHSS and mechanically cleaned Baltic herring scales from herring eggs

Сырье	Массовая доля, %			
	белка	зола	воды	жира
Нерестовая чешуя салаки с прилипшей к ней ее икрой (ЧИС)	67,89	19,08	12,10	0,14
Нерестовая чешуя салаки, механически очищенная от прилипшей к ней ее икры	38,01	48,27	12,90	0,20

Как видно из табл. 1, высушенная нерестовая чешуя салаки с прилипшей к ней ее икрой имеет более высокую массовую долю белка (67,89 %) и пониженную – золы (19,08 %) по сравнению с чешуей, очищенной от икры (соответственно 38,01 % и 48,27%).

Предлагаемый способ переработки заключался в предварительной промывке ЧИС и ее последующей сушке воздухом (60 °С) до влажности не более 13 %. В процессе сушки ЧИС образовывались комки (ввиду высокой клеящей способности икры), которые необходимо было измельчать, что значительно увеличивало продолжительность сушки и способствовало снижению качества получаемого продукта. Последующее измельчение высушенной чешуи с икрой при помощи ножевого измельчителя приводило к быстрому образованию монолитной пластич-



ной массы и остановке оборудования. Поэтому перед сушкой ЧИС смешивали с растительным сырьем в виде дробленого зерна пшеницы в массовом соотношении 30:70, полученную смесь обезвоживали (электросушилка Clatronic DR 275) и измельчали в высокоскоростном мультифункциональном измельчителе (чаша 0,8 литра, 36000 об./мин, 3000 Вт, производитель Zhejiang Winki Plastic Co., Ltd., Китай). Высушивание ЧИС с растительным сырьем значительно сокращало продолжительность процесса обезвоживания и предотвращало образование комков, а также способствовало получению однородной смеси, имеющей незначительную крупитчатость (далее по тексту ЧНС) в процессе последующего ее измельчения.

ЧНС может быть использована как пищевая добавка в составе хлебобулочных и кондитерских изделий или в качестве панировки при изготовлении различных кулинарных полуфабрикатов. Панировочная смесь ЧНС показана на рис. 2.



Рис. 2. Панировочная смесь ЧНС  
Fig. 2. SSBHW breading mixture

ЧНС в качестве панировки была использована при получении следующих кулинарных полуфабрикатов: филе окуня и трески, котлет мясных и морковных, творожников.

Опытные (ЧНС) и контрольные (К) образцы панированных полуфабрикатов представлены на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид опытных (ЧНС) и контрольных (К) образцов панированных полуфабрикатов

Fig. 3. Appearance of experimental (SSBHW) and control (K) samples of breaded semi-finished products



Рецептуры панированных кулинарных полуфабрикатов и режимы их термообработки:

- котлеты из фарша «Домашний» (ООО «KLD», г. Калининград) в панировке (говядина, свинина – 500 г (соотношение 50/50), яйцо куриное – 40 г, соль, перец) обжаривали на сковороде с растительным маслом 7–10 мин при температуре 85 °С;
- морковные котлеты в панировке (морковь – 700 г, манная крупа – 100 г, соль, перец) также обжаривали в растительном масле 4 мин при температуре 75 °С;
- творожники (творог – 300 г, сахар –15 г, яйцо куриное – 40 г) готовили на сковороде с растительным маслом 5–7 мин, температура 85 °С;
- панированное филе рыбы (окуня, трески) обжаривали в растительном масле в течение 7–10 мин при температуре 82 °С.

Перед панировкой полуфабрикаты спрыскивали лимонным соком. В качестве контроля при панировке использовали пшеничную муку.

Массу полуфабриката в панировке при обжарке определяли с учетом потерь при остывании до температуры 40 °С, в процентах к массе исходного полуфабриката.

Изменение массы полученных кулинарных изделий, панированных ЧНС (филе окуня и трески, котлеты мясные из фарша «Домашний» и морковные, творожники), до и после обжарки на сковороде с растительным маслом, а также их контроля представлены в табл. 2.

Таблица 2. Изменение массы опытных (ЧНС) и контрольных (К) образцов панированных кулинарных изделий (филе окуня и трески, котлеты мясные из фарша «Домашний» и морковные, творожники) до и после обжарки на сковороде с растительным маслом

Table 2. Change in the weight of experimental (SSBHW) and control (K) samples of breading culinary products (perch and cod fillets, meat cutlets from Domashny and carrot minced meat, cottage cheese) before and after frying, in a frying pan with vegetable oil

Панировка	Кулинарный полуфабрикат (п/ф)				
	Масса п/ф, г	Масса панировки, г	Масса п/ф в панировке до жарения, г	Масса п/ф после жарения, г	Потери (–) и прирост (+) массы п/ф после жарения, %
Филе окуня					
Контроль	35,5	2,0	37,5	32,0	–14,6
ЧНС	30,0	4,0	34,0	31,0	–8,8
Филе трески					
Контроль	97,0	1,0	98,0	79,0	–19,4
ЧНС	72,0	2,5	74,5	69,5	–6,7

Котлеты из фарша «Домашний»					
Контроль	80,0	1,5	81,5	54,5	-33,1
ЧНС	97,0	5,0	102,0	78,5	-23,0
Морковные котлеты					
Контроль	70,0	3,5	73,5	71,5	-2,7
ЧНС	70,0	3,5	73,5	78,8	+2,3
Творожники					
Контроль	70,0	2,0	72,0	64,5	-10,4
ЧНС	79,0	5,0	84,0	87,0	+3,5

Как видно из табл. 2, опытные образцы полуфабрикатов с ЧНС имеют более низкие значения технологических потерь при тепловой обработке по сравнению с контролем, что обусловлено наличием в их составе коллагена и икры рыб, обладающих повышенными адгезивными свойствами.

Прирост массы готового изделия с ЧНС по сравнению с исходным полуфабрикатом (морковные котлеты, творожники) связан с поглощением панировкой части растительного масла, применяемого при жарке.

При органолептической оценке готовой кулинарной продукции обращали внимание на внешний вид (форму, состояние поверхности), консистенцию, вкус и запах готового изделия, цвет продукта после обжаривания, наличие хруста панировки при разжевывании. Органолептическая оценка опытных и контрольных образцов кулинарных изделий представлена ниже.

- филе (треска, окунь) с ЧНС: консистенция сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно покрывает его, хруст выражен незначительно, цвет светло-золотистый, вкус образовавшейся поверхностной корочки нейтральный, не перебивает рыбный флейвор готового изделия;

- контроль: консистенция филе сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно его покрывая, хруст отсутствует, цвет золотистый;

- мясные котлеты с ЧНС: изделия округло-овальной формы, поверхность без разорванных и ломаных краев, равномерно панированная, с поджаренной корочкой золотисто-коричневого цвета, нежная сочная консистенция, без привкуса и аромата рыбы, хруст панировки при разжевывании, запах и вкус, соответствующий котлетам из мяса;

- контроль: менее сочная консистенция и отсутствие хруста панировки при разжевывании;

- морковные котлеты с ЧНС: органолептические показатели аналогичны мясным котлетам, запах и вкус, соответствующий морковным котлетам;

- творожники с ЧНС: образцы сохранили форму после термообработки, панировка прочно удерживается на поверхности изделий, обеспечивая необходимую сочность готовой продукции;

- контроль: образцы потеряли форму (развалились), имея непривлекательный внешний вид.

Необходимо отметить, что отсутствие рыбного запаха и вкуса ЧНС делает данную добавку универсальной, позволяя использовать ее в сочетании с компонентами различного (рыбного, животного и растительного) происхождения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан экономически приемлемый способ переработки ЧИС (без предварительного гидролиза сырья), способствующий получению пищевой добавки, используемой в рецептурах различной кулинарной продукции.

Вовлечение ЧИС в промышленное производство пищевой продукции позволит расширить ассортиментную линейку выпускаемых кулинарных изделий и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

## Список источников

1. Scientific Advice states that Baltic Sea herring stocks are below safe levels. NGOs: "stop while there is still time" URL: <https://www.fishsec.org/2023/06/03/scientific-advice-states-that-baltic-sea-herring-stocks-are-below-safe-levels-ngos-stop-while-there-is-still-time> (дата обращения: 15.08.2023).
2. Baltic herring (*Clupea harengus membras*) protein isolate produced using the pH-shift process and its application in food models / T. Kakko et al. // Food Research International. 2022. V. 158. P. 111578, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111578>.
3. Comparison of whole and gutted Baltic Herring as a raw material for restructured fish product produced by high-moisture extrusion cooking / A. Nisov et al. // Foods. 2020. V. 9. N 11. P. 1541, <https://doi.org/10.3390/foods9111541>.
4. Setälä J., Saarni K., Niukko J. Fish Market Review 2017 URL: <https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/05/Fish-market-review-2017.pdf> (дата обращения: 15.08.2023).
5. Forage fish as food: consumer perceptions on Baltic herring / M. Pihlajamäki et al. // Sustainability. 2019. V. 11. N 16. P. 4298, <https://doi.org/10.3390/su11164298>.
6. Rantakokko P., Peltonen H., Leskelä A., Hakalax R., Myllylä T., Lerche K.-O., Kiviranta H. Kalojen Vierasaineiden ja Vesiympäristön Tilan Seurannat Kustannustehokkaammiksi Tutkijoiden ja Kalastuselinkeinon Yhteistyöllä (KALAKAS) // URL: [http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/138790/KALAKAS-Loppuraportti\\_2019-11-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/138790/KALAKAS-Loppuraportti_2019-11-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 12.08.2023).
7. Способ обработки рыбьей чешуи для получения коллагена и гидроксиапатита: выложенная заявка. № 2021116247 / Воробьев В. И.; заявл. 03.06.21; опубл. 05.12.22. Бюл. 34. 2 с.
8. Способ приготовления хлеба с рыбной добавкой: пат. РФ № 2785619 / Воробьев В. И., Чернега О. П., Фатыхов Ю. А., Нижникова Е. В.; заявл. 12.09.22; опубл. 09.12.22. Бюл. № 34. 10 с.
9. Лютова Е. В., Ключко Н. Ю. Изучение биологической ценности икры и молок сельди как сырья для приготовления плавленых сыров // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2013. № 3. С. 116–123.
10. Соколов А. В. Научное обоснование комплексной переработки вторичного сырья рыбной промышленности: состав, свойства и инновационные технологии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. Воронеж, 2021. 457 с.
11. Structural and mechanical properties of fish scales for the bio-inspired design of flexible body armors: A review / P. Rawat. et al. // Acta Biomaterialia. 2021. V. 121. P. 41–67, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.003>.

12. Comparison of the morphology, structures and mechanical properties of teleost fish scales collected from New Zealand / D Zhu. et al. // *Journal of Bionic Engineering*. 2019. V. 16. P. 328–336, <https://doi.org/10.1007/s42235-019-0028-1>.

13. Development and application of fish scale wastes as versatile natural biomaterials / D. Qin. et al. // *Chemical Engineering Journal*. 2022. V. 428. P. 131102, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131102>.

14. Importance of radial line and circulus distributions to the protectoflexibility of scales in fish armors / H. Jiang et al. // *Cell Reports Physical Science*. 2022. V. 3. N 9. P. 101022, <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101022>.

15. Yang W., Meyers M. A., Ritchie R. O. Structural architectures with toughening mechanisms in Nature: A review of the materials science of Type-I collagenous materials // *Progress in Materials Science*. 2019. V. 103. P. 425–483, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.01.002>.

### References

1. Scientific Advice states that Baltic Sea herring stocks are below safe levels. NGOs: “stop while there is still time”, available at: <https://www.fishsec.org/2023/06/03/scientific-advice-states-that-baltic-sea-herring-stocks-are-below-safe-levels-ngos-stop-while-there> (Accessed 15 August 2023).

2. Kakko T. [et al.]. Baltic herring (*Clupea harengus* membras) protein isolate produced using the pH-shift process and its application in food models. *Food Research International*. 2022, vol. 158, pp. 111578, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111578>.

3. Nisov A. [et al.]. Comparison of whole and gutted Baltic Herring as a raw material for restructured fish product produced by high-moisture extrusion cooking. *Foods*. 2020, vol. 9, no. 11, pp. 1541, <https://doi.org/10.3390/foods9111541>.

4. Setälä J.; Saarni K.; Niukko J. Fish Market Review 2017, available at: <https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/05/Fish-market-review-2017.pdf> (Accessed 15 August 2023).

5. Pihlajamäki M. [et al.]. Forage fish as food: consumer perceptions on Baltic herring. *Sustainability*. 2019, vol. 11, no. 16, pp. 4298, <https://doi.org/10.3390/su11164298>.

6. Rantakokko P., Peltonen H., Leskelä A., Hakalax R., Myllylä T., Lerche K.-O., Kiviranta H. Kalojen Vierasaineiden ja Vesiympäristön Tilan Seurannat Kustannustehokkaammiksi Tutkijoiden ja Kalastuselinkeinoon Yhteistyöllä (KALAKAS), available at: [http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/138790/KALAKAS-Loppuraportti\\_2019-11-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/138790/KALAKAS-Loppuraportti_2019-11-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Accessed 12 August 2023).

7. Vorob'ev V. I. Sposob obrabotki ryb'ey cheshui dlya polucheniya kollagena i gidroksiapatita [Method for processing fish scales to obtain collagen and hydroxyapatite]. Posted application RF no. 2021116247, 2022.

8. Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Fatykhov Yu. A., Nizhnikova E. V. Sposob prigotovleniya khleba s rybnoy dobavkoy [Method for preparing bread with fish additive]. Pat. RF, no. 2785619, 2022.

9. Lyutova E. V., Klyuchko N. Yu. *Izuchenie biologicheskoy tsennosti ikry i molok sel'di kak syr'ya dlya prigotovleniya plavlennykh syrov* [Study of the biological value

of herring caviar and milt as raw materials for the preparation of processed cheeses]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 3, pp. 116–123.

10. Sokolov A. V. *Nauchnoe obosnovanie kompleksnoy pererabotki vtorichnogo syr'ya rybnoy promyshlennosti: sostav, svoystva i innovatsionnye tekhnologii. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific justification for the complex processing of secondary raw materials from the fishing industry: composition, properties and innovative technologies. Dis. dr. techn. sci]. Voronezh, 2021, 457 p.

11. Rawat P. [et al.]. Structural and mechanical properties of fish scales for the bio-inspired design of flexible body armors: A review. *Acta Biomaterialia*. 2021, vol. 121, pp. 41–67, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.003>.

12. Zhu D. [et al.]. Comparison of the morphology, structures and mechanical properties of teleost fish scales collected from New Zealand. *Journal of Bionic Engineering*. 2019, vol. 16, pp. 328–336, <https://doi.org/10.1007/s42235-019-0028-1>.

13. Qin D. [et al.]. Development and application of fish scale wastes as versatile natural biomaterials. *Chemical Engineering Journal*. 2022, vol. 428, pp. 131102, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131102>.

14. Jiang H. [et al.]. Importance of radial line and circulus distributions to the protectoflexibility of scales in fish armors. *Cell Reports Physical Science*. 2022, vol. 3, no. 9, pp. 101022, <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101022>.

15. Yang W., Meyers M. A., Ritchie R. O. Structural architectures with toughening mechanisms in Nature: A review of the materials science of Type-I collagenous materials. *Progress in Materials Science*. 2019, vol. 103, pp. 425–483, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.01.002>.

### Информация об авторах

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

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

**Е. В. Нижникова** – кандидат биологических наук, доцент кафедры химии

### Information about the authors

**V. I. Vorob'ev** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry

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

**E. V. Nizhnikova** – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.

The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.

Научная статья  
УДК 664.959.5  
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-81-91

### Исследования по комплексной переработке коллагенсодержащего рыбного сырья

Виктория Сергеевна Казакова<sup>1</sup>, Евгения Сергеевна Землякова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Россия

<sup>1</sup>viktoriya.kazakova@klgtu.ru

<sup>2</sup>evgeniya.zemljakova@klgtu.ru

**Аннотация.** В настоящее время на территории Калининградской области функционирует более 50 больших и малых предприятий рыбоперерабатывающей промышленности. Вторичное сырье, неизбежно образующееся в ходе технологического процесса, в большинстве случаев утилизируется на мусорные свалки или поступает на корм скоту в непереработанном виде. Формирующиеся отходы (кости, плавники, головы, кожа и чешуя) имеют в своем составе большое количество важных для организма человека веществ, таких как аминокислоты, биополимеры, макро-, микроэлементы. Наличие доступных технологий глубокой переработки такого сырья является важным фактором не только для развития производителей рыбной продукции, но и для защиты экологии нашей страны. В данной статье рассматривается одна из таких технологий, в основе которой лежит комплексная переработка коллагенсодержащего рыбного сырья. Представлены статистические данные по вылову водных биологических ресурсов на территории разных стран. Обосновано использование вторичных рыбных отходов, а именно покровных тканей рыб, образующихся при филетировании и переработке объектов на рыбный фарш. Выполнена оценка химического состава покровных тканей судака, трески, минтая. Эти виды рыб активно вылавливаются и / или перерабатываются на территории Калининградской области. Предложена технологическая схема получения протеиновой и белково-минеральной добавок методом ферментативного гидролиза. Определен химический состав полученных ферментоллизатов (протеиновых добавок). Описаны органолептические характеристики. Результаты исследования свидетельствуют о высоком потенциале покровных тканей рыб и возможности их переработки с получением новых пищевых систем методом ферментативного гидролиза.

