

ИЗВЕСТИЯ

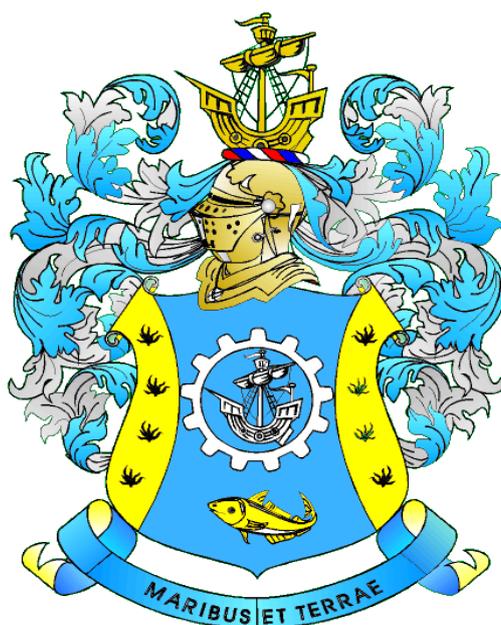
КГТУ

2021

№ 63

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.

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 декабря 2011 г.

Редакционный совет:

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

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

А. В. Бараненко, д-р техн. наук, проф., Национально-исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, советник ректора, заведующий кафедрой холодильных установок;

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

А. М. Ершов, д-р техн. наук, проф., ООО «Айсберг-Норд», главный научный сотрудник по развитию, г. Мурманск;

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

С. Е. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, г. Санкт-Петербург;

Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;

В. А. Панфилов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева;

О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, доц., Крыловский государственный научный центр, г. Санкт-Петербург, заместитель генерального директора;

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

А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, г. Калининград, директор;

Марек Якубовский, д-р техн. наук, проф., Кошалинский политехнический университет (Польша, г. Кошалин), заведующий кафедрой «Процессы и аппараты пищевых производств»

Редакционная коллегия:

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

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2021



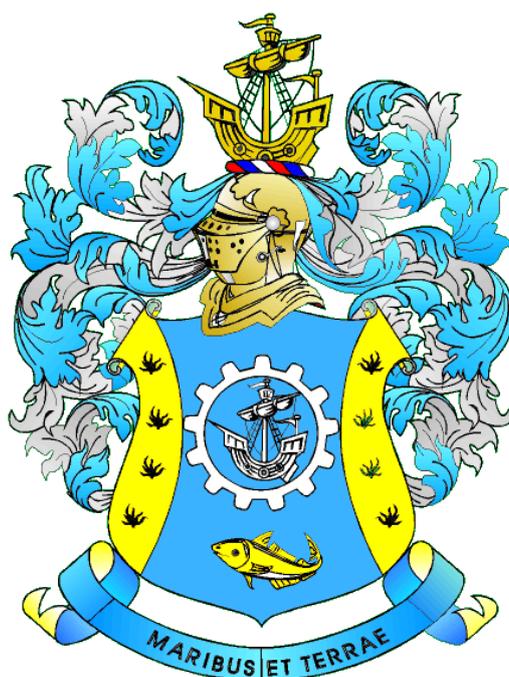
KSTU NEWS

2021

№ 63

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

Колотев Д. А., Суконнов А. В. Экспериментальное исследование по оценке влияния циклических нагрузжений на прочность рыболовной нити.....	11
Судник С. А., Егорова Ю. Е. Биология креветки <i>Palaemon elegans rathke</i> , 1837 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) Юго-Восточной Балтики.....	19
Троян Т. Н., Бедарева О. М, Гайманова А. А., Карачинова Л. В. Прогрессивное развитие ценоэкосистем кормового назначения в условиях северо-западного региона.....	33

Техника и технология пищевых производств

Альшевская М. Н., Анистратова О. В., Баранаускас В. А. Совершенствование технологии производства цельнокусковых мясных продуктов из свинины с применением бамбуковых пищевых волокон.....	45
Винокур М. Л. Использование гидролизата антарктического криля (<i>Eurhausia superba</i>) в технологии имитированного фарша.....	58
Воробьев В. И., Чернега О. П., Титова И. М. Влияние способов обработки на качественные и количественные показатели вареной креветки.....	66
Макеева А. В., Ключко Н. Ю. Оценка пищевой ценности формованного мороженого полуфабриката из речного окуня (<i>Perca fluviatilis</i>), обогащенного компонентами растительного сырья.....	78
Наумов В. А., Левичева О. И. Оценка энергетической эффективности центробежных насосов для пищевой промышленности.....	89

Судостроение, машиностроение и энергетика

Белей В. Ф., Брижак Р. О. Теоретический анализ электромагнитных помех, обусловленных работой электрооборудования судовых энергетических установок и их элементов.....	103
Притыкин А. И. Упругопластическое деформирование бортовых перекрытий при разном характере нагружения.....	116

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Kolotev D. A., Sukonnov A. V.</i> Experimental study on the estimation of the effect of cyclic loads on the fishing thread strength.....	11
<i>Sudnik S. A., Egorova Yu. E.</i> Biology of the shrimp <i>Palaemon elegans rathke</i> , 1836 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) of the South-Eastern Baltic sea.....	19
<i>Troyan T. N., Bedareva O. M., Gaimanova A. A., Karachinova L.V.</i> Progressive development of price ecosystems of forage purposes in conditions of the North-Western region.....	33

Processes and technology of food manufacturing

<i>Alshevskaya M. N., Anistratova O. V., Baranauskas V. A.</i> Improvement of the production technology of whole piece meat products from pork using bamboo fiber.....	45
<i>Vinokur M. L.</i> Using antarctic krill (<i>Euphausia superba</i>) hydrolisate in imitated mince technology.....	58
<i>Vorobyov V. I., Chernega O. P., Titova I. M.</i> Influence of processing methods on qualitative and quantitative indicators of boiled shrimp.....	66
<i>Makeeva A. V., Klyuchko N. Yu.</i> Assessment of the nutritional value of molded frozen semi-finished products from river perch (<i>Perca fluviatilis</i>), enriched with components of vegetable raw materials.....	78
<i>Naumov V. A., Levicheva O. I.</i> Evaluation of the centrifugal pumps energy efficiency for the food industry.....	89

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Beley V. F., Brizhak R. O.</i> Theoretical analysis of electromagnetic interference due to the operation of electrical equipment of ship power plants and their elements.....	103
<i>Pritykin A. I.</i> Elasto-plastic deformation of the board assemblies under different loading.....	116

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 639.2.081.19

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-11-18

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ РЫБОЛОВНОЙ НИТИ

Д. А. Колотев, А. В. Суконнов

EXPERIMENTAL STUDY ON THE ESTIMATION OF THE EFFECT OF CYCLIC LOADS ON THE FISHING THREAD STRENGTH

D. A. Kolotev, A. V. Sukonnov

Один из путей эффективности лова – повышение износостойкости рыболовных нитевидных материалов. Известно, что в процессе эксплуатации на орудия лова оказывают влияние различные факторы, например, циклические нагрузки. Работа посвящена экспериментальному исследованию зависимости прочности рыболовных нитевидных материалов от нагрузений на примере полиамидных нитей. Проведен обзор и анализ методик такого влияния в области швейного производства и строительства. Отмечено, что эти методики невозможно применить в полной мере в области промышленного рыболовства из-за специфики материала лова – структуры, вида сырья при изготовлении и способа крутки. Разработаны методика проведения испытаний и экспериментальная установка, сконструированная и оснащенная необходимой измерительной аппаратурой. Исследованы факторы, влияющие на прочность рыболовной нити, и диапазон их изменения с учетом методик соседних сфер производства. Применен метод планирования, и составлена матрица для трехфакторного эксперимента на двух уровнях. Получена математическая зависимость остаточной прочности нити, а именно ее диаметра, удлинения, от факторов эксплуатации и количества циклов нагружения.

циклические нагрузки, матрица, износ, промышленное рыболовство, диаметр, полиамидная нить, экспериментальная установка

Among the various ways to increase the efficiency of fishing, an important role is given to increasing the wear resistance of fishing filamentous materials that are used in the process of building fishing tools. It is known that in the course of operation, various factors influence fishing gear, one of which is cyclic loading. The work is devoted to an experimental study of the effect of cyclic loading on the residual strength of fishing filamentous materials, on examples of fishing polyamide filaments. In the course of the work, a review and analysis of methods for studying the effect of cyclic loading on the strength of materials in the field of clothing production and in the construction sector were carried out. These methods, which are used in these industries, cannot be fully applied in the field of industrial fishing due to the specifics of fishing materials: the structure of the material, the type of raw materials in the manufacture, the type of twist. To determine the effect of cyclic loading on the residual strength of fishing filamentous materials, an experimental setup and a test procedure for fishing filaments were devel-

oped. Also, the experimental setup developed by the authors was designed and equipped with the necessary measuring equipment. The studied factors affecting the strength of the fishing thread and the range of their changes were determined, taking into account the methods from neighboring production areas. The method of experiment planning is applied and a matrix for a three-factor experiment at two levels is compiled. The mathematical dependence of the residual strength of the thread on the operating factors, namely, the diameter of the thread, the number of loading cycles and the lengthening of the thread, was obtained.

cyclic loading, matrix, wear, commercial fisheries, diameter, nylon, the experimental setup

ВВЕДЕНИЕ

Орудие лова подвержено разного рода износам в процессе использования. Реальные условия эксплуатации демонстрируют, что во время работы в системе судно–трал на все его элементы воздействуют периодические растяжения из-за гидродинамического сопротивления, качки судна и т. д. Это приводит к потере прочности, деформации структуры материала (расслоение, изломачивание, растяжение) и разрывам. Оценить воздействие циклических нагрузжений на снижение прочностных характеристик рыболовных изделий и в конечном итоге на орудие лова в целом во время промысла практически невозможно в силу неизученности данного процесса и сложности получения такой оценки [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во многих областях народного хозяйства (строительство, швейное производство, машиностроение) проводились научные исследования о воздействии циклических нагрузжений на остаточную прочность изделий и материалов. Так, в строительстве при проведении испытаний с бетоном с циклическими нагрузжениями в пределах от 10 до 1000 циклов происходит накопление усталости. В швейном производстве исследованиям подверглись ниточные швы, которые под воздействием нагрузки в диапазоне 70–90 % от предельной разрушались при 10–500 циклах нагружения. С учетом специфических свойств нитевидных рыболовных материалов (структура, вид сырья при изготовлении, крутка и др.) применить результаты исследований из других областей в промышленном рыболовстве невозможно [2, 3].

МАТЕРИАЛЫ И ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для исследований были определены следующие образцы полиамидных рыболовных нитей:

- ПА-187 текс×2×3 (полиамидная рыболовная нить, $d = 1,8$ мм);
- ПА-187 текс×4×3 (полиамидная рыболовная нить, $d = 2,5$ мм).

Экспертиза с ними по РД 15-191-91 проводилась на оборудовании:

- круткомер КУ-500-2М (для обозначения структуры нити);
- окулярный микроскоп (для измерения диаметра, цена деления микроскопа 0,01 мм);
- разрывные машины Р-0,5 и ИР-5061 (для измерения разрывной прочности).

Чтобы подтвердить достоверность полученных данных, проведены расчеты относительной погрешности определения диаметра и разрывной нагрузки. Расчеты показали, что исследования выполнены с точностью более 95 % [4, 5].

Далее была сконструирована экспериментальная установка (рис.), которая позволяет имитировать воздействие циклических нагрузжений на закрепленный в ней образец рыболовной нити. Также авторами разработана методика пользования установкой [6].

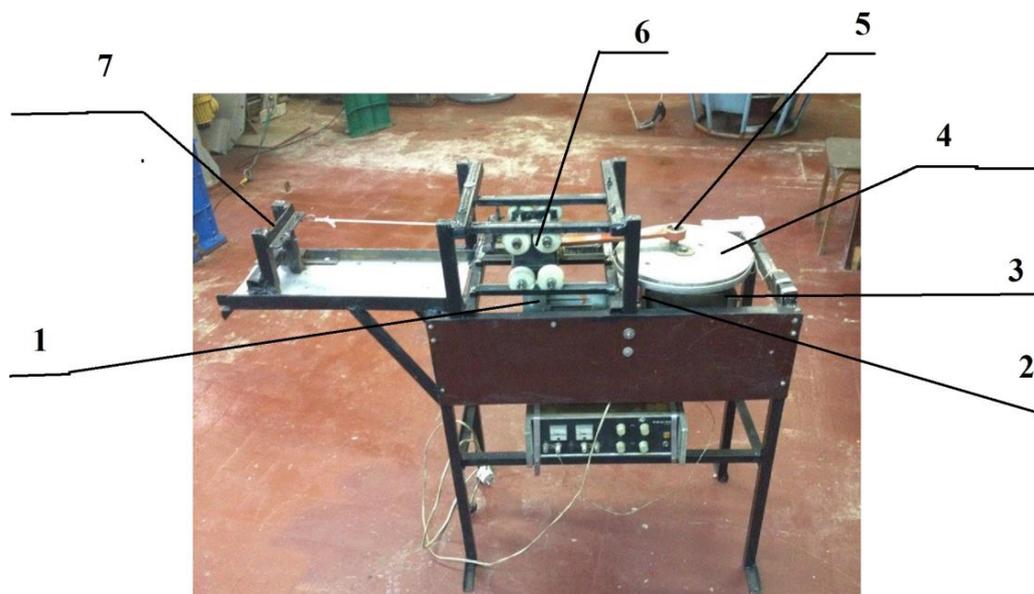


Рис. Экспериментальная установка, имитирующая циклические нагружения:
1 – электродвигатель; 2 – соединительная муфта; 3 – червячный редуктор;
4 – маховик; 5 – кривошипно-шатунный механизм; 6 – каретка; 7 – неподвижная траверса

Fig. Experimental installation simulating cyclic loading: 1 – electric motor;
2 – coupling; 3 – worm gear; 4 – flywheel; 5 – crank mechanism; 6 – carriage;
7 – fixed traverse

ВЫБОР ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

Для определения степени влияния циклических нагружений на сопротивление износу полиамидных рыболовных нитей выбраны следующие факторы: диаметр, количество циклов нагружения и удлинение образца.

Характеристика факторов:

1. Диаметр образца (d) определен в диапазоне 1,8–2,5 мм (часто используемый в производстве орудий лова);

2. Количество циклов нагружения (N) составило от 100 до 1000. Анализируя данные в швейном производстве, отмечено, что максимальное количество было 1000 при удлинении образца на 75 %. Из вышеизложенного можно заключить: диапазон изменения принимается от 100 до 1000 циклов нагружения;

3. Удлинение (Δl) задано в пределах 25–75 % от максимального разрывного удлинения образца.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для уменьшения количества экспериментов, дальнейшей их систематизации и определения вида зависимости остаточной прочности рыболовных нитей от исследуемых факторов при циклических нагружениях применен метод планирования экспериментов. Так, была составлена матрица (табл. 1) для проведения трехфакторного эксперимента на двух уровнях [7], и даны определения:

- x1: зашифрованное значение d в пределах 1,8–2,5 мм;
- x2: зашифрованное значение N в диапазоне 100–1000 циклов;
- x3: зашифрованное значение Δl в диапазоне изменения 25–75 % от максимального разрывного удлинения.

Расшифровка кода

- 1: максимальное значение факторов в диапазоне их изменений, заданных в кодированном виде;
- 1: минимальное значение факторов в диапазоне их изменений, заданных в кодированном виде.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения эксперимента, правильной работы установки, имитирующей циклические нагружения, и получения верных данных необходимо выполнять установленную последовательность действий:

1. Определяем разрывную прочность образца и его удлинение при помощи разрывной машины;
2. Собранные в первом пункте данные по удлинению образца распределяем в процентном соотношении – 25, 50, 75 %;
3. Устанавливаем на маховике необходимое начальное удлинение образца при помощи шатунного механизма;
4. Подготовленные четыре образца с одинаковым диаметром и длиной закрепляем на неподвижной траверсе и каретке;
5. Экспериментальные исследования проводим в соответствии со строками матрицы (табл. 1) при заданных значениях количества циклов, диаметра образцов, начального удлинения;
6. Запускаем двигатель, приводя в работу подвижную траверсу, с помощью которой проходит удлинение образцов. При выполнении эксперимента для каждой строки матрицы после прохождения образцом необходимого количества циклов нагружения он помещается в разрывную машину и устанавливается его остаточная разрывная прочность. Все полученные результаты заносим в таблицу в соответствующую строку.
7. Обрабатываем данные.

В каждом опыте испытания проводились по 10 раз, все данные записывались для последующего расчета погрешностей и ошибок (табл. 2)[8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальная деятельность проходила согласно строкам матрицы планирования эксперимента.

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента с учетом эффектов взаимодействия

Table 1. Experiment planning matrix taking into account interaction effects

Номер опыта	x1	x2	x3	y
1	-1	-1	-1	-
2	1	-1	-1	-
3	-1	1	-1	-
4	1	1	-1	-
5	-1	-1	1	-
6	1	-1	1	-
7	-1	1	1	-
8	1	1	1	-

Таблица 2. Матрица выполненного эксперимента

Table 2. Experiment matrix

Номер опыта	d _{ср} , мм	N	Δl _{ср} %	T _{ср-экс} , Н
1	1.8	100	25	564,3
2	2.5	100	25	910,2
3	1.8	1000	25	353,1
4	2.5	1000	25	854,4
5	1.8	100	75	456,8
6	2.5	100	75	896,7
7	1.8	1000	75	186,3
8	2.5	1000	75	761,6

Установлена зависимость остаточной прочности полиамидной рыболовной нити от факторов реальных условий эксплуатации, которая имеет вид:

$$T = 622.5 + 232.75 \times X_1 - 84 \times X_2 - 47.75 \times X_3 + 36.25 \times X_{12} + 21 \times X_{13} - 17.25 \times X_{23},$$

где T – остаточная прочность [Н]; $x1$ – зашифрованное значение диаметра полиамидной нити в диапазоне 1,8–2,5 мм; $x2$ – зашифрованное значение количества циклов нагружения в пределах 100–1000; $x3$ – зашифрованное значение удлинения полиамидной нити (25–75 %).

С целью проверки точности проведенных измерений, а именно диаметра полиамидной рыболовной нити, вычислены относительные погрешности измерения диаметра образцов и составлена таблица с полученными данными (табл. 3). Все измерения выполнены по стандартной методике с использованием электронного микроскопа.

Таблица 3. Расчетные данные для диаметра полиамидных рыболовных нитей
Table 3. Calculated data for the diameter of polyamide fishing threads

Среднее арифметическое значение диаметра \bar{d} , мм	Коэффициент вариации по диаметру C , %	Относительная погрешность измерения ε_{di} , %
1,803	0,021	3,283
2,505	0,021	2,364

Для проверки адекватности полученной зависимости сравнили расчетные и экспериментальные значения остаточного разрывного усилия. Численные значения разрывных усилий занесены в табл. 4.

Таблица 4. Сравнение разрывных усилий
Table 4. Comparison of breaking forces

Тэкс(Н)	Трас(Н)	$\Delta T\%$
564.3	561.3	1.01
910.2	912.2	0.99
353.1	355.5	0.99
854.4	851.4	1.01
456.8	458.2	0.99
896.7	893.8	1.01
761.6	763.5	0.99
T_{cp}		1,0125%

Расчеты показывают потерю прочности полиамидной рыболовной нити в результате воздействия циклических нагрузений, так как отклонения расчетных величин и экспериментальных данных не превышают 2 %.

Анализ полученной зависимости позволяет установить приоритет воздействия исследуемых факторов на остаточную прочность образца. В частности, наибольшее влияние на прочность оказывает диаметр нити, наименьшее – количество циклов нагружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

– полиамидная нить диаметром 1,8 мм при 100 циклах циклических нагружений в диапазоне изменения удлинения от 25 до 75 % от первоначального теряет 19 % прочности, а при 1000 циклах потеря прочности составляет 47,2 %, т. е. увеличение количества циклов нагружений в 10 раз приводит к снижению прочности в 2,5 раза;

– полиамидная нить диаметром 2,5 мм при тех же условиях нагружений теряет прочность в 7,3 раза;

– нити, имеющие меньший диаметр, более устойчивы к воздействию циклических нагружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Берг, О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О. Я. Берг. – Москва: Госстройиздат, 1962. – 98 с.
2. Львова, Е. Е. Обоснование и разработка методов экспериментальной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от факторов механического износа: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.17 / Львова Екатерина Евгеньевна; КГТУ. – Калининград, 2020. – 154 с.
3. Колотев, Д. А. Экспериментальная установка и оборудование по исследованию влияния циклических нагрузжений на износ рыболовных ниток / Д. А. Колотев, А. В. Суконнов // Вестник молодежной науки. – 2018. – № 1 (13). [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2018/03/Kolotev-113.pdf> (дата обращения: 19 декабря 2020).
4. Лапина, Е. А. Рыболовные материалы: Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 311800 «Промышленное рыболовство» / Е. А. Лапина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. – 60 с.
5. Ломакина, Л. М. Технология постройки орудий лова / Л. М. Ломакина. – Москва, 1984. – 207 с.
6. Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин / А. Е. Шейнблит. – Москва, 1991. – 454 с.
7. Долин, Г. М. Планирование экспериментов в промышленном рыболовстве: учеб. пособие / Г. М. Долин. – Калининград: КГТУ, 1996. – 120 с.
8. Степин, П. А. Соппротивление материалов: учеб. для машиностроительных спец. вузов / П. А. Степин. – 7-е изд. – Москва: Высшая школа, 1983. – 303 с.

REFERENCES

1. Berg O. Ya. *Fizicheskie osnovy teorii prochnosti betona i zhelezobetona* [Physical foundations of the theory of strength of concrete and reinforced concrete]. Moscow, Gosstroyizdat, 1962, 98 p.
2. Lvova E. E. *Obosnovanie i razrabotka metodov eksperimental'noy otsenki iznosostoykosti rybolovnykh nitevidnykh materialov ot faktorov mekhanicheskogo iznosa. Diss. kand. tekhn. nauk* [Substantiation and development of methods for experimental evaluation of the wear resistance of fishing thread-like materials from mechanical wear factors. Dis. cand. tech. sci.]. Kaliningrad, 2020, 154 p.
3. Kolotev D. A., Sukonnov A. V. *Eksperimental'naya ustanovka i oborudovanie po issledovaniyu vliyaniya tsiklicheskih nagruzheniy na iznos rybolovnykh nitok* [Experimental installation and equipment for the study of the effect of cyclic loading on the wear of fishing threads]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2018, no. 1(13), available at: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2018/03/Kolotev-113.pdf> (Accessed 19 December 2020).
4. Lapina E. A. *Rybolovnye materialy: metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam dlya studentov spetsial'nosti 311800 "Promyshlennoe rybolovstvo"* [Fishing materials: guidelines for laboratory work for students mastering degree program 311800 "Industrial fishing"]. Petropavlovsk-Kamchatskiy, KamchatGTU, 2004, 60 p.

5. Lomakina L. M. *Tekhnologiya postroyki orudiy lova* [Technology of fishing gear construction]. Moscow, 1984, 207 p.
6. Sheynblit A. E. *Kursovoe proektirovanie detaley mashin* [Course design of machine parts]. Moscow, 1991, 454 p.
7. Dolin G. M. *Planirovanie eksperimentov v promyshlennom rybolovstve: uchebnoe posobie* [Planning of experiments in industrial fishing: textbook]. Kaliningrad, KGTU, 1996, 120 p.
8. Styopin P. A. *Soprotivlenie materialov: ucheb. dlya mashinostroitelnykh spets. vuzov* [Material resistance. Textbook for degree programs in engineering]. Moscow, Vysshaya shkola, 1983, 303 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колотев Дмитрий Александрович – Калининградский государственный технический университет; аспирант факультета промышленного рыболовства;
E-mail: newsosed039@mail.ru

Kolotev Dmitriy Aleksandrovich – Kaliningrad State Technical University;
Post-graduate student of the Faculty of Industrial Fisheries;
E-mail: newsosed039@mail.ru

Суконнов Анатолий Владимирович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства; зав. лабораториями

Sukonnov Anatoliy Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries;
Head of Laboratories

УДК: 574.2 595.36: 591.4

DOI 10.46845/1997-3071-2022-63-19-32

БИОЛОГИЯ КРЕВЕТКИ *PALAEMON ELEGANS* RATHKE, 1836
(DECAPODA: CARIDEA: PALAEMONIDAE) ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

С. А. Судник, Ю. Е. Егорова

BIOLOGY OF THE SHRIMP *PALAEMON ELEGANS* RATHKE, 1836
(DECAPODA: CARIDEA: PALAEMONIDAE) OF THE SOUTH-EASTERN
BALTIC SEA

S. A. Sudnik, Yu. E. Egorova

Каменная креветка *Palaemon elegans* Rathke, 1836 – широко распространенный инвазивный вид, бентофаг-полифаг, значимый в питании рыб, в ряде стран – промысловый объект. После вселения в Балтийское море успешно акклиматизировалась, широко распространилась, вытеснив аборигенные виды креветок палемонов. Наблюдается недостаток знаний о биологии креветки из морских поселений у берегов Калининградской области. Получены новые данные о размерных, половых, весовых характеристиках и репродукции *P. elegans* Юго-Восточной Балтики. Соотношение полов чаще приближалось к равному, общая длина тела составила 9,8–50,0 мм при длине карапакса 4,0–11,6; максимальные размеры самок больше, чем самцов. Масса тела креветок достигала 1,37 г; весовой рост несколько опережал линейный. Первое спаривание у самок могло происходить при длине карапакса до 5 мм; при 4–9 мм они впервые созревали и нерестились, откладывая до 1500 яиц размерами 0,45–0,58 x 0,50–0,60 мм, эмбрионов вынашивали. За первую половину эмбриогенеза наблюдалось увеличение объема яиц в среднем в 1,4 раза; значимых потерь эмбрионов не обнаружено. За нерестовый сезон (май – начало сентября) самки могут размножаться минимум дважды. Оценка половых, размерных, репродукционных параметров у креветок трех морских поселений показала их достаточное единообразие. Сравнение полученных результатов с таковыми для креветок Калининградского залива позволило предположить, что поселения моря и залива – части одной популяции вида *Palaemon elegans* в водах Калининградской области.

креветка, Palaemon elegans, Балтика, размеры, соотношение полов, масса тела, репродукция, созревание, плодовитость, размеры яиц

Stone shrimp *Palaemon elegans* Rathke, 1836 – is a widespread invasive species, polyphagous benthophage, that is important in fish nutrition, and in some countries it is a fishing object. After introduction in the Baltic Sea, it has successfully acclimatized and spread widely, displacing the native palemon shrimps species. There is a lack of knowledge about *P. elegans* biology of marine settlements off the coast of the Kaliningrad region. New data on the sizes, sex, weight characteristics and reproduction of *P. elegans* in the coastal zone of the South-Eastern Baltic have been obtained. The

sex ratio more often approached equal, the total body length was 9.8–50.0 mm with a carapace length of 4.0–11.6 mm; the maximum female sizes were larger than male sizes. The shrimp body weight was 0.04–1.37 g; the weight growth was somewhat ahead of the linear one. The first mating could take place when the female carapace length was up to 5 mm; having sizes of 4–9 mm, they matured and spawned for the first time, laying up to 1500 eggs with sizes of 0.45–0.58 x 0.50–0.60 mm, bearing embryos. During the first half of embryogenesis, an increase in the egg volume was observed; on average by 1.4 times; no significant embryos loss was found. During the spawning season (May – early September) females can spawn at least twice. Analysis of sex, size and reproductive parameters in shrimp from three marine settlements showed their sufficient uniformity. Comparison of the results with those obtained for shrimp from the Kaliningrad Bay allowed us to assume that its marine and bay settlements are part of the same *Palaemon elegans* population in the waters of the Kaliningrad region.

shrimp, Palaemon elegans, Baltic, sizes, sex ratio, body weight, reproduction, maturation, fertility, egg sizes

ВВЕДЕНИЕ

Семейство креветок палемонов (*Palaemonidae*), к которому принадлежит *Palaemon elegans* Rathke, 1836, – лидер по количеству инвазивных видов. Эта креветка широко распространена в Восточной Атлантике, Индийском океане, вселилась в Балтику, Средиземное море, из него проникла в Черное, Азовское, Каспийское и Аральское. Вид известен в прибрежных водах Юго-Восточной Балтики, многочисленен в Калининградском заливе [1]. Креветка – бентофагополифаг, в том числе детритофаг и некрофаг [2, 3]. Заселяясь и акклиматизируясь в новых водоемах, может вытеснять аборигенные виды креветок. Известно, что *P. elegans* – промежуточный хозяин некоторых паразитов [4]. Вид важен в питании ряда рыб, в том числе промысловых пород (европейской бельдюги, бычков, трески, камбалы) [5]. Для некоторых стран креветка – объект коммерческого, для многих других – любительского лова [1, 6]. Есть ряд работ, касающихся некоторых аспектов ее биологии, в основном в Калининградском заливе [1, 2, 7–11]. Цель работы – анализ размерно-полового состава и репродукции *P. elegans* в водах Юго-Восточной Балтики. Работа выполнена в рамках тем инициативной поисковой прикладной научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «КГТУ» «Эколого-фаунистическая характеристика гидробионтов из водоемов Калининградской области» (рег. № Код: 13.13.200.2) и «Гидробиологические исследования водоемов национального парка «Куршская коса» (рег. № Код: 13.13.035.2), а также при научном сотрудничестве с Национальным парком «Куршская коса».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал (шесть проб креветок — 248 экз.) собран студентами и сотрудниками кафедры водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» в летние периоды четырех лет (2010, 2014, 2015, 2020), в том числе авторами лично. Материал фиксирован 8%-ным раствором формальдегида. В состав лабораторного биологического анализа креветок [12] входило: измерение с точностью 0,1 мм

общей длины тела (ОД) и длины карапакса (ДК), определение пола, массы тела с точностью 0,01; стадию зрелости яичников устанавливали по шестибальной шкале, стадию развития эмбрионов оценивали по пяти баллам; разовую реализованную плодовитость (РПП, количество вынашиваемых яиц) определяли прямым подсчетом всех яиц кладки в камере Богорова; с точностью до 0,01 мм измеряли наибольший и наименьший диаметр не менее 10 зрелых ооцитов, подсчитывали их средние величины; объем яйца эллипсоидной формы находили по формуле: $V = 3,14 \times X \times Y^2 : 6$ (x – длина; y – ширина яйца, мм).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Соотношение полов в летних пробах креветки из вод Юго-Восточной Балтики приближалось к равному или самки несколько превосходили по численности; в одной малочисленной пробе в 1,5 раза доминировали самцы (табл. 1).

Таблица 1. Соотношение полов *P. elegans*, юго-восточная часть Балтийского моря
Table 1. Sex ratio, *P. elegans*, the South-Eastern Baltic Sea

Место сбора проб	Дата	Количество особей, шт.	Соотношение полов самки : самцы	Численность, экз.	
				самки, %	самцы, %
Пос. Рыбачий, Куршская коса	27.06.2010	39	1 : 1	49	51
	11.07.2014	50	1,4 : 1	58	42
	23.06.2015	29	1,2 : 1	55	45
	23.08.2020	70	1,2 : 1	54	46
Пос. Куликово	15.07.2020	10	1 : 1,5	40	60
Пос. Отрадное	28.07.2020	50	1,2 : 1	56	44

Летом 2001–2004 гг. в пробах из Калининградского залива соотношение полов также было близко к равному [7], как и в сезон 2016–2017 гг. [10], когда, кроме того, встречался материал с преобладанием самцов.

В целом размеры тела креветок *P. elegans* в морских поселениях составили ОД 9,8–50,0 мм (для самцов 12,0–36,0, для самок 9,8–50,0 мм), ДК 4,0–11,6 мм (для самцов – 4,0–9,2, для самок – 4,0–11,6 мм) (табл. 2, рис.1).

Таблица 2. Размеры креветок *P. elegans*, Юго-Восточная Балтика (d – диапазон; $m \pm sd$ – среднее значение \pm стандартное отклонение)

Table 2. Sizes of shrimps *P. elegans*, the South-Eastern Baltic Sea (d – range; $m \pm sd$ – mean \pm standard deviation)

Место сбора проб	Дата	Самки				Самцы				Индекс ДК/ОД
		ОД, мм		ДК, мм		ОД, мм		ДК, мм		
		d	$m \pm sd$	d	$m \pm sd$	d	$m \pm sd$	d	$m \pm sd$	
Пос. Рыбачий	27.06.10	12,0–24,6	18,7 \pm 3,2	5,0–9,0	7,2 \pm 1,1	12,8–27,8	17,9 \pm 4,1	4,0–8,6	6,2 \pm 1,2	0,37
	11.07.14	14,6–30,4	25,6 \pm 3,3	5,3–11,2	8,8 \pm 1,6	12,2–21,0	16,3 \pm 1,9	4,5–9,0	6,4 \pm 1,0	0,37
	23.06.15	9,8–14,0	11,3 \pm 1,4	4,6–8,0	6,2 \pm 1,0	12,8–21,8	15,5 \pm 2,0	4,6–9,2	6,3 \pm 1,2	0,40
	23.08.20	12,0–50,0	27,1 \pm 6,5	4,0–11,6	6,6 \pm 1,5	20,0–36,0	27,7 \pm 6,5	4,6–7,2	6,7 \pm 1,5	0,25
Пос. Куликово	15.07.20	20,2–22,8	21,6 \pm 8,05	7,8–8,2	5,6 \pm 1,2	12,0–17,8	14,8 \pm 2,3	5,2–8,0	6,5 \pm 0,9	0,41
Пос. Отрадное	28.07.20	15,8–48,0	25,1 \pm 6,5	4,6–11,4	6,9 \pm 1,5	9,8–32,0	20,1 \pm 5,8	4,6–8,0	6,1 \pm 0,8	0,28

Можно отметить достаточную схожесть размерной структуры разнополых креветок из поселений в море и Калининградском заливе [7, 10]. В поселении у пос. Рыбачий ОД креветок составила 9,8–50,0, по ДК 4,0–11,6 мм (табл. 2, рис. 1), самые крупные особи встречены в 2020 г., самые мелкие – в 2015 г. (табл. 2). У пос. Куликово ОД особей достигала меньших значений (22,8 мм) (табл. 2, рис. 1). У пос. Отрадное ОД *P. elegans* (9,8–48,0 мм) приближались к таковым у особей с поселения у пос. Рыбачий (табл. 2, рис. 1). В пробах с трех поселений доминировали самцы и самки близких по ДК размеров (табл. 2).

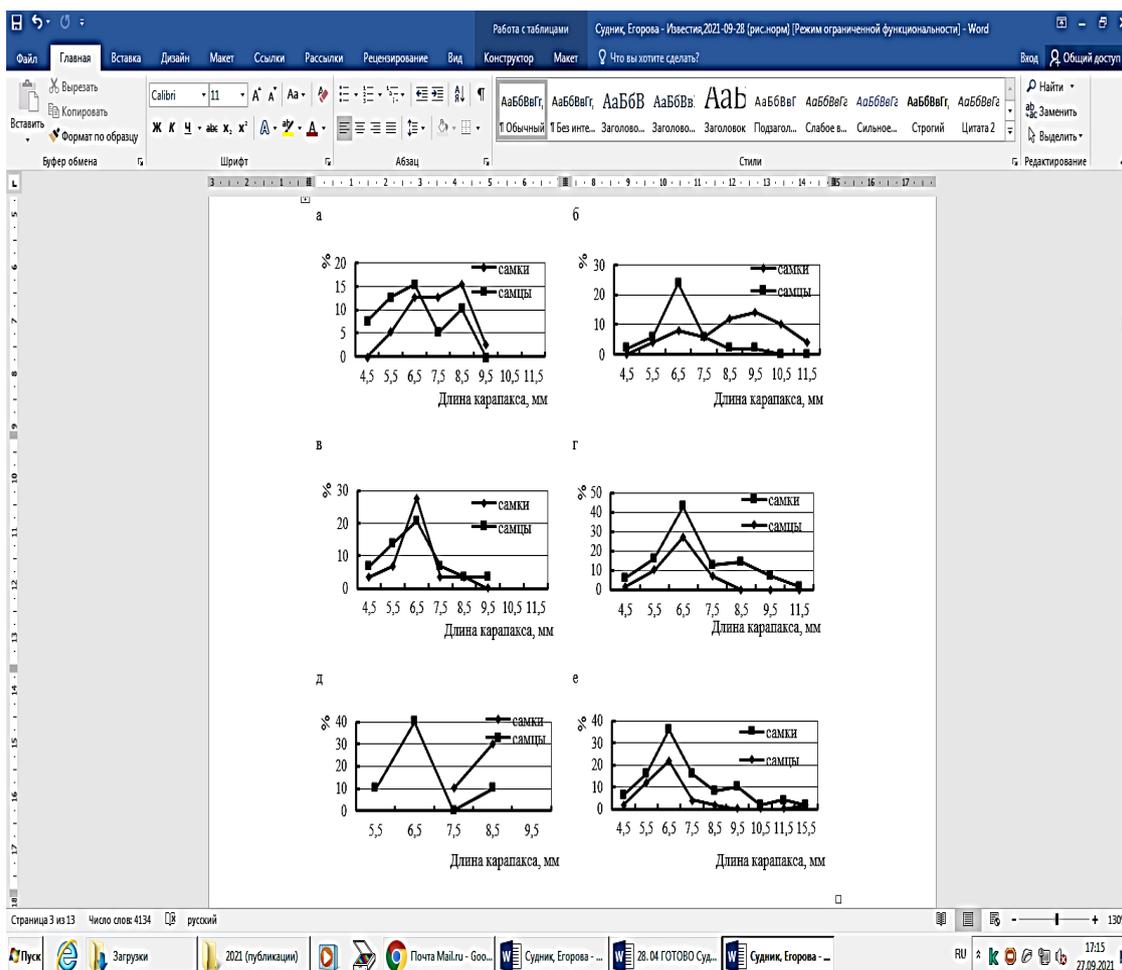


Рис. 1. Размерная структура креветки *P. elegans*, Юго-Восточная Балтика:
а–г – пос. Рыбачий (а – 27.06.2010 г., б – 11.07.2014 г., в – 23.06.2015 г.,
г – 23.08.2020 г.); д – пос. Куликово; е – пос. Отрадное

Fig. 1. Size composition of *P. elegans* shrimp, the South-Eastern Baltic Sea:
а–г – Rybachi (а – 27.06.2010; б – 11.07.2014; в – 23.06.2015; г – 23.08.2020);
д – Kulikovo; е – Otradnoe

Индивидуальная масса тела креветок *P. elegans* в периоды исследований составила 0,04–1,37 г (у самцов – до 0,54 , у самок – до 1,37 г) (табл. 3). У пос. Рыбачий можно отметить достаточную стабильность весовой структуры самцов, масса самок сильно варьировалась в соответствии с их размерами.

У пос. Куликово она достигала существенно меньших значений, при, соответственно, меньших размерах тела.

Таблица 3. Масса тела креветок *P. elegans*, Юго-Восточная Балтика
Table 3. Body weight of *P. elegans* shrimps, the South-Eastern Baltic Sea

Место сбора проб	Дата	Кол-во, экз.	Общая масса, г	Самки		Самцы	
				масса, г	ОД, мм	масса, г	ОД, мм
Пос. Рыбачий	27.06.10	39	0,10–0,54	0,10–0,41	12,0– 24,6	0,15–0,54	12,8– 27,8
	11.07.14	50	0,11–0,98	0,16–0,98	14,6–30,4	0,11–0,33	12,2– 21,0
	23.06.15	29	0,13–0,40	0,13–0,22	9,8–14,0	0,15–0,40	12,8– 21,8
	23.08.20	70	0,04–1,37	0,04–1,37	12,0–50,0	0,14–0,40	20,0– 36,0
Пос. Куликово	15.07.20	10	0,20–0,63	0,59–0,63	20,2–22,8	0,20–0,49	12,0– 17,8
Пос. Отрадное	28.07.20	50	0,13–1,35	0,13–1,35	15,8–48,0	0,13–0,40	12,2– 32,0

Масса креветок у пос. Отрадное была сравнимой с таковой у особей у пос. Рыбачий при близких размерах тела (табл. 3). Для *P. elegans* обнаружена положительная аллометрия прироста массы тела относительно прироста его длины (весовой рост креветок достоверно несколько опережал линейный) (рис. 2).

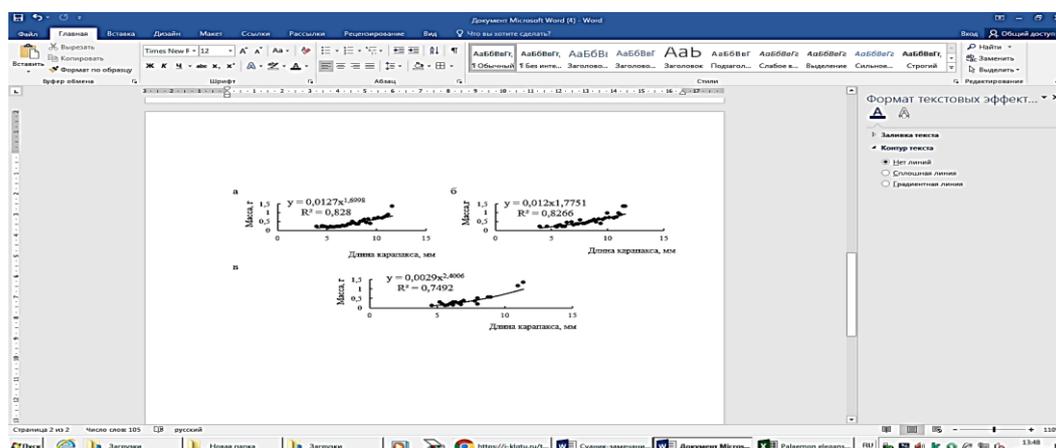


Рис. 2. Размерно-весовая зависимость у *P. elegans*, Юго-Восточная Балтика:
а – пос. Рыбачий; б – пос. Куликово; в – пос. Отрадное

Fig. 2. Size-weight relationship in *P. elegans*, the South-Eastern Baltic: а – Rybachi; б – Kulikovo; в – Otradnoe

В пробе за июнь 2010 г. (пос. Рыбачий) почти абсолютно (95 %) доминировали самки без яиц. Среди них преобладали (74 %) созревающие и зрелые особи (гонады в ст. зрелости III–V; 53 % – в начале созревания) с ДК 5–10 мм, модой 7–10 мм (рис. 3). Из них 21 % были посленерестовыми (ст. зрелости VI-II) с ДК 6–8 мм, модой 6–7 мм. Единственная яйценосная особь (ДК 8 мм) собиралась вскоре нереститься (ст. зрелости V) и вынашивала развитые эмбрионы

(ст. развития 4). Июнь 2010 г. в этих водах стал временем разгара нерестового сезона самок *P. elegans*.

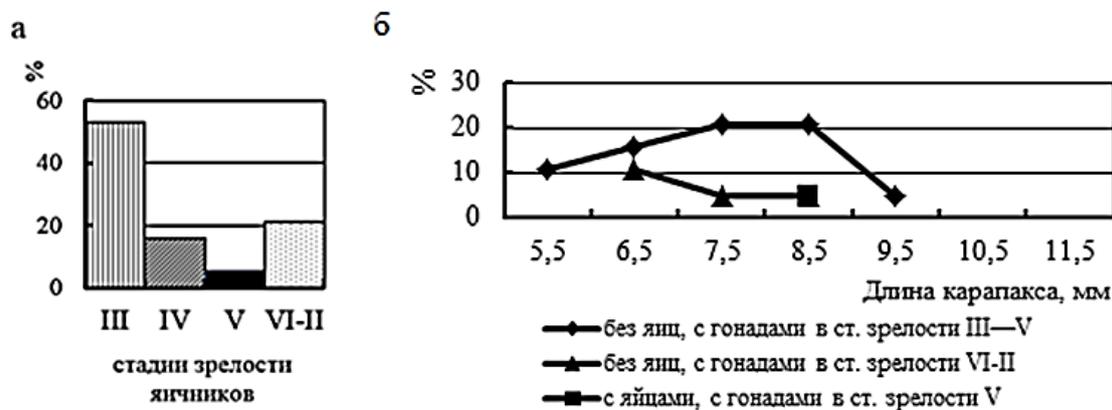


Рис. 3. Репродуктивное состояние самок *P. elegans*, Балтийское море, пос. Рыбачий, июнь 2010 г.:

а – стадии зрелости яичников у самок без яиц; б – размеры

Fig. 3. Reproductive state of *P. elegans* females, the Baltic Sea, Rybachiy, June 2010:

а – stages of ovaries maturity in non-ovigerous specimens; б – sizes

В пробе за июль 2014 г. из поселения у пос. Рыбачий репродуктивное состояние самок *P. elegans* было схоже с таковым в июне 2010 г. Сильно доминировали самки без яиц (93 %), среди которых преобладали (72 % от всех самок) созревающие и зрелые особи (гонады в стадиях зрелости III—V; где 52 % – в начале созревания) с ДК 5,3–11,2, модой 9–11 мм (рис. 4).

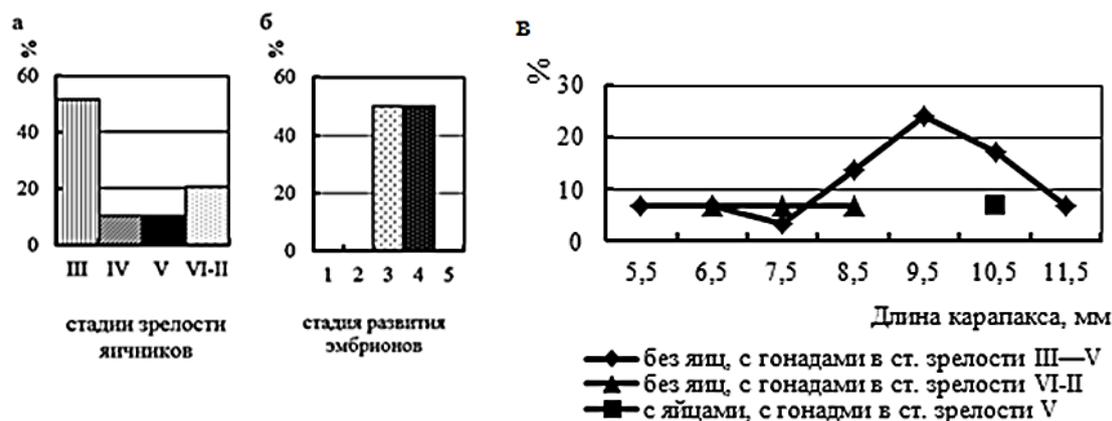


Рис. 4. Репродуктивное состояние самок *P. elegans*, Балтийское море, пос. Рыбачий, июль 2014 г.:

а – стадии зрелости яичников у самок без яиц; б – стадии развития эмбрионов; в – размеры

Fig. 4. Reproductive status of *P. elegans* females, the Baltic Sea, Rybachiy, July 2014:

а – stages of ovaries maturity in non-ovigerous specimens; б – embryonic development stages; в – sizes

Доля некрупных самок (ДК 6–8,8 мм) в посленерестовом состоянии составила 21 %. Две особи (ДК 10,6 и 10,8 мм) вынашивали эмбрионы в начале и середине эмбриогенеза (ст. развития 3 и 4), имея зрелые яичники. Следовательно, июль 2014 г. был месяцем, приходящимся примерно на середину нерестового сезона самок *P. elegans* в этом районе.

В пробе за июнь 2015 г. (пос. Рыбачий) встречены только самки без яиц (рис. 5). Из них одна мелкая особь (ДК 4,6 мм) готовилась к первому созреванию (ст. зрелости II). Доминировали в пробе (46 %) более крупные самки (ДК 6,0–8,0 мм) с неразвитыми яичниками в посленерестовом состоянии. Остальные некрупные самки (ДК 5,0–7,8, мода 6–7 мм) находились в начале и середине созревания (ст. зрелости III и IV). Июнь 2015 г. тоже демонстрировал определенную нерестовую активность самок креветок.

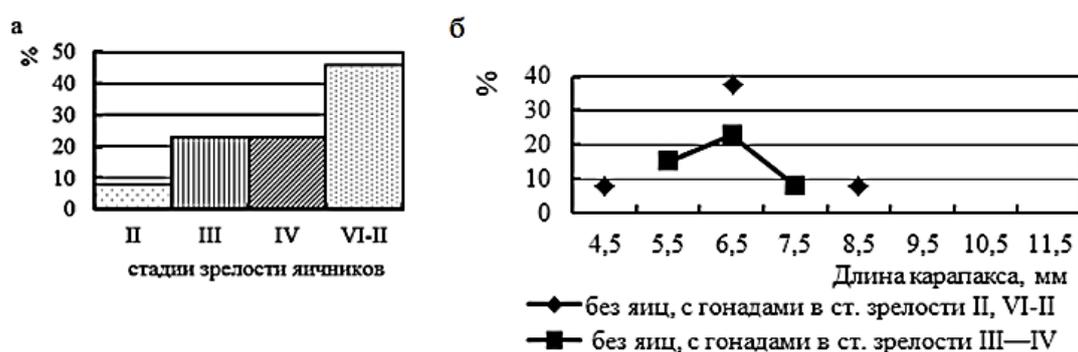


Рис. 5. Репродуктивное состояние самок *P. elegans*, Балтийское море, пос. Рыбачий, июнь 2015 г.:

а – стадии зрелости яичников у самок без яиц; б – размеры

Fig. 5. Reproductive state of *P. elegans* females, the Baltic Sea, Rybachiy, June 2015: а – stages of ovaries maturity in non-ovigerous specimens; б – sizes

В пробе за август 2020 г. (пос. Рыбачий) самки без яиц в 1,4 раза (58 % : 42 %) преобладали над яйценосными особями (рис. 6), которые достигали несколько большей длины карапакса (до 11,6 мм по сравнению с 9,0 мм – у самок без яиц); средние размеры самок этих групп достоверно не отличались, наибольшей репродуктивной активностью отличались самки с ДК 8–10 мм. Среди особей без яиц доминировали (45 % от всех самок) креветки с неразвитыми яичниками (ДК 4,0–9,0 мм; мода 6,5 мм): наименьшие из них (до 5 мм) были неполовозрелыми (в ст. зрелости II), более крупные – посленерестовыми (в ст. зрелости VI-II); остальные (10 % от всех самок; ДК 6,8–8,8 мм) имели созревающие и зрелые яичники (ст. зрелости III–V) (рис. 6). Преобладание в этой категории особей схожих небольших размеров (около 7 мм) указывает на их близкий возраст, скорее всего – первого года жизни. Среди яйценосных *P. elegans* (рис. 6) большую долю составили самки с созревающими и зрелыми гонадами (ст. зрелости III–V; ДК 4,6–11,6 мм; небольшая мода – 8,5 мм), вынашивающие эмбрионы на всех возможных стадиях развития 1–5 (более всего – в первой половине эмбриогенеза) – эти креветки готовились к повторному нересту. Остальные яйценосные особи (8 % от всех самок; ДК 8,0–8,4 мм), имея неразвитые гонады (ст. зрелости VI-II), вынашивали эмбрионы, продвинутые в

развитии до середины эмбриогенеза (рис. 6), пропускали следующий нерест. В обеих категориях сравнимые средние размеры самок ($7,3 \pm 1,7$ и $8,2 \pm 0,7$ мм) – результат доминирования в пробе креветок одного возраста – первого года жизни. Август для самок стал временем уже менее активного, чем наблюдалось в июле, нереста: доля отнерестившихся (яйценосных) – 45 %, и они, как и 10 % креветок без яиц, готовились повторно размножиться в сентябре; доля самок, пропускающих нерест в августе–сентябре, была около 45 %.

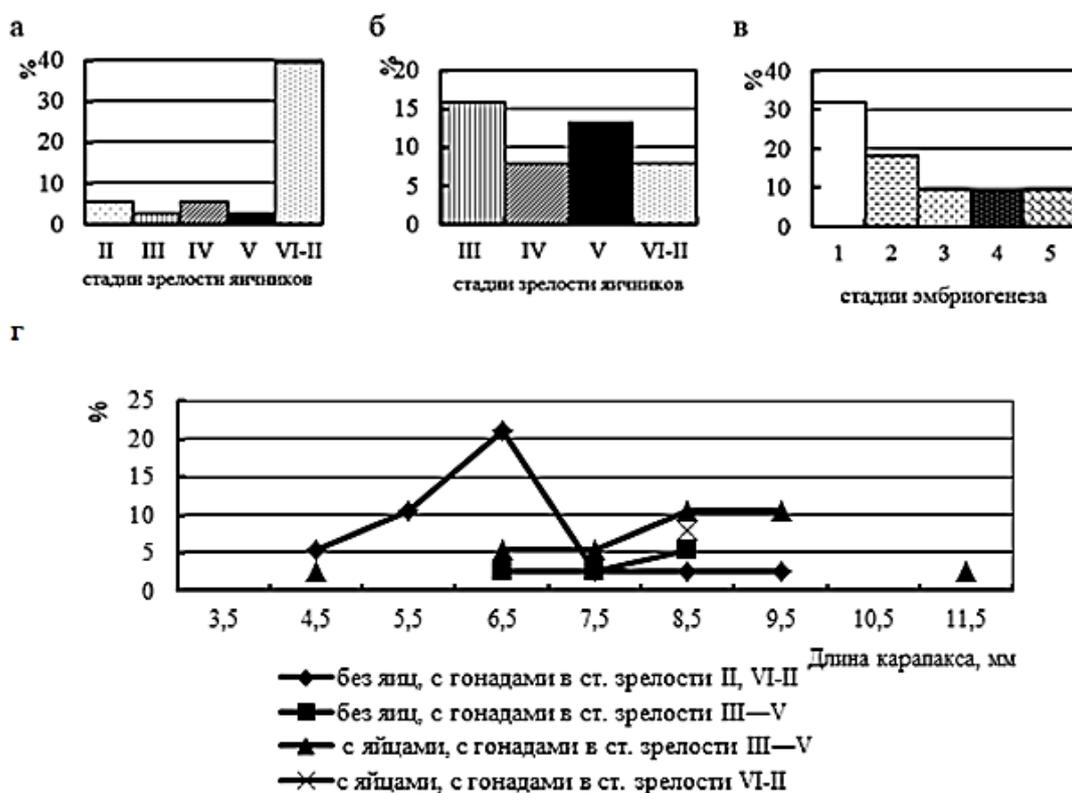


Рис. 6. Репродуктивное состояние самок *P. elegans*, Балтийское море, пос. Рыбачий, август 2020 г.: а, б – стадии зрелости яичников у самок: без яиц (а) и яйценосных особей (б); в – стадии развития эмбрионов; г – размеры
 Fig. 6. Reproductive status of *P. elegans* females, the Baltic Sea, Rybachi, August 2020: а, б – stages of ovaries maturity in non-ovigerous (а) and ovigerous specimens (б); в – embryonic development stages; г – sizes

В пробе за июль 2020 г. (пос. Куликово) встречены четыре самки. Из них половина (ДК 7,8 и 8,2 мм) были посленерестовыми (ст. зрелости VI-II), эмбрионы не вынашивали. Одна самка (7,5 мм) с гонадами в начале созревания (ст. зрелости III) вынашивала только что отложенные яйца, вторая (ДК 8,5 мм) с неразвитыми яичниками (ст. зрелости VI-II) несла эмбрионы, продвинутые в развитии до середины эмбриогенеза (ст. развития 3).

В пробе за июль 2020 г. (пос. Отрадное) соотношение самок без яиц и яйценосных было близким (54 : 46 %) (рис. 7). Около 1/3 всех самок эмбрионы не вынашивали, имели при небольших размерах (ДК 4,6–8,0 мм; мода 7,5 мм) неразвитые яичники; самые мелкие из них (до 5 мм) готовились к своему первому

созреванию (ст. зрелости II); более крупные (5–8 мм) и доминирующие по численности особи были в посленерестовом состоянии и пропускали текущий нерест. Остальных самок без яиц (25 %; ДК 4,8–9,6 мм) можно разделить на две группы: одну, с модой 7,5 мм, составили впервые созревающие особи (ст. зрелости III–V, с преобладанием начала созревания), вторая, с модой 9,5 мм, состояла из, видимо, повторно созревающих самок (рис. 7).

Среди яйценосных особей (ДК 6,0–11,4 мм) почти абсолютно доминировали (92 %) самки, готовые к следующему нересту (имели созревающие и зрелые гонады), вынашивающие эмбрионы во всех возможных стадиях развития (1–5 с доминированием стадии 1 – только что отложенные яйца); из них особи группы с модальными размерами 9,5 мм могли готовиться к третьему нересту. Одна мелкая яйценосная самка (ДК 5,6 мм) при неразвитых гонадах (ст. зрелости VI-II) вынашивала эмбрионы, развитые до середины эмбриогенеза (ст. развития 3); такая особь пропускала следующий нерест (рис. 7).

Июль 2020 г. для *P. elegans* обоих поселений (у пос. Куликово и Отрадное) был временем активного нереста (около половины особей отнерестились), но не концом нерестового сезона: часть креветок собиралась повторно размножиться в августе. Около трети (и более) самок в 2020 г. пропускали нерест июля–августа.

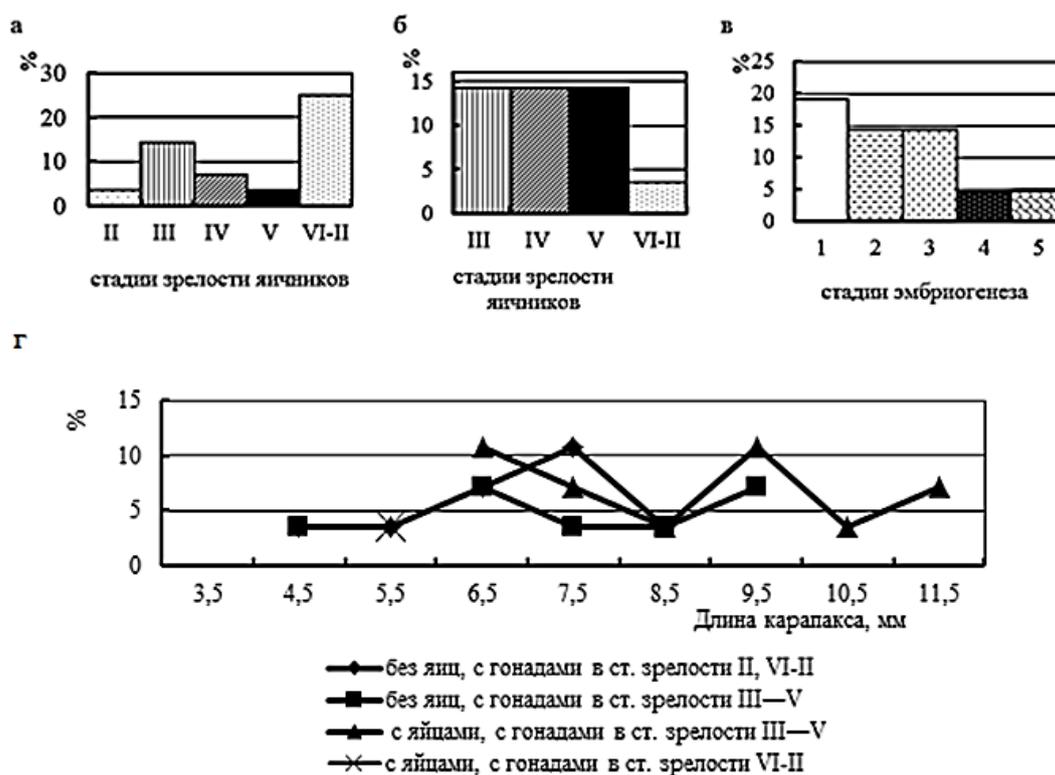


Рис. 7. Репродуктивное состояние самок *P. elegans*, Балтийское море, пос. Отрадное, июль 2020 г.: а, б – стадии зрелости яичников у самок: без яиц (а) и яйценосных особей (б); в – стадии развития эмбрионов; г – размеры

Fig. 7. Reproductive status of *P. elegans* females, the Baltic Sea, Otradnoe, July 2020: а, б – stages of ovaries maturity in non-ovigerous (а) and ovigerous specimens (б); в – embryonic development stages; г – sizes

Размеры яиц и величина разовой реализованной плодовитости получены для 32 самок *P. elegans* с ДК 4,6–11,4 мм из проб в 2010, 2014, 2015 и 2020 гг., в общем они составили 0,45–0,63 x 0,50–0,70 мм (табл. 4).