**Ключевые слова:** покровные ткани рыб, переработка, судак, треска, минтай.

**Для цитирования:** Казакова В. С., Землякова Е. С. Исследования по комплексной переработке коллагенсодержащего рыбного сырья // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 81–91. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-81-91.



Original article

## Integrated processing of collagen-containing fish raw materials

Viktoriya S. Kazakova<sup>1</sup>, Evgeniya S. Zemlyakova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>viktoriya.kazakova@klgtu.ru

<sup>2</sup>evgeniya.zemljakova@klgtu.ru

**Abstract.** Currently, there are more than 50 large and small enterprises in the fish processing industry operating in the Kaliningrad region. Secondary raw materials, which inevitably arise during the technological process, are in most cases disposed of in landfills or supplied to livestock feed in an unprocessed form. The resulting waste (bones, fins, heads, skin and scales) contains a large number of substances important for the human body, such as amino acids, biopolymers, macro- and microelements. The availability of accessible technologies for deep processing of such raw materials is an important factor not only for the development of producers of fish products, but also for protecting the ecology of our country. This article discusses one of these technologies, which is based on the integrated processing of collagen-containing fish raw materials. The paper presents statistical data on the catch of aquatic biological resources in different countries. An analysis of fish objects with the highest catch in the region's waters, as well as those often processed by enterprises of the Kaliningrad region, is presented. The use of secondary fish waste, namely the integumentary tissues of fish formed during filleting and processing of objects into minced fish, has been justified. The chemical composition of the integumentary tissues of pike perch, cod, and pollock has been assessed. These types of fish are actively caught and/or processed in the Kaliningrad region. A technological scheme for the production of protein and protein-mineral additives by enzymatic hydrolysis has been proposed. The chemical composition of the obtained fermentolysates (protein supplements) has been assessed. Organoleptic characteristics have been described. The results of the study indicate the high potential of fish integumentary tissues and the possibility of their processing to produce new food systems using the enzymatic hydrolysis method.

**Keywords:** fish integumentary tissues, processing, pike perch, cod, pollock.

**For citation:** Kazakova V. S., Zemlyakova E. S. Integrated processing of collagen-containing fish raw materials. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72):81–91. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-81-91.

## ВВЕДЕНИЕ

Рыбная промышленность – динамично развивающаяся отрасль во всем мире. По данным 2022 года, такие государства, как Китай, Индонезия, Индия, лидируют по добыче водного биологического сырья (ВБС). Годовой объем вылова Китая достигает порядка 58 млн т. Индия, находящаяся на втором месте, добывает только 9 млн т, что составляет 6 % мирового объема добычи. Далее идут Индонезия, Перу, США, Чили, Япония, Таиланд, Вьетнам [1]. В последние годы Российская Федерация уверенно наращивает объемы вылова ВБС. Согласно статистике Федерального агентства по Рыболовству за 2022 год на территории



бассейнов нашей страны выловлено 4,88 млн т водных биоресурсов, что позволило Российской Федерации войти в первую десятку стран в общемировом рейтинге (табл. 1) [2].

Таблица 1. Объемы вылова водных биоресурсов в 2022 году

Таблица 1. Volumes of catch of aquatic biological resources in 2022

Страна	Объем вылова, млн т	Страна	Объем вылова, млн т
Китай	58,8	Чили	5,0
Индия	9,1	Япония	4,9
Индонезия	6,1	Россия	4,9
Перу	5,9	Таиланд	3,7
США	5,4	Вьетнам	3,4

Калининградская область богата разнообразными водными биоресурсами, в регионе активно развивается рыбная промышленность. Исследования в области переработки вторичных рыбных ресурсов, создание новых продуктов и технологий на их основе, включая обогащенные пищевые продукты, биологически активные вещества, помогут не только в укреплении здоровья населения нашей страны, но и будут способствовать развитию конкурентоспособности и достижению высокого экономического уровня региона.

Океаническим и прибрежным ловом рыбы занимается флот, входящий в состав рыбопромышленного комплекса. Вместимость всех рыболовецких судов Калининградского рыбного порта составляет около 155 т [3]. На рыбопромысле занято более 20 тыс. человек, которые занимаются добычей, обработкой, приемом и транспортировкой вылова, обслуживанием и ремонтом судов, проведением исследований и др.

При обработке ВБС неизбежно образование различного вида отходов. Группа отходов, к которой относятся печень, сердце, икра, молоки, плавательный пузырь, чешуя и кожа рыб, формируется в независимости от вырабатываемой продукции. Отходы образуются при разделке рыбы, а их количество варьирует от сезона вылова, вида и размера объекта. Прирези мяса и некондиционные куски рыб относятся к другой группе отходов, на которую существенное влияние оказывают условия переработки. Производство кормовой, пищевой, медицинской и прочей продукции с использованием вторичного рыбного сырья позволяет увеличить ассортимент выпускаемых изделий. Кроме того, комплексное использование сырья способствует экономии энергетических и трудовых ресурсов.

Вопросами разработки решений рационального использования вторичных рыбных ресурсов занимались такие ученые, как Е. Э. Куприна, Н. П. Боева, О. В. Бредихина, О. Я. Мезенова, Л. С. Байдалинова, Л. В. Антипова, О. П. Дворянинова, В. И. Воробьев, Е. А. Иванова, М. И. Цибизова, О. С. Якубова, Г. А. Хаустова, С. А. Сторублевцев, Г. И. Большунов, А. Хелинг, Т. Гримм, К. Кон, А. Вейс, М. Танзер и др. [4–8].

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Около 10 % в теле рыбы составляют такие вторичные отходы, как кости (без учета головы). Данный вид сырья в основном используется для производства кормовой муки или клея. Ценным в составе таких кормов является повышенное содержание минеральных веществ, необходимых для полноценного развития растущего живого организма.

В зависимости от вида и размера рыбы плавники составляют от 1,5 до 4,0 % массы ее тела. Используются они для приготовления заливок в консервы, а также вместе с костями для производства кормовой муки.

Головы рыб богаты источником жира. Известны технологии, в основу которых положен способ получения из них растительного сырья жирорастворимых композиций, однако в основном головы рыб используются в суповых наборах.

От 1,0 до 10 % массы тела рыбы составляет чешуя, которая так же, как и кости, содержит белки, макро- и микроэлементы. В чешуе некоторых рыб более 30 % минеральных и более 35 % белковых веществ.

От 3,8 до 8 % рыбы – это внутренности. К ним относятся плавательный пузырь, сердце, почки, гонады и пищеварительные органы. Последние наиболее часто используют для выработки ферментных препаратов.

Кожа составляет 2–7 % общей массы рыбы и относится к коллагенсодержащему вторичному рыбному сырью. Получение из нее натуральных структурообразователей белковой природы, создание новых функциональных продуктов питания для человека является перспективным направлением пищевой промышленности.

Количественный показатель белка в химическом составе покровных тканей может варьировать в зависимости от времени вылова ВБС, а также места обитания. Поэтому на первом этапе исследования важно было определить химический состав изучаемого сырья. В табл. 2 представлен состав кожи следующих объектов: трески (*Gadus morhua callarias*), добываемой преимущественно в акватории Балтийского моря, судака (*Sander lucioperca*), вылавливаемого, как правило, в водах Вислинского (Калининградского) и Куршского заливов, и минтая (*Gadus chalcogrammus*), перерабатываемого в больших количествах производственным комплексом компании «Атлантис» [9]. Подготовку проб и общий химический состав покровных тканей выбранных объектов определяли согласно методам ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Таблица 2. Химический состав кожи рыб (вылов август 2023)  
Table 2. Chemical composition of fish skin (catch of August 2023)

Объект	Химический состав кожи рыб, %			
	белок	влага	липиды	минеральные вещества
кожа трески	20,61	74,79	0,35	4,25
кожа судака	18,40	64,98	2,02	14,60
кожа минтая	24,04	73,14	1,02	1,80

После изучения химического состава сырье подвергалось переработке согласно разработанной технологической схеме (рис.1) для получения двух новых пищевых добавок.

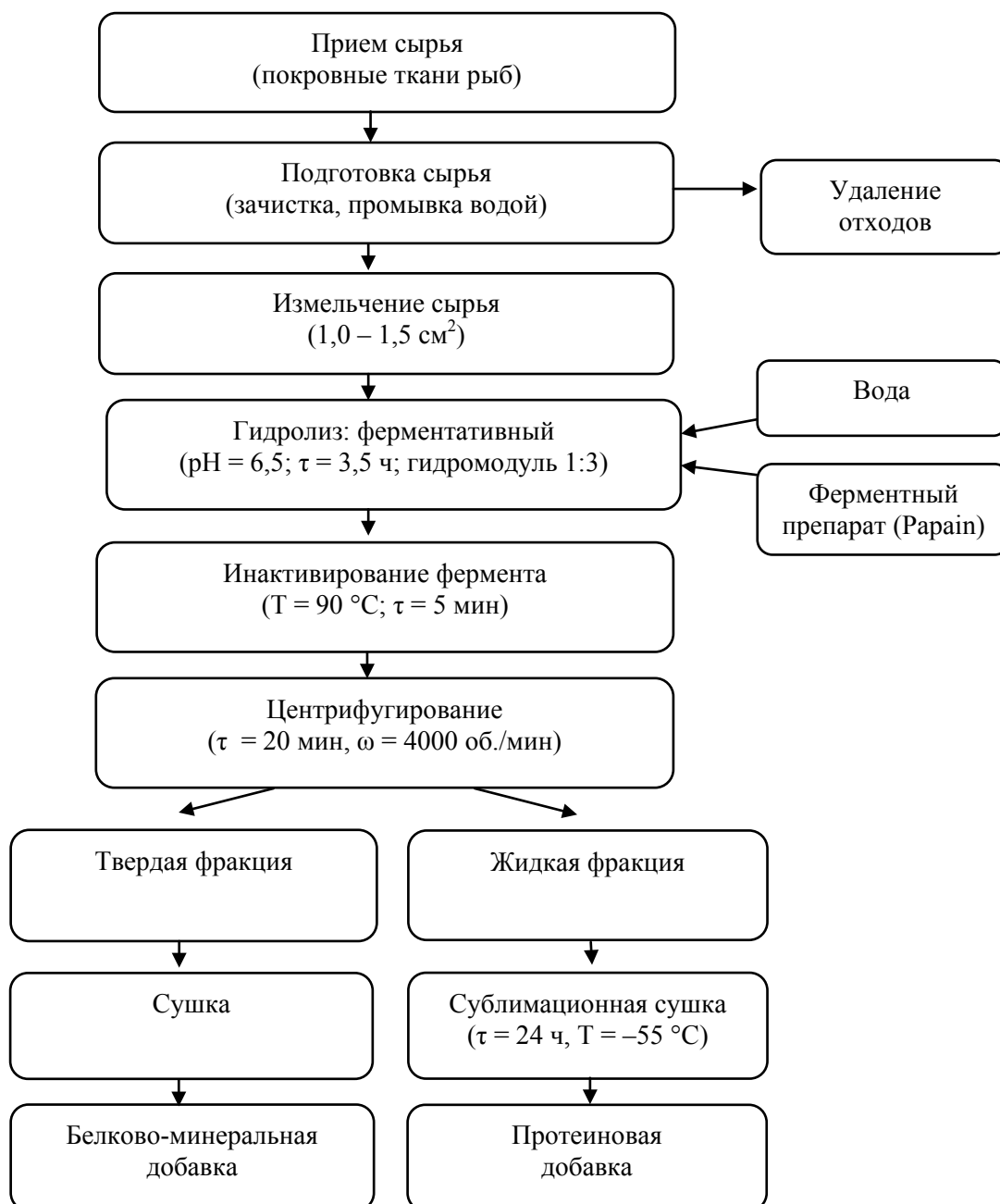


Рис. 1. Схема комплексной переработки коллагенсодержащего рыбного сырья  
Fig. 1. Scheme of complex processing of collagen-containing fish raw material

Согласно разработанной технологии, свежее сырье после разделки рыб зачищают от оставшихся прирезей мяса, промывают водопроводной водой и измельчают. Далее измельченные кусочки кожи смешивают с водой и нагревают до температуры 50 °С (оптимальное значение для действия фермента), добавляют в систему фермент Parain («ANiMOX», Берлин) в количестве 1,5 % к массе сырья. В данной схеме приведены ранее обоснованные параметры гидролиза: pH среды 6,5; время гидролиза 3,5 ч; гидромодуль 1:3. По окончании процесса гидролиза смесь подогревают до температуры 90 °С ( $\tau = 5$  мин) для инактивации фермента. Ферментолитат фильтруют и разделяют на фракции. Плотную фракцию, состоящую из белково-минеральных веществ, сушат в сушильном шкафу при температуре 60 °С. Лиофилизацию жидкой белковой фракции проводят при температуре –55 °С на сублимационной установке Martin Christ Alpha1-2 LDplus. Такой способ наиболее предпочтителен остальным методам обезвоживания, поскольку способствует максимальному сохранению природы водорастворимых продуктов ферментолита. Ценные низкомолекулярные пептиды, гликозамингликаны и аминокислоты, входящие в состав жидкой фракции гидролизата, обуславливают высокую биологическую ценность сублимированной протеиновой добавки.

Поскольку в коллагенсодержащем рыбном сырье низкое содержание жира, то после проведения гидролиза жировая фракция не требует отделения, остаются лишь ее следы, что позволяет разделять ферментативную суспензию на 2 составляющие – протеиновую (жидкую фракцию) и белково-минеральную (твердую фракцию), минуя стадию обезжиривания. В жидком виде добавка применима в хлебобулочном производстве и продуктах с содержанием повышенной влаги, например, в пастильных изделиях или желе. Обезвоженная форма протеиновой добавки может использоваться в технологии получения обогащенных пищевых продуктов широкого спектра. Такая форма хорошо хранится и удобна при добавлении в рецептурные смеси многих технологий продуктов питания.

Химический анализ полученных добавок также проводили по ГОСТ 7636-85, определяя массовую долю белка арбитражным методом Кьельдаля, влагу – методом высушивания [10]. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 3. Химический состав протеиновой добавки  
Table 3. Chemical composition of protein supplement

Химический состав протеиновой добавки, %		
Протеиновая добавка на основе	белок	влага
кожи трески	94,80	3,6
кожи судака	92,50	2,3
кожи минтая	95,44	3,2

Как видно из данных табл. 2, полученные по разработанной технологии протеиновые добавки содержат большое количество белковых веществ – от 92,5 % в добавке из кожи судака до 95,44 % в добавке из кожи минтая.

Проведена органолептическая оценка методом дегустаций полученных протеиновых добавок по показателям цвета, вкуса и запаха. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4. Органолептическая оценка протеиновых добавок, полученных из кожи трески, судака, минтая

Table 4. Organoleptic evaluation of protein supplements obtained from the skin of cod, walleye, pollock

Протеиновая добавка на основе	цвет	вкус	запах
кожи трески	равномерный, светло-серый	рыбный	слабый рыбный
кожи судака	равномерный, светло-соломенный	рыбный	слабый рыбный
кожи минтая	равномерный, насыщенный серый	рыбный	слабый рыбный

Все добавки обладали приятным, не ярко-выраженным рыбным вкусом и запахом. Цвет варьировал в зависимости от первоначального, естественного, цвета кожи рыбы.

По данным Всемирной организации здравоохранения у каждого второго человека в мире наблюдается дефицит белка и недостаток незаменимых аминокислот в рационе. Согласно статистике, потребление белка за последние годы снизилось в среднем на 17–22 % [11]. Проблема глобального мирового дефицита в наше время может быть решена с использованием протеиновых добавок в качестве обогащающего компонента практически любого пищевого продукта.

Белки, поступающие с пищей в организм – источники незаменимых аминокислот, последние, в свою очередь, служат строительными блоками в биосинтезе белка человеческого организма. Аминокислоты также являются предшественниками гормонов, алкалоидов, пигментов и многих других биомолекул. Дефицит белка в рационе приводит к нарушению азотистого баланса и водно-солевого обмена, способствует возникновению таких болезней, как нарушение перистальтики кишечника, сахарный диабет, дистрофия, упадок сил и общее снижение иммунитета [12].

Потребность человека в белках зависит от возраста, пола, климатических особенностей региона проживания. Оптимальным для взрослого населения считается поступление белка из расчета 12–14 % от энергетической суточной потребности: 75–114 г/сут для мужчин и 60–90 г/сут для женщин [13, 14]. Таким образом, потребность взрослого человека в белке в среднем составляет 70 – 110 г в сутки.

Россия не исключение, в нашей стране также наблюдается острый дефицит белка в рационе населения. Согласно данным Продовольственной и сельско-

хозяйственной организации Объединенных Наций Россия относится к той группе стран, где в состоянии хронического дефицита белка и просто недоедания находится 2,5–4,0 % жителей от общей численности населения. Такие данные подтверждает и статистика Росстата [15]. Около 6 млн человек, проживающих в Российской Федерации, недополучают нужного количества белковой пищи.

На основании приведенных данных исследования по технологии переработки вторичного рыбного сырья с получением высококонцентрированных белковых добавок являются актуальными. Переработка покровных тканей рыб помогает решению экологической проблемы образования отходов и выступает альтернативным источником белка в технологиях обогащенных продуктов для расширения рациона питания современного человека.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования был сделан вывод, что переработка вторичного рыбного сырья – актуальное и востребованное направление развития рыбной промышленности, а также один из методов решения экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды.

Результаты изучения химического состава покровных тканей рыб показывают высокий уровень белка, что обосновывает возможность их использования для дальнейшей переработки в целях создания пищевых обогащающих добавок.

Предложенная технологическая схема, основанная на ферментативном гидролизе покровных тканей рыб, реализует возможность получения протеиновой и минеральной добавок. Анализ химического состава полученных протеиновых добавок подтверждает высокую концентрацию белковых компонентов в составе.

Высушенные гидролизаты из покровных тканей трески, судака и минтая обладают хорошими органолептическими характеристиками. Установлено, что вкус новых пищевых добавок свойствен для рыбных продуктов, но запах при этом слабо выражен. Порошковая форма позволит повысить сроки хранения, улучшить технологические функциональные свойства добавки, что даст возможность использовать ее во многих технологиях пищевых продуктов в качестве обогащающего компонента.

### Список источников

1. Top 10 World's Largest Fish Producers 2022. URL: [https://www.mikscholars.com/2023/09/10/top-10-worlds-largest-fish-producers-current\\_date-format-y/](https://www.mikscholars.com/2023/09/10/top-10-worlds-largest-fish-producers-current_date-format-y/) (дата обращения: 5.08.2023).
2. Федеральное агентство по рыболовству. Предварительные итоги вылова 2022 года. URL: <https://fish.gov.ru/news/2023/01/11/predvaritelnye-itogi-vylova-2022-goda-488-mln-tonn-ryby-i-moreproduktov/> (дата обращения: 7.08.2023).
3. Панова Ю. Н., Исаева Н. В. Перспективы повышения роли морского транспорта в Национальной экономике // Международная научно-практическая конференция (4–5 октября 2016 г.): материалы. Санкт-Петербург. 2016. С. 142–156.
4. Антипова Л. В., Дворянинова О. П. Эффективность применения вторичных рыбоперерабатывающих ресурсов для производства функциональных



продуктов массового потребления // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2002. № 5–6. С. 24–26.

5. Мезенова О. Я., Землякова Е. С. Основные принципы переработки вторичного рыбного сырья на пищевые биопродукты // Известия КГТУ. 2014. № 35. С. 120–130.

6. Воробьев В. И., Нижникова Е. В. Исследования и применение рыбной чешуи в различных отраслях промышленности (обзор) // Известия КГТУ. 2017. № 45. С. 147–159.

7. Самойлова Д. А., Цибизова М. Е. Вторичные ресурсы рыбной промышленности как источник пищевых и биологически активных добавок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2015. № 2. С. 129–136.

8. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении пептидов и исследование их аминокислотной сбалансированности / О. Я. Мезенова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8. № 4. С. 83–94.

9. Казакова В. С., Землякова Е. С. Источники получения гиалуроновой кислоты // VII международный Балтийский морской форум (7–12 октября 2019): материалы. Калининград, 2019. Т. 4. С. 64–69.

10. ГОСТ 7636-1985 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Введ.1986-01-01. Москва, 2010. 87 с.

11. Дубенко С. Э., Мажаева Т. В., Насыбуллина Г. М. Значение количественной и качественной оценок белка в рационе питания работающих // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 2. С. 97–103.

12. Кулькова В. С. Химия белков. Значение в организме человека и животных // Международная научно-практическая конференция (18–20 мая 2022 г.): сборник. Ставрополь. 2022. С. 192–195.

13. Раджабканиев Р. М. и др. Возрастные и гендерные особенности потребления макронутриентов населением РФ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2019. Т. 23. № 2. С. 197–202.

14. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 2 августа 2010 г. № 593н «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_105725/2ff7a8c72de3994f30496a0ccb1ddafdaddf518](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_105725/2ff7a8c72de3994f30496a0ccb1ddafdaddf518) (дата обращения: 18.08.2023).

15. Родионова Л. А., Копнова Е. Д. Статистический анализ характеристик рационального питания населения России // Вопросы статистики. 2017. № 7. С. 28–40.

## References

1. Top 10 World's Largest Fish Producers 2022, available at: [https://www.mikscholars.com/2023/09/10/top-10-worlds-largest-fish-producers-current\\_date-format-y/](https://www.mikscholars.com/2023/09/10/top-10-worlds-largest-fish-producers-current_date-format-y/) (Accessed 5 August 2023).

2. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu. Predvaritel'nye itogi vylova 2022 goda



[Federal Fishery Agency. Preliminary catch results for 2022], available at: <https://fish.gov.ru/news/2023/01/11/predvaritelnye-itogi-vylova-2022-goda-488-mln-tonn-ryby-i-moreproduktov/> (Accessed 8 July 2023).

3. Panova Yu. N., Isaeva N. V. Perspektivy povysheniya roli morskogo transporta v Natsional'noy ekonomike [Prospects for increasing the role of maritime transport in the National Economy]. *Materialy mezhdunarodoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (4–5 oktyabrya 2016 g.) [Proceedings of International scientific and practical conference (4–5 October 2016)]. Saint-Petersburg, 2016, pp. 142–156.

4. Antipova L. V., Dvoryaninova O. P. Effektivnost' primeneniya vtorichnykh rybopererabatyvayushchikh resursov dlya proizvodstva funktsional'nykh produktov massovogo potrebleniya [Efficiency of using secondary fish processing resources for the production of functional products for mass consumption]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya*, 2002, no. 5–6, pp. 24–26.

5. Mezenova O. Ya., Zemlyakova E. S. Osnovnye printsipy pererabotki vtorichnogo rybnogo syr'ya na pishchevye bioprodukty [Basic principles of processing secondary fish raw materials into bio-food products]. *Izvestiya KGTU*, 2014, no. 35, pp. 120–130.

6. Vorob'ev V. I., Nizhnikova E. V. Issledovaniya i primeneniye rybnoy cheshui v razlichnykh otraslyakh promyshlennosti (obzor) [Research and application of fish scales in various industries (review)]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 45, pp. 147–159.

7. Samoylova D. A., Tsibizova M. E. Vtorichnye resursy rybnoy promyshlennosti kak istochnik pishchevykh i biologicheskii aktivnykh dobavok [Secondary resources of the fishing industry as a source of food and biologically active additives]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2015, no. 2, pp. 129–136.

8. Mezenova O. Ya., Volkov V. V., Merzel T., Grimm T., Kuehn S., Hoehling A., Mezenova N. Yu. Sravnitel'naya otsenka sposobov gidroliza kollagensoderzhashchego rybnogo syr'ya pri poluchenii peptidov i issledovanie ikh aminokislotnoy sbalansirovannosti [Comparative assessment of methods for hydrolysis of collagen-containing fish raw materials in the production of peptides and study of their amino acid balance]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2018, vol. 8, no. 4, pp. 83–94.

9. Kazakova V. S., Zemlyakova E. S. Istochniki polucheniya gialuronovoy kisloty [Sources of hyaluronic acid]. *Materialy VII mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma* [Proceedings of the VII International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2019, vol. 4, pp. 64–69.

10. GOST 7636-1985. Fish, marine mammals, marine invertebrates and their processed products. Methods of analysis. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 87 p. (In Russian).

11. Dubenko S. E., Mazhaeva T. V., Nasybullina G. M. Znachenie kolichestvennoy i kachestvennoy otsenok belka v ratsione pitaniya rabotayushchikh [Importance of quantitative and qualitative assessments of protein in the diet of workers]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 2, pp. 97–103.

12. Kul'kova V. S. Khimiya belkov. Znachenie v organizme cheloveka i zivotnykh [Chemistry of proteins. Significance in humans and animals]. *Materialy Mezhdunarodoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (18–20 maya 2022 g.)

[Proceedings of International scientific and practical conference (18–20 May 2022)]. Stavropol', 2022, pp. 192–195.

13. Radzhabkadiyev R. M. i dr. Vozrastnye i gendernye osobennosti potrebleniya makronutrientov naseleniem RF [Age and gender characteristics of macronutrient consumption by the population of the Russian Federation]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Meditsina*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 197–202.

14. Prikaz Ministerstva zdravookhraneniya i sotsial'nogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii ot 2 avgusta 2010 g. № 593n “Ob utverzhdenii rekomendatsiy po ratsional'nym normam potrebleniya pishchevykh produktov, otvechayushchim sovremennym trebovaniyam zdorovogo pitaniya”, available at: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_105725/2ff7a8c72de3994f30496a0ccb1ddafdadfd518](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_105725/2ff7a8c72de3994f30496a0ccb1ddafdadfd518) (Accessed 18 August 2023).

15. Rodionova L. A., Kopnova E. D. Statisticheskiy analiz kharakteristik ratsional'nogo pitaniya naseleniya Rossii [Statistical analysis of the characteristics of rational nutrition of the Russian population]. *Voprosy statistiki*, 2017, no. 7, pp. 28–40.

### **Информация об авторах**

**В. С. Казакова** – аспирант кафедры пищевой биотехнологии

**Е. С. Землякова** – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

### **Information about the authors**

**V. S. Kazakova** – PhD Student of the Department of Food Biotechnology

**E. S. Zemlyakova** – PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Food Biotechnology

Статья поступила в редакцию 17.11.2023; одобрена после рецензирования 24.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.

The article was submitted 17.11.2023; approved after reviewing 24.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.

Научная статья  
УДК 637:664  
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-92-102

### Безопасность и качество рыбы бездымного горячего копчения с применением коптильно-водорослевой композиции

Анастасия Дмитриевна Сушина<sup>1</sup>, Ольга Яковлевна Мезенова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>nastenka-1997@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1841-6146>

<sup>2</sup>mezenova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

**Аннотация.** Рыба горячего копчения является востребованным и высокопитательным пищевым продуктом. Однако традиционное дымовое копчение обусловливает попадание в рыбу высокомолекулярных продуктов пиролиза древесины – полициклических ароматических углеводородов, в том числе бенз(а)пирена. На кафедре пищевой биотехнологии Калининградского государственного технического университета (КГТУ) разработана технология бездымного копчения рыбы путем ее обработки коптильно-водорослевой композицией на основе экстракта красных водорослей Балтийского моря *Furcellaria lumbricalis* и коптильного ароматизатора «Жидкий дым». Исследование органолептических показателей качества экспериментальных и контрольных образцов копченой скумбрии, приготовленных по разработанной и традиционной технологии, показало их соответствие требованиям ГОСТ 7447-2015, однако в скумбрии бездымного копчения были более выражены цвет и блеск поверхности, присутствовал обогащенный аромат копчености. Изучена сравнительная динамика изменения содержания белка, небелкового азота, азота летучих оснований и аминного азота в образцах скумбрии. Показаны повышенная сохраняемость белковых компонентов и снижение интенсивности их гидролиза в продукции бездымного копчения. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии подтверждена безопасность по содержанию бенз(а)пирена (0,0001 мг/кг при допустимой норме 0,005). Методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии доказан безопасный уровень содержания свинца (0,21 мг/кг), мышьяка (1,1 мг/кг), кадмия (0,032 мг/кг), ртути (0,12 мг/кг). В исследованиях микробиологических показателей установлен пролонгированный срок годности и хранения скумбрии бездымного копчения относительно традиционной продукции. Рекомендован срок годности 7 сут, срок хранения – 10 сут при температуре от –2 °С до +6 °С. Органолептическая привлекательность, повышенная безопасность и хранимоспособность разработанной продукции обусловлены факторами технологии и наличием в составе коптильно-водорослевой композиции дополнительных функциональных соединений, обладающих красящими, вкусо-ароматическими и консервирующими свойствами (каротиноиды, флавоноиды, антоцианы, органические кислоты, каррагинаны и др.).

**Ключевые слова:** бездымное горячее копчение рыбы, коптильно-водорослевая композиция, безопасность, качество.

**Для цитирования:** Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Безопасность и качество рыбы бездымного горячего копчения с применением коптильно-водорослевой композиции // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 92–102. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-92-102.

Original article

### Safety and quality of smokeless hot smoked fish with the use of smoked algae composition

Anastasiya D. Sushina<sup>1</sup>, Ol'ga Ya. Mezenova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>nastenka-1997@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1841-6146>

<sup>2</sup>mezenova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

**Abstract.** Hot smoked fish is a popular and highly nutritious food product. However, traditional smoking causes the ingress of high molecular weight products of wood pyrolysis – polycyclic aromatic hydrocarbons, including benz(a)pyrene. The Department of Food Biotechnology of KSTU has developed a technology of smokeless smoking of fish by treating it with smoked algae composition based on the extract of red algae of the Baltic Sea *Furcellaria lumbricalis* and smoking flavoring "Liquid Smoke". The study of the organoleptic quality indicators of experimental and control samples of smoked mackerel, cooked according to the developed and traditional technology, showed their compliance with the requirements of GOST 7447-2015. But smokeless smoked mackerel had more pronounced color and surface shine, there was an enriched aroma of smoked meat. Comparative dynamics of changes in the content of protein, non-protein nitrogen, volatile base nitrogen and amine nitrogen in mackerel samples has been studied. Increased preservation of protein components and decrease of their hydrolysis intensity in smokeless smoking products have been shown. The method of high-performance liquid chromatography confirmed the safety of benz(a)pyrene content (0.0001 mg/kg with the permissible norm of 0.005). The method of atomic absorption spectrophotometry proved safe level of lead (0,21 mg/kg), arsenic (1,1 mg/kg), cadmium (0,032 mg/kg), mercury (0,12 mg/kg). In the studies of microbiological indicators, prolonged shelf life and storage of smokeless smoked mackerel relative to traditional products has been established. Recommended shelf life is 7 days, storage period - 10 days at temperatures from –2 °C to +6 °C. Organoleptic appeal, increased safety and storability of the developed products are due to the factors of technology and the presence of additional functional compounds with coloring, flavoring and preserving properties (carotenoids, flavonoids, anthocyanins, organic acids, carrageenan's and others) in the composition of smoked algae composition.

**Keywords:** smokeless hot smoked fish, safety, quality.

**For citation:** Sushina A. D., Mezenova O. Ya. Safety and quality of smokeless hot smoked fish with the use of smoked algae composition. *Izvestiya KGTU=KSTU News*. 2024; (72): 92–102. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-92-102.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный рынок рыбной продукции находится в постоянном улучшении технологических процессов, которые приводят к совершенствованию готового изделия. Это связано с тем, что рыба является одним из самых популярных видов пищевого сырья среди населения за счет сбалансированности состава, в который входят витамины (А, Е, К, D, группы В, РР, С и Н), белки, жиры, макро- и микроэлементы, необходимые для здорового функционирования организма человека [1–5].

Рыба – скоропортящийся продукт, требующий новых подходов в процессах консервирования, которые будут сохранять полезные свойства изделия длительное время [1, 5, 6, 7, 8, 9].

В современном обществе вопросы безопасности и качества компонентов питания стали приоритетными, особенно в контексте увеличения осведомленности потребителей о влиянии пищевых продуктов на здоровье. Один из важных аспектов в этом контексте – обеспечение безопасности и высокого качества рыбы и рыбной продукции, подвергнутых бездымному горячему копчению с использованием инновационных технологий, таких как коптильно-водорослевая композиция [7, 8, 10, 11].

Традиционные методы копчения рыбы могут сопровождаться образованием канцерогенных веществ и вредных соединений, что поднимает вопросы здоровья и безопасности потребителя. В связи с этим разработка новых методов, основанных на использовании коптильно-водорослевой композиции, представляет собой перспективный путь для улучшения безопасности и качества копченой рыбы [1–5, 10, 12, 13, 14, 15].

Цель данной статьи – рассмотреть влияние коптильно-водорослевой композиции на основе экстракта красных водорослей Балтийского моря (*Furcellaria lumbricalis*) на сроки хранения и годности, изучить ее воздействие на химический состав, микробиологическую чистоту и органолептические характеристики копченой рыбы, а также оценить безопасность и качество получаемого продукта.

Проведение исследований в данном направлении представляет не только академический интерес, но и практическую значимость, поскольку результаты могут быть использованы в пищевой промышленности для создания продуктов, отвечающих высоким стандартам безопасности и качества.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованию подвергалась рыба (скупбрия), выкопченная двумя разными технологиями:

- образец скупбрии, приготовленный при помощи разработанной технологии с применением коптильно-водорослевой композиции;
- образец скупбрии, копченый традиционным дымовым методом на предприятии ООО «Виктория Балтия».

Испытания осуществлялись на базе кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ» и Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»).

Пробоподготовку выполняли в соответствии с ГОСТ 31339-2006 и ГОСТ 31904-2012. Микробиологические показатели продукции определяли по ГОСТ 31339-2006, ГОСТ 31904-2012, МУК 4.2.1847-04 и ПНСТ 826-2023. Содержание токсичных элементов проводили с применением метода атомно-абсорбционной спектрофотометрии по ГОСТ 30178-96, ГОСТ 31707-2012 и ГОСТ Р 53183-2008. Определение бенз(а)пирена, гистамина изучали методом ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием. Пестициды находили согласно МВИ.МН 2352-2005. Содержание белка проводили в соответствии с ГОСТ Р 52421-2005. Общий белковый, небелковый азот, азот летучих оснований и аминокислотный азот устанавливали по ГОСТ 7636-85.

Образцы закладывались на хранение в гофрокороба массой 250–300 г продукции. Температура хранения составляла от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $+6^{\circ}\text{C}$ . Показатель влажности имел значение не выше 70 %. Органолептическая оценка исследуемых экземпляров пищевых изделий проводилась в соответствии с ГОСТ 7636-85. Программа испытаний по установлению безопасности и срока годности пищевой продукции представлена в табл. 1.