Таблица 4. Плодовитость и размеры яиц *P. elegans*, Юго-Восточная Балтика (ср – среднее значение; со – стандартное отклонение)

Table 4. Fecundity and egg sizes of *P. elegans*, the South-Eastern Baltic Sea (ср – mean; со – standard deviation)

Стадия развития эмбрионов	Кол-во ♀ ♂	ДК, мм		Плодовитость, количество яиц		Размеры яиц					
		д	ср± со	д	ср± со	длина, мм		ширина, мм		объем, мм ³	
						д	ср± со	д	ср± со	д	ср± со
1	13	6,0-9,0	7,32±1,56	350-1201	829±294	0,50-0,60	0,58±0,04	0,45-0,58	0,52±0,04	0,05-0,10	0,07±0,01
2	8	5,6-9,2	7,39±1,68	364-1500	853±283	0,55-0,65	0,58±0,04	0,47-0,58	0,53±0,05	0,06-0,11	0,08±0,01
3	5	6,4-10,8	7,44±1,71	511-1200	867±267	0,58-0,65	0,59±0,04	0,55-0,60	0,53±0,05	0,09-0,12	0,10±0,01
4	3	4,6-11,6	7,13±1,61	591-1200	—	0,55-0,65	—	0,45-0,60	—	0,05-0,12	—
5	3	6,8-11,0	7,6±1,74	485-1320	—	0,55-0,70	—	0,55-0,63	—	0,08-0,14	—

В поселении креветок Юго-Восточной Балтики летом разных лет отмечены самки, вынашивающие эмбрионы на всех возможных стадиях развития. За время вынашивания с начала до середины эмбриогенеза наблюдалось достоверное увеличение объема яиц, в среднем в 1,4 раза (табл. 4). Размеры только что отложенных яиц у самок креветки из изученных нами морских поселений вида (ст. развития эмбрионов 1) (табл. 4) сравнимы с таковыми по данным за 2016–2017 гг. [10] у особей из Калининградского залива (0,52±0,05 x 0,58±0,06).

Разовая реализованная плодовитость (РПП, количество яиц в кладке) у самок креветки *P. elegans* с ДК 4,0–11,6 мм из морских вод по нашим данным составила 350–1500 яиц (табл. 5). Максимальная плодовитость оказалась в 1,2 раза больше, чем таковая у креветок из вод Калининградского залива [10], что соответствовало несколько большим размерам их тела (табл. 5); по средним значениям плодовитость не различалась. Достоверного уменьшения величины РПП у самок морских поселений (за период с начала до середины эмбриогенеза) нами не обнаружено (табл. 4), что может свидетельствовать об отсутствии значимых потерь эмбрионов за этот период их вынашивания.

Таблица 5. Плодовитость и размеры яиц у *P. elegans* разных поселений (ср – среднее значение; со – стандартное отклонение)

Table 5. Fecundity and egg sizes in *P. elegans* of different settlements (ср – mean value; со – standard deviation)

Водоем	Годы	ДК, мм	РПП (количество яиц)		Авторы
			диапазон	ср±со	
Балтийское море (пос. Рыбачий, пос. Отрадное, пос. Куликово)	2010, 2014, 2015, 2020	4,0–11,6	350–1500	847±280	Наши данные
Калининградский залив (Балтийская коса, пос. Коса)	2016, 2017	3,4–9,4	88–1238	684±276	[10]

Достоверного роста величины начальной реализованной плодовитости у *P. elegans* из морских поселений с увеличением размера тела самок не обнаружено (рис. 8).

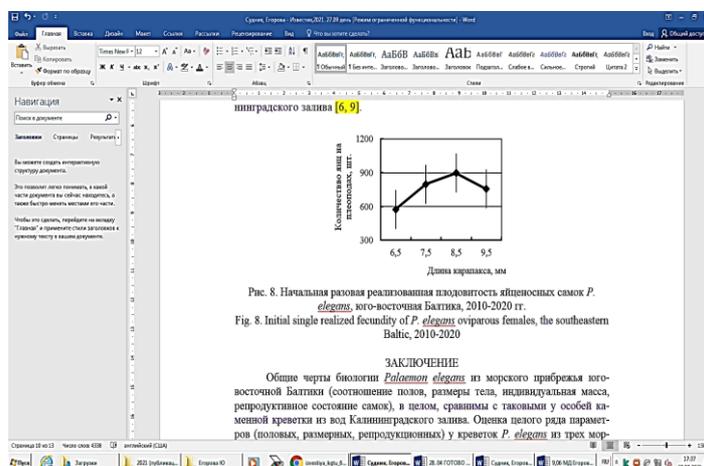


Рис. 8. Начальная разовая реализованная плодовитость икрыносных самок *P. elegans*, Юго-Восточная Балтика, 2010–2020 гг.

Fig. 8. Initial single realized fecundity of *P. elegans* oviparous females, the South-Eastern Baltic, 2010–2020

Это же отмечено другими авторами для самок вида из Калининградского залива [7, 10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие черты биологии *Palaemon elegans* из прибрежных вод Юго-Восточной Балтики (соотношение полов, размеры тела, индивидуальная масса, репродуктивное состояние самок) в целом сравнимы с таковыми у особей каменной креветки из Калининградского залива. Оценка ряда параметров (половых, размерных, репродукционных) у креветок *P. elegans* из трех морских поселений Юго-Восточной Балтики показала их достаточное единообразие, а сравнение результатов с данными, полученными для поселений из Калининградского залива, позволяет предположить, что поселения моря и залива – части одной популяции вида *Palaemon elegans* в водах Калининградской области.

Авторы выражают благодарность сотрудникам и студентам кафедры биоресурсов и природопользования за собранный материал.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буруковский, Р. Н. Креветки рода *Palaemon* (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) европейских морей: определение видов: учеб. пособие / Р. Н. Буруковский. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – 32 с.

2. Буруковский, Р. Н. О питании креветки *Palaemon elegans* Rathke 1836 (Decapoda, Palaemonidae) в Вислинском заливе / Р. Н. Буруковский // Журнал Сибирского федерального университета. – 2012. – № 2. – С. 151–159.
3. Lesutienė, J. Trophic position and basal energy sources of the invasive prawn *Palaemon elegans* in the exposed littoral of the SE Baltic Sea / J. Lesutienė, Z.R. Gasiūnaitė, R. Strikaitytė, R. Žilienė // Aquatic Invasions, 2014, Vol. 9, № 1, pp. 37–45.
4. Arias, C. *Palaemon elegans*, an intermediate host in the life-cycle of *Aggregata octopiana* / C. Arias, C. Gestal, H. Rodríguez, M. Soto, J. Estévez // Diseases of Aquatic Organisms, 1998, Vol. 32, № 1, pp. 75–78.
5. Gruszka P., Więcaszek B. *Palaemon elegans* as food for cod in the Gulf of Gdańsk // Book of Abstracts, Baltic – the Sea of Aliens, 25–27 August 2004, Gdynia, Poland, 27 p.
6. European Commission website, 2021. [Электронный ресурс]. – URL: https://fish-commercial-names.ec.europa.eu/fish-names/species_en?sn=26413 (дата обращения 10.09.2021).
7. Цигвинцев, С. В. О биологии креветки *Palaemon elegans* в водах Калининградского залива / С. В. Цигвинцев // Проблемы ихтиопатологии и гидробиологии. Первые шаги в науке: сб. магистр. и аспирант. науч. работ. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ». – 2008. – С. 180–201.
8. Ежова, Е. Е. Инвазии чужеродных видов беспозвоночных в Куршском и Вислинском заливах Балтийского моря / Е. Е. Ежова, Ю. Ю. Полунина // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. ст. / сост. И. П. Жуковская. – Калининград: БФУ им. И. Канта, 2011. – № 7. – С. 25–37.
9. Гусев, А. А. Высшие раки (Malacostraca) водоемов Калининградской области / А. А. Гусев, Е. Е. Ежова, Д. О. Гусева // Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод: сб. лекций и докладов Международной школы-конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 5–9 ноября 2012. – Кострома: ООО Костромской печатный дом, 2012. – С. 170–173.
10. Мирошниченко, Я. В. Некоторые данные о биологии креветки *Palaemon elegans* Rathke 1836 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) из Вислинского залива Балтийского моря в летний период 2016–2017 гг. / Я. В. Мирошниченко // Дни науки: межвуз. науч.-техн. конф. студентов и курсантов на базе ФГБОУ ВО «КГТУ» (2–15 апреля 2018 г.): материалы. – Калининград: БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – С. 160–165.
11. Ezhova, E. E. Population structure and reproduction of *Palaemon elegans* Rathke, 1836 (Decapoda: Caridea, Palaemonidae) in the South-Eastern Baltic / E. E. Ezhova // Tallinn University of Technology, 2009. – P. 284.
12. Sudnik, S. A. The method of biological analysis for caridean shrimps (Decapoda: Natantia: Caridea) with emphasis on pelagic shrimps / S. A. Sudnik, T. Falkenhaug // Наука и общество в условиях глобализации: Междунар. науч.-практ. конф., г. Уфа, 21–22 апреля 2014 г.: материалы. – Уфа: РИО ИЦИПТ, 2014. – С. 7–11.

REFERENCES

1. Burukovskiy R. N. *Krevetki roda Palaemon (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) evropeyskikh morey: opredelenie vidov: uchebnoe posobie* [Shrimp of the genus *Palaemon* in European seas: species identification: student book]. Kaliningrad, BGARF, 2017, 32 p.
2. Burukovskiy R. N. O pitanii krevetki *Palaemon elegans Rathke* 1836 (Decapoda, Palaemonidae) v Vislinskom zalive [On nutrition of shrimp *Palaemon elegans Rathke* 1836 (Decapoda, Palaemonidae) in the Vislinskiy Bay]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta*, 2012, no. 2, pp. 151–159.
3. Lesutienė J., Gasiūnaitė Z.R. Trophic position and basal energy sources of the invasive prawn *Palaemon elegans* in the exposed littoral of the SE Baltic Sea. *Aquatic Invasions*, 2014, vol. 9, no 1, pp. 37–45.
4. Arias C., S. Gestal S., Rodríguez N., Soto M., Estévez J. *Palaemon elegans*, an intermediate host in the life-cycle of *Aggregata octopiana*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 1998, vol. 32, no. 1, pp. 75–78.
5. Gruszka P., Więcaszek B. *Palaemon elegans* as food for cod in the Gulf of Gdańsk. Book of Abstracts, Baltic – the Sea of Aliens, 25–27 August 2004, Gdynia, Poland, 27 p.
6. European Commission website, 2021. Available at: https://fish-commercial-names.ec.europa.eu/fish-names/species_en?sn=26413 (Accessed 10 September 2021).
7. Tsigvintsev S. V. O biologii krevetki *Palaemon elegans* v vodakh Kaliningradskogo zaliva [About the biology of shrimp *Palaemon elegans* in the Kaliningrad Bay waters]. *Problemy ikhtiopatologii i gidrobiologii. Pervye shagi v nauke: sb. magistr. i aspirant. nauchn. rabot* [Problems of ichthyopathology and hydrobiology. The first steps in science: digest of master and of graduate student scientific works]. Kaliningrad, FGOU VPO «KGTU», 2008, pp. 180–201.
8. Ezhova E. E., Polunina Yu. Yu. Invazii chuzherodnykh vidov bespozvonochnykh v Kurshskom i Vislinskom zalivakh Baltiyskogo morya [Invasions of alien invertebrate species in the Curonian and Vistula Bays of the Baltic Sea]. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya natsional'nogo parka "Kursh-skaya kosa"* [Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the National Park "Curonian Spit"]. Kaliningrad, BFU im. I. Kanta, 2011, no. 7, pp. 25–37.
9. Gusev A. A., Ezhova E. E., Guseva D. O. Vysshie raki (Malacostraca) vodoyomov Kaliningradskoy oblasti [Malacostraca of reservoirs of the Kaliningrad region]. *Aktual'nye problemy izucheniya rakoobraznykh kontinental'nykh vod: sbornik lektsiy i dokladov Mezhdunarodnoy shkoly-konferentsii. In-t biologii vnutr. vod im. I. D. Papanina RAN, Borok, 5–9 noyabrya 2012.* [Actual problems of studying crustaceans of continental waters: digest of lectures and reports. Institute of Biology of Internal Waters I.D. Papanin RAS, Borok, November 5–9, 2012]. Kostroma, OOO "Kostromskoy pechatnyy dom", 2012, pp. 170–173.
10. Miroshnichenko Ya.V. Nekotorye dannye o biologii krevetki *Palaemon elegans Rathke* 1836 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) iz Vislinskogo zaliva Baltiyskogo morya v letniy period 2016–2017 gg. [Some data on the biology of the *Palaemon elegans Rathke* 1836 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) shrimp from the Vistula Bay of the Baltic Sea in the summer of 2016–2017]. *Materialy Mezhdvuz. nauch.-tekhn. konf.*

studentov i kursantov "Dni nauki", FGBOU VPO "KGTU" (12–15 aprelya 2018 g.). [Proceedings of Interuniversity sci.-tech. conf. of students and cadets "Days of science", FSEI HE "KSTU" (2–15 April 2018)]. Kaliningrad, FGBOU VPO "KGTU", 2018, pp. 160–165.

11. Ezhova E. E. Population structure and reproduction of *Palaemon elegans* Rathke, 1836 (Decapoda: Caridea, Palaemonidae) in the South-Eastern Baltic. *Tallinn University of Technology*, 2009, 284 p.

12. Sudnik S. A., Falkenhaus T. The method of biological analysis for caridean shrimps (Decapoda: Natantia: Caridea) with emphasis on pelagic shrimps. *Materialy Mezhdvuz. nauch.-prakt. conf. "Nauka i obshchestvo v usloviyakh globalizatsii". Ufa, 21-22.04. 2014.* [Proceedings of Int. sci.-pract. conf. "Science and society in the context of globalization". Ufa, 21–22.04.2014]. Ufa, RIO ICIPT, 2014, pp. 7–11.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Судник Светлана Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов;
E-mail: svetlana.sudnik@klgtu.ru

Sudnik Svetlana Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Aquaculture, Biology and Diseases of Hydrobionts; E-mail: svetlana.sudnik@klgtu.ru

Егорова Юлия Евгеньевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов; E-mail: yuliya.egorova@klgtu.ru

Egorova Yuliya Evgenievna – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student of the Department of Aquaculture, Biology and Diseases of Hydrobionts; E-mail: yuliya.egorova@klgtu.ru

УДК 631

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-33-42

ПРОГРЕССИВНОЕ РАЗВИТИЕ ЦЕНОЭКОСИСТЕМ
КОРМОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

Т. Н. Троян, О. М. Бедарева, А. А. Гайманова, Л. В. Карачинова

PROGRESSIVE DEVELOPMENT OF PRICE ECOSYSTEMS OF FORAGE
PURPOSES IN CONDITIONS OF THE NORTH-WESTERN REGION

T. N. Troyan, O. M. Bedareva, A. A. Gaimanova, L.V. Karachinova

Сырьевая база производства кормов различна в глобальных и региональных условиях. Основной упор делается на калорийность и себестоимость кормов. Индикатором при выборе культуры для производства растительного сырья выступает как количественная, так и качественная его оценка. Увеличение объемов производства продовольственных культур, выращиваемых на суше, является сложной задачей из-за высоких рисков агроклиматических условий при формировании урожайности, а также при конкуренции за ограниченные земельные и водные ресурсы. Наземная аквакультура играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности. В связи с этим изучение сырьевой кормовой базы для целей рыбоводства актуально в условиях современного мира. Изучен вопрос возможности использования многолетних трав в качестве компонента рыбных комбикормов. В результате исследований выявлена динамика роста многолетних трав в луговых фитоценозах. Выполнена графическая интерпретация циклов стравливания и циклов скашивания. Определен период спелости трав. В зависимости от темпов прироста лугового фитоценоза представлена цикличность роста многолетних трав злаково-бобового ботанического состава. Отмечено уменьшение валового урожая, коррелирующего с ритмами роста и развития в течение вегетационного периода, что связано со снижением продукционного процесса растений во второй половине. Большую роль в системе управления кормовыми угодьями играют элементы минерального питания. Для повышения экологической пластичности и стрессоустойчивости в систему питания вводят калийные и фосфорные удобрения в наиболее критичные периоды развития многолетних растений. Дополнительная фосфорная и калийная подкормки в конце вегетационного периода повышают устойчивость трав в зимний период.

растительное сырье, комбикорма, многолетние травы, луговой фитоценоз, пастбище, сенокос, рост, динамика, цикл стравливания, цикл сенокошения

The raw material base of feed production is different in global and regional conditions. The main emphasis is on the caloric content and cost of feed. The indicator when choosing a crop for the production of plant raw materials is both its quantitative and qualitative assessment. Increasing the production of food crops grown on land is a difficult task due to the high risks of agro-climatic conditions in the formation of yields,

as well as competition for limited land and water resources. Land-based aquaculture plays an important role in ensuring food security. In this regard, the study of the raw feed base for the purposes of fish farming is relevant in the modern world. The paper studies the question of the possibility of using perennial grasses as a feed component of fish compound feeds. As a result of the research, the growth dynamics has been found of perennial grasses in meadow phytocenoses. A graphical interpretation of the bleed cycles and mowing cycles is performed. The period of ripeness of herbs is determined. Depending on the growth rate of meadow phytocenosis, the cyclical growth of perennial grasses of cereal-legume botanical composition is presented. There has been a decrease in the gross yield correlating with the rhythms of growth and development during the growing season, which is associated with a decrease in the production process of plants in the second half. Elements of mineral nutrition play an important role in the management system of forage lands. To increase environmental plasticity and stress resistance, potash and phosphorus fertilizers are introduced into the food system during the most critical periods of the development of perennial plants. Additional phosphorus and potassium fertilizers at the end of the growing season increase the stability of grasses in winter.

vegetable raw materials, compound feed, perennial grasses, meadow phytocenosis, pasture, haymaking, growth, dynamics, grazing cycle, haymaking cycle

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные и региональные модели потребления водных продуктов тесно связаны с производством рыбы в аквакультуре, которое в последние 20 лет расширяется по всему миру. Продукция аквакультуры, рыбоводства – наиболее широко потребляемая группа товаров [1, 2].

Одновременно ведутся исследования по совершенствованию технологий производства комбикормов, выбору растительного сырья. В качестве компонентов для концентрированных гранулированных кормов могут служить не только водные растения, но и различные сельскохозяйственные культуры [3, 4]. Отличительной характеристикой сырья является питательность, энергообеспеченность и себестоимость компонентов кормов растительного происхождения. Растение проходит определенные этапы онтогенеза. Важнейшая характеристика вида – продолжительность вегетационного периода, что определяется зональными, секторными, высотными показателями. В течение вегетации растений происходит смена фенологических фаз [5–7].

В качестве неосновного компонента для гранулированных кормов возможно использование культурных видов многолетних трав. Многолетние травы благодаря своей пластичности, меньшей требовательности к условиям произрастания, вегетируя с ранней весны до поздней осени, полнее потребляют солнечную энергию, плодородие почвы и влагу, чем однолетние культуры. Для создания благоприятных условий их роста и развития необходимы знания биологических особенностей и адаптивных свойств, требований к условиям произрастания [6, 8].

Цель проведенных исследований – изучить биоэкологические особенности роста и развития луговых ценозосистем сенокосного и пастбищного назначения с определением динамики формирования надземной фитомассы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – луговые фитоценозы культурных кормовых угодий, расположенных на территории Полесского и Гурьевского городских округов.

Фитоценозы лугов представлены ассоциациями райграсово-тимофеечной (*Phleum pratense – lolium perenne*) третьего года пользования и ежово-тимофеечно-люцерновой (*Medicago varia + phleum pratense + dactylis glomerata*) четвертого года пользования.

Работа проводилась в двух направлениях:

1) изучение роста поликарпических трав и развитие луговых фитоценозов пастбищного использования выполнено в рамках НИР «Растительные и кормовые ресурсы Калининградской области: инвентаризация, экология, продуктивность, управление» (рег. № Код: 13.16.021.2 (ООПНДиНТИ КГТУ));

2) изучение роста поликарпических трав и развитие луговых фитоценозов сенокосного использования выполнено в рамках НИОКР «Разработка предложений по совершенствованию сырьевой базы рыбного кормопроизводства в условиях природно-климатических и антропогенных изменений».

В работе использованы традиционные методы полевых геоботанических и экологических исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биоэкологические особенности доминантов определяют структуру агроценопопуляций, продуктивность, роль в создании фитоценотической среды. Прогрессивное развитие ценоэкосистем выражается в усложнении их общего строения, увеличении суммы биомассы и энергозапасов в ней. После зимнего покоя рост надземных органов замедлен [9, 10] (рис. 1), что связано с недостатком тепла (физиологически сухая почва), элементов минерального питания, в особенности азота, малой микробиологической активностью почвы в этот период. Листья не достигли своего максимального размера, в соответствии с этим рабочая площадь фотосинтеза имеет ограниченные параметры, биопродукционный процесс представлен минимальными характеристиками.

Новые органы в это время образуются в основном за счет использования запасных веществ, накопленных в предыдущий вегетационный сезон. По мере повышения температуры, усиления микробиологической активности почвы и увеличения листовой поверхности луговые растения синтезируют большее количество органического вещества, образуется вторичный крахмал, поступающий из пластид в результате процесса гидролиза в запасующие органы (корневище, сердцевина стебля); рост надземных органов ускоряется, повышается ежесуточный урожай.

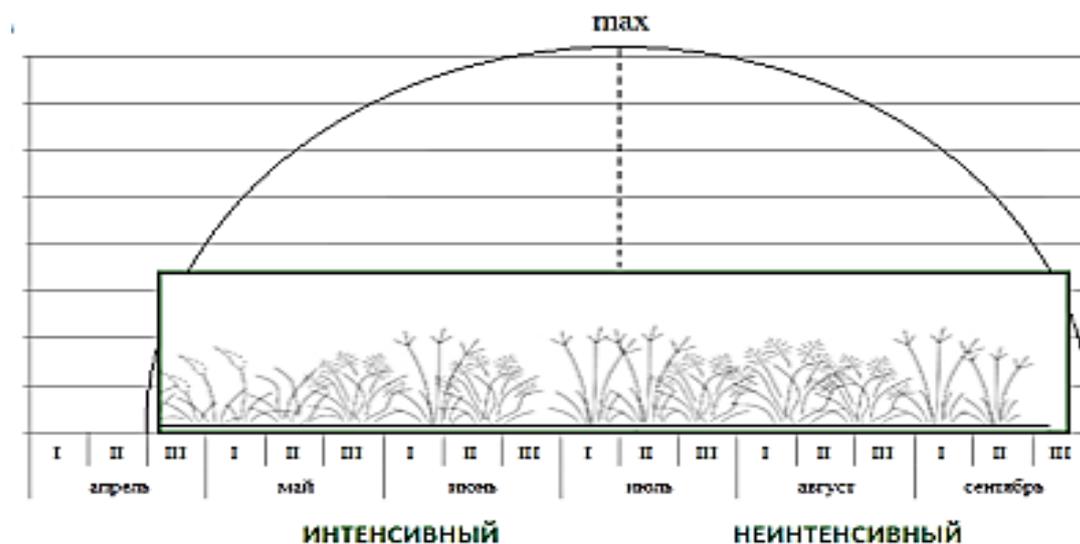


Рис. 1. Интенсивность роста надземной фитомассы луговых фитоценозов в период вегетации

Fig. 1. Growth intensity of aboveground phytomass of meadow phytocenoses during the growing season

В течение вегетационного сезона изменяется прирост урожая, что зависит от биологических свойств растений, условий произрастания и характера использования луга (сенокос, пастбище). Результаты годового цикла показывают, что нарастание надземной и подземной биомассы растения осуществляется неодинаково.

Начало вегетации приходится на третью декаду апреля при наступлении средних дневных температур 3–7 °С. Интенсивный рост луговых растений отмечается до середины июля. Однако для каждой особи и для каждого побега имеются определенные границы роста, что связано с дифференциацией местообитания на отдельные экологические ниши, в которых напряженность факторов среды будет неравнозначна. При достижении максимума урожайность переходит в состояние «плато» и начинает снижаться. Вторая половина вегетационного периода отличается замедлением интенсивности формирования надземной фитомассы.

У луговых злаковых трав существуют три стадии развития, отвечающие за процессы образования плодов и семян [8, 10]: активного кущения, формирования вегетативных и генеративных побегов (рис. 2).

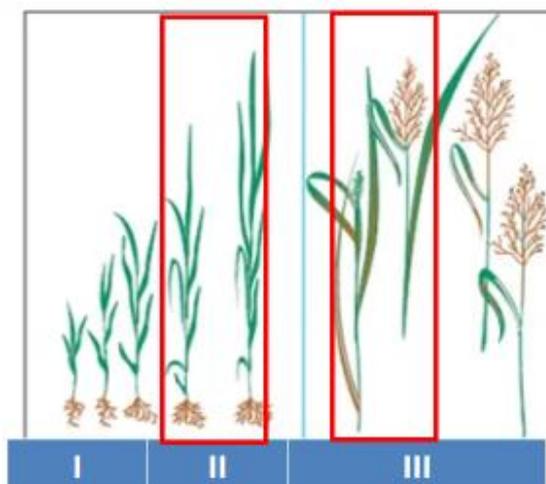


Рис. 2. Прирост надземной фитомассы в пастбищных фитоценозах
 Fig. 2. Increase in aboveground phytomass in pasture phytocenoses

Интенсивное использование травостоя на раннем этапе может снизить жизнеспособность растений и продуктивность ценоэкосистем. При переходе от вегетативного к репродуктивному росту большая часть энергии направляется на формирование стеблей и листьев и далее – в образование генерации семян. Генеративная стадия – «фаза выметывания – начала цветения» – наиболее эффективная в плане питательной ценности; служит сигналом для заготовки объемистых кормов. Вегетативная стадия более сбалансирована по питательности – фитомасса содержит большее количество углерода, что обеспечивает максимум производства сырого протеина и энергии для изготовления кормов. При пастбищном использовании кормового угодья эффективной является стадия «фаза кущения – выход в трубку» для злаковых травостояев. Рост трав нарушается во время отчуждения урожая при стравливании, скашивании. В результате многолетних наблюдений динамики пастбищных травостояев в условиях Калининградской области выявлено, что первый цикл стравливания приходится на II декаду мая (рис. 3). Отрастание после использования происходит так же, как и ранней весной: вначале замедленный рост отавы, а затем по мере формирования листовой фотосинтетической поверхности прирост урожая повышается. Продолжительность цикличности увеличивается во временной протяженности во второй половине лета и осенью. Всего в условиях региона формируется травостой четырех-пяти циклов стравливания.

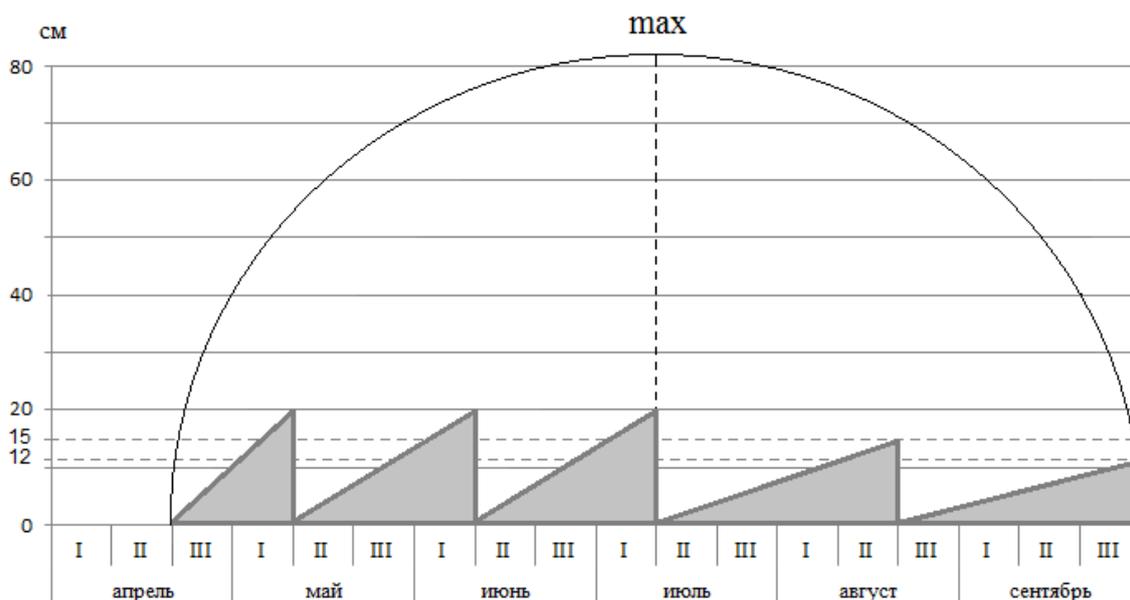


Рис. 3. Прирост надземной фитомассы в пастбищных фитоценозах в условиях Калининградской области
 Fig. 3. Increase in the aboveground phytomass in pasture phytocenoses in conditions of the Kaliningrad region

При создании и эксплуатации агроэкосистем сенокосного типа надземная фитомасса формируется в течение двух-трех, реже четырех циклов скашивания (рис. 4).