Таблица 1. Программа испытаний пищевой продукции по установлению срока годности и безопасности скумбрии бездымного горячего копчения  
 Table 1. Food testing program to establish the shelf life and safety of smokeless hot smoked mackerel

Наименование характеристик объекта испытаний, значение	Контрольные точки / Схема контрольных испытаний					
	сутки					
	0	3	4	5	7	10
Процент срока по отношению к ГОСТ 7447-2015, %	0	100	133	166	233	334
<b>Микробиологические показатели</b>						
КМАФАнМ	x	x	x	x	x	x
БГКП в 0,1 г и в 1 г	x	x	x	x	x	x
Staphylococcus aureus в 1 г и в 0,1 г	x	x	x	x	x	x
Бактерии рода сальмонеллы в 25 г	x	x	x	x	x	x
L. monocytogenes в 25 г	x	x	x	x	x	x
Сульфитредуцирующие клостридии в 1 г и в 0,1 г	x	x	x	x	x	x
Дрожжи и плесневые грибы в 1 г	x	x	x	x	x	x
<b>Показатели безопасности</b>						
Токсичные элементы*, (Pb, Cd, As, Hg)	x					
Пестициды*, (Массовая концентрация ГХЦГ; ДДТ и его метаболиты)	x					
Массовая концентрация ПХБ*	x					
ДДТ и его метаболиты*	x					
Гистамин	x				x	
Бенз(а)пирен					x	
<b>Сравнительные органолептические исследования к контрольным</b>						
Внешний вид	x	x	x	x	x	x



Вкус и запах	x	x	x	x	x	x
Консистенция мяса рыбы	x	x	x	x	x	x
Цвет	x	x	x	x	x	x

\*определяется в одной партии испытываемой продукции

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе изучения органолептических показателей двух образцов скумбрии было выявлено, что рыба, обработанная коптильно-водорослевой композицией (КВК) на протяжении 7 суток, сохраняет свой привлекательный внешний вид по отношению к контрольному образцу рыбы, выкопченному традиционным способом, в котором происходили изменения уже на 5-е сутки хранения (появлялась морщинистость кожного покрова, привкус окисленного жира).

На протяжении 7 суток хранения продукция, обработанная КВК, сохраняла органолептические характеристики, соответствующие требованиям ГОСТ 7447-2015.

На рис. 1 представлены показатели вкуса и запаха образцов в баллах на 3-и сутки хранения.



Рис. 1. Профилограмма органолептической оценки вкуса и запаха образцов рыбы горячего копчения, выкопченных различными способами

Fig. 1. Profilogram of organoleptic evaluation of taste and odor of hot-smoked fish samples smoked by different methods

Из рис. 1. видно, что после иммерсионного нанесения КВК скумбрия имеет более благоприятные характеристики вкуса и запаха по отношению к рыбе, выкопченной традиционным методом. Данный эффект обусловлен присутствием функциональных соединений водорослей, обладающих красящими и вкусоароматическими свойствами (каротиноиды, флавоноиды, антоцианы, кислоты, каррагинаны и др.). Кроме того, рыба бездымного копчения имела более ярко выраженный цвет и блеск, обусловленные формированием на поверхности коптильной биопленки.



Следующим этапом оценки качества и безопасности было изучение микробиологических показателей скумбрии бездымного горячего копчения, обработанной КВК. Данные представлены в табл.2.

В процессе закладки на хранение опытных образцов скумбрии горячего копчения, обработанной КВК при температуре от  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , бактерии группы кишечных палочек, стафилококки, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, сульфитредуцирующие клостридии, не были обнаружены. В течение 7 суток хранения значение общей обсемененности (показатель КМАФАнМ) находилось в пределах  $1,5 \times 10^2 - 2,4 \times 10^3$  КОЕ/г, что соответствует требованиям ТР ТС 040/2016.

Таблица 2. Микробиологические показатели качества скумбрии бездымного горячего копчения, обработанной КВК, в процессе хранения  
 Table 2. Microbiological quality parameters of smokeless hot smoked mackerel treated with KVK in the process of storage

Наименование показателя	Значение по ТР ТС 040/2016	Содержание микроорганизмов в процессе хранения, сут					
		0	3	4	5	7	10
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	$1 \times 10^4$	менее $1,5 \times 10^2$		$1,5 \times 10^2$	$2,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^6$	
БГКП в 1,0 г	не допускается	Не выделено					
БГКП в 0,1 г		Не выделено					
S. aureus в 1,0 г		Не выделено					
S. aureus в 0,1 г		Не выделено					
Бактерии рода сальмонеллы в 25 г		Не выделено					
Listeria monocytogenes в 25 г		Не выделено					
Сульфитредуцирующие клостридии в 1,0 г		Не выделено					
Сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г		Не выделено					
Дрожжи, КОЕ/г		–	Не выделено				
Плесневые грибы КОЕ/г	–	Не выделено					

Из данных табл. 2 следует, что рыба, обработанная КВК, обладает высокими показателями микробиологической безопасности на протяжении 7 суток хранения при температуре от  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это превышает сроки хранения, рекомендуемые ГОСТ 7447-2015, в 2,5 раза (3 суток).

Согласно рекомендациям МУК 4.2.1847-04 по микробиологическим и органолептическим результатам срок годности рыбы горячего бездымного копчения, обработанной КВК, может быть рекомендован 7 суток при температуре от  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 2–5 представлена динамика изменений содержания белка, небелкового азота, азота летучих оснований и аминного азота в образцах скумбрии, обработанной различными способами горячего копчения.

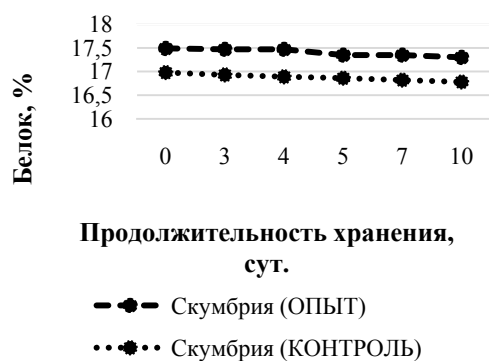


Рис. 2. Изменение содержания белка в процессе хранения  
Fig. 2. Changes in protein content during storage

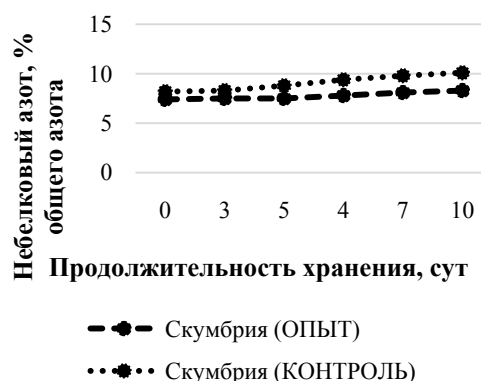


Рис. 3. Изменение содержания небелкового азота (% от общего азота) в процессе хранения  
Fig. 3. Change in the content of non-protein nitrogen (% of total nitrogen) during storage

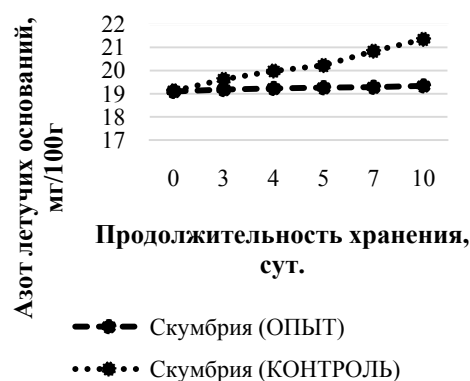


Рис. 4. Изменение содержания азота летучих оснований в процессе хранения  
Fig. 4. Change in nitrogen content volatile bases during storage

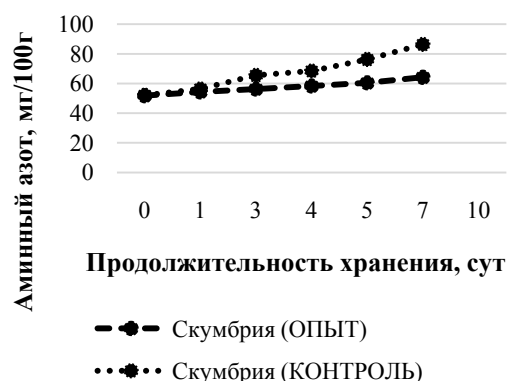


Рис. 5. Изменение содержания аминного азота в процессе хранения  
Fig. 5. Change in amine nitrogen content during storage

Данные рис. 2–5 указывают на снижение интенсивности гидролиза белков с образованием небелкового азота, азота летучих оснований и аминного азота в скумбрии горячего копчения, обработанной КВК, по отношению к скумбрии, выкопченной традиционным методом.

Такой результат может быть связан с изменением продолжительности термической обработки (образец «контроль»: продолжительность собственно копчения 2,5 ч при температуре 130–150 °С; образец «опыт»: соответственно 1,5 ч при температуре 110–130 °С). Данный эффект также обусловлен защитной функцией копильно-водорослевой биопленки на поверхности продукта.

На следующем этапе проводилось изучение показателей химической безопасности рыбы, выкопченной с применением КВК (табл. 3).

Таблица 3. Показатели безопасности скумбрии горячего бездымного копчения, обработанной коптильно-водорослевой композицией  
Table 3. Safety indicators of smokeless hot smoked mackerel treated with smoked algae composition

Наименование показателя	Значение по ТР ТС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции», мг/кг, не более	Значение показателей безопасности, мг/кг
Токсичные элементы		
Свинец	1,0	0,21
Мышьяк	5,0	1,1
Кадмий	0,2	0,032
Ртуть	0,5	0,12
Пестициды		
Гексахлорциклогексан ( $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - изомеры)	0,2	0,0007
ДДТ и его метаболиты	0,4	0,0015
Санитарно-гигиенические показатели		
Бенз(а)пирен	0,005	0,0001
ПХБ	2,0	0,003
Гистамин	100	менее 10,0

Из табл. 3 видно, что все показатели химической безопасности экспериментальных образцов рыбы бездымного горячего копчения ниже допустимых значений, регламентированных ТР ТС 040/2016.

Полученные результаты позволяют констатировать соответствие новой рыбной продукции бездымного горячего копчения действующим стандартам, высокие органолептические достоинства и пищевую безопасность.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные исследования показали, что обработка рыбы методом горячего бездымного копчения с использованием КВК приводит к улучшению ее органолептических и микробиологических характеристик при соответствии ключевых показателей требованиям технической документации. Этот положительный эффект обусловлен наличием в составе коптильно-водорослевой композиции функциональных красящих веществ, вкусо-ароматических соединений, антиоксидантов и консервантов (каротиноиды, фенольные соединения, органические кислоты, карбонильные соединения).

Результаты проведенных исследований по установлению сроков годности новой продукции горячего копчения показали их пролонгирование относительно стандартных сроков (7 суток соответственно при температуре от  $-2$  °C до  $+6$  °C), что свидетельствует о повышенном антисептическом эффекте новой технологии. Под воздействием компонентов коптильно-водорослевой композиции увеличивается стабилизация липидов в рыбе и сохранность ее белковых компонентов.

По регламентированным химическим показателям (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть, пестициды, бенз(а)пирен, полихлорированные бифенилы, гистамин) подтверждена безопасность копченой новым способом рыбной продукции.

#### Список источников

1. Büyüköztürk, S. Determination of food safety hazards and critical control points in smoked fish production // Food Control. 2016. № 62. S. 190-195.
2. Hu X., Zhang Y., Zhang L. Effects of smoking process and storage temperature on the quality and safety of hot-smoked fish // Journal of Food Safety and Quality. 2018. V. 9. N 9. S. 2406–2412.
3. Kim J.-H., Park J.-W. Quality characteristics of hot-smoked oily fish using different wood chips // Food Science and Biotechnology. 2018. V. 27. N 4. S. 1131–1138.
4. Secci G., Rei F., Piredda M. The effect of different woods on the quality characteristics of hot-smoked European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) // Italian Journal of Food Science. 2018. V. 30. N 4. S. 760–776.
5. Tuncer Y. Effect of various smoking methods on the quality characteristics of mackerel (*Scomber scombrus*) // Journal of Aquatic Food Product Technology. 2018. V. 27. N 1. S. 54–64.
6. Гиганий В. И. Постановка и решение проблемы снижения вредоносности сырья и продукции из него в отрасли бездымного горячего копчения рыбы // Вестник ВНИИТР. 2015. № 2. С. 30–39.
7. Мезенова О. Я., Самбурская Н. В., Сушина А. Д., Мерзель Й.-Т. Использование потенциала красных водорослей в технологии бездымного копчения рыбы // Вестник Международной академии холода. 2022. № 4. С. 29–36.
8. Чижменева А. П., Шевелл Д. М., Бессер Ж. Н. Разработка и исследование бездымных копченых рыбопродуктов с использованием коптильно-водорослевых композиций // Исследование и освоение природных ресурсов. 2018. № 2. С. 20–26.
9. Шевелл Д. М., Синячкин М. Н., Чижменева А. П. Методы модификации коптильно-водорослевых композиций для копчения рыбы бездымного горячего копчения // Вестник РАСХН. 2015. № 5. С. 56–64.
10. Мезенова О. Я. Технология и методы копчения пищевых продуктов. СПб.: Проспект Науки, 2018. 288 с.
11. Насшироев А. М., Розановский М. Ю. Обоснование и анализ технологической схемы бездымного копчения рыбы // Рыбное хозяйство. 2017. № 2 (201). С. 39–42.
12. Борисова Е. А., Бут Г. М., Потехаев Н. Н. Методы и средства качественного холодного и горячего копчения рыбы. Москва: Агропромиздат, 2012. 108 с.
13. Сахарова Н. В., Щербакова В. А., Землянов А. А. Контроль безопасности и качества рыбы в системе НАССР // Рыбоводство. 2013. № 3. С. 20–22.
14. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Исследование получения и применения коптильной композиции на основе экстрактов красных водорослей *Furcellaria Lumbriicalis* // Вестник Международной академии холода. 2022. № 1. С. 53–60.
15. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Технология экологически безопасной копченой рыбы повышенной биологической ценности // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т. 9. № 1. С. 27–36.

## References

1. Büyüköztürk, S. Determination of food safety hazards and critical control points in smoked fish production. *Food Control*. 2016, no. 62, pp. 190–195.
2. Hu, X., Zhang, Y., and Zhang, L. Effects of smoking process and storage temperature on the quality and safety of hot-smoked fish. *Journal of Food Safety and Quality*. 2018, vol. 9, no. 9, pp. 2406–2412.
3. Kim, J.-H., and Park, J.-W. Quality characteristics of hot-smoked oily fish using different wood chips. *Food Science and Biotechnology*. 2018, vol. 27, no. 4, pp. 1131–1138.
4. Secci G., Rei F., Piredda M. The effect of different woods on the quality characteristics of hot-smoked European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Italian Journal of Food Science*. 2018, vol. 30, no. 4, pp. 760–776.
5. Tuncer Y. Effect of various smoking methods on the quality characteristics of mackerel (*Scomber scombrus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2018, vol. 27, no. 1, pp. 54–64.
6. Giganiy V. I. Postanovka i reshenie problemy snizheniya vredonosnosti syr'ya i produktsii iz nego v otrasli bezdymnogo goryachego kopcheniya ryby [Stating and solving the problem of reducing the harmfulness of raw materials and products from them in the smokeless hot-smoked fish industry]. *Vestnik VNIITR*, 2015, no. 2, pp. 30–39.
7. Mezenova O. Ya., Samburskaya N. V., Sushina A. D., Merzel' Y.-T. Ispol'zovanie potentsiala krasnykh vodorosley v tekhnologii bezdymnogo kopcheniya ryby [Utilization of red algae potential in smokeless fish smoking technology]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2022, no. 4, pp. 29–36.
8. Chizhmeneva A. P., Shevell D. M., Besser Zh. N. Razrabotka i issledovanie bezdymnykh kopchenykh ryboproduktov s ispol'zovaniem koptil'no-vodoroslevykh kompozitsiy [Development and research of smokeless smoked fish products using smoked algae compositions]. *Issledovanie i osvoenie prirodnnykh resursov*, 2018, no. 2, pp. 20–26.
9. Shevell D. M., Sinyachkin M. N., Chizhmeneva A. P. Metody modifikatsii koptil'no-vodoroslevykh kompozitsiy dlya kopcheniya ryby bezdymnogo goryachego kopcheniya [Methods of modification of smoked algae compositions for smokeless hot smoking of fish]. *Vestnik RASKHN*, 2015, no. 5, pp. 56–64.
10. Mezenova O. Ya. *Tekhnologiya i metody kopcheniya pishchevykh produktov* [Technology and methods of smoking food products]. Saint-Petersburg, Prospekt Nauki Publ., 2018, 288 p.
11. Nasshiroev A. M., Rozanovskiy M. Yu. Obosnovanie i analiz tekhnologicheskoy skhemy bezdymnogo kopcheniya ryby [Justification and analysis of technological scheme of smokeless smoking of fish]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2017, no. 2 (201), pp. 39–42.
12. Borisova E. A., But G. M., Potekaev N. N. *Metody i sredstva kachestvennogo kholodnogo i goryachego kopcheniya ryby* [Methods and means of qualitative cold and hot smoking of fish]. Moscow, Agropromizdat Publ., 2012, 108 p.
13. Sakharova N. V., Shcherbakova V. A., Zemlyanov A. A. Kontrol' bezopasnosti i kachestva ryby v sisteme HACCP [Control of fish safety and quality in the HACCP system]. *Rybovodstvo*, 2013, no. 3, pp. 20–22.