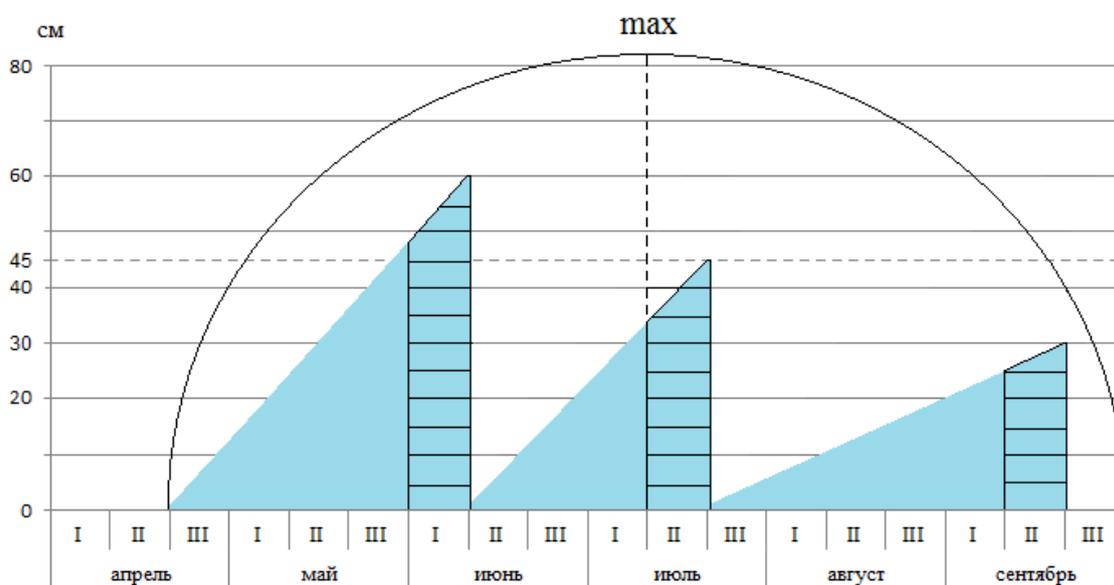


Рис. 4. Прирост надземной фитомассы в фитоценозах сенокосного типа в условиях Калининградской области
 Fig. 4. Increase in the aboveground phytomass in phytocenoses of the haymaking type in conditions of the Kaliningrad region

В процессе эмпирических исследований выделены три периода с интервалом один–семь дней (временные промежутки для заготовки растительного сырья в оптимальные фазы развития луговых трав).

В целом динамика роста и развития луговых ценоэкосистем сенокосного и пастбищного назначения выражена в следующей графической интерпретации продукционного процесса – формирования надземной фитомассы (рис. 5).

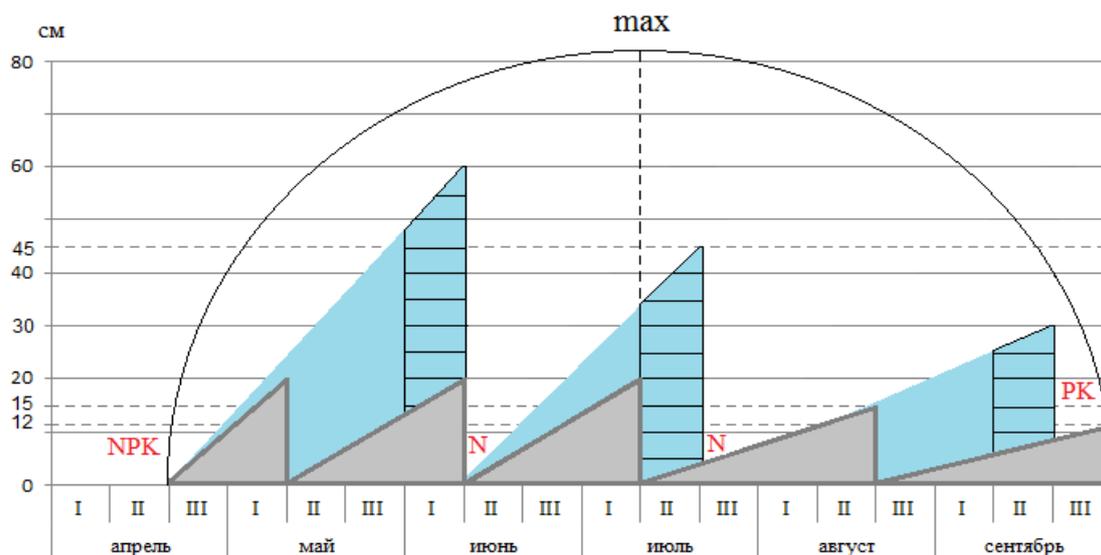


Рис. 5. Динамика роста многолетних трав сенокосных и пастбищных угодий в условиях Калининградской области

Fig. 5. Growth dynamics of perennial grasses of natural hayfields and pastures in the Kaliningrad region

Повышение продукционных процессов каждого цикла стравливания и скашивания регулируется внесением в трофические цепи минеральных удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях Калининградской области получение растительного сырья из многолетних трав представляется эффективным направлением в создании и упрочении кормовой базы. Продуктивность ценоэкосистем в плане ее прогрессивного развития осуществляется в среднем в течение трех циклов с учетом экологических факторов: к I декаде июня (50 % от общей урожайности), к III декаде июля (25 % от первого цикла), ко II декаде сентября (20–25 % от общей урожайности в период вегетации). Прогрессивное развитие ценоэкосистем замедляется к третьему циклу.

Управление продуктивностью ценоэкосистем и планирование системы производства кормов эффективны при учете цикличности формирования надземной фитомассы в конкретных природно-климатических условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Muir, James F. Fish, feeds, and food security / James F. Muir // *Animal Frontiers*, 2013. – Volume 3, Issue 1. – pp. 28–34 [Электронный ресурс]. – URL: <https://academic.oup.com/af/article/3/1/28/4638625> (дата обращения: 01.08.2021 г.).
2. Delgado, Christopher L. Outlook for fish to 2020: meeting global demand / Christopher L. Delgado, Nikolas Wada, Mark W. Rosegrant, Siet Meijer, Mahfuzuddin Ahmed // *Food policy report*, 2003. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ifpri.org/publication/fish-2020-supply-and-demand-changing-global-markets> / (дата обращения: 01.08.2021 г.).
3. Продуктивно-энергетический потенциал сельскохозяйственных культур при создании экологически безопасных кормов / О. М. Бедарева, Т. Н. Троян, Л. С. Мурачева, А. А. Кондрацкая // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2019. – № 54. – С. 11–19.
4. Бедарева, О. М. Сельскохозяйственные культуры как сырье растительного происхождения для производства рыбных комбикормов / О. М. Бедарева, Л. С. Мурачева, Т. Н. Троян // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 4. – С. 6–11.
5. Методические рекомендации по возделыванию многолетних трав на корм в полевых и кормовых севооборотах краткосрочного использования. – 2017. [Электронный ресурс]. – URL: https://kleverkirov.ru/library/plant_industry_resource_recovery_technologies/mietodicheskiie-riekomiendatsii-po-vozdielyvaniuu-mnogholietnikh-trav-na-korm-v-polievyykh-i-kormovyykh-sievooborotakh-kratkosrochnogo-ispolzovaniia (дата обращения: 01.04.2021 г.).
6. Касаткина, Н. И. Особенности роста и развития многолетних трав на основе клевера лугового тетраплоидного / Н. И. Касаткина, Ж. С. Нелюбова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – № 3 [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-rosta-i-razvitiya-mnogoletnih-trav-na-osnove-klevera-lugovogo-tetraploidnogo/viewer> (дата обращения: 01.04.2021 г.).
7. Богданов, В. Л. Формирование устойчивых луговых фитоценозов в нарушенных экосистемах: автореф. дис. ... д-р биол. наук: 06.01.03 / Богданов Владимир Леонидович; Санкт-Петербург, 2005. – 52 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dissercat.com/content/formirovanie-ustoichivykh-lugovykh-fitotsenozov-v-narushennykh-ekosistemakh> (дата обращения: 01.04.2021 г.).
8. Moore, K. J. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses / K. J. Moore, L. E. Moser, K. P. Vogel, S. S. Waller, B. E. Johnson, J. F. Pedersen // *Agronomy Journal*, 1991. – № 83(6). [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/43278956_Describing_and_Quantifying_Growth_Stages_of_Perennial_Forage_Grasses (дата обращения: 01.04.2021 г.).
9. Staufenbeil, J. Fall Lawn Growth cycle / Staufenbeil Jaime // *Milorganite Agronomist*, 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.milorganite.com/blog/Lawn/lawn-growth-cycle-fall> (дата обращения: 01.04.2021 г.).

REFERENCES

1. Muir James F. Fish, feeds, and food security. *Animal Frontiers*, 2013, vol. 3, iss. 1, pp. 28–34, available at: <https://academic.oup.com/af/article/3/1/28/4638625> (Accessed 01 August 2021).
2. Delgado Christopher L., Wada Nikolas, Rosegrant Mark W., Meijer Siet, Ahmed Mahfuzuddin. Outlook for fish to 2020: meeting global demand. *Food policy report*, 2003, available at: <https://www.ifpri.org/publication/fish-2020-supply-and-demand-changing-global-markets> / (Accessed 01 August 2021).
3. Bedareva O. M., Troyan T. N., Murachyova L. S., Kondratskaya A. A. Produktivno-energeticheskiy potentsial sel'skokhozyaystvennykh kul'tur pri sozdanii ekologicheskii bezopasnykh kormov [Productive and energy potential of agricultural crops with the creation of ecologically safe forages]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 54, pp. 11–19.
4. Bedareva O. M., Murachyova L. S., Troyan T. N. Sel'skokhozyaystvennyye kul'tury kak syr'yo rastitel'nogo proiskhozhdeniya dlya proizvodstva rybnykh kombi-kormov [Agricultural crops as raw materials of plant origin for the production of fish feed]. *Problemy regional'noy ekologii*, 2018, no. 4, pp. 6–11.
5. Metodicheskie rekomendatsii po vozdeleyvaniyu mnogoletnikh trav na korm v polevykh i kormovykh sevooborotakh kratkosrochnogo ispol'zovaniya [Methodological recommendations for the cultivation of perennial grasses for feed in field and feed crop rotations of short-term use]. 2017, available at: https://kleverkirov.ru/library/plant_industry_resource_recovery_technologies/mietodich_ieskiie-riekomiendatsii-po-vozdielyvaniuu-mnogholietnikh-trav-na-korm-v-polievykh-i-kormovykh-sievooborotakh-kratkosrochnogho-ispolzovaniia (Accessed 01 April 2021).
6. Kasatkina N. I., Nelyubova Zh. S. Osobennosti rosta i razvitiya mnogoletnikh trav na osnove klevera lugovogo tetraploidnogo [Features of the growth and development of perennial grasses based on tetraploid meadow clover]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2019, no. 3, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-rosta-i-razvitiya-mnogoletnih-trav-na-osnove-klevera-lugovogo-tetraploidnogo/viewer> (Accessed 01 April 2021).
7. Bogdanov V. L. *Formirovanie ustoychivyykh lugovukh fitotsenozov v narushennykh ekosistemakh. Avtoreferat diss dokt. biol. nauk* [Formation of stable meadow phytocenoses in disturbed ecosystems. Abstract of dis. dr. sci.]. Saint-Petersburg, 2005, 52 p., available at: <https://www.dissercat.com/content/formirovanie-ustoichivyykh-lugovykh-fitotsenozov-v-narushennykh-ekosistemakh> (Accessed 01 April 2021).
8. Moore K. J., Moser L. E., Vogel K. P., Waller S. S., Johnson B. E., Pedersen J. F. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agronomy Journal*, 1991, no. 83 (6), available at: https://www.researchgate.net/publication/43278956_Describing_and_Quantifying_Growth_Stages_of_Perennial_Forage_Grasses (Accessed 01 April 2021).
9. Staufenbeil J. Fall Lawn Growth cycle. *Milorganite Agronomist*, 2017, available at: <https://www.milorganite.com/blog/Lawn/lawn-growth-cycle-fall> (Accessed 01 April 2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Троян Татьяна Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: tatyana.troyan@klgtu.ru

Troyan Tatyana Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: tatyana.troyan@klgtu.ru

Бедарева Ольга Михайловна – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; зав. кафедрой агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: olga.bedareva@klgtu.ru

Bedareva Olga Mikhaylovna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Professor; Head of the Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: olga.bedareva@klgtu.ru

Гайманова Анастасия Александровна – Калининградский государственный технический университет; студентка кафедры агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: maisa999584@gmail.com

Gaimanova Anastasia Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; student; Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: maisa999584@gmail.com

Карачинова Любовь Валерьевна – Калининградский государственный технический университет; аспирантка кафедры агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: karachinova.l@klgtu.ru

Karachinova Lyubov Valerievna – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: karachinova.l@klgtu.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 637.5.03

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-45-57

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ЦЕЛЬНОКУСКОВЫХ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ СВИНИНЫ
С ПРИМЕНЕНИЕМ БАМБУКОВЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

М. Н. Альшевская, О. В. Анистратова, В. А. Баранаускас

IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF WHOLE
PIECE MEAT PRODUCTS FROM PORK USING BAMBOO FIBER

M. N. Alshevskaya, O. V. Anistratova, V. A. Baranauskas

Разработка рецептур мясных продуктов и технологических параметров их производства, позволяющая увеличить выход и уменьшить себестоимость, является актуальным направлением исследований. Для решения данной задачи широко применяются пищевые добавки (фосфаты, модифицированные крахмалы, каррагинан и др.), увеличивающие влагоудерживающую способность белков мышечной ткани и изменяющие вязкость мышечного сока в процессе тепловой обработки. Введение пищевых волокон в рецептуру мясных продуктов позволит не только решить технологическую задачу по увеличению выхода готового изделия, но и повысить его пищевую ценность. В работе показана возможность использования бамбуковой клетчатки в качестве пищевой добавки для увеличения выхода готового мясного продукта и улучшения его качественных характеристик, а также снижения массовой доли фосфатов при производстве цельнокусковых мясных продуктов из свинины. Установлены параметры инъектирования свиного окорока (давление 2,8 бар при скорости шага 30 об/мин), отработаны и выбраны оптимальные режимы массирования (5 ч общего времени работы при 7 об/мин и 10 мин покоя) и термической обработки (сушка 1,5 ч при температуре 55 ± 2 °C, копчение 45 мин при 65 ± 2 °C, варка 80 мин при 84 ± 2 °C). Обоснованы сроки хранения окорока копчено-вареного по микробиологическим и органолептическим показателям. Результаты полученных исследований легли в основу рецептуры мясного продукта «Окорок копчено-вареный» с добавлением бамбуковой клетчатки, разработаны проекты технической документации, технологическая схема производства.

бамбуковые волокна, полифосфаты, пищевые добавки, инъектирование, массирование, термическая обработка

Development of recipes for meat products and technological parameters of their production, which allows for an increase in their yield and reduction of the cost price, is an urgent area of research. To solve this problem, food additives (phosphates, modified starches, carrageenan, etc.) are widely used, which increase moisture-retaining ability of muscle tissue proteins and change viscosity of muscle juice during heat treatment of a meat product. The use of dietary fiber in the formulation of meat products will not only

solve the technological problem of increasing the yield of the finished product, but also improve its nutritional value. The paper shows the possibility of using bamboo fiber as a food additive to increase the yield of the finished meat product and improve its quality characteristics, as well as the possibility of reducing the mass fraction of phosphates in the production of whole meat products from pork. The optimal parameters for injecting pork ham have been established (pressure of 2.8 bar at a step speed of 30 rpm), optimal modes of massaging (5 hours of total working time, at 7 revolutions per minute and 10 minutes of rest) and heat treatment (drying 1.5 hours at a temperature of 55 +2 °C, smoking 45 minutes) have been worked out and selected (at a temperature of 65 +2 °C, cooking at a temperature of 84+2 °C for 80 minutes). The shelf life of smoked-boiled ham has been established according to microbiological and organoleptic indicators. The results of studies formed the basis for the recipe of the meat product "Smoked-boiled Ham" with addition of bamboo fiber. Technical documentation projects and a technological scheme of production have been developed.

bamboo fibers, polyphosphates, food additives, injection, massaging, heat treatment

ВВЕДЕНИЕ

Мясная отрасль в нашей стране является одной из самых активно развивающихся в пищевой промышленности. Для обеспечения конкурентоспособности мясоперерабатывающие предприятия активно внедряют на своих производствах цикл глубокой переработки сырья, постоянно обновляют ассортиментный ряд выпускаемой продукции, уделяя внимание не только качественным показателям, но и снижению себестоимости изделий, что позволяет производить мясные продукты различной ценовой категории. Для решения этой задачи применяются пищевые добавки, увеличивающие выход готовой продукции в результате изменения влагоудерживающей способности мышечной ткани и вязкости мышечного сока в процессе тепловой обработки. В качестве структурообразователей широко используются фосфаты, модифицированные крахмалы, каррагинан, камеди растительного происхождения. Фосфаты относятся к традиционным добавкам, влияющим на влагоудерживающую способность мышечной ткани в готовых изделиях. Доля вносимых фосфатов в рецептуре мясного продукта нормируется, поскольку, несмотря на отсутствие отрицательного эффекта на организм человека, доказано, что избыток фосфатов затрудняет усвоение железа. Поэтому уменьшение фосфатов в рецептуре является актуальным направлением исследований [1–5].

В последние несколько лет на пищевых производствах стало перспективным использование пищевых волокон – целлюлозы и различных видов клетчатки (пшеничной, свекольной, овсяной, морковной, соевой, бамбуковой и др.). Активное внедрение стабилизаторов консистенции и структурообразователей в рецептурный состав продуктов питания обусловлено их функционально-технологическими и медико-биологическими свойствами (выведение из организма токсинов, тяжелых металлов, холестерина, канцерогенных веществ, появление ощущения «сытости» за счет набухания при попадании в желудок). Поэтому использование клетчатки позволяет повысить пищевую ценность мясного продукта и решить технологическую задачу по увеличению выхода готовых изделий и формированию необходимой консистенции. Наиболее широко в мясной промыш-

ленности применяется пшеничная клетчатка, однако возможно использование и других видов клетчатки в производстве полуфабрикатов, в том числе бамбуковой, влияющей на влагосвязывающую способность сырья животного происхождения и обладающей положительным воздействием на микробиоценоз организма человека. Поэтому изучение возможности частичной замены фосфатов на бамбуковую клетчатку также актуально [6–9].

При производстве копчено-вареных мясных изделий структурообразователи вносятся на этапе инъектирования с посолочной смесью. Для улучшения процесса просаливания и равномерного распределения раствора на технологических этапах, влияющих на выход готового изделия (инъектирование, массирование, тепловая обработка), необходимо обоснование основных параметров технологических операций.

Цель исследования – изучение возможности частичной замены фосфатов за счет внесения бамбуковых пищевых волокон и обоснование технологических параметров производства цельнокусковых мясных деликатесов на примере продукта «Окорок копчено-вареный».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования по изучению технологических параметров производства цельнокускового копчено-вареного мясного продукта из свинины с использованием пищевых волокон проводились на кафедре технологии продуктов питания Калининградского государственного технического университета и на предприятии ООО «Копченое».

В качестве объекта исследований изучался свиной мороженный окорок бескостный (размер 30×50×25 см, масса 6 кг, содержание жира 10 %, белка – 19 %, массовая доля влаги 57 %). Замороженное мясное сырье подвергли дефростации в паро-воздушной камере (23±2 °С, 6 ч), после чего температура в толще мышечной ткани достигла 4 ±2 °С. В процессе жиловки с мясного отруба снимали жировой слой и разрезали отруб на куски длиной 30 см. Масса исследуемых партий свиных окороков составляла 500,0±2,0 кг.

Используемые для приготовления опытных образцов ингредиенты по показателям безопасности соответствовали требованиям действующей нормативной документации (табл. 1).

Таблица 1. Сырье и материалы

Table 1. Raw materials

Наименование	Действующая нормативная документация
Окорок свиной мороженный	ГОСТ 32796-2014, ТРТС 034-2013
Соль пищевая	ГОСТ Р 51574-2018, ТРСТ 029-2012
Соль нитритная	ГОСТ 32781-2014, ТРСТ 029-2012
Фосфаты	ГОСТ 31725-2012, ТРСТ 029-2012
Каррагинан	ГОСТ 33310-2015, ТРСТ 029-2012
Бамбуковая клетчатка SUPERCEL BAF 40	ГОСТ Р 51074-2003, ТРСТ 021-2011
Ксантановая камедь	ГОСТ 33333-2015, ТРСТ 029-2012

В работе применялись стандартные методы определения органолептических и санитарно-микробиологических показателей в соответствии с ГОСТ 9959, ГОСТ 10444.15, ГОСТ 31747, ГОСТ 29185, ГОСТ 31659, ГОСТ 32031.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В технологическом процессе производства деликатесной мясной продукции цельномышечных полуфабрикатов увеличить выход готовых изделий возможно путем снижения потерь тканевого сока, что заставляет производителей инъектировать или массировать сырье с использованием различных рассольных систем.

На начальном этапе проведения исследований были изучены вариации рецептур посолочного раствора для инъектирования цельнокускового мясного продукта, в качестве контроля рассматривался раствор без бамбуковой клетчатки. Рецептуры рассолов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Рецепт раствора для инъектирования
Table 2. Recipes of solution for injection

Исследуемые образцы	Наименование ингредиента									
	Фосфат	Крахмал	Клетчатка бамбуковая	Элитон макси С	Каррагинан	Ксантановая камедь	Соль нитритная	Соль поваренная	Вода	Итого
Контроль	–			10,0	–	–	2,0	2,0	86,0	100
Опыт № 1	0,9	4,0		–	2,0	0,08	2,0	2,0	89,0	100
Опыт № 2	0,6		5,0	–	2,0	0,08	2,0	2,0	89,0	100
Опыт № 3	0,4	3,0	2,0	–	2,0	0,08	2,0	2,0	89,0	100

Для изучения влияния бамбуковой клетчатки на выход готового мясного продукта было подготовлено четыре партии свиных окороков, инъектированных посолочными растворами (табл. 2), которые далее подвергались операциям массирования, формования, термической обработки и охлаждения.

Инъектирование осуществлялось в помещении с постоянной температурой $+4 \pm 2$ °С на рассольной станции GAROS GSI 420 двойной при давлении 3,0 бар и скорости шага 35 об/мин.

Массирование происходило по программе: 5 ч по длительности, 95 % вакуума, 50 мин массирования при 5 об/мин и 10 мин покоя. Термическую обработку проводили в режиме: сушка при 65 °С в течение 1,5 ч. На протяжении 30 мин сырье коптили при 65 °С, затем варили при 85 ± 1 °С до достижения в толще продукта 74 ± 1 °С.

На каждом этапе технологического процесса измеряли изменение массы полуфабриката и готового продукта (рис. 1).

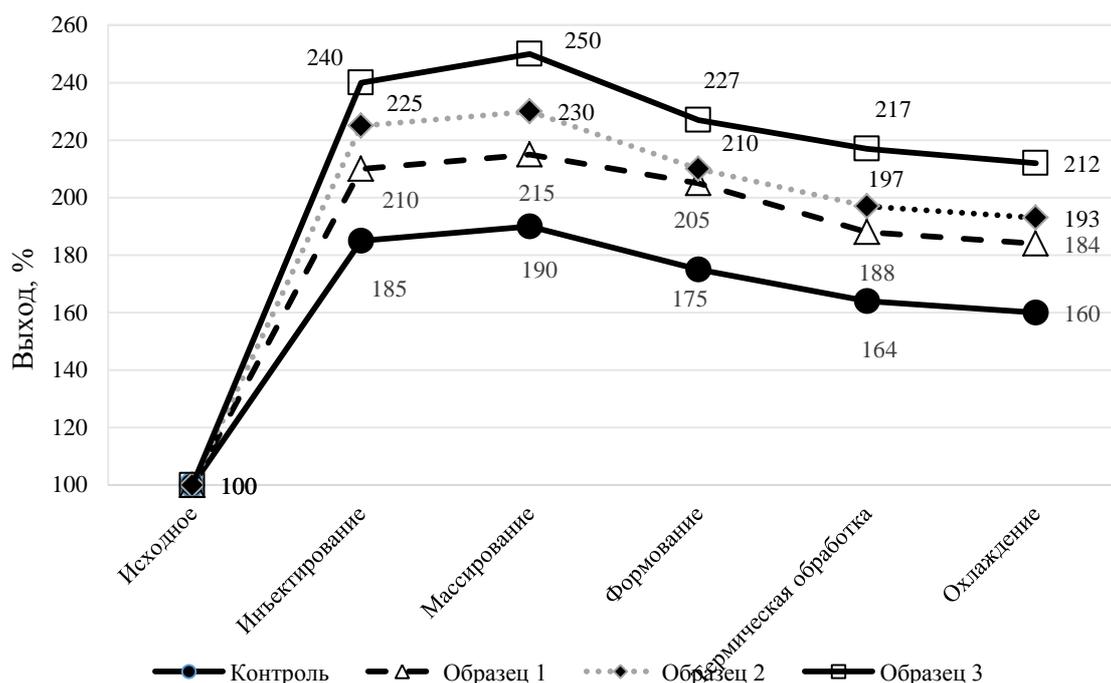


Рис. 1. Выход продукта в процессе технологической обработки
 Fig. 1. Product yield during processing

Исследования показали, что при инъектировании окороков посолочными растворами самый маленький выход мясного полуфабриката установлен в контрольном образце (185 ± 2 %), а наибольший – в опытном № 3 (240 ± 3 %) по отношению к начальной массе сырья.

После массирования больший выход в сравнении с начальной массой наблюдался в образце № 3 и составил 250 ± 3 %. В образцах № 1 и 2 выход мясного полуфабриката был 215 ± 2 % и 230 ± 2 % соответственно (рис. 1).

На этапе формования наименьшие потери массы полуфабриката установлены в опытном образце № 1, он потерял всего 10 ± 1 %, лучшие показатели прироста отмечены у образца № 3 (217 ± 2 %). После охлаждения итоговый выход массы исследуемых образцов составил: контрольный – 160 ± 1 %, опытный № 1 – 184 ± 1 %, № 2 – 193 ± 1 %, № 3 – 212 ± 2 %.

По ходу исследований установлено, что использование бамбуковой клетчатки в рецептуре посолочного раствора для производства свиного окорока копчено-вареного позволяет снизить массовую долю фосфатов в технологическом процессе и увеличить выход готового продукта.

На следующем этапе обоснованы оптимальные параметры технологических операций при производстве окорока копчено-вареного. Были произведены четыре опытные партии с применением бамбуковой клетчатки в рецептуре посолочного раствора, масса каждой партии составила $500,0 \pm 2,0$ кг.

Важными технологическими параметрами при инъектировании являются давление на инжекторе и скорость шага. Их отработка производилась в производственных условиях на универсальном инжекторе фирмы GAROS GSI 420 (табл. 3).

Таблица 3. Параметры процесса инъектирования
Table 3. Parameters of the injection process

Исследуемые образцы	Шаг транспортера, об/мин	Давление, бар
Опыт № 1	55	3.5
Опыт № 2	30	3.5
Опыт № 3	55	2.8
Опыт № 4	30	2.8

После инъектирования оценивался выход партии до и после введения посочного раствора в зависимости от давления и скорости шага инжектора (табл. 4).

Таблица 4. Изменение массы партий в процессе инъектирования
Table 4. Change in batch weight during injection

Исследуемые образцы	Масса сырья, кг	Масса мясного полуфабриката после инъектирования, кг
Опытная партия № 1	500,0±2,0	800,0±2,6
Опытная партия № 2	500,0±2,0	925,0±3,2
Опытная партия № 3	500,0±2,0	910,0±2,0
Опытная партия № 4	500,0±2,0	1000±7,4

Исходя из представленных в табл. 3 и 4 данных видно, что больший выход мясного полуфабриката установлен в опытной партии № 4 (1000±7,4 кг).

Исследования показали, что оптимальными параметрами процесса инъектирования при производстве цельнокусковых мясных продуктов с использованием пищевых волокон являются $P = 2,8$ бар, $v = 30$ об/мин.

Технологическая операция «массирование» применяется в мясном производстве с целью равномерного распределения рассола внутри полуфабриката. Показатели, влияющие на выход готового продукта, – скорость оборотов массажера, время выдержки между массированием (время простоя), а также время массирования. Для отработки параметров были приготовлены опытные партии мясных полуфабрикатов, которые предварительно подвергались инъектированию по ранее обоснованным характеристикам.

В процессе исследований рассматривались различные параметры вакуумного массажера (SPICER 50E) (табл. 5), масса исследуемых партий окороков перед операцией массирования составляла 1000±7,4 кг соответственно (табл. 5, 6).

Таблица 5. Параметры процесса массирования
Table 5. Parameters of the massaging process

Исследуемые образцы	Общее время массирования, ч	Скорость, об/мин	Время простоя, мин
Опыт № 1	5	4	10
Опыт № 2	5	7	10
Опыт № 3	4	9	10
Опыт № 4	4	7	10

После массирования сравнивался выход партии до и после технологической обработки, рассчитывался процент потерь (отсечка), устанавливались органолептические показатели мясного полуфабриката (внешний вид, консистенция) (табл. 6).

Таблица 6. Изменение массы партий в процессе массирования
Table 6. Change in batch weight during massaging

Исследуемые образцы	Органолептические показатели	Загрузка, кг	Выгрузка, кг	Отсечка при выгрузке, кг
Опыт № 1	Консистенция плотная, мясо вышло не отмассированное	1000±7,4	900,0±6,2	100,0±2,1
Опыт № 2	Консистенция мяса рыхлая, наблюдается небольшая часть отсечки	1000±7,4	950,0±7,1	50,0±1,5
Опыт № 3	Консистенция мяса рыхлая, разбитая, наблюдается большая отсечка	1000±7,4	760,0±5,8	240,0±3,2
Опыт № 4	Консистенция плотная, мясо вышло не отмассированное, наблюдается большая отсечка	1000±7,4	850,0±6,3	150,0±2,2

Проведенные исследования позволили установить, что оптимальными параметрами технологической операции массирования при производстве свиного окорока копчено-вареного являются 5 ч общего времени работы массажера при 7 об/мин, затем 10 мин покоя.

Мясной полуфабрикат, полученный в результате выбранных характеристик массажера, оценивался как лучший в сравнении с другими опытными образцами по органолептическим и физическим показателям (минимальной массе отсеченного раствора 50,0±1,5).