14. Sushina A. D., Mezenova O. Ya. Issledovanie polucheniya i primeneniya kop-til'noy kompozitsii na osnove ekstraktov krasnykh vodorosley *Furcellaria Lumbricalis* [Study of preparation and application of smoking composition based on extracts of red algae *Furcellaria Lumbricalis*]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2022, no. 1, pp. 53–60.

15. Sushina A. D., Mezenova O. Ya. Tekhnologiya ekologicheski bezopasnoy kop-chenoy ryby povyshennoy biologicheskoy tsennosti [Technology of ecologically safe smoked fish of high biological value]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2023, vol. 9. no. 1, pp. 27–36.

### **Информация об авторах**

**А. Д. Сушина** – аспирант кафедры пищевой биотехнологии

**О. Я. Мезенова** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии

### **Information about the authors**

**A. D. Sushina** - Postgraduate student of the Department of Food Biotechnology

**O. Ya. Mezenova** – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Food Biotechnology

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 20.12.2023.

The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 20.12.2023.



**СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**



Научная статья

УДК 656.62.052; 639.2

DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-105-114

### Экспериментальные исследования модели катамарана

Александр Алексеевич Недоступ<sup>1</sup>, Егор Ильич Сергеев<sup>2</sup>, Евгений Андреевич Чуреев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>nedostup@klgtu.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается гидродинамика модели катамарана, которая выполнена на основе теории мультифизического подобия. Натурный катамаран состоит из двух моторных лодок типа «Wyatboat-430», соединенных специально изготовленной палубой. Лодки «Wyatboat-430» применяются для прибрежного лова, во внутренних водоемах, а также для научных исследований запасов гидробионтов. Для физического определения гидродинамического сопротивления натуральных моторных лодок «Wyatboat-430» и самого катамарана были проведены экспериментальные исследования в опытовом бассейне Калининградского государственного технического университета (КГТУ). Гидродинамическое сопротивление катамарана зависит от многих характеристик: формы корпуса лодок, шероховатости поверхности корпуса, в частности днища лодок, размеров лодок, скорости буксировки, расстояния между лодками (крепления) и др. При физическом эксперименте рассчитывали гидродинамическое сопротивление по результатам прогонки модели катамарана в опытовом бассейне, модели катамарана выполнены из стеклопластика. Численные эксперименты по расчету гидродинамики моторной лодки типа «Wyatboat-430» выполнялись с помощью имитационного моделирования, для расчета сопротивления была создана 3D-модель лодки «Wyatboat-430» с помощью специальной программе Blender. Сам расчет сопротивления 3D-модели катамарана выполнен в программе Maxsurf Resistance, которая считает приближенное гидродинамическое сопротивление. После полученных результатов проводили анализ, сравнение и прогноз гидродинамического сопротивления модели катамарана.

**Ключевые слова:** гидродинамическое сопротивление, гидродинамика, катамаран, эксперименты, бассейн, полигон, лодка, программный продукт.

**Финансирование:** Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов».

**Для цитирования:** Недоступ А. А., Сергеев Е. И., Чуреев Е. А. Экспериментальные исследования модели катамарана // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 105–114. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-105-114.

Original article

### Experimental studies of the catamaran model

Aleksandr A. Nedostup<sup>1</sup>, Egor I. Sergeev<sup>2</sup>, Evgeniy A. Chureev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>nedostup@klgtu.ru

**Abstract.** This article discusses the hydrodynamics of the catamaran model. The catamaran model is based on the theory of multiphysical similarity. A full scale catamaran consists of two motorboats of the "Wyatboat-430" type, connected with a specially made deck. Boats "Wyatboat-430" are used for coastal fishing, as well as in inland waters, conducting scientific studies of aquatic life stocks in reservoirs of the Russian Federation. For the physical determination of the hydrodynamic resistance of full-scale motor boats "Wyatboat-430" and the catamaran itself, experimental studies have been conducted in the experimental pool of the Federal State Educational Institution "KSTU". The hydrodynamic resistance of a catamaran depends on many characteristics: shape of the hull, roughness of the hull surface, in particular the bottom of the boats, size of the boats, towing speed, distance between the boats (attachment), etc. During the physical experiment, the hydrodynamic resistance has been calculated based on the results of running a catamaran model in the experimental pool of KSTU. The catamaran models are made of fiberglass. Numerical experiments on the calculation of the hydrodynamics of "Wyatboat-430" motorboat have been performed using simulation modeling. A 3D model of the boat "Wyatboat-430" boat has been created to calculate the resistance, using a special Blender program. Calculation of the resistance of the catamaran 3D model has been performed in the Maxsurf Resistance program. This program calculates the approximate hydro-dynamic resistance. After the results obtained, the analysis, comparison and prediction of the hydrodynamic resistance of the catamaran model have been carried out.

**Keywords:** hydrodynamic resistance, hydrodynamics, catamaran, experiments, swimming pool, landfill, boat, software product.

**Funding:** The study has been carried out within the framework of the state task on the topic "Development of physical, mathematical and predictive models of the processes of operation of bottom and multi-depth trawl complexes".

**For citation:** Nedostup A. A., Sergeev E. I., Chureev E. A. Experimental studies of the catamaran model // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72): 105–114. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-105-114.

## ВВЕДЕНИЕ

Достижение оптимальных параметров катамаранов, которые способны буксировать активные орудия промышленного рыболовства, сопряжено с множеством проблем [1–4]:

- отсутствие в ряде районов разрешений на промысел активными орудиями рыболовства;
- несоответствие располагаемой тяги катамарана и агрегатного сопротивления орудия промышленного рыболовства;
- отсутствие на катамаранах механизации промысловых операций.

Это неполный список ограничений в эксплуатации катамаранов в прибрежной зоне и во внутренних водоемах Российской Федерации. Ограничения диктуют определенные условия работы, возникают задачи, которые решаются различными методами, такими как физический и имитационный эксперименты.

В данной статье приведены результаты анализа и сравнения двух выполненных экспериментов. Первый эксперимент проводился с помощью имитационного моделирования для расчета гидродинамики благодаря созданной 3D-модели катамарана, который состоял из двух моторных лодок типа «Wyatboat-430». Созданный в программе Blender катамаран, или его 3D-модель, прогонялся в программе Maxsurf Resistance. Данный эксперимент является имитационным и показывает количественную картину процесса обтекания частицами воды корпуса катамарана, программа выполняет приближенный расчет, это необходимо для оценки полей скоростей и давлений вокруг корпуса катамарана. На рис. 1 изображена 3D-модель катамарана.

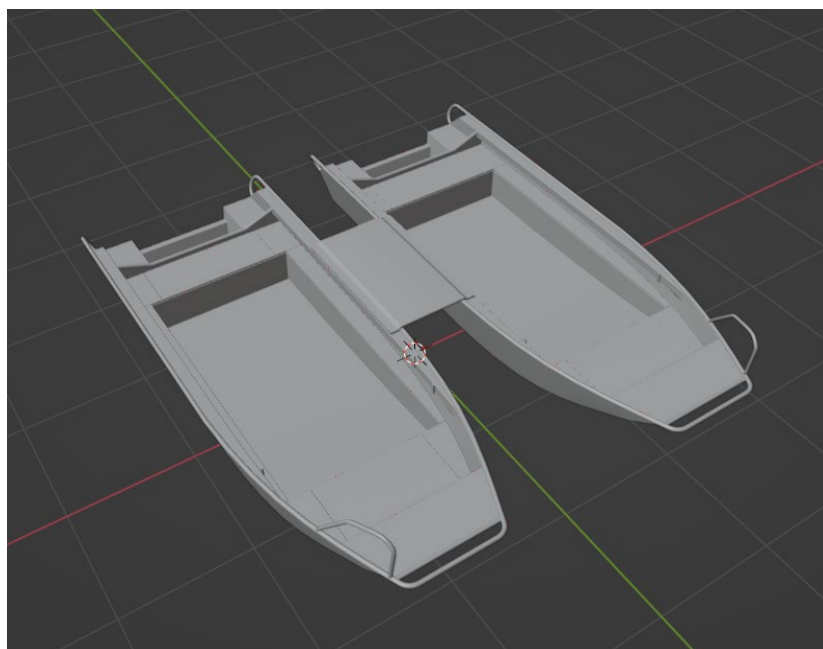


Рис. 1. 3D-модель катамарана  
Fig. 1. 3D-model of a catamaran

Технические характеристики лодки «Wyatboat-430» представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики моторной лодки «Wyatboat-430»  
Table 1. Characteristics of "Wyatboat-430" motorboat

Длина, м	Ширина, м	Материал корпуса	Масса, кг
4,3	1,6	алюминий	189

### ИМИТАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Специализированная программа Maxsurf Resistance для оценки требований к корпусу судна, а именно оценки его сопротивления, позволяет рассчитать поля гидродинамического сопротивления и давления. На основании программы Blender построен в 3D катамаран и проведены численные эксперименты с ним в программе Maxsurf Resistance. На рис. 2–3 изображены результаты имитационного моделирования катамарана, состоящего из двух моторных лодок «Wyatboat-430». Расстояние между лодками изменялось для определения наилучшего, с точки зрения минимального гидродинамического сопротивления, корпуса катамарана. В табл. 2 представлены результаты в числовом виде.

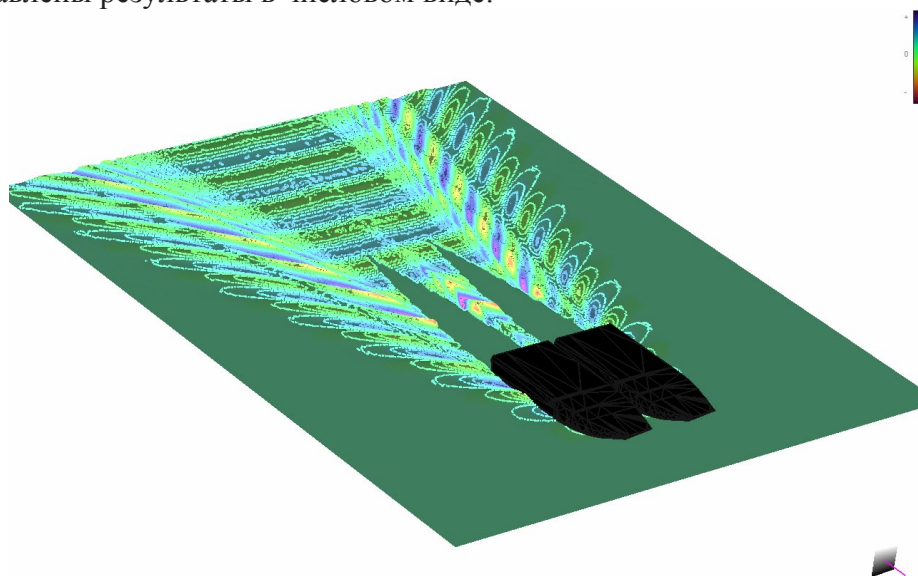


Рис. 2. Картина волнообразования. Расстояние между корпусами 0 м  
Fig. 2. Wave formation picture. The distance between the hulls is 0 m



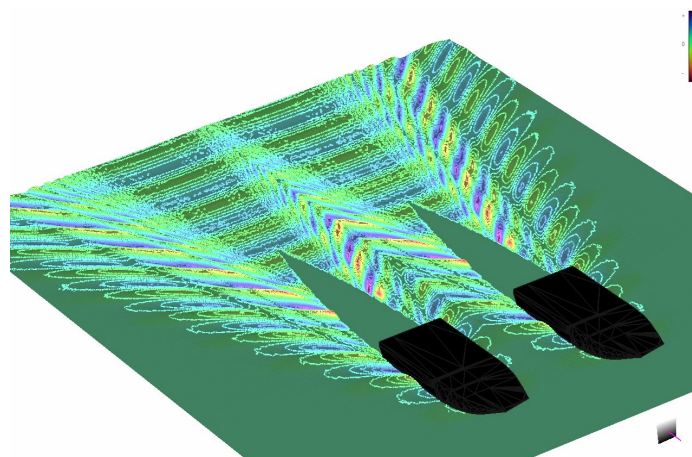


Рис. 3. Картина волнообразования. Расстояние между корпусами 2 м  
Fig. 3. Wave formation picture. The distance between the hulls is 2 m

Визуальная картина (рис. 2, 3) не дает четкого ответа, какое расстояние между лодками оптимальное с точки зрения минимального гидродинамического сопротивления корпуса катамарана.

Таблица 2. Сводная таблица результатов расчетов программы Maxsurf Resistance  
Table 2. Summary table of Maxsurf Resistance program calculation results

Расстояние между бортами лодок, м	Сопротивление R, Н
0	158,18
1	158,18
2	158,18

Зависимость гидродинамического сопротивления корпуса катамарана от расстояния между бортами лодок представлена на рис. 4.

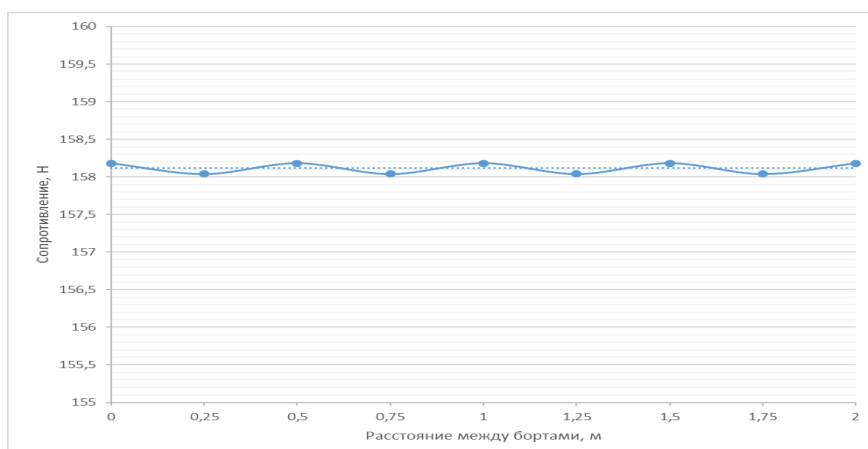


Рис. 4. График зависимости сопротивления от расстояния между бортами  
Fig. 4. Graph of resistance versus distance between sides

## ФИЗИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В ходе проведения физических экспериментов с моделью катамарана на первоначальном этапе создали модели двух лодок «Wyatboat-430» из стеклопластика в геометрическом масштабе 0,15, затем модели лодок соединили моделью палубы и получили модель катамарана. Эксперименты с физической моделью катамарана проводились в опытовом бассейне КГТУ, который предназначен для исследований с физическими моделями судов с целью определения их гидродинамических характеристик на тихой воде, а также на волнении как регулярном, так и нерегулярном. Длина бассейна составляет 30 м, максимальная скорость, которую развивает тележка, – 3 м/с. Опытный бассейн представлен на рис. 5.



Рис. 5. Опытный бассейн  
Fig. 5. Experimental pool

По теории мультифизического подобия рассчитаны масштабы подобия моторной лодки «Wyatboat-430», которые приведены в табл. 3.

Таблица 3. Масштабы подобия моторной лодки «Wyatboat-430»  
Table 3. Scale of the similarity of “Wyatboat-430” motorboat

Масштаб геометрических характеристик $C_l$	Масштаб массы $C_m$	Масштаб плотности воды $C_p$
0,15	0,0034	1,0

Характеристики модели моторной лодки «Wyatboat-430» указаны в табл. 4.

Таблица 4. Геометрические и конструктивные характеристики моторной лодки «Wyatboat-430»

Table 4. Geometric and structural characteristics of "Wyatboat-430" motorboat

Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Материал корпуса
0,645	0,24	0,097	Стеклопластик, пеноплекс, деревянные балки

Модель катамарана, который состоит из двух моторных лодок «Wyatboat-430», представлена на рис. 6.



Рис. 6. Модель катамарана  
Fig. 6. Catamaran model

В опытовом бассейне КГТУ проведены исследования гидродинамических характеристик модели катамарана с учетом методики выполнения опытов с корпусами моделей судов [5]. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты испытаний модели катамарана  
 Table 5. Test results of the catamaran model

№	Скорость, м/с	Сопротивление, Н		
		Расстояние бортов 0 мм	Расстояние бортов 75 мм	Расстояние бортов 150 мм
1	0	0	0	0
2	0,99	0,21	0,19	0,19
3	1,52	0,63	0,54	0,51
4	2,04	0,65	0,58	0,58
5	2,51	0,73	0,69	0,69

На основании полученных результатов были построены зависимости гидродинамического сопротивления корпуса модели катамарана от скорости буксировки тележки при различном расстоянии между бортами лодок: 0 м, 75 мм и 150 мм. На рис. 7 представлены графики вышеуказанной зависимости для модели катамарана, состоящего из моделей моторных лодок «Wyatboat-430», при этом моторы не моделировались. Зависимости построены в соответствии с методиками, приведенными в литературе [6–8].