После данной технологической операции партия свиных окороков (№ 2) подвергалась термической обработке (сушка, копчение, варка) в термокамере АГН-1041.

В табл. 7 представлены данные по влиянию времени сушки на органолептические показатели образцов.

Таблица 7. Изменение органолептических показателей партий в процессе сушки
Table 7. Change in organoleptic parameters of batches during the process of drying

Продолжительность сушки, мин	Органолептические показатели
45	Отмечается наличие влаги на поверхности продукта, что может привести к нарушению технологической операции копчения и появлению дефектов в готовом продукте
60	Поверхность продукта подсушена, однако отмечаются влажные пятна на продукте, что может привести к нарушению технологической операции копчения и появлению дефектов в готовом продукте
90	Поверхность продукта сухая, зафиксирована плотная корочка подсыхания, разрывы и трещины на поверхности продукта не установлены
120	Поверхность продукта сухая, зафиксирована плотная корочка подсыхания, небольшие трещины, что может привести к нарушению технологической операции копчения и появлению дефектов в готовом продукте

В результате исследований установлено оптимальное время сушки при температуре 55 ± 2 °С (90 мин), поскольку полученная партия обладала наилучшими характеристиками (поверхность продукта не имела влажных пятен и трещин, которые могут привести к появлению дальнейших дефектов в готовом продукте).

После сушки образцы коптились при температуре 65 ± 2 °С с разными временными интервалами. В табл. 8 представлены данные по влиянию времени копчения на органолептические показатели образцов.

Таблица 8. Изменение органолептических показателей партий в процессе копчения
Table 8. Change in the organoleptic characteristics of batches during the process of smoking

Продолжительность копчения, мин	Органолептические показатели
15	Процесс копчения прошел неравномерно, цвет продукта светлый, не интенсивный
30	Процесс копчения прошел равномерно, цвет продукта светлый, не интенсивный
45	Процесс копчения прошел равномерно, цвет продукта золотистый, интенсивный
60	Процесс копчения прошел равномерно, цвет продукта коричневый, интенсивный

Таким образом, наилучшими органолептическими показателями обладала партия свиного окорока, которая коптилась в течение 45 мин.

Далее она подвергалась варке при температуре 85 ± 1 °С с разными временными интервалами. В табл. 9 представлены данные по влиянию времени варки на температуру в центре свиного окорока и его органолептические показатели.

Таблица 9. Изменение органолептических показателей партий в процессе варки
Table 9. Change in the organoleptic characteristics of batches during the process of cooking

Продолжительность варки, мин	Органолептические показатели
45	Цвет продукта золотистый, консистенция плотная, на разрезе наблюдается выделение сока, кулинарная готовность не достигнута, температура в центре 60 ± 1 °С
80	Цвет продукта темно-золотистый, равномерный по всему объему, консистенция плотная, кулинарная готовность достигнута, температура в центре 74 ± 1 °С
120	Цвет продукта темно-золотистый, равномерный по всему объему, консистенция рыхлая, кулинарная готовность достигнута, температура в центре 80 ± 1 °С

Установлено, что лучшими параметрами тепловой обработки при производстве цельнокускового мясного продукта является варка в течение 80 мин при температуре 85 ± 1 °С.

На основании проведенных исследований обоснованы технологические режимы термической обработки мясного продукта: сушка 1,5 ч при температуре 55 ± 1 °С, копчение 45 мин при 65 ± 1 °С, варка 80 мин при 84 ± 1 °С; разработана технологическая схема производства свиного окорока копчено-вареного с применением бамбуковых пищевых волокон (рис. 2).

Микробиологическая безопасность продукта «Окорок копчено-вареный» регулируется Техническим регламентом Таможенного союза 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции». Исследуемые образцы из опытных партий, произведенные по вышеобоснованной рецептуре и установленным режимам, были запакованы в высокобарьерную пленку толщиной 60 мкм под вакуумом и подвергнуты холодильному хранению при температуре 4 ± 2 °С, результаты микробиологических испытаний представлены в табл. 10.

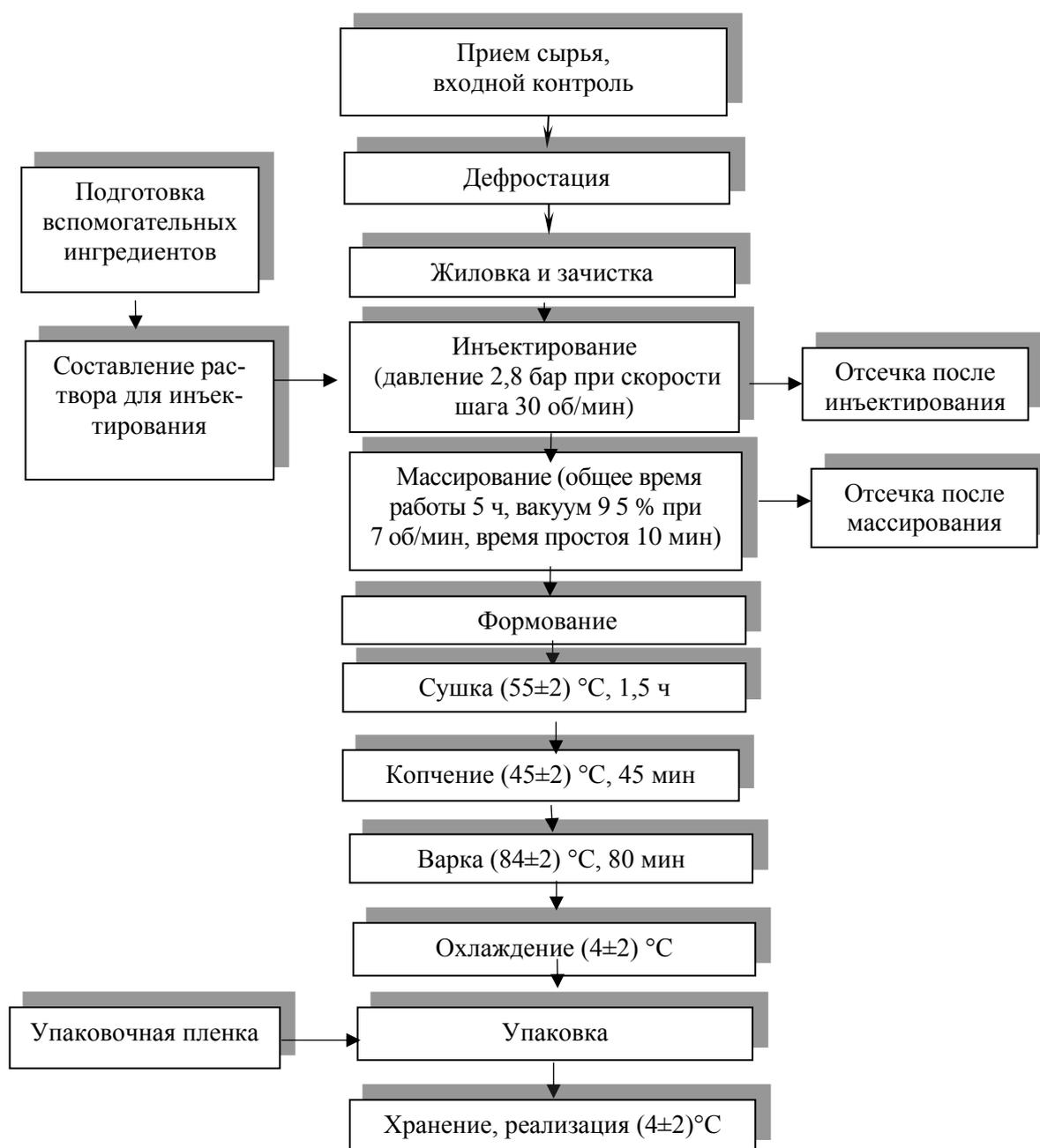


Рис. 2. Технологическая схема производства
Fig. 2. Production scheme

Таблица 10. Микробиологические показатели
Table 10. Microbiological indicators

Продолжительность хранения, сут	Наименование показателя			
	КМА-ФАНМ, КОЕ/г	БГКП, не допускается в 0,1 г	сульфитредуцирующие клостридии	L. monocytogenes
Фон	$<1,0 \cdot 10^1$	Не установлены	Не установлены	Не установлены
15	$<1,0 \cdot 10^1$	Не установлены	Не установлены	Не установлены
30	$<1,0 \cdot 10^1$	Не установлены	Не установлены	Не установлены
45	$1,1 \cdot 10^2$	Не установлены	Не установлены	Не установлены
54	$1,9 \cdot 10^2$	Не установлены	Не установлены	Не установлены

В течение всего срока холодильного хранения микробиологические показатели исследуемых партий не превышали нормативных значений. Таким образом, был обоснован срок годности мясного продукта «Окорок копчено-вареный», который составил 45 сут при хранении в герметичной упаковке и температуре 4 ± 2 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных по оценке качества цельнокусковых мясных продуктов, произведенных с применением бамбуковых пищевых волокон, установлено, что введение в рецептуру раствора для инъектирования бамбуковой клетчатки SUPERCEL BAF 40 дает возможность снизить массовую долю фосфатов, увеличить влагосвязывающую способность мышечной ткани и выход готового продукта до 212 ± 2 %.

Обоснованы технологические режимы для операций «инъектирование», «массирование», «термическая обработка» при производстве цельнокускового мясного продукта, которые позволяют получить деликатес с высокими органолептическими показателями, безопасными для потребителя. Установлены сроки холодильного хранения в герметичной упаковке – 45 сут при температуре 4 ± 2 °С. Предложена технологическая схема производства мясного продукта «Окорок копчено-вареный» с добавлением бамбуковой клетчатки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антипова, Л. В. Пищевые волокна отечественного производства для мясоперерабатывающей промышленности / Л. В. Антипова, Ю. Н. Воронкова // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 2. – С. 95–98.
2. Функционально-технологические и диетические свойства нерастворимых пищевых волокон / А. В. Устинова, Н. Е. Белякина, А. И. Сурнина, В. В. Прянишников [и др.] // Все о мясе. – 2008. – № 3. – С. 24–28.
3. Технологические и медико-биологические аспекты применения пищевых волокон в мясной промышленности / А. В. Устинова, Н. Е. Белякина,

А. И. Сурнина, В. В. Прянишников [и др.] // Технологии и продукты здорового питания. Функциональные пищевые продукты: VI Международная научно-практическая конференция: материалы. – Москва, 2008. – С. 155–159.

4. Гордынец, С. А. Пищевые добавки для обогащения мясных продуктов / С. А. Гордынец, В. С. Ветров, Л. П. Шалумкова // Мясная индустрия. – 2004. – № 11. – С. 44–46.

5. Пищевая клетчатка в инновационных технологиях мясных продуктов / В. В. Прянишников, И. Н. Миколайчик, Т. М. Гиро, И. А. Глотова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11. – С. 24–28.

6. Разработка инновационных мясных продуктов с использованием вторичных сырьевых ресурсов / И. А. Глотова, Е. А. Козлобаева, А. Н. Литовкин, А. Н. Кубасова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 3(17). – С. 95–104.

7. Краснова, И. С. Исследование возможности использования растворимых пищевых волокон в мясных продуктах длительного срока хранения для спасателей и людей, оказавшихся в чрезвычайных ситуациях, с целью профилактики заболеваний желудочно-кишечного тракта / И. С. Краснова // Парентеральное и энтеральное питание: материалы 11-го Конгресса с международным участием. – Москва. – 2007. – С. 44–45.

8. Тюрина, Л. Е. Технология производства функциональных мясных продуктов / Л. Е. Тюрина, Н. А. Табаков. – Красноярск: ВО КГАУ, 2011. – 102 с.

9. Howarts, N. C. Dietary fiber and weight regulation / N. C. Howarts, S. B. Roberts // Nutr. Rev. – 2001. – № 59. – pp. 85–86.

REFERENCES

1. Antipova L. V., Voronkova Y. N. Pishchevye volokna otechestvennogo proizvodstva dlya myasopererabatyvayushchey promyshlennosti [Dietary fiber of domestic production for the meat processing industry]. *Vestnik VGUIT*, 2014, no. 2, pp. 95–98.

2. Ustinova A. V., Belyakina N. E, Surnina A. I., Pryanishnikov V. V., Il'tyakov A. V. Funktsional'no-tekhnologicheskie i dieticheskie svoystva nerastvorimyykh pishchevykh volokon [Functional- technological and dietary properties of insoluble dietary fiber]. *Vse o myase*, 2008, no. 3, pp. 24–28.

3. Ustinova A. V., Belyakina N. E, Surnina A. I., Pryanishnikov V. V. Il'tyakov A. V. Tekhnologicheskie i mediko-biologicheskie aspekty primeneniya pishchevykh volokon v myasnoy promyshlennosti [Technological and medico-biological aspects of the use of dietary fiber in the meat industry]. *Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Tekhnologii i produkty zdorovogo pitaniya. Funktsional'nye pishchevye produkty"* [Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Healthy food technologies and products. Functional foods"]. Moscow, 2008, pp. 155–159.

4. Gordynets S. A., Vetrov V. S., Shalumkova L. P. Pishchevye dobavki dlya obogashcheniya myasnykh produktov [Food additives for fortification of meat products]. *Myasnaya industriya*, 2004, no. 11, pp. 44–46.

5. Pryanishnikov V. V., Mikolaychik I. N., Giro T. M., Glotova I. A. Pishchevaya kletchatka v innovatsionnykh tekhnologiyakh myasnykh produktov [Dietary fiber in innovative meat technology]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, no. 11, pp. 24–28.

6. Glotova I. A., Kozlobaeva E. A., Litovkin A. N., Kubasova A. N., Sysoeva M. G., Artemov E. S. Razrabotka innovatsionnykh myasnykh produktov s ispol'zovaniem vtorichnykh syr'evykh resursov [Development of innovative meat products using secondary raw materials]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2017, no. 3(17), pp. 95–104.

7. Krasnova I. S. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya rastvorimykh pishchevykh volokon v myasnykh produktakh dlitel'nogo sroka khraneniya dlya spaseately i lyudey, okazavshikhsya v chrezvychaynykh situatsiyakh, s tsel'yu profilaktiki zabolevaniy zheludochno-kishechnogo trakta [Studying the possibility of using soluble dietary fiber in meat products of long shelf life for rescuers and people in emergency situations in order to prevent diseases of the gastrointestinal tract]. *Materialy 11-go Kongressa s mezhdunarodnym uchastiem "Parenteral'noe i enteral'noe pitanie"* [Proceedings of the 11th Congress with international participation "Parenteral and enteral nutrition"]. Moscow, 2007, pp. 44–45.

8. Tyurina L. E., Tabakov N. A. *Tekhnologiya proizvodstva funktsional'nykh myasnykh produktov* [Production technology of functional meat products]. Krasnoyarsk, VO KGAU, 2011, 102 p.

9. Howarts N. C., Roberts S. B. Dietary fiber and weight regulation. *Nutr. Rev.*, 2001, no. 59, pp. 85–86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Альшевская Марина Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

Alshevskaya Marina Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Food Technology; E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

Анистратова Оксана Вячеславовна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: anistratova1981@mail.ru

Anistratova Oksana Vyacheslavovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering; Associate Professor, Department of Food Technology; E-mail: anistratova1981@mail.ru

Баранаускас Владимир Антанович – ООО «ФудТим»; технолог; E-mail: violferid@gmail.com

Baranauskas Vladimir Antanovich – FoodTeam LLC; technologist; E-mail: violferid@gmail.com

УДК 664.952/957

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-58-65

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЛИЗАТА АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ
(*EUPHAUSIA SUPERBA*) В ТЕХНОЛОГИИ ИМИТИРОВАННОГО ФАРША

М. Л. Винокур

USING ANTARCTIC KRILL (*EUPHAUSIA SUPERBA*) HYDROLISATE
IN IMITATED MINCE TECHNOLOGY

M. L. Vinokur

Приведена оценка возможности получения имитированного сыромороженого фарша криля с использованием гидролизата на его основе. Также исследовано проявление криопротекторных свойств гидролизата криля. Гидролизат получен в результате частичного гидролиза криля протосубтилином Г20Х в процессе изготовления крилевой муки. Смесь сукрозы и сорбитола (1:1) использовалась как эталон для сравнения криопротекторных свойств. В качестве основы выбран фарш сайки. Исследовано влияние количества добавляемого сухого крилевого гидролизата на формирование органолептических свойств продукта, имитирующего фарш криля. Количество гидролизата криля, добавляемого к фаршу сайки, соответствовало 1, 2, 3, 4, 5 и 6 %. Наиболее рациональная дозировка сухого гидролизата, позволяющая создать продукт, имитирующий фарш криля, и в достаточной степени стабилизировать фарш, составила 4 % к массе фарша. Использование гидролизата дало возможность значительно повысить влагоудерживающую способность фарша и снизить количество влаги, теряемой в процессе тепловой обработки. В сравнении со смесью сукрозы и сорбитола гидролизат криля оказывал более выраженный стабилизирующий эффект на оба показателя, однако в большей степени удалось улучшить способность фарша связывать воду в процессе тепловой обработки. Вышеуказанный положительный эффект влияния крилевого гидролизата на качество фарша наблюдался как сразу после заморозки, так и по истечении трех месяцев хранения.

антарктический криль, гидролизат криля, сыромороженный фарш, криопротектор, влагоудерживающая способность, имитированный фарш, количество теряемой влаги (см. на англ. языке)

The article gives an assessment of the possibility of obtaining imitated raw-frozen minced krill using a hydrolyzate. Manifestation of cryoprotective properties of krill hydrolyzate has been investigated. The hydrolyzate has been obtained as a result of partial hydrolysis of krill with protosubtilin G3x during the production of krill meal. A mixture of sucrose and sorbitol (1:1) was used as a reference for comparing cryoprotective properties. Saika mince was chosen as the basis. The influence of the amount of added dry krill hydrolyzate on the formation of organoleptic properties

imitating minced krill has been studied. The amount of krill hydrolysate added to the saika mince corresponded to 1, 2, 3, 4, 5 and 6 %. The most rational dosage of dry hydrolysate, which makes it possible to create a product that imitates krill mince and sufficiently stabilizes the mince, was 4% of the mince mass. We also studied the effect of adding a hydrolysate in the amount of 4% on such indicators characterizing the quality of mince as water-holding capacity and the amount of moisture lost during heat treatment. The use of a hydrolysate made it possible to significantly increase the water-holding capacity of minced meat and reduce the amount of water lost during heat treatment. In comparison with a mixture of sucrose and sorbitol, krill hydrolysate had a more pronounced stabilizing effect on both indicators, but the ability of minced meat to bind water during heat treatment has improved to a greater extent. The above positive effect of the krill hydrolysate on the quality of mince was observed both immediately after freezing and after three months of storage.

antarctic krill, krill hydrolysate, raw-frozen mince, cryoprotector, water- holding capacity, imitated mince, amount of moisture lost during heat treatment

ВВЕДЕНИЕ

Одно из направлений развития рациональной переработки водных биологических ресурсов – получение аналоговой продукции, в том числе за счет использования белка маломерных рыб. В последние годы также возрос интерес к переработке антарктического криля (*Euphausia superba*) как основного ресурса антарктической части Атлантики. Несмотря на большое количество запатентованных технологий пищевой продукции из криля, в том числе сыро-мороженого фарша, основным направлением переработки является производство крилевой муки, в том числе ферментированной. В процессе ее производства образуется бульон, содержащий достаточное количество глубоко гидролизованного белка. В статье предлагается рассмотреть возможность использования бульона для получения имитированного фарша криля. Также известно о наличии криопротекторных свойств гидролизатов. В наибольшей степени изучены криопротекторные свойства низкомолекулярных фракций, образующихся при гидролизе желатина. Установлено, что наилучшими криопротекторными свойствами обладают положительно заряженные продукты гидролиза коллагена с молекулярной массой от 700 до 1400 Дальтон [1]. Показано, что гидролизаты, полученные из отходов переработки рыбы, кальмара и креветок, также проявляют криопротекторные свойства, увеличивая количество незамерзающей влаги при их добавлении в сурими и экстракты миофибриллярных белков [2–6]. Наиболее эффективные и широко применяемые в настоящее время криопротекторы имеют углеводную природу (сукроза, сорбитол, лактат натрия и пр.). Однако у продукции, содержащей компоненты углеводной природы, во-первых, возможно появление нежелательного сладковатого привкуса, во вторых, ее не рекомендуется употреблять лицам, больным сахарным диабетом. Поэтому в статье также будет дана оценка криопротекторных свойств используемого гидролизата в сравнении с другим криопротектором – смесью сукрозы и сорбитола (1:1).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рыбный фарш был получен из мороженой сайки, гидролизат – в процессе приготовления подферментированной крилевой муки в лаборатории ФГБНУ «АтлантНИРО». В качестве фермента использован протосубтилин ГЗХ, продолжительность гидролиза составляла не более 2 ч. Гидролизат подвергали сублимационной сушке, его количество, добавляемое к фаршу, соответствовало 1, 2, 3, 4, 5 и 6 %. Также были приготовлены один образец фарша без добавок и другой – с добавлением смеси сорбитола и сукрозы. Фарш упаковывали под вакуумом и замораживали воздушным способом при температуре минус 35 °С.

Экстракция солерастворимых белков проводилась с использованием 5 %-ного раствора хлористого натрия. Содержание белка в солевых экстрактах определялось методом Кьельдаля по ГОСТ 7636 [7].

Влагоудерживающую (водосвязующую) способность (ВУС) вычисляли по количеству влаги, выделившейся в результате центрифугирования пробы по методу Вартапяна [8]:

$$\text{ВУС} = \frac{A_1 - A_2}{A_1 - A_0}, \quad (1)$$

где A_1 – вес пробирки с фаршем до центрифугирования, A_2 – вес пробирки с фаршем после центрифугирования, A_0 – вес пустой пробирки.

Количество теряемой в процессе тепловой обработки влаги (КТТВ) определяли способом, описанным Хоникелем (Honikel, 1998) с некоторой модификацией. В цилиндрические пластиковые пробирки высотой 20 и шириной 6 см помещали образцы фарша массой 5 г. Пробирки, в свою очередь, клали в полиэтиленовые пакеты и грели 15 мин на водяной бане при температуре 75 °С. После варки бульон из пробирок сливали через фильтровальную бумагу в течение 10 мин. Пробирки взвешивали до и после удаления влаги, КТТВ вычисляли из уравнения:

$$\text{КТТВ} = \frac{(B_1 - B_2)}{(B_1 - B_0)}, \quad (2)$$

где B_1 – вес пробирки с фаршем до удаления влаги, B_2 – вес пробирки с фаршем после удаления влаги, B_0 – вес пустой пробирки.

Органолептическую оценку давали по таким критериям, как горечь и «креветочный флавор», используя 5-балльную шкалу следующим образом. Для горечи: 0 – сильно, 1 – довольно сильно, 3 – средне сильно, 3 – средне, 4 – довольно слабо, 5 – не ощущается; для «креветочного флавора»: 0 – не воспринимается, 1 – слабо, 2 – довольно слабо, 3 – средне, 4 – довольно сильно, 5 – сильно.

Цвет фарша оценивался как «соответствующий» и «несоответствующий» сыромороженому фаршу криля.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При добавлении криопротектора на основе сухого гидролизата криля (КГК) в количестве 4 % показатель «креветочный флавор» достигает наибольшей оценки, однако при дальнейшем увеличении дозировки заметно

появление горечи. В свою очередь, цвет фарша характеризовался как свойственный крилевому начиная с 3 %, поэтому дальнейшие исследования проводились при дозировке гидролизата, соответствующей 4 %.

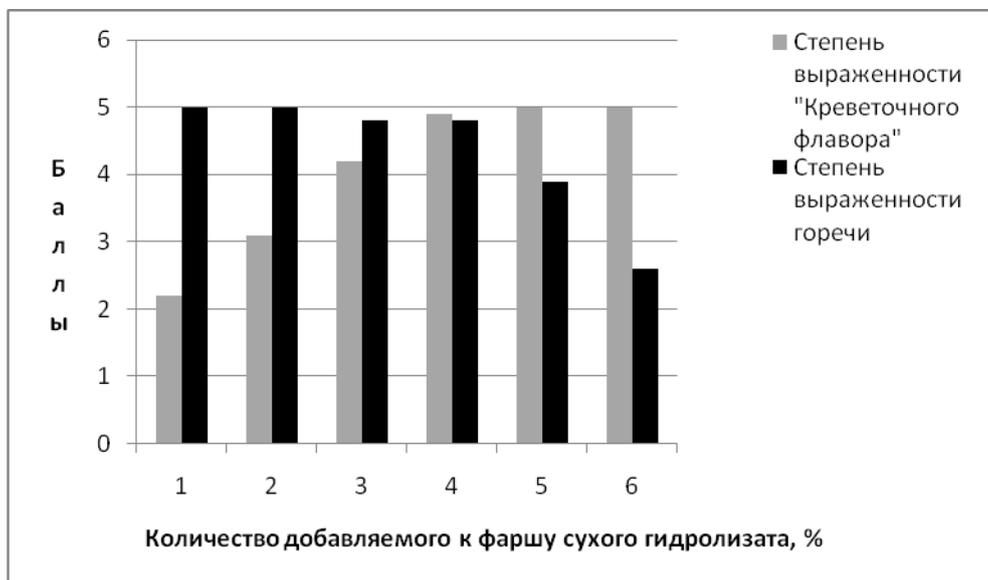


Рис. 1. Степень выраженности горечи и «креветочного флора»
 Fig. 1. Intensity of bitterness and shrimp flavor

Оба криопротектора позволили значительно повысить ВУС фарша как до размораживания, так и после по сравнению с контрольным образцом. Тенденция к снижению ВУС при последующем хранении наблюдалась для контрольного образца и для фарша с криопротекторами, однако использование последних замедлило темп снижения ВУС. Эффект от добавления в сравнении с криопротекторами на основе сахаров (КС) был более выражен, по истечении трех месяцев ВУС уменьшилась незначительно. Известно, что основной причиной снижения ВУС при холодильном хранении является частичная денатурация и агрегация в первую очередь миофибриллярных белков, сопровождающаяся снижением количества так называемой «солерастворимой фракции». Наблюдаемая динамика подтверждена результатами определения солерастворимой фракции в контрольном фарше и стабилизированном криопротекторами. После трех месяцев хранения содержание солерастворимых белков для контрольного образца и с добавлением КГК составило 34,8; 48,1 и 53,4 % соответственно.

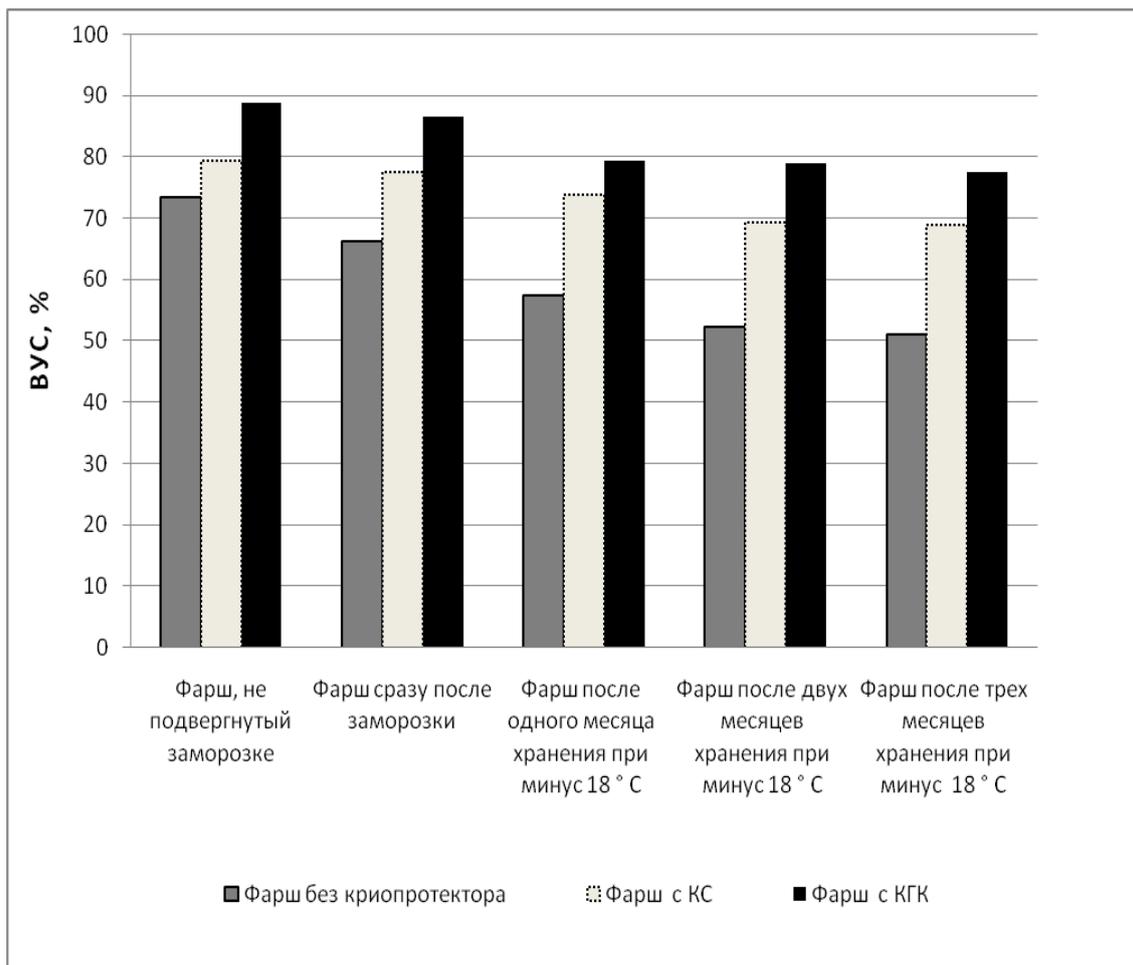


Рис. 2. Влияние криопротекторов на ВУС фаршей
 Fig. 2. The effect of cryoprotectors on the WHC of minces

Еще одним важным показателем, связанным с сочностью и выходом получаемых на основе фарша продуктов, является КГК. Внесение обоих типов криопротекторов позволило значительно повысить и стабилизировать способность удерживать влагу при нагревании. Как и в случае со стабилизацией ВУС, наиболее эффективным оказалось добавление КГК. При сравнении криопротекторных свойств смеси сорбитола с сахарозой и гидролизатов тихоокеанского хека, полученных с использованием ферментных препаратов микробиального происхождения (*Флаворозима* и *Алькалазы*), также показана большая эффективность последних при стабилизации показателей ВУС и КТТВ фарша трески [2].