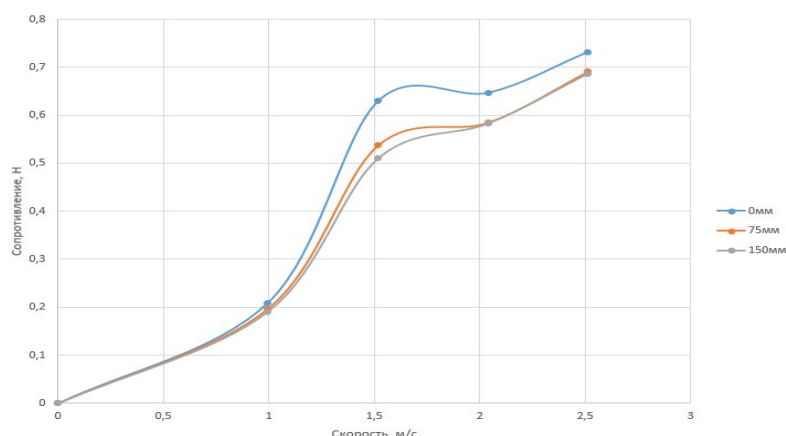


Рис. 7. График зависимостей гидродинамического сопротивления корпуса модели катамарана от скорости буксировки тележки при различном расстоянии между бортами лодок: 0 м, 75 мм, 150 мм

Fig. 7. A graph of the dependences of the hydrodynamic resistance of the catamaran model hull on the towing speed of the trolley at different distances between the sides of the boats: 0 m, 75 mm, 150 mm

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения имитационных и физических экспериментальных исследований гидродинамики модели катамарана, состоящего из двух моделей моторных лодок «Wyatboat-430», получены следующие результаты:



1. Имитационное исследование показало, что расстояние между бортами лодок не оказывает заметного влияния на гидродинамическое сопротивление модели катамарана и его мореходные характеристики;

2. Физический эксперимент с моделью катамарана показал, что гидродинамическое сопротивление при варианте «борт в борт» не самое благоприятное для катамарана. Различия по гидродинамическому сопротивлению катамарана между вторым вариантом и третьим незначительны.

#### Список источников

1. Денисов Л. И. Рыболовство на водохранилищах. Москва: Пищевая промышленность, 1978. 288 с.
2. Исаев А. И., Карпова Е. И. Рыбное хозяйство водохранилищ. Москва: ВО «Агропромиздат», 1989. 255 с.
3. Северов Ю. А., Сайфуллин Р. Р. Техника и орудия сбора ихтиологического материала во внутренних водоемах. Казань: КФУ, 2015. 40 с.
4. Самбаев Н. С. Промысловое состояние на Шардаринском водохранилище и применяемые орудия лова // Каспий и глобальные вызовы: Междунар. науч. конф. (23 мая 2022 г.): материалы. Астрахань, 2022. С. 568–574.
5. Радциг А. Н. Экспериментальная гидроаэромеханика. Москва: МАИ, 2004. 296 с.
6. Бронников А. В. Проектирование судов. Ленинград: Судостроение, 1991. 320 с.
7. Севастьянов Н. Б., Раков А. И. Проектирование промысловых судов. Ленинград: Судостроение, 1981. 374 с.
8. Аффраемев Э. А., Рабинович Я. С. Некоторые гидродинамические особенности катеров-катамаранов // Судостроение, 1977. № 70. С. 56–58.

#### References

1. Denisov L. I. *Rybolovstvo na vodokhranilishchakh* [Fishing in reservoirs]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1978, 288 p.
2. Isaev A. I., Karpova E. I. *Rybnoe khozyaystvo vodokhranilishch* [Reservoir fisheries]. Moscow, VO "Agropromizdat" Publ., 1989, 255 p.
3. Severov Yu. A., Sayfullin R. R. *Tekhnika i orudiya sbora ikhtiologicheskogo materiala vo vnutrennikh vodoemakh* [Techniques and tools for collecting ichthyological material in inland waters]. Kazan', KFU Publ., 2015, 40 p.
4. Sambaev N. S. Promyslovoe sostoyanie na Shardarinskom vodokhranilishche i primenyaemye orudiya lova [Fishing conditions on the Shardara reservoir and the fishing gear used]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Kaspiy i global'nye vyzovy" (23 maya 2022 g.)* [Proceedings of the International Scientific Conference "Caspian Sea and Global challenges" (23 May 2022)]. Astrakhan', 2022, pp. 568–574.
5. Radtsig A. N. *Eksperimental'naya gidroaeromekhanika* [Experimental hydroaeromechanics]. Moscow, MAI Publ., 2004, 296 p.
6. Bronnikov A. V. *Proektirovanie sudov* [Ship design]. Leningrad, Sudostroe-nie Publ., 1991, 320 p.

7. Sevast'yanov N. B., Rakov A. I. *Proektirovanie promyslovykh sudov* [Design of fishing vessels]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981, 374 p.

8. Aframeev E. A., Rabinovich Ya. S. Nekotorye gidrodinamicheskie osobennosti katerov-katamaranov [Some hydrodynamic features of catamaran boats]. *Sudostroenie*, 1977, no. 70, pp. 56–58.

#### **Информация об авторах**

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

**Е. И. Сергеев** – аспирант кафедры промышленного рыболовства

**Е. А. Чуреев** – директор Научно-исследовательского центра судостроения Калининградского государственного технического университета

#### **Information about the author**

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

**E. I. Sergeev** – postgraduate student of the Department of Industrial Fisheries

**Y. A. Chureev** – Director of the Shipbuilding Research Center of the Kaliningrad State Technical University

Статья поступила в редакцию 14.11.2023; одобрена после рецензирования 11.01.2024; принята к публикации 12.01.2024.

The article was submitted 14.11.2023; approved after reviewing 11.01.2024; accepted for publication 12.01.2024.

Научная статья

УДК 629.423.31+624.042.12+539.3+539.41

DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-115-125

### Анализ прочности болтового крепления тягового электродвигателя трамвайного вагона с боковым подвесом привода

Владимир Георгиевич Сукиасов<sup>1</sup>, Сергей Васильевич Федоров<sup>2</sup>, Андрей Васильевич Панкратов<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>3</sup> МКП «Калининград-ГорТранс», Калининград, Россия

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

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

<sup>3</sup>a.pankratov@gortrans39.ru

**Аннотация.** Исследуется проблема прочности болтового крепления тягового электродвигателя (ТЭД) при его боковом размещении на тележке трамвайного вагона. Такое размещение создает неблагоприятные условия восприятия болтами действующих нагрузок, что требует детального рассмотрения особенностей напряженного состояния болтов. Построены геометрические модели ТЭД и прилегающих фрагментов тележки, а также сборка на их основе с целью изучения совместного деформирования внешней нагрузкой. Подготовка расчетной модели включает также конечноэлементную дискретизацию, задание свойств материалов и способов фиксации компонентов. Для описания взаимодействия ТЭД с опорными поверхностями тележки использованы условия одностороннего контакта; наличие креплений моделируется посредством предусмотренных для этой цели соединителей, с указанием геометрических параметров болтов и величины предварительной затяжки, что позволяет имитировать условия работы болтовых соединений. Выполнен численный анализ модели в условиях воздействия постоянной и переменной нагрузки. При этом постоянная нагрузка на болты обусловлена их предварительной затяжкой, а также весом ТЭД; переменная нагрузка связана с динамикой движения тележки по рельсовому пути, когда возможны значительные ускорения. На основе вычисленных значений силовых факторов в соединителях рассчитаны параметры напряженного состояния крепежных болтов. Установлено, что наибольшие напряжения испытывает болт крепления ТЭД к нижней горизонтальной опоре, на удалении от центра тяжести. Показано, что в условиях эксплуатационных воздействий существует опасность разрушения болтов по причине несоответствия требованиям прочности. По итогам исследования рекомендованы меры по снижению негативного влияния внешних нагрузок на условия работы элементов креплений.



**Ключевые слова:** тяговый электродвигатель, болтовое крепление, нагрузка, напряженное состояние, прочность.

**Для цитирования:** Сукиасов В. Г., Федоров С. В., Панкратов А. В. Анализ прочности болтового крепления тягового электродвигателя трамвайного вагона с боковым подвесом привода // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 115–125. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-115-125.

Original article

### **Strength analysis of the traction electric motor bolted fastening of a tram car with a lateral drive suspension**

**Vladimir G. Sukiasov<sup>1</sup>, Sergey V. Fedorov<sup>2</sup>, Andrey V. Pankratov<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>3</sup> MGE «Kaliningrad-Gor Trans», Kaliningrad, Russia

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

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

<sup>3</sup>a.pankratov@gortrans39.ru

**Abstract.** The strength problem of the traction motor bolted fastening is investigated when it is placed sideways on the tram car bogie. Such arrangement creates unfavorable conditions for the bolts to perceive the acting loads, which requires a detailed consideration of the bolts stress state. Geometrical models of traction motor and adjoining bogie fragments have been constructed, as well as an assembly based on them in order to study their joint strain by an external load. The preparation of the computational model also includes the finite element discretization, setting the material properties and ways of fixing components. To describe the interaction between traction motor and the bogie supporting surfaces, the conditions of one-way contact have been used; the presence of fasteners is simulated by means of connectors provided for this purpose, with indicating the bolts geometric parameters and the preload value, which allows simulating the operating conditions of bolted connections. The numerical analysis of the model under the constant and variable loads application has been done. In this case, the constant load on the bolts is due to their pretension and the traction motor weight; the variable load is caused by the dynamics of the bogie movement along the rail track, when significant accelerations are possible. Based on the obtained force factors values in the connectors, the stress state parameters of the fastening bolts has been calculated. It has been discovered that the bolt of fastening the traction motor to the lower horizontal support, at a distance from the gravity center, is the most stressed. It has been shown that under operational conditions there is a risk of the bolts breakdown due to non-compliance with strength requirements. Based on the study results, the activities to reduce the negative external loads effect on the fasteners working conditions have been proposed.

**Keywords:** traction motor, bolt fastening, load, stress state, strength.

**For citation:** Sukiasov V. G., Fedorov S. V., Pankratov A. V. Strength analysis of the traction electric motor bolted fastening of a tram car with a lateral drive suspension. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72): 115–125. (In Russ). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-115-125.

## ВВЕДЕНИЕ

Тяговые электродвигатели (ТЭД) трамвайных вагонов монтируются на тележках ходовой части наряду с редукторами, амортизирующими и тормозными устройствами, а также прочим оборудованием. Детали крепления испытывают помимо постоянных нагрузок еще и динамическое воздействие при движении вагона. Надежность крепления ТЭД определяет, среди прочего, безопасность эксплуатации транспортного средства. Традиционные способы установки ТЭД на тележке – опорно-осевое и опорно-рамное подвешивание [1–8], при которых ТЭД размещается в срединной зоне колесной пары, с симметричным расположением опорных поверхностей, что обеспечивает благоприятные условия работы болтовых соединений. При этом ось ротора ТЭД, как правило, параллельна осям колесных пар. Вместе с тем такая возможность отсутствует для тележек низкопольных узкоколейных трамваев [9], вынуждая устанавливать ТЭД снаружи тележки, когда ось ротора ТЭД ориентирована перпендикулярно осям колесных пар. Это делает крепление ТЭД к тележке консольным, что негативно сказывается на характере нагружения крепежных болтов. Опыт эксплуатации вагонов с боковым подвесом привода выявил наличие проблем с надежностью болтового крепления ТЭД. Современные исследования вопросов несущей способности болтовых соединений опираются главным образом на результаты численного исследования статической и усталостной прочности болтов [10–14]. Подобный подход использован и в настоящей работе.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объектом изучения является крепление ТЭД, установленного консольно снаружи тележки с помощью четырех болтов М20. Цель состоит в теоретическом анализе напряженного состояния и прочности болтов на основе компьютерного моделирования реакции конструкции на силовые воздействия.

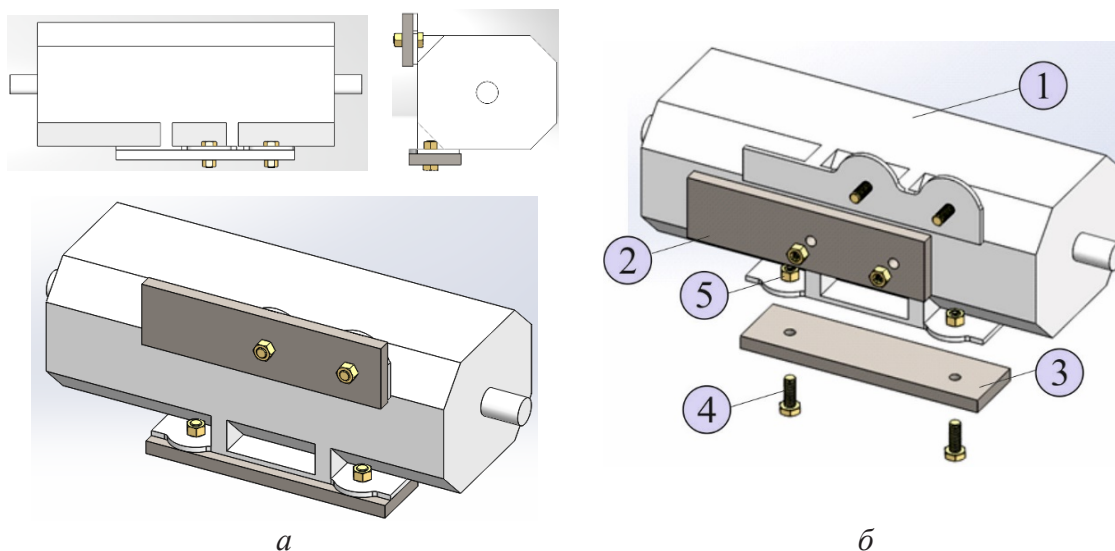


Рис. 1. Геометрическая модель: *а* – сверху, справа и общий вид сборки;  
*б* – сборка с разнесенными компонентами

Fig. 1. Geometric Model: *a* – top, right and general view of the assembly; *b* – assembly with exploded components

Геометрическая модель построена средствами CAD/CAE-системы Solid Works и представляет собой сборку, включающую корпус 1, стенку 2 и полку 3, а также болты 4 и гайки 5, как показано на рис. 1. Корпус упрощенно воспроизводит конфигурацию и размеры ТЭД, включая расположение крепежных отверстий, а его расчетная масса (за счет подбора плотности материала) составляет 315 кг, что соответствует массе реального ТЭД. Вертикальная стенка и горизонтальная полка имитируют участки тележки, непосредственно соприкасающиеся с ТЭД. Упругие свойства материала всех деталей сборки одинаковы: модуль упругости  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ . Условия сопряжения деталей отображают характер взаимодействия реальных объектов, а именно: для корпуса, стенки и полки выбрано сопряжение «нет проникновения», реализующее односторонний контакт. Условия закрепления: верхняя и нижняя грани стенки, а также обращенная к тележке грань полки полностью неподвижны, что иллюстрирует рис. 2. Параметры конечноэлементной модели: число узлов 74406, число элементов 49776.

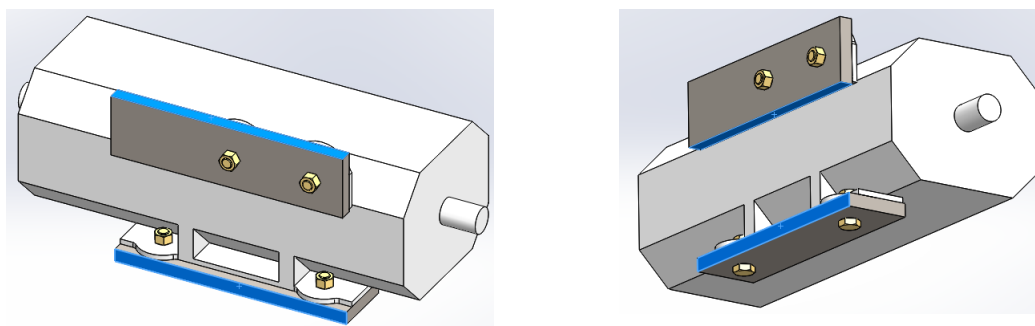


Рис. 2. Схема закрепления модели  
Fig. 2. Model pinning scheme

Численный анализ выполнен посредством расчетного модуля Solid Simulation. При этом вместо моделей болтов и гаек использованы предусмотренные в данном модуле *соединители*, имитирующие взаимодействие сопрягаемых объектов с крепежными деталями, в том числе с учетом предварительного нагружения. В данном исследовании применен соединитель «болт» со следующими настройками: диаметр – 20 мм; размер под ключ головки болта и гайки – 30 мм; коэффициент трения – 0,2; момент предварительной затяжки – 144 Н·м. Величина момента затяжки выбрана согласно рекомендациям [15, 16] для болтов М20 класса прочности 4.6, соответствующий материал – сталь 20 с прочностными характеристиками  $\sigma_b = 400$  МПа,  $\sigma_T = 240$  МПа,  $\sigma_{-1} = 170$  МПа [17].

## 2. РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ниже приведены результаты анализа, касающиеся напряженного состояния болтов. Эти данные выводятся в виде равнодействующих силовых факторов, что позволяет в дальнейшем вычислить максимальные напряжения для каждого болта. При этом нормальные напряжения, обусловленные продольным усилием и изгибающим моментом, принимают наибольшие значения на поверхности болта,

а касательные напряжения от перерезывающих сил достигают максимума в центре сечения, обращаясь в ноль на контуре. В связи с этим значения поперечных сил во внимание не принимаются. Для подсчета напряжений необходимы геометрические характеристики поперечного сечения. У болта М20 с крупным шагом внутренний диаметр резьбы составляет [18]  $d_1 = 17,294$  мм, откуда площадь сечения  $A = \pi d_1^2/4 = 234,9$  мм<sup>2</sup>, момент сопротивления относительно диаметра  $W = \pi d_1^3/32 = 507,8$  мм<sup>3</sup>, полярный момент сопротивления  $W_p = 2W = 1015,6$  мм<sup>3</sup>.