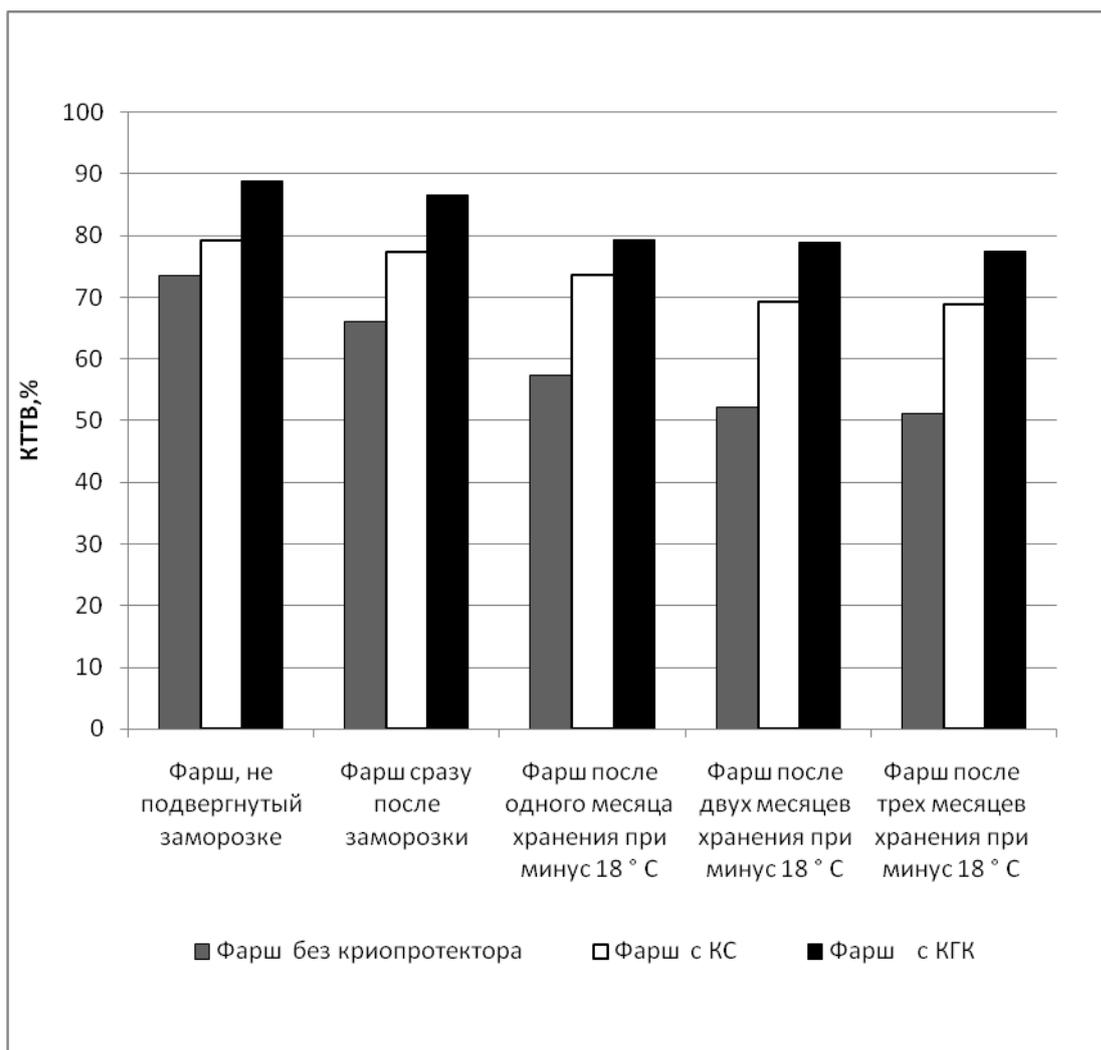


Рис. 3. Влияние криопротекторов на КТТВ фаршей
 Fig. 3. The effect of cryoprotectors on the WLHT of minces

По мнению Дамодарана, короткоцепочечные пептиды могут играть важную роль в предотвращении роста кристаллов, что связано с их способностью образовывать водородные связи с центрами кристаллизации, предотвращая таким образом рост последних [2]. Протосубтилин, как и большинство микробных протеиназ, проявляет достаточно широкую специфичность действия, что, возможно, является причиной накопления достаточного количества короткоцепочечных пептидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты проведенных работ, можно сказать, что гидролизат, получаемый при ферментировании криля с использованием протосубтилина Г20Х, может быть применен для создания имитированного фарша криля. В то же время этот гидролизат способен проявлять высокие криопротекторные свойства, что, возможно, вполне достаточно для исключения введения прочих стабилизаторов функциональных свойств фарша.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Honikel, K. Reference methods for assessment of physical characteristics for meat. *Meat Sci.*, 1998, no. 49 (4), pp. 447–457.
2. Wang, S., Agyare, K., Damodaran, S. Optimisation of hydrolysis conditions and fractionation of peptide cryoprotectants from gelatin hydrolysate. *Food Chem.*, 2009, no. 115 (2), pp. 620–630.
3. Khan, M., Hossain, M., Hara, K., Osatomi, K., Ishihara, T., Nozaki, Y. Effect of enzymatic fish-scrap protein hydrolysate on gel-forming ability and denaturation of lizard fish *Saurida wanieso* surimi during frozen storage. *Fish Sci.*, 2003, no. 69 (6), pp. 1271–1280.
4. Hossain, M., Khan, M., Ishihara, T., Hara, K., Osatomi, K., Osako, K., Nozaki, Y. Effect of proteolytic squid protein hydrolysate on the state of water and denaturation of lizardfish (*Saurida wanieso*) myofibrillar protein during freezing. *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2004, no. 5 (1), pp. 73–79.
5. Somjit, K., Ruttanapornwareesakul, Y., Hara, K., Nozaki, Y. The cryoprotectants effect of shrimp chitin and shrimp chitin hydrolysate on denaturation and unfrozen water of lizardfish surimi during frozen storage. *Food Res Int.*, 2005, no. 38 (4), pp. 345–355.
6. Ruttanapornwareesakul, Y., Somjit, K., Otsuka A., Hara, K., Osatomi, K., Osako, K., Kongpun, O., Nozaki, Y. Cryoprotective effects of shrimp head protein hydrolysate on gel forming ability and protein denaturation of lizardfish surimi during frozen storage. *Fish Sci. Int.*, 2006, no. 72 (2), pp. 421–428.
7. ГОСТ 7636–85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Введ. 1986-01-01. Москва: Изд-во стандартов, 1985. 89 с.
8. Антипова, Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л. В. Антипова, И. А. Глотова, И. А. Рогов – Москва: Изд-во Колос, 2001. – 376 с.

REFERENCES

1. Honikel K. Reference methods for assessment of physical characteristics for meat. *Meat Sci.*, 1998, no. 49 (4), pp. 447–457.
2. Wang S., Agyare K., Damodaran S. Optimisation of hydrolysis conditions and fractionation of peptide cryoprotectants from gelatin hydrolysate. *Food Chem.*, 2009, no. 115 (2), pp. 620–630.
3. Khan M., Hossain M., Hara K., Osatomi K., Ishihara T., Nozaki Y. Effect of enzymatic fish-scrap protein hydrolysate on gel-forming ability and denaturation of lizard fish *Saurida wanieso* surimi during frozen storage. *Fish Sci.*, 2003, no. 69 (6), pp. 1271–1280.
4. Hossain M., Khan M., Ishihara T., Hara K., Osatomi K., Osako K., Nozaki Y. Effect of proteolytic squid protein hydrolysate on the state of water and denaturation of lizardfish (*Saurida wanieso*) myofibrillar protein during freezing. *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2004, no. 5 (1), pp. 73–79.
5. Somjit K., Ruttanapornwareesakul Y., Hara K., Nozaki Y. The cryoprotectants effect of shrimp chitin and shrimp chitin hydrolysate on denaturation and unfrozen

water of lizardfish surimi during frozen storage. *Food Res. Int.*, 2005, no. 38 (4), pp. 345–355.

6. Ruttanapornvareesakul Y., Somjit K., Otsuka A., Hara K., Osatomi K., Osako K., Kongpun O., Nozaki Y. Cryoprotective effects of shrimp head protein hydrolysate on gel forming ability and protein denaturation of lizardfish surimi during frozen storage. *Fish Sci. Int.*, 2006, no. 72 (2), pp. 421–428.

7. GOST 7636–85 Ryba, morskije mlekoopitayushchie, morskije bespozvonochnye i produkty ih pererabotki. Metody analiza. Vved. 1986-01-01. M., Izd-vo standartov, 1985, 89 p.

8. Antipova L. V., Glotova I. A., Rogov I. A. *Metody issledovaniya myasa i myasnykh produktov* [Methods of investigation of meat and meat products]. Moscow, Kolos, 2001, 376 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Винокур Михаил Леонидович – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («АтлантНИРО»); кандидат технических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории стандартизации и нормирования; E-mail: lmv@atlantniro.ru

Vinokur Mikhail Leonidovich – Atlantic branch of Research Institute of Fisheries and Oceanography – VNIRO (AtlantNIRO); PhD in Engineering; head scientist of the standardization laboratory; E-mail: lmv@atlantniro.ru

УДК 664.951.53:639.512

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-66-77

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ
И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВАРеноЙ КРЕВЕТКИ

В. И. Воробьев, О. П. Чернега, И. М. Титова

INFLUENCE OF PROCESSING METHODS ON QUALITATIVE
AND QUANTITATIVE INDICATORS OF BOILED SHRIMP

V. I. Vorobyov, O. P. Chernega, I. M. Titova

Проведено исследование качественных и количественных показателей неразделанной вареной креветки (*Litopenaeus vannamei*), направленное на поиск технологических решений с целью сокращения массовых потерь при производстве цельной варено-мороженой креветки в зависимости от способов ее обработки. При получении вареной креветки дефростирование мороженого сырья осуществлялось в воде с воздушным барботированием (контроль) и водных растворах соли с пищевой добавкой «Фосфатекс» (0,5 % от массы сырья), а также со смесью «Фосфатекса» (0,5 %) и ферментного препарата «Протепсин» (1,0 %) в течение 3 ч. Часть мороженого сырья термостатировалось (33 °С) в водном растворе «Фосфатекса» и «Протепсина» на протяжении двух часов. Экспериментально определено незначительное уменьшение массовой доли белка в мясе креветки после дефростации и термостатирования – с 19,36 (контроль) до 19,26 и 18,80 % соответственно, а также фосфора – с 0,562 до 0,445 и 0,392 % при увеличении массы вареной креветки на 1–2 %. Обработка смесью «Фосфатекса» и «Протепсина» панциря креветки существенно повлияла на изменение массовой доли: увеличение хитина с 5,2 (контроль) до 7,1 (дефростирование) и 11,2 % (термостатирование); снижение золы с 7,7 (контроль) до 5,4 7 (дефростирование) и 2,66 % (термостатирование); уменьшение белка с 14,02 (контроль) до 13,86 (дефростирование) и 13,32 % (термостатирование). Добавление пищевой соли и изменение концентраций пищевых добавок, применяемых при дефростации мороженого сырья в течение 30 мин, способствовали увеличению массы неразделанной вареной креветки на 12,7 % при использовании смеси пищевой соли (1,0 %) и «Фосфатекса» (1,25 %).

неразделанная вареная креветка (Litopenaeus vannamei), фосфатекс, протепсин, панцирь креветки, хитин, пищевая добавка

A study of the qualitative and quantitative indicators of whole cooked shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) has been carried out, aimed at finding technological solutions in order to reduce mass losses in the production of whole cooked-frozen shrimp, depending on the methods of its processing.

When obtaining boiled shrimp, defrosting of frozen raw materials was carried out in water with air bubbling (control) and aqueous solutions of salt with food additives phosphatex (0.5 % by weight of raw materials), as well as a mixture (phosphatex (0.5 %) and pepsin (1.0 %)) within 3 hours. Some of the frozen raw materials were thermostated (33 °C) in an aqueous solution (phosphatex (0.5 %) and pepsin (1.0 %)) for 2 hours. It was experimentally determined that a slight decrease in the mass fraction of protein in shrimp meat when it is processed with a mixture (phosphatex and pepsin) during defrosting and thermostating (from 19.36% (control) to 19.26 % and 18.80 %, respectively) and phosphorus (from 0.562 % to 0.445 % and 0.392 %), with an increase in the mass of boiled shrimp (by 1–2 %) from the initial raw material. Treating shrimp shell with a mixture (phosphatex and pepsin) significantly influenced the change in the mass fraction: an increase in chitin from 5.2 % (control) to 7.1 % (defrosting) and 11.2 % (thermostating); ash reduction from 7.7 % (control) to 5.47 % (defrosting) and 2.66 % (thermostating); a decrease in protein from 14.02 % (control) to 13.86 % (defrosting) and 13.32 % (thermostating). The addition of edible salt and a change in the concentration of food additives used during the defrosting of frozen raw materials within 30 minutes contributed to an increase in the mass of whole boiled shrimp (by 12.7 %) when using a mixture (1.0 % edible salt and 1.25 % phosphatex) in comparison with the feedstock.

whole boiled shrimp (Litopenaeus vannamei), phosphatex, pepsin, shrimp shell, chitin, food supplement

ВВЕДЕНИЕ

Согласно отчету IMARC Group в 2020 г. мировой рынок креветок составлял 8,12 млн т, оценивался в 18,30 млрд долл. США и, как ожидается, достигнет к 2026 г. 23,4 млрд долл. [1, 2]. Креветки (более 300 видов ракообразных моллюсков, употребляемых в пищу) содержат значительное количество легкоусвояемых белков, биоактивных пептидов, незаменимых аминокислот, а также каротиноидов, витаминов, омега-3 жирных кислот при низком содержании жира и минералов, включая кальций, калий, цинк, селен, йод, фосфор [1–3]. Стремление людей к здоровому образу жизни способствовало росту популярности и спроса на креветки как на высокобелковый и низкокалорийный продукт, который к тому же улучшает состояние костей и мозга, снижает артериальное давление и риск сердечно-сосудистых заболеваний, рака легких и простаты, снимает усталость глаз, предотвращает выпадение волос, уменьшает аппетит и помогает контролировать вес [1–4].

Повышенный спрос и цена (5–26 долл. США за 1 кг в зависимости от вида креветки, размера, способа обработки) вызвали появление на рынке большого количества фальсифицированной продукции. Одной из форм фальсификации с целью увеличения веса креветки стало замачивание или инъектирование сырья пищевыми добавками, такими как растительный крахмал (жемчужная тапиока, ячмень, рис), карбоксиметилцеллюлоза, желатин, агар, глюкоза, различные камеди (желе), свиной жир, вода, триполифосфат натрия (концентрации раствора 5 % и более) и другие вещества, часто имеющие техническое назначение [5–8].

Фальсификация вызвала еще больший спрос на продукт и рост цен на «органическую» креветку (выросшую в экологических условиях, не содержащую ан-

тибиотиков и химических добавок), а также интерес к получению ее аналогов на растительной основе [9] в качестве конкурентоспособного товара. Поэтому сейчас идет активный поиск и апробация различных пищевых добавок, помогающих сохранить качество замороженных креветок.

Задача настоящего исследования – найти технологические решения по сокращению массовых потерь при производстве цельной варено-мороженой креветки без снижения качества готового продукта.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являлась неразделанная мороженая креветка (*Litopenaeus vannamei*) одного производителя и одной даты выработки.

Опыты проводились в лабораториях кафедры пищевых продуктов Калининградского государственного технического университета и испытательной лаборатории ООО «Калининградский испытательный центр». При работе с образцами использованы пищевые добавки «Фосфатекс-40» (Е 450–40 %, Е 451–60 %) и препарат ферментный протеолитический животного происхождения – сухой «Энзи-микс У» (протепсин) с протеолитической активностью (ПА) 120 ед/г при 40 °С и рН 6,0. Массовую долю влаги, жира, белка, золы в сырье и опытных образцах определяли по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа» (пп. 3.3.1, 3.7.1, 8.9.1, 11.6 соответственно), массовую долю фосфора – спектрофотометрическим методом (молибденовокислым аммонием в присутствии гидрохинона и сульфата натрия), хитина – гравитометрическим с применением промежуточной фильтрации. рН растворов узнавали с помощью рН-тестера (Cheeker H198103), варку сырья осуществляли острым паром в пароконвектомате «Rational 0128100.01», а его термостатирование – с использованием термостата ТС-80М-2. Панцирь креветки прокалывали игольчатым тендерайзером (диаметр иголки 0,3 мм).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Технология производства варено-мороженой креветки из мороженого сырья заключается в его размораживании и промывке, последующей кратковременной варке и быстром охлаждении, замораживании, глазурировании и хранении. Кратковременность процесса варки (1–3 мин) и охлаждения (2–5 мин) ограничивает возможность применения физических и химических способов воздействия на сырье с целью сокращения потерь его массы и сохранения высокого качества конечной продукции. Наиболее приемлемым интервалом для дополнительной обработки является размораживание сырья в воде (потери 2–6 %) и временной промежутков между операциями его промывки и варки.

Известно, что основные разрешенные пищевые добавки (имеют статус GRAS), используемые для удерживания влаги в креветках, это ряд фосфатов (моно-, ди-, пиро-, три-, полифосфаты и их смеси, имеющие кислую, нейтральную и щелочную среду) и бесфосфатные добавки (цитрат натрия, лимонная кислота, бикарбонат натрия и хлорид кальция), а также их смеси. Фосфаты в сочетании с солью обладают синергетическим эффектом увеличения связывания влаги белком и способствуют улучшению вкуса продукта. Использование фосфатов содействует увеличению влагосвязывающей и эмульгирующей способности белков, снижению скорости окислительных процессов, улучшению структуры и органолептиче-

ских показателей мяса креветки, а также уменьшению потерь при дефростации и термостатировании сырья. В данной работе при обработке цельной креветки применялись пищевая добавка «Фосфатекс-40» (в дальнейшем по тексту «фосфатекс») производства ООО «ТК ТЭКСПРО» (Россия), ферментный препарат «Энзи-Макс У» (в дальнейшем по тексту «протепсин») производства ООО «Завод эндокринных ферментов (Россия), а также игольчатый тендерайзер для прокалывания панциря. Термостатирование осуществлялось в водном растворе с добавлением пищевых добавок (фосфатекса и протепсина) в термостате ТС-80М-2 в течение 1–2 ч.

В лабораторных условиях мороженую креветку дефростируют в воде (гидромодуль 1:3,33 по массе) 3 ч с барботированием воздухом и добавлением в жидкость пищевых добавок (фосфатекса, протепсина), далее варят в конвектомате «Rational» (острый пар 130 °С, время обработки 1,5 мин) до показателя температуры в центре (мясо креветки) 75 °С и быстро охлаждают в 2 %-ном солевом растворе (начальная температура раствора 2 °С) до 8–14 °С. Дополнительно один из образцов креветки обрабатывали в 2 %-ном растворе соли с добавлением 0,5 % фосфатекса и 1,0 % протепсина от массы сырья (гидромодуль 1:3,33) с последующим термостатированием (температура раствора 33 °С, продолжительность до 2 ч), далее варят в конвектомате и охлаждают в воде (начальная температура 2 °С).

Общий химический состав мяса креветки (*Litopenaeus vannamei*), массовая доля фосфора, а также сухих веществ и pH жидкости, образующейся после дефростации мороженого сырья в процессе получения вареной креветки различными способами, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав мяса креветки (*Litopenaeus vannamei*), массовая доля фосфора, а также сухих веществ и pH дефростационной жидкости, образующейся в процессе получения цельной вареной креветки различными способами

Table 1. General chemical composition of shrimp meat (*Litopenaeus vannamei*), mass fraction of phosphorus, as well as mass fraction of dry matter and pH of the defrosting liquid formed in the process of obtaining whole boiled shrimp by various methods

Наименование показателя, единица измерения	Мясо неразделанной креветки (<i>Litopenaeus vannamei</i>)			
	сырое (контроль)	вареное обработанное фосфатексом (0,5 % от массы сырья)	вареное, обработанное фосфатексом и протепсином (0,5 и 1,0 % соответственно от массы сырья)	вареное, обработанное фосфатексом и протепсином (0,5 и 1,0% соответственно от массы сырья), термостатированное (33°С, 2 ч)
1	2	3	4	5
Массовая доля влаги, %	76,40±0,7	76,10±0,7	76,4±0,7	76,1±0,7
Массовая доля белка, %	19,36±0,28	19,62±0,28	19,29±0,28	18,80±0,28
Массовая доля хитина, %	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Массовая доля жира, %	0,30	0,5	0,4	0,2
Массовая доля золы, %	2,77±0,01	2,80±0,01	2,67±0,01	2,83±0,01
Массовая доля фосфора, %	0,562±0,034	0,438±0,026	0,445±0,027	0,392±0,024
Массовая доля сухих веществ в дефростационной жидкости, %	0,2	0,5	1,0	–
pH дефростационной жидкости	8,04	8,92	8,30	–

Из табл. 1 видно, что незначительное уменьшение белка в мясе креветки наблюдалось при одновременном использовании фосфатекса и протепсина в воде в процессе дефростации и термостатирования (с 19,36 до 19,26 и 18,80 % соответственно). Кроме того, не выявлено увеличения массовой доли фосфора в мясе, обработанном фосфорсодержащей добавкой «Фосфатекс» в концентрации 0,5 % от массы сырья.

Известно, что панцирь креветки состоит из общего белка (25–40 %), хитина (15–20 %) и карбоната кальция (45–50 %), где белок на 60–75 % представлен коллагеном, кератином (20–35 %) и эластином (4–5 %), поэтому определяли влияние различных способов ее обработки на общий химический состав панциря [11]. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Общий химический состав панциря после обработки мороженой креветки (*Litopenaeus vannamei*) различными способами при получении неразделанной вареной креветки

Table 2. General chemical composition of the shell during processing of frozen shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in various ways, when obtaining whole boiled shrimp

Наименование показателя, массовая доля, %	Панцирь креветки (<i>Litopenaeus Vannamei</i>)			
	сырой (контроль)	вареный, обработанный фосфатексом (0,5 % от массы сырья)	вареный, обработанный фосфатексом и протепсином (0,5 и 1,0 % соответственно от массы сырья)	вареный, обработанное фосфатексом и протепсином (0,5 и 1,0 % соответственно от массы сырья), термостатированный (33 °С, 2 ч)
Влага	72,20±0,7	72,70±0,7	72,7±0,7	72,0±0,7
Белок	14,02±0,28	14,64±0,28	13,86±0,28	13,32±0,28
Хитин	5,2±1,2	4,2±1,1	7,1±1,3	11,2±1,5
Жир	0,90±0,7	0,9±0,7	0,9±0,7	0,8±0,7
Зола	7,70±0,01	7,61±0,01	5,47±0,01	2,66±0,01

Из табл. 2 видно, что совместная обработка фосфатексом и протепсином неразделанной креветки в процессе дефростации и особенно при термостатировании существенно повлияла на увеличение массовой доли хитина (с 5,2 до 7,1 и 11,2 % соответственно) и снижение золы (с 7,7 до 5,47 и 2,66 %) при незначительном уменьшении белка панциря (с 14,02 до 13,86 и 13,32 %).

Изменение массы сырья на отдельных технологических операциях при получении вареной креветки различными способами представлено в табл. 3.

Таблица 3. Изменение массы сырья (неразделанная мороженая креветка *Litopenaeus vannamei*) на отдельных технологических операциях при получении вареной креветки различными способами

Table 3. Changes in the weight of raw materials (whole frozen shrimp *Litopenaeus vannamei*) in individual technological steps when receiving boiled shrimp in different ways

Неразделанная мороженая креветка (<i>Litopenaeus Vannamei</i>) и способы ее обработки					
Масса сырья, г	Без дополнительной обработки (контроль)	Обработанная фосфатексом (0,5 % от массы сырья)	Обработанная фосфатексом и протепсином (0,5 и 1,0 % соответственно от массы сырья)	Обработанная в воде, термостатированная (33 °С, 2 ч)	Обработанная фосфатексом и протепсином (0,5 и 1,0 % соответственно от массы сырья), термостатированная (33 °С, 1 и 2 ч)
Масса мороженого сырья	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0
Масса после дефростации	303,0	304,0	300,0	–	–
Масса после термостатирования (1 ч)	–	–	–	304,0	303,0
Масса после термостатирования (2 ч)	–	–	–	306,0	306,0
Масса после варки и охлаждения	307,0	303	303,0	306,0	306,0

Выявлено (табл. 3), что обработка неразделанной мороженой креветки различными способами практически не повлияла на изменение массы исходного сырья (увеличение составило 1–2 %).

С учетом отсутствия влияния фосфорсодержащей пищевой добавки «Фосфатекс» с концентрацией 0,5 % от массы сырья на увеличение массовой доли

фосфора и влагоудерживающей способности мяса креветки (табл. 2, 3), а также стоимости применяемого ферментного препарата «Протепсин» была проведена оптимизация ее технологической обработки. При дефростации мороженого сырья использовали три водных раствора: с добавлением 2 %-ной пищевой соли (контроль); 1 %-ной пищевой соли и 1,25 % фосфатекса; 1,25 % фосфатекса и 0,05 % протепсина.

Кроме того, осуществляли механическое прокалывание панциря части образцов мороженого сырья игольчатым тендерайзером перед его дефростацией в воде с барботированием воздухом (рис. 1). Массовое соотношение сырья к раствору при дефростации составило 1:2, температура раствора в процессе дефростации – 8–14 °С.



Рис. 1. Размораживание креветки в воде с барботированием воздухом
Fig. 1. Defrosting shrimp in water with air bubbling

Изменение массы сырья (неразделанная мороженая креветка *Litopenaeus vannamei*), дефростированного в трех водных растворах с добавлением 2 %-ной пищевой соли (контроль); 1 %-ной пищевой соли и 1,25 % фосфатекса; 1,25 % фосфатекса и 0,05 % протепсина, а также массовой доли фосфора в мясе креветки и рН раствора при получении вареной креветки на отдельных технологических операциях представлено в табл. 4.

Таблица 4. Изменение массы сырья (неразделанная мороженная креветка *Litopenaeus vannamei* с механическими проколами панциря и без них), дефростированного в трех водных растворах с добавлением 2 %-ной пищевой соли (контроль); 1 %-ной пищевой соли и 1,25 % фосфатекса; 1,25 % фосфатекса и 0,05 % протепсина, а также массовой доли фосфора в мясе креветки и pH раствора при получении вареной креветки на отдельных технологических операциях Table 4. Change in the mass of raw materials (whole frozen shrimp *Litopenaeus vannamei* (with or without mechanical punctures of the shell), defrosted in three aqueous solutions with addition of 2 % edible salt (control), 1% edible salt and 1.25 % phosphatex, 1.25 % phosphatex and 0.05 % protepsin, as well as the mass fraction of phosphorus in the shrimp meat and the pH of the solution, when receiving boiled shrimp in separate technological operations

Технологические параметры обработки креветки	Неразделанная мороженная креветка (<i>Litopenaeus vannamei</i>)				Массовая доля фосфора в мясе вареной креветки, %	pH раствора
	масса, г					
	начальная	после дефростации	после варки и охлаждения	процент увеличения		
Продолжительность дефростации 30 мин (креветка без проколов панциря)						
Контроль	74,0	76,0	78,0	5,4	–	8,55
Фосфатекс	71,0	77,0	80,0	12,7	–	–
Фосфатекс+протепсин	69,0	71,0	72,0	4,3	–	–
Продолжительность дефростации 30 мин (креветка с проколами панциря)						
Контроль	70,0	73,0	72,0	2,6	–	8,35
Фосфатекс	75,0	75,0	75,0	0,0	–	–
Фосфатекс+протепсин	69,0	71,0	71,0	2,9	–	–
Продолжительность дефростации 60 мин (креветка без проколов панциря)						
контроль	69,0	73,0	71,0	2,9	–	8,36
Фосфатекс	68,0	75,0	76,0	11,8	0,413±0,03	8,98
Фосфатекс+протепсин	75,0	79,0	82,0	9,3	–	9,26
Продолжительность дефростации 60 мин (креветка с проколами панциря)						
Контроль	75,0	78,0	77,0	2,7	–	8,26
Фосфатекс	71,0	72,0	73,0	2,8	0,423±0,03	8,83
Фосфатекс+протепсин	75,0	77,0	78,0	4,0	–	9,21
Продолжительность дефростации 120 мин (креветка без проколов панциря)						
Контроль	74,0	77,0	78,0	5,4	–	8,36
Фосфатекс	72,0	74,0	76,0	5,5	0,324±0,03	8,78
Фосфатекс+протепсин	70,0	74,0	73,0	4,3	–	9,11
Продолжительность дефростации 120 мин (креветка с проколами панциря)						
Контроль	70,0	73,0	73,0	4,3	–	8,26
Фосфатекс	70,0	73,0	71,0	1,4	0,367±0,03	8,65
Фосфатекс+протепсин	71,0	73,0	73,0	2,8	–	9,02

При дефростации креветки (без проколов панциря) в водном растворе фосфатекса (табл. 4) выявлено существенное увеличение массы сырья (от 5,5 до 11,8 и 12,7 %) при незначительном изменении (уменьшении) массовой доли фосфора в мясе. Механическое прокалывание панциря не оказало существенного влияния на увеличение массы креветки (от 0 до 2,8 и 1,4 %).

Отмечено, что в процессе дефростации с барботированием воздухом в водном растворе (фосфатекс + протепсин) образовывалось значительное количество крупнопористой (объем пузырька до 1 см³ и более) пены, превышающей объем самого раствора.