На рис. 3 показан результат расчета конструкции под действием силы тяжести, которое задано величиной вертикального ускорения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

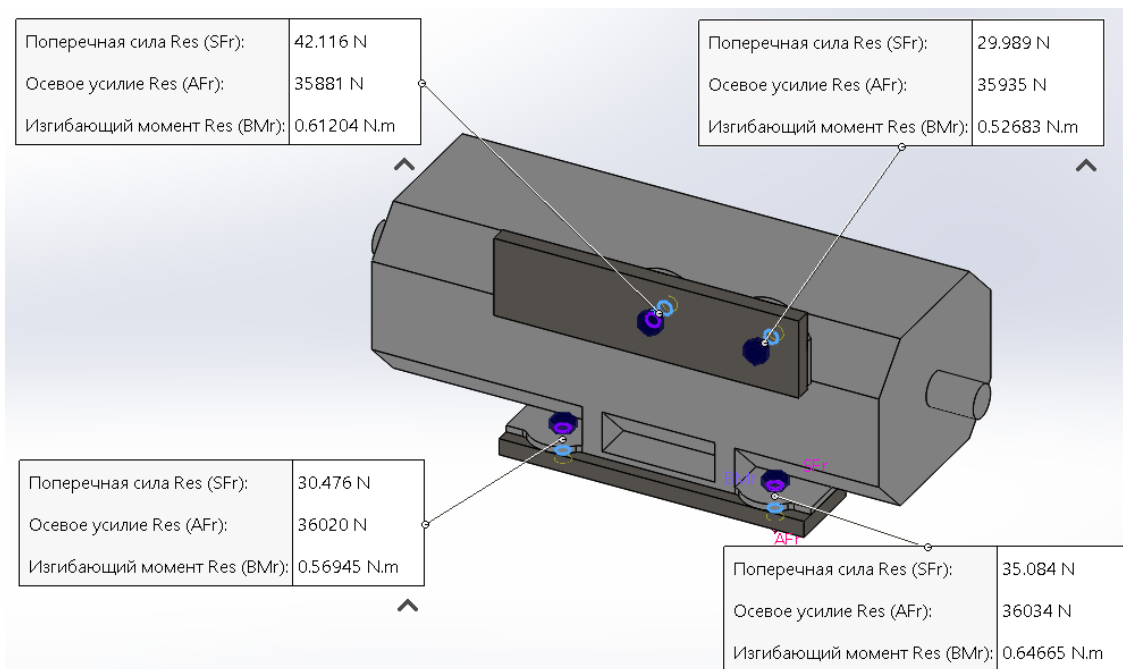


Рис. 3. Силовые факторы в крепежных болтах при гравитационной нагрузке

Fig. 3. Force factors in fixing bolts under gravitational load

Как следует из приведенных данных, болт в нижнем основании ТЭД, удаленный от центра тяжести (справа внизу на рис. 3), является наиболее нагруженным, воспринимая осевое усилие  $N = 36034$  Н и изгибающий момент  $M = 0,64665$  Н·м. Для этого болта растягивающее напряжение в стержне  $\sigma_p = N/A = 36034/234,9 = 153,4$  МПа; наибольшее изгибное напряжение  $\sigma_{и} = M/W = 646,65/507,8 = 1,27$  МПа  $\approx 1,3$  МПа. Их сумма 154,7 МПа составляет величину наибольшего нормального напряжения в сечении болта. Нагрузка в виде силы тяжести ТЭД и предварительной затяжки болта является стационарной, не зависящей от эффектов при движении, т. е. упомянутое напряжение представляет постоянную часть напряженного состояния болта и в расчете усталостной прочности может толковаться как среднее значение цикла нормальных напряжений  $\sigma_m = 154,7$  МПа. Помимо нормальных напряжений на поверхности болта наибольшей величины достигают также касательные напряжения за счет кручения болта моментом трения в резьбе. Момент в резьбе может быть найден как раз-

ность момента завинчивания и момента трения на торце гайки:  $T_p = T - T_t$ , при этом  $T_t = N \cdot f \cdot D_0 / 2$ , где  $f = 0,2$  – коэффициент трения,  $D_0 = 25$  мм – средний диаметр на опорном торце гайки. Тогда, с учетом  $N = 36034$  Н, получается  $T_t = 90,085$  Н·м, откуда  $T_p = 144 - 90,085 = 53,915$  Н·м. В итоге касательное напряжение на поверхности наиболее нагруженного болта  $\tau_m = T_p / W_p = 53915 / 1015,6 = 53,1$  МПа. Данное напряжение обусловлено стационарной нагрузкой и поэтому, как и в случае с нормальным напряжением, может считаться средним значением цикла касательных напряжений.

Полученные величины дают основание для оценки статической прочности болта. В условиях растяжения с изгибом и кручением, т. е. совместного действия нормальных и касательных напряжений, эквивалентное напряжение по IV теории прочности определяется выражением  $\sigma_e = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$ . Подстановка числовых значений дает  $\sigma_e = \sqrt{154,7^2 + 3 \cdot 53,1^2} = 180$  МПа, откуда следует, что статическая прочность по пределу текучести обеспечена с запасом  $\eta_{ст} = 240 / 180 = 1,33$ .

Динамическое воздействие на крепежные болты при движении тележки связано в первую очередь с прохождением стрелок и рельсовых стыков, а также неровностями профиля рельсового пути. Как показывают данные замеров в ходе натурных испытаний, на отдельных участках динамические ускорения могут превышать  $10 g$  [1], при этом за один оборотный рейс подвижной состав многократно преодолевает такие участки. В связи с этим предпринята попытка оценки циклической прочности крепежных болтов, удерживающих ТЭД в условиях повторяющихся кратковременных перегрузок.

На рис. 4 приведен результат расчета исследуемой модели под действием десятикратной силы тяжести, т. е. при значении вертикального ускорения  $10 g$ .

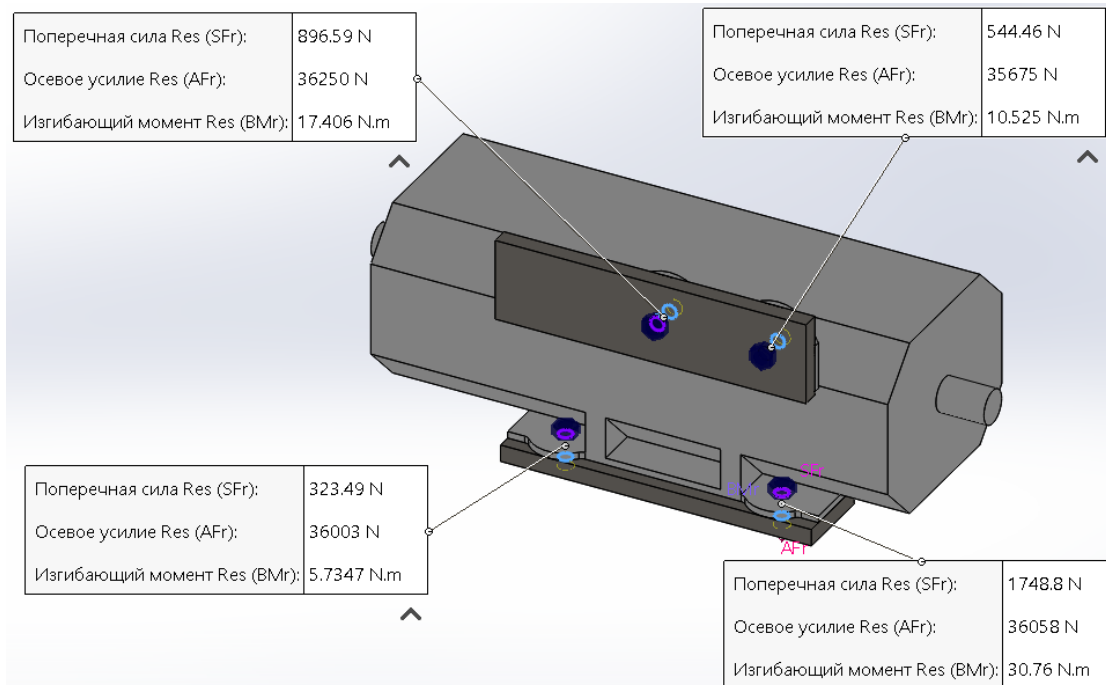


Рис. 4. Силовые факторы в крепежных болтах при 10-кратной перегрузке  
 Fig. 4. Force factors in fixing bolts at 10-fold overload



Сопоставление этих данных с представленными выше позволяет оценить переменную часть напряженного состояния болтов. Указанная часть рассчитывается как эффект от разности силовых факторов, соответствующих нагрузкам 10 g (см. рис. 4) и g (см. рис. 3), при наличии в обоих случаях предварительной затяжки моментом 144 Н·м. При этом, имея в виду числовые значения усилий и моментов, имеет смысл обратить внимание на два болта: верхний, вблизи центра тяжести корпуса (модели ТЭД), и нижний, удаленный от центра тяжести. Для верхнего болта приращение осевого усилия  $N^* = 369$  Н, а приращение изгибающего момента  $M^* = 16,79$  Н·м. Обусловленные этими факторами растягивающее напряжение  $\sigma_p = N^*/A = 1,57$  МПа  $\approx 1,6$  МПа и наибольшее изгибное напряжение  $\sigma_{и} = M^*/W = 33,1$  МПа суммарно составляют величину наибольшего нормального напряжения, которая в данном случае может трактоваться как амплитуда цикла нормальных напряжений:  $\sigma_a = 34,7$  МПа. Для нижнего болта приращение осевого усилия  $N^* = 24$  Н, приращение изгибающего момента  $M^* = 30,11$  Н·м. Поэтому  $\sigma_p = N^*/A = 0,1$  МПа,  $\sigma_{и} = M^*/W = 59,3$  МПа, а в целом  $\sigma_a = 59,4$  МПа. Таким образом, наиболее нагруженным, как и в случае постоянной части напряженного состояния, оказывается нижний болт, для которого амплитуда цикла нормальных напряжений составляет 59,4 МПа. Это значит, что именно данный болт подлежит расчету на усталостную прочность.

Оценка усталостной прочности наиболее нагруженного болта выполняется по схеме задачи надежности, когда расчетный коэффициент запаса сравнивается с допусковым. При этом общий коэффициент запаса рассчитывается по частным коэффициентам – только на растяжение с изгибом и только на кручение. Частные коэффициенты запаса определяются соотношениями  $\eta_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}$  для нормальных напряжений и  $\eta_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_\tau \tau_a + \psi_\tau \tau_m}$  – для касательных. В этих формулах  $K_\sigma$  и  $K_\tau$  – эффективные коэффициенты концентрации напряжений в резьбе;  $\psi_\sigma$  и  $\psi_\tau$  – коэффициенты чувствительности материала болта к асимметрии цикла напряжений. Для рассматриваемого болта М20 с накатанной резьбой приняты значения [17, 18]  $K_\sigma = 3,2$ ;  $\psi_\sigma = 0,02 + 2 \cdot 10^{-4} \sigma_b = 0,1$ ;  $\psi_\tau = 0,5 \psi_\sigma = 0,05$ . Для предела выносливости при симметричном цикле касательных напряжений принято [17]  $\tau_{-1} \approx 0,6 \sigma_{-1} = 102$  МПа. В результате подстановки значений  $\sigma_a = 59,4$  МПа,  $\sigma_m = 154,7$  МПа,  $\tau_a = 0$ ,  $\tau_m = 53,1$  МПа расчетные величины частных коэффициентов запаса составили:  $\eta_\sigma = 0,827$  и  $\eta_\tau = 38,42$ . В соответствии с IV теорией прочности общий коэффициент запаса при совместном действии нормальных и касательных напряжений:  $\eta = \eta_\sigma \eta_\tau / \sqrt{\eta_\sigma^2 + \eta_\tau^2}$ . С учетом найденных значений получается  $\eta = 0,827 < 1$ , т. е. очевидное нарушение требований прочности. Стоит обратить внимание, что источником этого нарушения является изгибная составляющая нормального напряжения в наиболее нагруженном болте, превосходящая растягивающую составляющую в 593 раза (см. выше).

Если оценивать кратковременную прочность болта под нагрузкой 10 g, то суммарное нормальное напряжение равно  $\sigma = 154,7 + 59,4 = 214,1$  МПа и в сочетании с касательным напряжением  $\tau = 53,1$  МПа (см. выше) образует эквивалентное напряжение  $\sigma_e = \sqrt{214,1^2 + 3 \cdot 53,1^2} = 233,02$  МПа. Тогда, с учетом величины предела текучести  $\sigma_\tau = 240$  МПа, коэффициент запаса окажется равным  $240/233,02 = 1,03$ . Это при том, что рекомендуемое значение коэффициента запаса



для болтов с контролируемой затяжкой составляет 1,5 – 2,5 [17]. Таким образом, на основании выполненных расчетов следует признать, что в условиях эксплуатации безопасность болтового крепления ТЭД не гарантирована.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты численного моделирования показали, что исходная конфигурация боковой установки ТЭД не обеспечивает надежного крепления и поэтому нуждается в существенной модернизации. В частности, было бы уместным увеличение площади горизонтальной опоры и крепление к ней ТЭД 4-мя болтами, по возможности симметрично относительно проекции центра тяжести на горизонтальную плоскость. Болты бокового крепления к вертикальной поверхности следовало бы разнести вдоль оси ТЭД, по возможности симметрично габаритам. Помимо этого, представляется нелишним дополнительное демпфирование опор ТЭД.

### Список источников

1. Захарченко Д. Д., Ротанов Н. А. Тяговые электрические машины. Москва: Транспорт, 1991. 343 с.
2. Бирюков В. В. Электрическое оборудование подвижного состава. Теория и практика. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. 99 с.
3. Бирюков В. В., Штанг А. А. Гибридные транспортные средства. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. 252 с.
4. Ветошко Т. В. Перспективные направления модернизации тяговых приводов электропоездов отечественного и зарубежного производства // Новые горизонты. VIII научно-практическая конференция с международным участием. Сборник материалов и докладов. Брянск, 2021. С. 29–33.
5. Поиск путей повышения тяговых свойств тепловозов и конструкция тягового привода / В. И. Воробьев, А. А. Пугачев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 12 (109). С. 48–59.
6. Метод объектного моделирования при разработке патентоспособных конструкций узлов тягового привода / В. И. Воробьев, А. А. Пугачев, С. О. Копылов, Е. В. Николаев // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2021. № 3–4 (13–14). С. 4–13.
7. Мазнев А. С. Конструкция и динамика электрического подвижного состава. Москва: ИНФРА-М, 2021. 248 с.
8. Флора В. Д. Тяговые электрические двигатели. Запорожье: Информационная система iElectro, 2011. 318 с.

9. Поиск новых вариантов конструкции тягового привода низковольтных экипажей / В. И. Воробьев, А. А. Пугачев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев // Транспортное машиностроение. 2023. № 9 (21). С. 54–64.
10. Кузнецов И. Л., Салахутдинов М. А., Гайнетдинов Р. Г. Исследование напряженно-деформированного состояния болтового узла соединения из холодногнутых тонкостенных профилей // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14, Вып. 7. С. 831–843.
11. Халилов Т. М. Моделирование прочности соединения балок с болтовым соединением в системе АРМ FEM КОМПАС 3Д // САПР и моделирование в современной электронике. Сборник научных трудов IV Международной научно-практической конференции. Брянск, 2020. С. 261–264.
12. Bearing behavior of multi-bolt high strength steel connections / Yi-Fan Lyu, Guo-Qiang Li, Yan-Bo Wang, Heng Li, Yuan-Zuo Wang // Engineering Structures. 2020. V. 212. P. 110510.
13. Abdul Kareem Abdul Jawwad, Nabeel ALShabatat, Mofid Mahdi. The effects of joint design, bolting procedure and load eccentricity on fatigue failure characteristics of high-strength steel bolts // Engineering Structures. 2021. V. 122. P. 105279.
14. Xunliang Shen, Liantao Lu, Dongfang Zeng. Fatigue failure analysis of high strength bolts used for high-speed railway vehicle braking discs // Engineering Failure Analysis. 2020. V. 115. P. 104661.
15. Технология затяжки резьбовых соединений: обучающая брошюра. АО «Атлас Копко». URL: [https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/russia/documents/ru-industrial-technique/9833%208648%2001\\_Pocket\\_Guide\\_Tightening\\_RU%20.pdf](https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/russia/documents/ru-industrial-technique/9833%208648%2001_Pocket_Guide_Tightening_RU%20.pdf) (дата обращения: 09.08.2023).
16. Якушев А. И., Мустаев Р. Х., Мавлютов Р. Р. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. Москва: Машиностроение, 1979. 215 с.
17. Иванов М. Н., Финогенов В. А. Детали машин. Москва: Высшая школа, 2003. 408 с.
18. Биргер И. А., Иосилевич Г. Б. Резьбовые и фланцевые соединения. Москва: Машиностроение, 1990. 368 с.

## References

1. Zakharchenko D. D., Rotanov N. A. *Tyagovye elektricheskie mashiny* [Traction electric machines]. Moscow, Transport Publ., 1991, 343 p.
2. Biryukov V. V. *Elektricheskoe oborudovanie podvizhnogo sostava. Teoriya i praktika* [Electrical equipment of rolling stock. Theory and practice]. Novosibirsk, NGTU Publ., 2021, 99 p.
3. Biryukov V. V., Shtang A. A. *Gibridnye transportnye sredstva* [Hybrid vehicles]. Novosibirsk, NGTU Publ., 2021, 252 p.

4. Vetoshko T. V. Perspektivnye napravleniya modernizatsii tyagovykh privodov elektrovozov otechestvennogo i zarubezhnogo proizvodstva [Promising directions for modernization of traction drives of electric locomotives of domestic and foreign production]. *Novye gorizonty. VIII nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem. Sbornik materialov i dokladov*. Bryansk, 2021, pp. 29–33.

5. Vorob'ev V. I., Pugachev A. A., Izmerov O. V., Nikolaev E. V. Poisk putey povysheniya tyagovykh svoystv teplovozov i konstruktsiya tyagovogo privoda [Search for ways to improve the traction properties of diesel locomotives and the design of the traction drive]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 12 (109), pp. 48–59.

6. Vorob'ev V. I., Pugachev A. A., Kopylov S. O., Nikolaev E. V. Metod ob"ektnogo modelirovaniya pri razrabotke patentosposobnykh konstruktsiy uzlov tyagovogo privoda [Method of object modeling in the development of patentable designs of traction drive units]. *Avtomatizatsiya i modelirovanie v proektirovanii i upravlenii*, 2021, no. 3–4 (13–14), pp. 4–13.

7. Maznev A. S. *Konstruktsiya i dinamika elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Design and dynamics of electric rolling stock]. Moscow, INFRA-M Publ., 2021, 248 p.

8. Flora V. D. *Tyagovye elektricheskie dvigateli* [Traction electric motors]. Zapozh'e, IS iElectro Publ., 2011, 318 p.

9. Vorob'ev V. I., Pugachev A. A., Izmerov O. V., Nikolaev E. V. Poisk novykh variantov konstruktsii tyagovogo privoda nizkopol'nykh ekipazhey [Search for new design options for the traction drive of low-floor vehicles]. *Transportnoe mashinostroenie*, 2023, no. 9 (21), pp. 54–64.

10. Kuznetsov I. L., Salakhutdinov M. A., Gaynetdinov R. G. Issledovanie napyazhenno-deformirovannogo sostoyaniya boltovogo uzla soedineniya iz kholodnognutykh tonkostennykh profilye [Study of the stress-strain state of a bolted joint made of cold-formed thin-walled profiles]. *Vestnik MGSU*, 2019, vol. 14, iss. 7, pp. 831–843.

11. Khalilov T. M. Modelirovanie prochnosti soedineniya balok s boltovym soedineniem v sisteme APM FEM KOMPAS 3D [Modeling the connection strength of bolted beams in the Automated workplace FEM KOMPAS 3D system]. *SAPR i modelirovanie v sovremennoy elektronike. Sbornik nauchnykh trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Bryansk, 2020, pp. 261–264.

12. Yi-Fan Lyu, Guo-Qiang Li, Yan-Bo Wang, Heng Li, Yuan-Zuo Wang. Bearing behavior of multi-bolt high strength steel connections. *Engineering Structures*. 2020, vol. 212, p. 110510.

13. Abdul Kareem Abdul Jawwad, Nabeel ALShabatat, Mofid Mahdi. The effects of joint design, bolting procedure and load eccentricity on fatigue failure characteristics of high-strength steel bolts. *Engineering Structures*. 2021, vol. 2, p. 105279.

14. Xunliang Shen, Liantao Lu, Dongfang Zeng. Fatigue failure analysis of high strength bolts used for high-speed railway vehicle braking discs. *Engineering Failure Analysis*. 2020, vol. 115, p. 104661.

15. *Tekhnologiya zatyazhki rez'bovykh soedineniy: obuchayushchaya broshyura*. [Technology for tightening threaded connections: educational brochure]. JSC Atlas Copco. Available at: [https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/russia/documents/ru-industrial-technique/9833%208648%2001\\_Pocket\\_Guide\\_Tightening\\_RU%20.pdf](https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/russia/documents/ru-industrial-technique/9833%208648%2001_Pocket_Guide_Tightening_RU%20.pdf) (Accessed 09 August 2023).

16. Yakushev A. I., Mustaev R. H., Mavlyutov R. R. *Povyshenie prochnosti i nadezhnosti rez'bovykh soedineniy* [Increasing the strength and reliability of threaded connections]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979, 215 p.

17. Ivanov M. N., Finogenov V. A. *Detali mashin* [Machine parts]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003, 408 p.

18. Birger I. A., Iosilevich G. B. *Rez'bovye i flantsevye soedineniya* [Threaded and flange connections]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, 368 p.

#### **Информация об авторах**

**В. Г. Сукиасов** – кандидат технических наук, доцент

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

**А. В. Панкратов** – главный инженер

#### **Information about the authors**

**V. G. Sukiasov** – PhD in Engineering, Associate Professor

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

**A. V. Pankratov** – Chief Engineer

Статья поступила в редакцию 16.10.2023; одобрена после рецензирования 26.10.2023; принята к публикации 29.12.2023.

The article was submitted 16.10.2023; approved after reviewing 26.10.2023; accepted for publication 29.12.2023.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

### Общие требования

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

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

### В редакцию журнала авторы представляют:

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

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

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

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

### Объем статьи

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

### Компьютерный набор статьи

Должен удовлетворять следующим требованиям: формат бумаги – А4, гарнитура шрифта – Times New Roman, кегль 12, ориентация – книжная, поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см; абзац с отступом Tab. 1,27; межстрочный интервал –

одинарный. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла \*.doc).

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

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

**Рисунки**. Допускаются черно-белые и цветные четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные. Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная 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 подрисуночной подписи не ставится.

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

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

**Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.**

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

**Формулы**. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом ( $m_i$  – масса  $i$ -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом ( $l_p$  – длина разбега;  $V_{\text{пос}}$  посадочная скорость). Сокращенные



обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой:  $\mathbf{e}$  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 крестика (×). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида  $\frac{a}{b}$  рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

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

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

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

### Структура статьи

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

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

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

### Составные части статьи и порядок их следования

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения, в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т. п.). Допускается введение сокращений в

пределах аннотации (понятие из 2–3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения  $t^{\circ}$  в английском варианте обозначают как «deg C».

7. С новой строки с отступом приводят **Ключевые слова** (полужирный курсив, в конце двоеточие), они должны максимально точно отражать предметную область статьи (даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый, в конце ставят точку).

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

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

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

Далее все сведения должны быть представлены на английском языке:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Требования к источникам:*

- Не менее 15 источников, из них половина давностью менее 5 лет
- Процент самоцитирования не выше 10–20 %
- Зарубежные публикации, изданные в течение последних 5 лет

**Рекомендуется** включать ссылки на научные статьи, монографии, сборники статей, сборники конференций, электронные ресурсы с указанием даты обращения, патенты.

**Не рекомендуется** включать ссылки на учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ГОСТы и др. нормативные документы, на законы и постановления, а также на архивные документы (если все же необходимо указать такие источники, то они оформляются в виде сносок).

**Нежелательны** ссылки на диссертации и авторефераты диссертаций (такие ссылки допускаются, если результаты исследований еще не опубликованы, или не представлены достаточно подробно).

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

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

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

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

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

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

## Образцы оформления списка источников

### Монография

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

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

### Книга

#### *Книга одного – трех авторов*

1. Новикова А. М. Универсальный экономический словарь. Москва: Экономика, 1995. 135 с.

2. Сидоркина А. Н., Сидоркин В. Г. Биохимические аспекты травматической болезни и ее осложнений. Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.

3. Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леусский А. И. Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658 с.

4. Максименко В. Н., Афанасьев В. В., Волков Н. В. Защита информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О. Б. Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

#### ***Книга четырех и более авторов***

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.].

1. Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др.]. Санкт-Петербург: Эксмо, 1996. 496 с.

2. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов, Н. В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О. В. Павленко. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

#### ***Книги, не имеющие индивидуальных авторов***

1. Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. 2-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1995. 347 с.

2. Правильное питание: справочник. Москва: Эксмо, 2008. 704 с.

3. Кормопроизводство в России: всероссийский сб. науч. ст. Вып. 3. Казань; Санкт-Петербург, 2007. 268 с.

#### ***Отдельный том многотомного издания под общим заголовком***

1. Пальцев М. А., Аничков М. Н. Патологическая анатомия: в 2 т. Москва: Медицина, 2001. Т. 2, ч. 1. 736 с.

#### ***Глава из книги (сборника)***

1. Макушин В. Д., Волокитина Е. А. Причины неудач и осложнений при выполнении опорных остеотомий с применением аппарата Илизарова // Лечение врожденного вывиха бедра у взрослых / под ред. В. И. Шевцова, В. Д. Макушина. Курган, 2004. Гл. 8. С. 372–402.

2. Белоус Н. М. Храня теплую память о прошлом // Великая Отечественная война 1941–1945 гг. в истории моей семьи: сборник статей / под общей редакцией Р. В. Новожеева. Брянск: Изд-во БГАУ, 2015. С. 4–5.



### **Книги в интернете**

#### ***Книги одного – трех авторов***

1. Карпенков С. Х. Экология: учебник. Электрон. текстовые данные. Москва: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 15.12.2007).

#### ***Книги четырех и более авторов***

1. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре: учеб. пособие / Л. А. Беклемишева [и др.]; под ред. Д. В. Беклемишева. Электрон. текстовые данные. Изд. 3-е, испр. Санкт-Петербург: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/> (дата обращения: 15.12.2007).

### **Статья в журнале**

#### ***Статья одного – трех авторов***

1. Толкачева О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов // Рыбная промышленность. 2006. № 2. С. 14–16.

2. Байдалинова Л. С., Андропова С. В. Перспективы использования растительных антиокислителей для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. № 29. С. 74–80.

#### ***Статья четырех и более авторов***

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л. В. Кузьмин, Т. И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83–90.

2. Клинико-физиологические составляющие врожденной косолапости / Ю. И. Клычкова [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3. С. 35–38.

### **Статья в электронном журнале**

1. Белоус Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электронный

научный журнал. 2006. № 4. URL:  
[http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).

**Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров**

1. Авдеева Е. В., Евдокимова Е. Б., Заостровцева С. К. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. Казань, 2013. С. 52–56.

2. Александров Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2013: XI Междунар. научн. конф. (25–27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. Ч. 2. С. 29–32.

**Статья на английском или немецком языке**

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Bd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Neurology control of locomotion in *C.Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 ionotropic glutamate receptor / Yi Zheng et al. // *Neuron*. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.

2. Mank R., Kala H., Strube M. Darstellung und Testung von Polymerpharmaka // *Die Pharmazie*. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

**Диссертация или автореферат диссертации**

1. Данилов Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10: утв. 15.07.02. Москва, 1999. 138 с.

2. Назаров И. Г. Развитие коммуникативной компетентности социальных педагогов села в процессе дополнительного профессионального образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 . Москва, 2002. 24 с.

**Переводная книга**

1. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / пер. с англ. под ред. Г. Н. Дубошина. М.: Наука, 1982. 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York: Academic Press, 1967].

2. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. 1024 p.].

### **Электронный ресурс локального доступа**

1. Смирнов А. И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. Москва, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Техника спинальной анестезии [Электронный ресурс] / под ред. Е. М. Шифмана. Москва: ИнтелТек, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

### **Патентные документы**

1. Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. 2128021 Рос. Федерация. № 2011138279/07 / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н.; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. 10 с.

### **Нормативные документы**

1. ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. Москва, 2000. 7 с.
2. Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. Москва, 2002. 91 с.

### **Официальные документы**

1. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федер. закон [принят Гос. Думой 13. 07.2001] // Собрание законодательств РФ. 2001. № 33 (ч. 1). Ст. 3430. С. 127–143.
2. О программе государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи на 2009 год: постановление Правительства Рос. Федерации от 31.12.2008 № 10407-ТГ // Заместитель гл. врача. 2009. № 2. С. 98–105.
3. Инструкция о санитарно-противоэпидемическом режиме больниц: утв. Минздравом СССР от 23.03.76 № 288 // Справочник старшей (главной) медицинской сестры. Изд. 6-е, Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. С. 378–387.
4. Вопросы системы и структуры федеральных органов исполнительной власти (извлечения): указ Президента РФ от 12.05.2008 № 724 // Здравоохранение. 2008. № 7. С. 135–137.

## Образцы оформления References

### Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.
2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

### Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.
2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

### Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://sotsial'nye.aspekty.ru/content/view/27/50/> (Accessed 19 September 2008).
2. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Getmanova A. A. Kollagensoderzhashchie napitki dlya funktsional'nogo pitaniya [Collagen drinks for functional nutrition]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2018, vol. 80, no. 3 (77), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

### Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye 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 ekologicheskii 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*. 4<sup>th</sup> ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

### Патентные документы

1. Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. *Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel'* [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.

### Нормативные документы

1. State Standard 8.586.5–2005. *Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices*. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

### ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С ОДНИМ АВТОРОМ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

**Экология и региональная политика энергосбережения**

**Сергей Юрьевич Глазьев**

Аграрный научный центр «Донской», Ростовская область, Зерноград, Россия, serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

*В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учебы) указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью цифр:*

**Александр Васильевич Попов**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия, [porov@yahoo.com](mailto:porov@yahoo.com), <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

<sup>2</sup>Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье представлена динамика урожайности зерна кукурузы в России и Ростовской области. Определено, что наибольшее количество гибридов кукурузы возделывалось...

**Ключевые слова:** кукуруза, урожайность, сортовая структура, сортосемена

**Благодарности (если есть):** автор выражает благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

**Финансирование (если есть):**

**Для цитирования:** Глазьев С. Ю. Экология и региональная политика энергосбережения // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

### **Ecology and regional energy conservation policy**

**Sergey Yu. Glaz'ev** (транслитерация, см. п. 18 выше)

Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov region, Zernograd, Russia (на английском языке), [serg1784@mail.ru](mailto:serg1784@mail.ru), ORCID (при наличии)

**Abstract.**

**Keywords:**

**Acknowledgments:** the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

**Funding (если есть):**

**For citation:** Glaz'ev S. Yu. Ecology and regional energy conservation policy. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторе



**С. Ю. Глазьев** – доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук

#### Information about the author

**S. Yu. Glaz'ev** – Doctor of Science (Economy), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

*В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.*

#### ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С НЕСКОЛЬКИМИ АВТОРАМИ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

#### Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек

**Владимир Викторович Вольчик<sup>1</sup>, Игорь Михайлович Ширяев<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>1</sup>volchik@sfedu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

<sup>2</sup>shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

*Возможно приведение электронного адреса только одного автора, с которым планируется переписка. В этом случае электронные адреса других авторов приводят в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.*

**Аннотация.** В целях определения основных закономерностей возникновения и усиления институциональных ловушек, возникающих в условиях режима самоизоляции в системе высшего образования, авторами были проанализированы нарративы и глубинные интервью основных акторов. Дистанционное образование не является полноценной заменой образования в традиционной форме, затрудняет передачу неявного знания, контроль и обратную связь при обучении, неоднозначно влияет на издержки образовательной деятельности, не позволяет полагаться на надежность информационно-коммуникационных технологий...

**Ключевые слова:** экономика, управление народным хозяйством, институциональная экономика, дистанционное образование, цифровизация образования, высшее образование, самоизоляция, институциональные ловушки

**Благодарности (если есть):** авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

**Финансирование (если есть):**

**Для цитирования:** Вольчик В. В., Ширяев И. М. Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

### **Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps**

**Vladimir V. Volchik<sup>1</sup>, Igor' M. Shiryayev<sup>2</sup>** (транслитерация, см. п. 18 выше)

<sup>1,2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>1</sup>volchik@sfn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

<sup>2</sup>shiryayev@sfn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

**Abstract.** To determine the main patterns of emergence and strengthening of institutional traps that arise under self-isolation in the higher education system, the authors analyzed the narratives and in-depth interviews of the main actors. Distance education is not a full-fledged substitute for the traditional education, as it impedes the transfer of implicit knowledge, control and feedback during training, ambiguously influences the costs of educational activities, and does not allow relying on the reliability of information and communication technologies. Transition to distant education can be interpreted as a new stage of evolution of the institutional trap of electronization and digitalization.

**Keywords:** economics, national economy management, institutional economics, distance education, digitalization of education, higher education, self-isolation, institutional traps

**For citation:** Volchik V. V., Shiryayev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Current Problems of Economics and Law*. 2020;14(2):236-248. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.235-248>.

**Acknowledgments:** the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

**Funding (если есть):**

**For citation:** Volchik V. V., Shiryayev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

### Список источников

### References

### Информация об авторах

**В. В. Вольчик** – доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Политология»

**И. М. Ширяев** – доктор социологических наук, профессор

### Information about the authors

**V. V. Volchik** – Doctor of Science (Sociology), Professor, Head of the Department of Politology

**I. M. Shiryaev** – Doctor of Science (Sociology), Professor

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

*В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.*

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,  
Калининградский государственный технический университет

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915  
от 22.12.2011 г.

Подписной индекс 83871 в Объединенном каталоге «Пресса России»,  
цена свободная

*Редактор С. В. Супрунова*

---

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1  
Лицензия № 05609 от 14.08.2001  
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «КГТУ»  
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1  
Подписано в печать 30.01.2024. Выход в свет 01.02.2024. Формат 60 x 88 (1/8)  
Печ. л. 18 . Уч.-изд. л. 11,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 1 .