Внешний вид вареных креветок (*Litopenaeus vannamei*) без прокола панциря (продолжительность дефростации 30 мин) представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид вареных креветок (*Litopenaeus vannamei*) без прокола панциря (продолжительность дефростации 30 мин): слева – контроль; по центру – обработанные фосфатексом; справа – обработанные фосфатексом и протепсином

Fig. 2. Appearance of boiled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) without piercing the shell (defrosting duration 30 min): on the left – control, in the center – treated with phosphatex, on the right – treated with phosphatex and protepsin

Определено, что обработка смесью фосфатекса и протепсина во всех образцах способствовала усилению розового цвета поверхности панциря вареной креветки по сравнению с контролем и приобретению более мягкой консистенции мяса.

По органолептическим показателям при дефростации сырья в течение 30 мин у креветок с проколами (контроль) и без них отмечен приятный вкус, свойственный вареному мясу свежих креветок без посторонних привкуса и запаха; креветка с проколом панциря имела более сладкое послевкусие, чем без прокола; у обработанной фосфатексом с проколами наблюдались более жесткая (упругая) консистенция и соленый вкус с невыраженным привкусом; обработанная фосфатексом и протепсином с проколами имела консистенцию мяса с приятным вкусом, аналогичным вкусу крабовых палочек.

При дефростации сырья в течение 60 мин креветка с проколами (контроль) имела более сладкий привкус, чем без проколов, обработанная фосфатексом с проколами была менее сочная и сладкая с более выраженным соленым вкусом, а

обработанная с фосфатексом и протепсином с проколами имела слегка мажущуюся консистенцию мяса с невыраженным привкусом.

При дефростации сырья в течение 120 мин креветки с проколами (контроль) и без проколов были близки по вкусу за счет сладкого послевкуся. Обработанная фосфатексом с проколами – имела мажущуюся консистенцию, вязкий, неприемлемый и не свойственный креветке вкус, а фосфатексом и протепсином с проколами – мажущуюся консистенцию мяса, более соленый и невыраженный привкус.

Таким образом, обработка мороженого сырья при дефростации с применением пищевых добавок (пищевой соли, фосфатекса, протепсина) не должна превышать 1 ч (оптимально 30 мин), при этом возможна дальнейшая оптимизация процесса размораживания креветки, связанная с уменьшением количества протепсина от 0,01 % (рекомендуемая производителями фермента) и пены при дефростации, а также снижением себестоимости готовой продукции. Обработка креветки в водном растворе (1,25 % фосфатекса и 1 % пищевой соли) в течение 30 мин способствовала наибольшему увеличению выхода готовой продукции на 12,7 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

– определен общий химический состав мяса и панциря креветки (*Litopenaeus vannamei*) на различных технологических операциях при получении неразделанной вареной креветки;

– показано влияние способов обработки мороженого сырья на качественные и количественные показатели неразделанной вареной креветки;

– выявлено, что оптимальная продолжительность обработки неразделанной мороженой креветки с применением пищевых добавок (пищевая соль, фосфатекс, протепсин) должна составлять 30 мин, это способствует увеличению выхода готовой продукции при надлежащем ее качестве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Shrimp Market Report | Size, Value, Price Trends, Analysis ... [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.imarcgroup.com> (дата обращения 10.08.2021).

2. Global Shrimp Market Report 2021-2026: Production, Export [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.businesswire.com> (дата обращения 10.08.2021).

3. Venugopal V., Gopakumar K. Shellfish: nutritive value, health benefits, and consumer safety //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2017. – Т. 16. – №. 6. – С. 1219–1242.

4. (12 Best) Health Benefits of Eating Shrimp – Grist Mill BK [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gristmillbk.com> (дата обращения 10.08.2021)

5. Sujay, P., Md Shaheed, R., Abu Saim Mahammed Shadat, M., Imrul Mossaddek, A., Mohammed Nurul Absar, K., Md Nazrul, I., Md, K. Effect of sodium tri

polyphosphate (STPP) and foreign materials on the quality of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) under ice storage condition // *Food and Nutrition Sciences*. – 2012. – Т. 3, № 1. – С. 34–39.

6. Bangladesh struggles with adulterated shrimp | The Third Pole [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.thethirdpole.net> food > bangladesh-struggle. (дата обращения 10.08.2021).

7 Your Seafood Is Probably Toxic: The Shocking Truth About ... [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.trueactivist.com> ... (дата обращения 10.08.2021).

8. Gel-injected shrimp a growing problem in China... [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.seafoodsource.com> news > food-safety-health (дата обращения 10.08.2021).

9. New Wave Foods heralds “year of the shrimp,” netting US\$18 ... [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.foodingredientsfirst.com> (дата обращения 10.08.2021).

10. Seafood Giant Thai Union To Launch Plant ... – Green Queen [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.greenqueen.com.hk> (дата обращения 10.08.2021).

11. Ki O. L., Danujatmiko Z. Aylianawati and Sudaryanto, Yohanes. The Prospect of Shrimp Shell Waste as Raw Material in the Gelatin Production. // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2014 – Т. 9. – №. 11. – С. 2035–2038.

REFERENCES

1. Shrimp Market Report | Size, Value, Price Trends, Analysis ... Available at: <https://www.imarcgroup.com> ... (Accessed 10 August 2021).

2. Global Shrimp Market Report 2021-2026: Production, Export ... Available at: <https://www.businesswire.com> (Accessed 10 August 2021).

3. Venugopal V., Gopakumar K. Shellfish: nutritive value, health benefits, and consumer safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, vol. 16, no. 6, pp. 1219–1242.

4. (12 Best) Health Benefits of Eating Shrimp – Grist Mill BK ... Available at: <https://www.gristmillbk.com> (Accessed 10 August 2021).

5. Sujay P., Md Shaheed R., Abu Saim Mahammed Shadat M., Imrul Mosaddek A., Mohammed Nurul Absar K., Md Nazrul I., Md K. Effect of sodium tri polyphosphate (STPP) and foreign materials on the quality of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) under ice storage condition. *Food and Nutrition Sciences*, 2012, vol. 3. no 1, pp. 34–39.

6. Bangladesh struggles with adulterated shrimp | The Third Pole ... Available at: <https://www.thethirdpole.net> food > bangladesh-struggle. (Accessed 10 August 2021).

7. Your Seafood Is Probably Toxic: The Shocking Truth About ... Available at: <https://www.trueactivist.com> (Accessed 10 August 2021).

8. Gel-injected shrimp a growing problem in China... Available at: <https://www.seafoodsource.com> news > food-safety-health (Accessed 10 August 2021).

9. New Wave Foods heralds “year of the shrimp,” netting US\$18 ... Available at: <https://www.foodingredientsfirst.com> (Accessed 10 August 2021).

10. Seafood Giant Thai Union To Launch Plant ... – Green Queen. Available at: <https://www.greenqueen.com.hk> (Accessed 10 August 2021).

11. Ki O. L., Danujatmiko Z. Aylianawati and Sudaryanto, Yohanes. The Prospect of Shrimp Shell Waste as Raw Material in the Gelatin Production. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2014, vol. 9. no. 11, pp. 2035–2038.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Чернега Ольга Павловна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: olga.chernega.@klgtu.ru

Chernega Olga Pavlovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology;
E-mail: olga.chernega.@klgtu.ru

Титова Инна Марковна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; зав. кафедрой технологии продуктов питания; E-mail: inna.titova@klgtu.ru

Titova Inna Markovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor; Head of the Department of Food Products Technology;
E-mail: inna.titova@klgtu.ru

УДК 664.951.65

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-78-88

ОЦЕНКА ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ФОРМОВАННОГО МОРОЖЕНОГО
ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ РЕЧНОГО ОКУНЯ (*PERCA FLUVIATILIS*),
ОБОГАЩЕННОГО КОМПОНЕНТАМИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

А. В. Макеева, Н. Ю. Ключко

ASSESSMENT OF THE NUTRITIONAL VALUE OF MOLDED FROZEN
SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM RIVER PERCH
(*PERCA FLUVIATILIS*), ENRICHED WITH COMPONENTS OF VEGETABLE
RAW MATERIALS

A. V. Makeeva, N. Yu. Klyuchko

В настоящее время рыбная промышленность России движется вперед и укрепляется как на территории своего государства, так и за рубежом. Все это делает использование водных биологических ресурсов, особенно недоиспользуемых, перспективными для разработок новых технологий или продуктов. Актуальность увеличения выпуска фаршевых формованных изделий сегодня обусловлена ненасыщенностью ими рынка. Это объясняется присутствием на рынке продукции, не отвечающей или не полностью соответствующей требованиям качества, предъявляемым потребителями к биологической и энергетической ценности продукта, натуральности ингредиентов, вкусовым свойствам, срокам хранения и другим параметрам. В данной работе проведены исследования по совершенствованию рецептуры формованного мороженого полуфабриката из речного окуня повышенной биологической ценности. На основании полученных ранее данных по оценке биопотенциала основного сырья – речного окуня вида *Perca fluviatilis* – и обогащающих компонентов (яблочный жмых, семена льна, листовая капуста Кале) предложена технология функционального мороженого рыбного полуфабриката – котлеты «Окунок». Готовый продукт имеет привлекательные органолептические показатели: вкус и запах характеризуются умеренной интенсивностью привкуса и аромата капусты, выраженными рыбными и едва ощущаемыми оттенками яблока и семян льна. Для обогащенных котлет определен общий химический, аминокислотный и минеральный состав. Установлен уровень функциональности полуфабриката по содержанию функциональных ингредиентов – клетчатки, витамина С и минеральных веществ: калия, фосфора, натрия, магния, железа, марганца, меди, хрома. Определена безопасность обогащенного продукта с точки зрения присутствия патогенной и условно-патогенной микрофлоры. Исследованы особенности изменения микробиологических показателей в процессе хранения, установлен гарантированный срок годности продукции. Проведены анализы по содержанию витамина С в готовом продукте после замораживания, а также при жарке на растительном масле и приготовлении на пару.

формованный рыбный полуфабрикат, речной окунь, химический состав, аминокислотный состав, функциональный продукт

Currently, Russian fishing industry is moving forward and is strengthening both on the territory of its state and abroad. All this makes the use of aquatic biological resources, especially underutilized ones, promising for the development of new technologies or products. The urgency of increasing the production of minced molded products today is due to the unsaturation of the market with these types of products. This is due to the presence on the market of products that do not respond or do not fully meet the quality requirements imposed by consumers for the biological and energy value of the product, the naturalness of the ingredients, taste properties, shelf life and other parameters. In this paper, studies have been conducted to improve the recipe of molded semi-finished ice cream from river perch of increased biological value. Based on the previously obtained data on the assessment of the biopotential of the main raw material – river perch of the *Perca fluviatilis* species – and enriching components (apple cake, flax seeds, Kale leaf cabbage), a technology for a functional frozen semi-finished fish product "Okunek" cutlets is proposed. The finished product has attractive organoleptic characteristics: the taste and smell are characterized by a moderate intensity of the taste and aroma of cabbage, pronounced fishy and barely perceptible shades of apple and flax seeds. For enriched cutlets, the general chemical, amino acid and mineral compositions have been determined. The level of functionality of the semi-finished product is determined by the content of functional ingredients - fiber, vitamin C and minerals: potassium, phosphorus, sodium, magnesium, iron, manganese, copper, chromium. The safety of the enriched product has been determined from the point of view of the presence of pathogenic and conditionally pathogenic microflora. The peculiarities of changes in microbiological parameters during storage have been investigated, and the guaranteed shelf life of products has been established. The analysis of the content of vitamin C in the finished product after freezing, as well as when frying in vegetable oil and steaming has been carried out.

molded fish semi-finished product, river perch, chemical composition, amino acid composition, functional product

ВВЕДЕНИЕ

Правильное питание играет значимую роль в жизни человека, обеспечивая регулярное функционирование жизненно важных органов, хорошую работоспособность, развитие и психоэмоциональное настроение. Улучшить качество питания можно с помощью повышения биологической ценности продуктов массового потребления по основным функциональным ингредиентам – витаминам, минеральным веществам, полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК), полисахаридам, полноценному белку. К таким изделиям можно отнести рыбные полуфабрикаты, которым все чаще отдает свое предпочтение большое количество потребителей ввиду ускоренного темпа жизни. Высокий спрос среди покупателей приходится на формованную рыбную продукцию – котлеты, зразы, палочки, биточки и т. д. [1].

Согласно ТР ЕАЭС 040/2016 рыбный кулинарный полуфабрикат обозначает пищевую рыбную продукцию с добавлением или без добавления пищевых компонентов и (или) пищевых добавок, прошедшую одну стадию кулинарной обработки или более, без доведения до готовности [2]. По ГОСТ Р 50380-2005 «Ры-

ба и рыбные продукты. Термины и определения», формованный рыбный продукт – изделие заданной формы и размеров, приготовленное из рыбного филе или фарша с различными добавками [3].

Объемы вылова океанических водных биологических ресурсов (ВБР) в последние десятилетия значительно снизились, что создает предпосылки для развития прибрежного рыболовства и производства продуктов из пресноводных видов рыб [4, 5]. Следовательно, совершенствование классических рецептов или создание новой продукции из ресурсов внутренних водоемов страны позволит расширить ассортимент рыбной продукции и повысить экономичность производства.

Наиболее распространенным обитателем пресных вод Калининградской области является речной окунь (*Perca fluviatilis*), преимущественно добываемый в Куршском (150 т/год) и в Калининградском (30 т/год) заливах. В связи с достаточно большими объемами вылова и относительно невысокой направленностью использования разработана формованных полуфабрикатов из речного окуня является актуальной [5].

В настоящее время на кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ» ведутся исследования по совершенствованию рецептуры формованного мороженого полуфабриката из речного окуня [5, 6]. Для сбалансированности данной продукции по химическому составу и биологической ценности в рецептуру введены растительные компоненты, заменившие собой традиционные (хлеб, яйцо и др.). В качестве влагоудерживающего агента предложено использовать яблочный жмых, который отличается низкой калорийностью, высоким содержанием пектина, а также относится ко вторичному сырью, что делает его применение выгодным с экономической точки зрения [7]. В качестве структурообразователя для связки компонентов апробированы семена льна, которые в процессе набухания формируют водорастворимые гелеобразующие волокна, положительно влияющие на желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) [8, 9]. С целью повышения биологической ценности в рецептуру внесена листовая капуста Кале, являющаяся источником витаминов, минеральных и балластных веществ [10, 11]. Таким образом, совершенствование технологии формованного мороженого полуфабриката из речного окуня путем обогащения его яблочным жмыхом, семенами льна и листовой капустой Кале будет обеспечивать профилактику заболеваний ЖКТ у человека, а также способствовать общему укреплению его организма. Новому продукту предложено дать торговое название «Окунек» [5].

Цель настоящей работы заключалась в оценке пищевой ценности и безопасности формованного мороженого полуфабриката из речного окуня *Perca fluviatilis* повышенной биологической ценности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести оценку качества, пищевой ценности и хранимоспособности котлет из речного окуня «Окунек»;
- установить снижение биологической ценности готового продукта в зависимости от способа его термической обработки;
- оценить функциональность котлет из речного окуня повышенной биологической ценности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования готовых формованных рыбных полуфабрикатов проводили с помощью стандартных и общепринятых методов. Массовую долю влаги, соли, золы, белка и жира определяли по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Энергетическую ценность готового продукта оценивали расчетным путем.

Содержание витамина С анализировали по ГОСТ 24556-89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С». Метод основан на экстрагировании витамина С раствором кислоты с последующим йодометрическим титрованием.

Массовая доля клетчатки исследовалась по ГОСТ 31675-2012 «Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации».

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

Минеральный состав готового продукта определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии, содержание К, Са, Mg, Na, P, Fe, Mn, Zn – на спектрометре «VARIAN AA240 FS», Cu, Se, Cr – на спектрометре «VARIAN AAZ80Z» по соответствующим нормативным документам. Анализ и последующую обработку данных проводили в аналитическом филиале ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»).

Аминокислотный состав белков сырья и готового продукта исследовали методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель» в аналитическом филиале ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»).

Оценка биологической ценности белков выполнялась с помощью вычислений дополнительных показателей, которые учитывают состав незаменимых аминокислот, а также эффективность их использования в организме.

Микробиологические показатели готовой продукции – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных бактерий (КМАФАнМ), бактерии группы кишечной палочки (БГКП), *S. aureus*, патогенную микрофлору (в том числе сальмонеллы, *L. monocytogenes*) и плесень – определяли в ФГБОУ ВО «КГТУ» в лаборатории кафедры аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов под руководством кандидата биологических наук, доцента М. Ю. Котлярчук в соответствии с действующей нормативной документацией.

Для обработки экспериментальных данных применяли стандартные методы статистического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Технологический процесс производства формованного мороженого полуфабриката из речного окуня повышенной биологической ценности «Окунек» заключается в следующем. Рыбу разделяют на обезглавленную потрошеную тушку, моют и пропускают через неопресс с отверстиями диаметром 5 мм, в результате мясо впрессовывается через перфоратор барабана, а шкура, кости и чешуя выходят через специальное отверстие. После неопресса грубоизмельченное мясо немедленно подвергается тонкому измельчению в устройстве с отверстиями диаметром 3 мм.

Тонкоизмельченная мышечная ткань направляется в фаршемешалку для гомогенизации и смешивания всех подготовленных компонентов (в соответствии с рецептурой): яблочного жмыха, набухших семян льна, измельченных листьев капусты Кале, репчатого лука и других пищевых вкусо-ароматических добавок.

Из тщательно гомогенизированного фарша в специальных машинах формируются котлеты ровной овальной формы массой $100 \text{ г} \pm 3 \%$, которые затем панируют измельченными сухарями и замораживают при температуре не выше минус $18 \text{ }^\circ\text{C}$ [5].

По органолептическим показателям готовый продукт представляет собой изделие правильной круглой формы; вид и цвет на разрезе – однородный, перемешанный и измельченный фарш с равномерно распределенными рецептурными компонентами от желто-зеленого до коричнево-зеленого, с заметными включениями; запах и вкус – выраженные, приятные, свойственные данному виду рыбы, с оттенками добавленных компонентов, сбалансированные, в меру соленые, перченые, без посторонних привкусов; консистенция – сочная, нежная.

Оценку качества и биологической ценности готового продукта проводили с помощью исследования физико-химических и органолептических показателей, а также анализа безопасности. Полученные данные по физико-химическим показателям формованного мороженого полуфабриката «Окунек» представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические показатели формованного мороженого полуфабриката «Окунек»

Table 1. Physico-chemical parameters of molded frozen semi-finished product «Okunek»

Наименование показателя	Результаты эксперимента
Массовая доля влаги, %	75,2
Массовая доля белка, %	15,2
Массовая доля жира, %	1,2
Массовая доля углеводов, %*	6,1
в том числе: массовая доля клетчатки, %	4,2
Массовая доля минеральных веществ, %	2,3
Массовая доля пищевой соли, %	1,0
Массовая доля витамина С, мг%**	11,3
Энергетическая ценность продукта, ккал*	90,4

Примечание. * Данные получены расчетным методом; **данные определялись в сыром продукте

В процессе замораживания и термической обработки массовая доля витамина С в готовом продукте снижается, ввиду чего нами было проведено исследование по его содержанию в рыбных котлетах «Окунек», приготовленных двумя способами – на пару и жаркой на растительном масле, а также после заморажива-

ния в течение полутора месяцев хранения в сыром продукте. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2. Массовая доля витамина С в рыбных котлетах «Окунек»
Table 2. Mass fraction of vitamin C in «Okunek» fish cutlets

Обработка продукта	Массовая доля витамина С, мг%
Замораживание и хранение в течение 1,5 мес.	9,9
Жарка на растительном масле	7,5
Варка на пару	8,6

Отсюда видно, что после замораживания и хранения рыбных котлет «Окунек» массовая доля витамина С уменьшилась на 12,4, после жарки – на 33,6, а после приготовления на пару – на 23,9 % по сравнению с его содержанием в исходном продукте (11,3 мг%). Таким образом, эти котлеты рекомендуется готовить на пару, чтобы снизить потери витамина С.

Результаты определения аминокислотного состава белков в формованном мороженом полуфабрикате «Окунек» представлены в табл. 3.

Таблица 3. Аминокислотный состав (г на 100 г белка) белков в формованном мороженом полуфабрикате «Окунек»

Table 3. Amino acid composition (g per 100 g of protein) of proteins in «Okunek» frozen semi-finished product

Аминокислоты	Содержание АК в белке «эталона» ФАО/ВОЗ, г/100г	Содержание, г/100 г белка
Незаменимые		
Валин	4,00	1,75
Изолейцин	2,80	6,33
Лейцин	6,30	4,68
Лизин	4,80	3,65
Метионин + цистин	2,30	2,37
Треонин	2,50	2,85
Триптофан	0,60	0,89
Фенилаланин + тирозин	4,10	5,08
Заменимые		
Аланин		4,22
Аргинин		3,58
Аспаргин + аспарагиновая кислота		9,24
Глицин		3,27
Глутамин + глутаминовая кислота		12,37
Пролин		2,90
Серин		3,21
Гистидин		1,77

Содержание незаменимых аминокислот (АК) в формованном мороженом полуфабрикате «Окунек» относительно высоко и составляет 40,5 % от общего содержания АК в белке, несмотря на то, что присутствие таких аминокислот, как валин, лейцин и лизин, ниже, чем в «эталонном» белке. Лидирующие значение АК приходится на изолейцин (6,33 г на 100 г белка), лимитирующими являются триптофан (0,89 г на 100 г белка) и валин (1,75 г на 100 г белка). Среди заменимых АК в наибольшем количестве содержатся глутамин и глутаминовая кислота (суммарно 12,37 г на 100 г белка), в наименьшем – гистидин (1,77 г на 100 г белка).

Минеральный состав формованного мороженого полуфабриката «Окунек» представлен в табл. 4.

Таблица 4. Содержание минеральных веществ формованного мороженого полуфабриката «Окунек»

Table 4. Mineral content in «Okunek» molded frozen semi-finished product

Наименование минерального вещества	Содержание минеральных веществ	Суточная потребность*
Калий	231,8 мг%	2500 мг
Кальций	71,8 мг%	1000–1200 мг
Магний	31,1 мг%	400 мг
Натрий	255,8 мг%	1300 мг
Фосфор	162,1 мг%	800 мг
Железо	1,2 мг%	10–18 мг
Марганец	0,22 мг%	2 мг
Цинк	0,55 мг%	12 мг
Медь	0,10 мг%	1 мг
Хром	17,5 мкг%	50–200 мкг

Примечание. *МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ».

Анализируя полученные данные, видим, что формованный мороженный полуфабрикат «Окунек» содержит высокое количество таких макроэлементов, как калий, кальций, натрий, фосфор, магний, которые принимают участие в обменных процессах организма.

Наиболее значимыми здесь являются микроэлементы, представленные медью, цинком, марганцем и хромом. В 100 г продукта содержится 10 % от суточной потребности меди, которая участвует в образовании гемоглобина и ничем не заменяема. Цинк, в свою очередь, увеличивает активность ферментов, марганец обеспечивает работу центральной нервной системы, хром участвует в процессах кроветворения.

Высокое содержание минеральных веществ позволяет отнести формованный мороженный полуфабрикат «Окунек» к функциональным продуктам. Так, употребление 200 г удовлетворит суточную потребность в калии на 18,5 %; фосфоре – на 40,5; магнии – на 15,6; натрии – на 39,4; железе – на 17,14; марганце – на 22; меди – на 20 и хrome – на 17,5 %.

Данные по функциональности формованного мороженого полуфабриката «Окунек» представлены в табл. 5.

Таблица 5. Показатели функциональности формованного мороженого полуфабриката «Окунек» на 100 г продукта

Table 5. Indicators of the functionality of the molded frozen semi-finished product «Okunek» per 100 g of the product

Компонент	Суточная потребность*	Содержание в 100 г полуфабриката	% удовлетворения суточной потребности (~200 г)
Калий	2500 мг	231,8 мг	18,5
Фосфор	800 мг	162,1 мг	40,5
Магний	400 мг	31,1 мг	15,6
Натрий	1300 мг	255,8 мг	39,4
Железо	10–18 мг	1,2 мг	17,1
Марганец	2 мг	0,2 мг	22,0
Медь	1 мг	0,1 мг	20,0
Хром	50–200 мкг	17,5 мкг	17,5
Витамин С**	90 мг	7,5 мг%	16,7
Клетчатка	20 000 мг	4,2 %	42

Примечание. *МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ»; ** данные указаны для готового продукта (жареных на растительном масле котлет).

Для оценки микробиологической безопасности формованного мороженого полуфабриката «Окунек» были проведены исследования, которые показали отсутствие патогенной и условно-патогенной микрофлоры. При этом отмечено, что необходимо тщательно контролировать сырьевые компоненты рецептуры, в особенности обсемененность панировочных сухарей. Также был установлен гарантированный срок хранения для полуфабриката «Окунек» – три месяца при температуре не выше минус 18 °С со строгим соблюдением данных условий. Хранение продукта в холодильнике (2–5 °С) не допускается ввиду быстрой микробиологической порчи изделия.

ВЫВОДЫ

В работе проведены исследования по совершенствованию традиционной технологии формованного мороженого полуфабриката из речного окуня (*Perca fluviatilis*) повышенной биологической ценности с добавлением растительного сырья – яблочного жмыха, семян льна и листовой капусты Кале. Употребление формованного полуфабриката «Окунек» способствует профилактике заболеваний желудочно-кишечного тракта за счет присутствия пищевых волокон – клетчатки и пектина.

Проведена оценка пищевой ценности готового продукта. Методом атомно-адсорбционной спектроскопии определено содержание минеральных веществ в новом продукте: калия (231,8 мг%), кальция (71,8 мг%), фосфора (162,1 мг%), магния (31,1 мг%), цинка (0,55 мг%), меди (0,10, мг%), хрома (17,5 мкг%).

Методом капиллярного электрофореза установлен аминокислотный состав в формованном мороженом полуфабрикаты «Окунек». Показано, что содержание незаменимых аминокислот в новом продукте составляет 40,5 % от общего содержания аминокислот в белке. Наибольшее количество приходится на изолейцин

(6,33 г на 100 г белка), лимитирующими являются триптофан (0,89 г на 100 г белка) и валин (1,75 г на 100 г белка). Среди заменимых аминокислот максимум приходится на глутамин и глутаминовую кислоту (суммарно 12,37 г на 100 г белка), наименьшее – на гистидин (1,77 г на 100 г белка).

Проведен расчет функциональности готового продукта – 200 г формованного полуфабриката «Окунек» удовлетворяют суточную потребность в калии на 18,5 %; фосфоре – на 40,5; магнии – на 15,6; натрии – на 39,4; железе – на 17,1; марганце – на 22,0; меди – на 20,0; хроме – на 17,5; витамине С – на 16,7 (жареные котлеты на растительном масле) и клетчатке – на 42 %.

Показаны исследования по содержанию массовой доли витамина С после замораживания, а также после жарки на растительном масле и приготовления на пару. Потери при замораживании составили 12,4, при жарке 33,6, а после приготовления на пару 23,9 % по сравнению с содержанием в исходном продукте.

Проведены микробиологические испытания хранимоспособности готового продукта, а также безопасности основного и вспомогательного сырья. Установлен срок хранения для обогащенного формованного мороженого полуфабриката «Окунек», который составил три месяца при температуре не выше минус 18 °С со строгим соблюдением данных условий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ключко, Н. Ю. Исследование рынка рыбных полуфабрикатов в Калининградской области и пути повышения их биологической ценности / Н. Ю. Ключко, А. В. Макеева // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование (24–25 марта 2020 г.): Национальная (Всероссийская) научн.-практ. конференция: материалы. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 168–172.
2. ТР ЕАЭС 040/16. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420394425> (дата обращения 02.08.2021)
3. ГОСТ Р 50380-2005. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Термины и определения. – Москва, 2018. – 8 с.
4. Сафронова, Т. Н. Технологии рыбных рубленых полуфабрикатов с использованием порошка из пророщенного зерна пшеницы для питания школьников / Т. Н. Сафронова, О. М. Евтухова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 1 – С. 25–28.
5. Макеева, А. В. Оценка химической и биологической ценности речного окуня (*Perca fluviatilis*) Калининградской области / А. В. Макеева, Н. Ю. Ключко // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2020. – № 59. – С.151–160.
6. Макеева, А. В. Исследования по совершенствованию рецептуры формованных мороженых полуфабрикатов из речного окуня *Perca fluviatilis* повышенной биологической ценности / А. В. Макеева, Н. Ю. Ключко // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2021. – № 60. – С. 97–110.

7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году: гос. докл. – Москва: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. – 844 с.
8. Katare, C. Flax seed: a potential medicinal food // *J Nutr Food Sci.* – 2012. – Т. 2, № 1. – С. 7–120.
9. Nitrayova, S. Amino acids and fatty acids profile of chia (*Salvia hispanica* L.) and flax (*Linum usitatissimum* L.) seed // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.* – 2014. – Т. 8, № 1. – С. 72–76.
10. Singh, J. Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) // *Scientia Horticulturae.* – 2006. – Т. 108, № 3. – С. 233–237.
11. Samec, D., Urlic, B., Salopek-Sondi, B. Kale (*Brassica oleracea* var. acephala) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement // *Critical reviews in food science and nutrition.* – 2019. – Т. 59, № 15. – С. 2411–2422.

REFERENCES

1. Klyuchko N. Yu., Makeeva A. V. Issledovanie rynka rybnykh polufabrikatov v Kaliningradskoy oblasti i puti povysheniya ikh biologicheskoy tsennosti [Research of the market of fish semi-finished products in the Kaliningrad region and ways to increase their biological value]. *Materialy XI Natsional'noy (Vserossiyskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie"* [Proceedings of the XI National (All-Russian) scientific and practical conference "Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use"]. 2020, no. 11, pp. 168–172.
2. TR EAES 040/16 Tekhnicheskiiy reglament Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza "O bezopasnosti ryby i rybnoy produktsii" [Technical Regulations of the Eurasian Economic Union "On the safety of fish and fish products"]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420394425> (Accessed 02 August 2021).
3. GOST R 50380-2005. Ryba, nerybnye ob"ekty i produktsiya iz nikh. Terminy i opredeleniya [Fish, non-fish objects and products from them. Terms and definitions]. 2018, 8 p.
4. Safronova T. N., Evtukhova O. M. Tekhnologii rybnykh rublenykh polufabrikatov s ispol'zovaniem poroshka iz proroshchennogo zerna pshenitsy dlya pitaniya shkol'nikov [Technologies of chopped fish semi-finished products using powder from sprouted wheat grain for the nutrition of schoolchildren]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 1, pp. 25 – 28.
5. Makeeva A.V., Klyuchko N. Yu. Otsenka khimicheskoy i biologicheskoy tsennosti rechnogo okunya (*Perca fluviatilis*) Kaliningradskoy oblasti [Assessment of the chemical and biological value of river perch (*Perca fluviatilis*) Kaliningrad region]. *Izvestiya KGTU*, 2020, no. 59, pp. 151–160.
6. Makeeva A. V., Klyuchko N. Yu. Issledovaniya po sovershenstvovaniyu retseptury formovannykh morozhenykh polufabrikatov iz rechnogo okunya *Perca fluviatilis* povyshennoy biologicheskoy tsennosti [Research on improving the formulation of molded frozen semi-finished products from river perch *Perca fluviatilis* of increased biological value]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 60, pp. 97–110.
7. Gosudarstvennyy doklad "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu". Moscow, Minprirody Rossii; NPP "Кадастр", 2019, 844 p.

8. Katare C. Flax seed: a potential medicinal food. *J Nutr Food Sci*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 7–120.

9. Nitrayova S. Amino acids and fatty acids profile of chia (*Salvia hispanica* L.) and flax (*Linum usitatissimum* L.) seed. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2014, vol. 8, no. 1, pp. 72–76.

10. Singh J. Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 2006, vol. 108, no. 3, pp. 233–237.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

УДК 621.65:663.81

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-89-100

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. А. Наумов, О. И. Левичева

EVALUATION OF THE CENTRIFUGAL PUMPS ENERGY EFFICIENCY FOR THE FOOD INDUSTRY

V. A. Naumov, O. I. Levicheva

Большое количество публикаций посвящено разработке и совершенствованию методов гидравлического расчета технологических трубопроводов в пищевой промышленности. Однако авторы нередко используют в своих расчетах номинальные значения параметров перекачивающих насосов. Нагрузочные характеристики, как правило, не принимаются во внимание. Например, не учитывается изменение КПД насоса при увеличении диаметра технологического трубопровода. Для транспортировки маловязких жидкостей (молока, соков, вина и др.) наибольшее распространение получили пищевые центробежные насосы (ПЦН). Они обладают высокой надежностью, неплохой производительностью и энергетической эффективностью. Производители ПЦН размещают в открытом доступе (техническая документация, интернет-ресурсы) зависимости напора, затраченной мощности и КПД от подачи. В статье получены аналитические выражения для нагрузочных характеристик пищевых насосов, которые необходимы для компьютерного моделирования. Проверка показала, что отдельные производители в технической документации завышают КПД, поэтому КПД нужно пересчитывать по результатам испытаний. Отмечено, что величина удельных энергетических затрат продолжает снижаться при увеличении подачи выше номинальной, тогда как КПД ухудшается, при этом подача не должна выходить за правую границу рабочей области. В первом приближении рассчитаны характеристики одного из ПЦН в точке с наибольшим КПД при перекачивании концентрированного яблочного сока. Коэффициент кинематической вязкости сока при температуре 20°C почти в 16 раз больше, чем у воды. Оценки показали, что подача и напор ПЦН уменьшается всего на 3 %, КПД снижается примерно на 17 %, затраты энергии на перекачивание одного литра жидкости возрастают более чем на 40 %. Представляется перспективным формирование базы данных нагрузочных характеристик пищевых насосов разных производителей. Они могут быть использованы при гидравлических расчетах технологических трубопроводов. При этом необходима экспериментальная проверка влияния вязкости пищевых жидкостей на нагрузочные характеристики центробежных насосов, включая показатели энергетической эффективности.

центробежные насосы, нагрузочные характеристики, подача, напор, мощность, КПД, удельные энергетические затраты, пищевые жидкости

A large number of publications are devoted to the development and improvement of methods for hydraulic calculation of technological pipelines in the food industry. However, the authors of publications often use the nominal values of the parameters of pumps in their calculations. Load characteristics, as a rule, are not taken into account. For example, the change in the pump efficiency is not taken into account when the diameter of the process pipeline increases. Food centrifugal pumps (FCP) are most widely used for transporting low-viscosity liquids (milk, juices, wine, etc.). They have high reliability, good performance and energy efficiency. Manufacturers of FCP place in the open access (technical documentation, Internet resources) the dependences of the head, the power consumed and the efficiency on the flow rate of the liquid. Analytical expressions for the load characteristics of food pumps are obtained in the article. They are necessary for computer modeling. The check showed that some manufacturers overestimate the efficiency in the technical documentation. Therefore, the efficiency must be recalculated based on the test results. It is shown that the value of specific energy costs continues to decrease with an increase in the supply above the nominal, while the efficiency worsens. In this case, the feed should not go beyond the right border of the working area. The characteristics of FCP are calculated in the first approximation when pumping concentrated apple juice at the point with the highest efficiency. The coefficient of kinematic viscosity of the juice at a temperature of 20°C is almost 16 times greater than that of water. The estimates showed that the flow rate and head of the FCP decreases by only 3%, the efficiency decreases by about 17%. Energy costs for pumping one liter of liquid increase by more than 40%. The formation of a database of load characteristics of food pumps from different manufacturers seems promising. They can be used for hydraulic calculations of technological pipelines. At the same time, it is necessary to experimentally verify the effect of the viscosity of food liquids on the load characteristics of centrifugal pumps, including energy efficiency indicators.

centrifugal pumps, load characteristics, liquid consumption, head, power, efficiency, specific energy costs, food liquids

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлический расчет является важным этапом проектирования новых и модернизации действующих трубопроводных систем транспортирования жидких пищевых продуктов и их компонент. Поэтому разработке и совершенствованию методов гидравлического расчета технологических трубопроводов в пищевой промышленности посвящено большое количество публикаций (см. [1–3] и библиографию в них). Однако авторы нередко используют в своих расчетах номинальные значения параметров перекачивающих насосов, не принимая во внимание их нагрузочные характеристики. Так, в [3] был предложен технико-экономический метод определения оптимального диаметра технологического трубопровода. Авторы [3] совершенно верно считают, что при увеличении диаметра трубопровода возрастают капитальные затраты, но снижаются эксплуатационные из-за уменьшения гидравлических потерь. Однако при этом коэффициент полезного действия насоса (КПД) считается постоянным, тогда как он изменится из-за уменьшения напора насоса. Аналогичная ошибка допущена в [3]. Кроме нее, в [3] имеется еще несколько неточностей и опечаток, которые совершенно исказили результаты. Их подробный анализ приведен в [4].

В пищевой промышленности с целью непрерывной подачи жидких материалов применяются насосы различных типов. Для транспортировки маловязких жидкостей (молока, соков, вина и др.) наибольшее распространение получили пищевые центробежные насосы (ПЦН), которые обладают высокой надежностью, неплохой производительностью и энергетической эффективностью.

Для корректного гидравлического расчета технологического трубопровода необходимы нагрузочные характеристики – зависимость напора H (м) и затраченной мощности N (кВт) насоса от его подачи Q (м³/ч или дм³/с).

На базе системы уравнений Навье-Стокса разработаны методы математического моделирования трехмерных течений в ЦН (см. [5–8] и библиография в них). Так, в [7] в среде ANSYS выполнено численное исследование влияния формы лопастей рабочего колеса и компоновки конструкции ЦН на структуру турбулентного течения в проточных частях. Было показано, как входной диаметр рабочего колеса и угол наклона лопастей влияют на производительность и КПД ЦН. В [6] для исследования влияния задней кромки лопасти рабочего колеса на пульсации давления и производительность ЦН использован метод моделирования крупных вихрей. Были проанализированы течения при трех типичных формах кромки лопастей.

Указанные выше методы позволяют на стадии проектирования определить параметры агрегата с необходимыми характеристиками. В данной статье рассматривается иная ситуация: подбор ПЦН из числа производимых агрегатов для транспортировки жидкого пищевого продукта в технологическом процессе. Как показано в [9], для компьютерного моделирования процесса перекачивания необходимым этапом является подбор аналитических выражений, описывающих нагрузочные характеристики.

В настоящее время имеется большое количество фирм-производителей ПЦН как российских, так и зарубежных [10–13], с широким диапазоном технических параметров. В табл. 1 они приведены для центробежных насосов, выпускаемых компанией [10] для пищевой промышленности. Все испытания проводились на чистой воде при 15–20 °С.

Таблица 1. Технические параметры пищевых насосов ОНЦ [10]

Table 1. Technical parameters of ONC food pumps [10]

Марка насоса	Q_H , м ³ /ч	H_H , м	N_E , кВт	D_p , мм	m , кг
ОНЦ1-4/20	4,0	20	1,5	35	27
ОНЦ1-6,3/20	6,3	20	1,5	35	27
ОНЦ1-12,5/20	12,5	20	2,2	35	29
ОНЦ1-6,3/32	6,3	32	2,2	35	29
ОНЦ1-12,5/32	12,5	32	3,0	35	39
ОНЦ1-18/32М-02	18,0	32	5,5	50	56
ОНЦ1-25/32М-02	25,0	32	5,5	50	56
ОНЦ1-50/32М-01	50,0	32	11,0	80	120
ОНЦ1-5/60	5,0	60	5,5	50	40
ОНЦ1-12,5/60	12,5	60	5,5	50	50

Обозначения в табл. 1: Q_H , H_H – номинальные значения подачи и напора (при наибольшем коэффициенте полезного действия), соответственно; N_E – мощность электродвигателя; D_p – диаметр входного и выходного патрубка насоса; m – масса агрегата.

Все выпускаемые ПЦН имеют две главные отличительные особенности:

1) детали и узлы, контактирующие с жидким пищевым продуктом, изготавливаются из специальных материалов, например, в [10] указана марка нержавеющей стали 12Х18Н10Т;

2) простая конструкция допускает быструю разборку и сборку агрегата для регулярной промывки его частей, контактирующих с пищевым продуктом.

В технической документации [10, 11] отмечено, что насосы ОНЦ и СНЦ имеют гигиеническое заключение Министерства здравоохранения Российской Федерации и сертификат соответствия Госстандарта России.

АППРОКСИМАЦИЯ НАГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Аппроксимацию нагрузочных характеристик ПЦН разных производителей выполним по методу, использованному в [9, 14]:

$$H \equiv f_1(Q) = a_0 + a_1Q + a_2Q^2, \quad N \equiv f_2(Q) = b_0 + b_1Q + b_2Q^2, \quad (1)$$

где эмпирические коэффициенты a_j , b_j найдены методом наименьших квадратов для насосов разных производителей (табл. 2).

Таблица 2. Эмпирические коэффициенты в формулах (1)

Table 2. Empirical coefficients in formulas (1)

ПЦН	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2
	м	м/(дм ³ /с)	м/(дм ³ /с) ²	кВт	кВт/(дм ³ /с)	кВт/(дм ³ /с) ²
ОНЦ-12/10 [10]	24,25	-2,698	-0,4701	0,747	0,403	-0,0502
СНЦ-25/32 [11]	36,82	-0,0361	-0,1086	1,390	0,301	0
ГН-15 [12]	20,96	0,3424	-0,1925	1,153	0,179	0
НСР 40-110 [13]	20,41	0,3624	-0,4207	0,358	0,286	-0,0212

На рис. 1–3 представлено сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов по формулам (1). Аналогичные графики для СНЦ-25/32 были построены в [4]. Рассчитанные значения индекса детерминации равны 0,98–0,99, что говорит об очень хорошем согласии. Вместе с тем характер изменения построенных кривых имеет некоторые отличия для насосов разных производителей. У первых двух насосов в табл. 1 коэффициент $a_1 < 0$, у двух последующих $a_1 > 0$. В первом случае функция $f_1(Q)$ монотонно убывающая (разумеется, при $Q > 0$), во втором – имеет максимум. Первый и четвертый насос в табл. 1 имеют линейную зависимость затраченной мощности от подачи, так как $b_2=0$ (см. рис. 2 б), тогда как у второго и третьего зависимость $f_2(Q)$ представляет собой параболу.

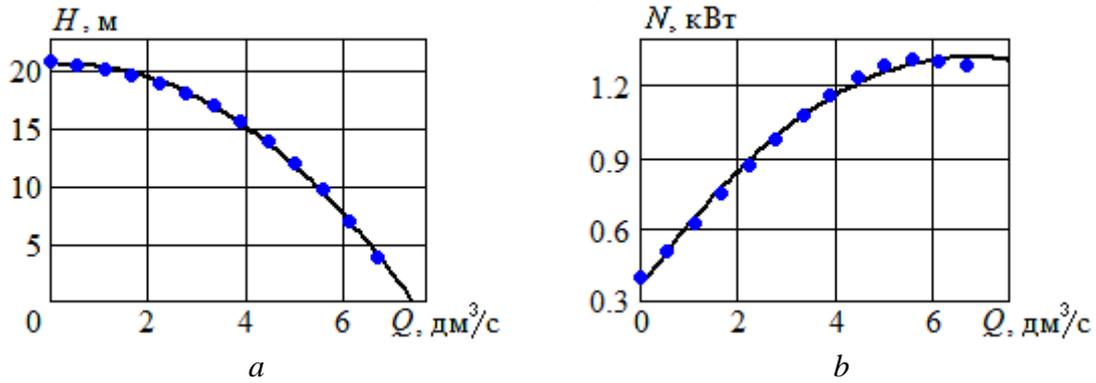


Рис. 1. Нагрузочные характеристики насоса НСР-40-110: a – напор; b – мощность. Точки – экспериментальные данные [13], линии – расчет по формулам (1)
 Fig. 1. Load characteristics of the HCP-40-110 pump: a – head; b – power. Points are experimental data [13], lines are calculation according to formulas (1)

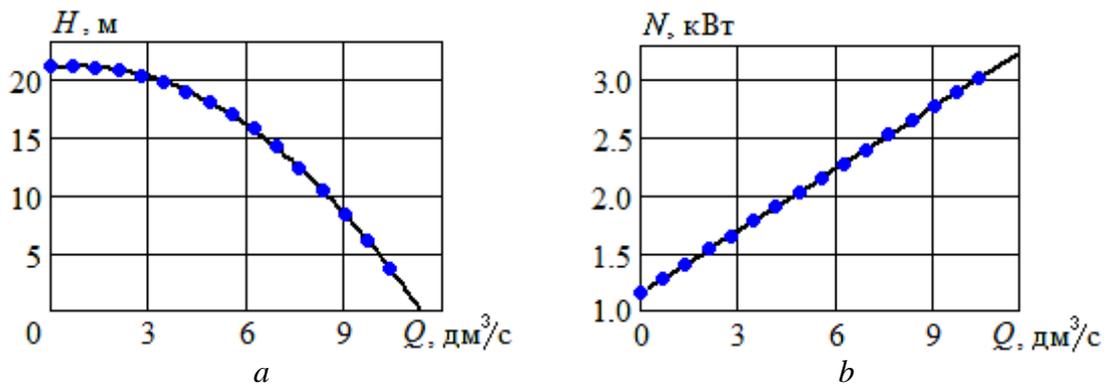


Рис. 2. Нагрузочные характеристики ПЦН GH-15: a – напор; b – мощность. Точки – экспериментальные данные [12], линии – расчет по формулам (1)
 Fig. 2. Load characteristics of the GH-15 pump: a – head; b – power. Points are experimental data [12], lines are calculation according to formulas (1)

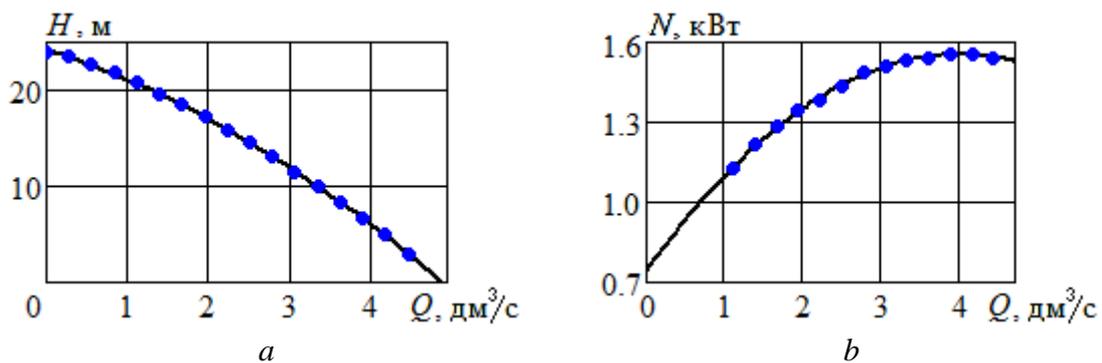


Рис. 3. Нагрузочные характеристики ПЦН ОНЦ-12/10: a – напор; b – мощность. Точки – экспериментальные данные [10], линии – расчет по формулам (1)
 Fig. 3. Load characteristics of the ONC pump: a – head; b – power. Points are experimental data [10], lines are calculation according to formulas (1)

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЦН

Традиционно энергетическую эффективность ЦН оценивают с помощью КПД. Все вышеназванные производители приводят в технической документации зависимость КПД от подачи, эти графики показаны точками на рис. 4, *a*–*7, a*. Простой прием [9] позволяет проверить, нет ли противоречий в приводимых нагрузочных характеристиках. Рассчитаем КПД по напору и затраченной мощности насоса:

$$\eta \equiv \varphi(Q) = 100 \cdot \frac{\rho_w g H Q}{N} = 100 \cdot \rho_w g \cdot Q \cdot \frac{f_1(Q)}{f_2(Q)}, \quad (2)$$

где ρ_w – плотность воды; g – ускорение свободного падения.

Сравним значения КПД, приведенные в технической документации (точки), и линии, рассчитанные по формуле (2). Только на рис. 6, *a* точки, практически, легли на линию. По рис. 7, *a* КПД несколько занижен, тогда как компании [10, 12] заметно завысили КПД в технической документации, допустив еще и сдвиг максимума КПД по расходу (рис. 4, *a* и 5, *a*).

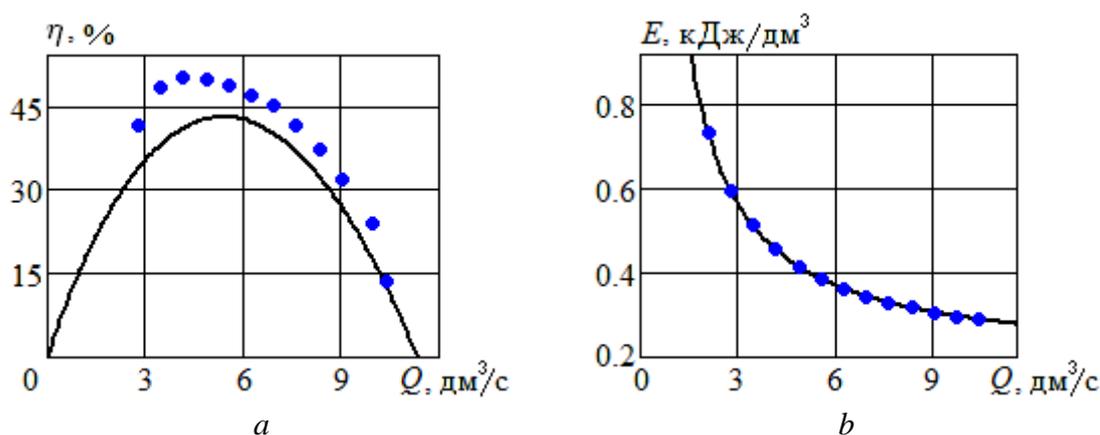


Рис. 4. Энергетические характеристики ПЦН GH-15: *a* – КПД; *b* – показатель удельных энергозатрат. Точки – экспериментальные данные [12], линии – расчет по формулам (2) и (3)

Fig. 4. Energy characteristics of the GH-15 pump: *a* – efficiency; *b* – the indicator of specific energy consumption. Points are experimental data [12], lines are calculated using formulas (2) and (3)

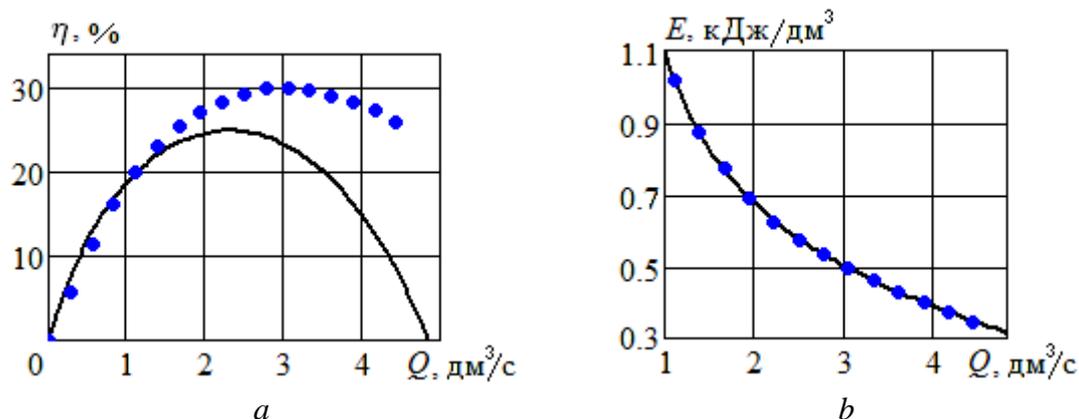


Рис. 5. Энергетические характеристики ПЦН ОНЦ-12/10: *a* – КПД; *b* – показатель удельных энергозатрат. Точки – экспериментальные данные [10], линии – расчет по формулам (2) и (3)

Fig. 5. Energy characteristics of the ONC-12/10 pump: *a* – efficiency; *b* – the indicator of specific energy consumption. The points are experimental data [10], the lines are calculated using formulas (2) and (3)

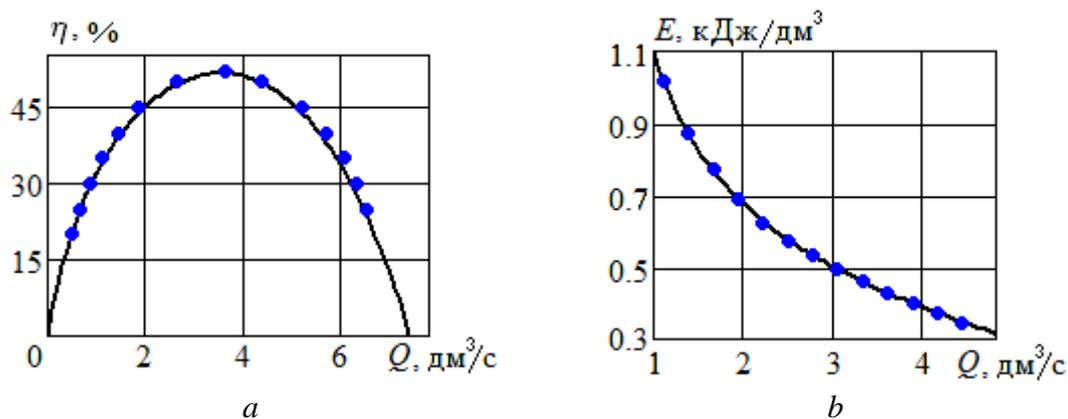


Рис. 6. Энергетические характеристики ПЦН НСР-40-110: *a* – КПД; *b* – показатель удельных энергозатрат. Точки – экспериментальные данные [13], линии – расчет по формулам (2) и (3)

Fig. 6. Energy characteristics of the HCP-40-110 pump: *a* – efficiency; *b* – the indicator of specific energy consumption. Points are experimental data [13], lines are calculated using formulas (2) and (3)

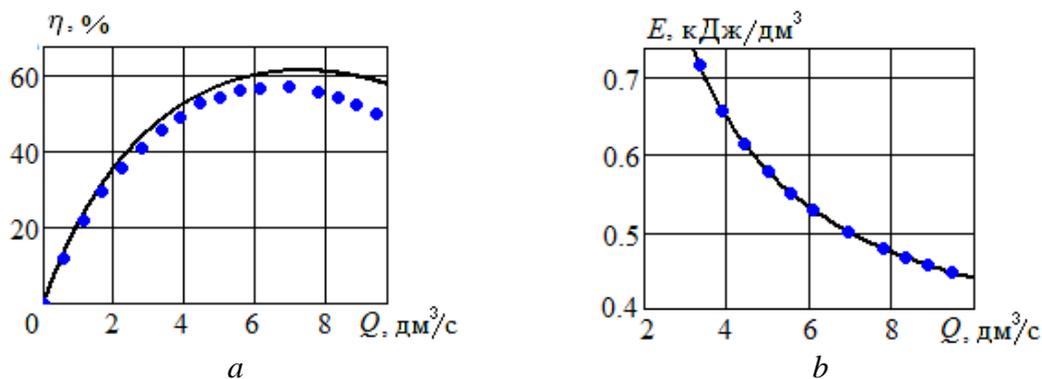


Рис. 7. Энергетические характеристики СНЦ-25/32: *a* – КПД; *b* – показатель удельных энергозатрат. Точки – экспериментальные данные [11], линии – расчет по формулам (2) и (3)

Fig. 7. Energy characteristics of the SNC-25/32 pump: *a* – efficiency; *b* – the indicator of specific energy consumption. The points are experimental data [11], the lines are calculated using formulas (2) and (3)

Традиционная рекомендация при подборе ЦН: рабочая точка должна быть как можно ближе к максимуму КПД. Для оценки энергетической эффективности систем водоснабжения и водоотведения успешно применяют показатель удельных энергозатрат (см., например, [15, 16]):

$$E = N / Q. \tag{3}$$

Показатель *E*, рассчитанный для перекачивания воды, приведен на рис. 4, *b–7, b*. Видно, что величина *E* снижается при увеличении подачи выше номинального значения, тогда как КПД ухудшается. Разумеется, подача не должна выходить за правую границу рабочей области, иначе могут снизиться другие показатели работы насоса, например, среднее время наработки оборудования до отказа [17].

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

Чтобы применить показатель *E* к ПЦН насосам, необходимо учесть отличие свойств жидкостей в пищевой промышленности от аналогичных параметров воды. Имеющаяся методика [18] позволяет выполнить оценку влияния этих свойств только в первом приближении, так как предназначена для ньютоновских жидкостей. Большинство жидкостей, применяемых в пищевой технологии, являются неньютоновскими.

В качестве примера рассмотрим насос ПЦН НСР-40-110 (см. рис. 1), перекачивающий яблочный сок с концентрацией 50 % при температуре 20 °С. По справочным данным [19], плотность жидкости $\rho = 1224 \text{ кг/м}^3$, коэффициент кинематической вязкости $\nu = 15,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} = 15,77 \text{ сСт}$, частота вращения рабочего колеса ЦН $n = 3500 \text{ об/мин}$ [13]. При перекачивании воды с наибольшим КПД $\eta_{0w} = 0,52$; $Q_{0w} = 13,06 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_{0w} = 16,19 \text{ м}$; $N_{0w} = 1,114 \text{ кВт}$. По формулам [18, с. 8] рассчитаем значения аналогов числа Рейнольдса и коэффициента быстроходности:

$$Re_q = \frac{\sqrt[3]{Q_{0w}^2 \cdot n}}{\nu} = \frac{\sqrt[3]{13,06^2 \cdot 3500}}{15,77} = 5,34; \tag{4}$$

$$n_q = \frac{n \cdot \left(\frac{Q_{0w}}{3600}\right)^{0,5}}{H_{0w}^{0,75}} = \frac{3500 \cdot \left(\frac{13,06}{3600}\right)^{0,5}}{16,19^{0,75}} = 26,12. \quad (5)$$

Вспомогательный параметр

$$B = \frac{16,5}{\sqrt[12]{60 \cdot n_q \cdot \sqrt{Re_q}}} = \frac{16,5}{\sqrt[12]{60 \cdot 26,12 \cdot \sqrt{5,34}}} = 3,87. \quad (6)$$

Поправочные коэффициенты

$$C_H = C_Q = \exp\left[-0,165 \cdot (\log B)^{3,15}\right] = 0,97; \quad (7)$$

$$C_\eta = B^{-0,0547 \cdot B^{0,69}} = 0,828. \quad (8)$$

По формуле (7) оценка снижения напора и подачи всего 3 %, а КПД – 17,2 %; $\eta_0 = 0,431$; $Q_0 = 12,66 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_0 = 15,70 \text{ м}$, откуда с учетом увеличения плотности затраченная мощность возрастет до $N_0 = 1,538 \text{ кВт}$. Следовательно, показатель удельных энергетических затрат увеличится на 42,7 % – с 0,307 до 0,438 кДж/дм³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производители центробежных пищевых насосов размещают в открытом доступе (техническая документация, интернет-ресурсы) зависимости напора затраченной мощности и КПД от подачи. В статье получены аналитические выражения для нагрузочных характеристик пищевых насосов. Проведенная проверка показала, что отдельные производители в технической документации завышают КПД, поэтому КПД необходимо пересчитывать по результатам испытаний, что величина удельных энергетических затрат продолжает снижаться при увеличении подачи выше номинальной, тогда как КПД ухудшается, при этом подача не должна выходить за правую границу рабочей области.

В первом приближении рассчитаны характеристики одного из ПЦН в точке с наибольшим КПД при перекачивании концентрированного яблочного сока. Коэффициент кинематической вязкости сока при температуре 20 °С почти в 16 раз больше, чем у воды. Оценки показали, что подача и напор ПЦН уменьшается всего на 3 %, КПД снижается примерно на 17 %, затраты энергии на перекачивание одного литра жидкости возрастают более чем на 40 %.

Представляется перспективным формирование базы данных нагрузочных характеристик пищевых насосов разных производителей. Они могут быть использованы при гидравлических расчетах технологических трубопроводов. При этом необходима экспериментальная проверка влияния вязкости пищевых жидкостей на нагрузочные характеристики центробежных насосов, включая показатели энергетической эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Skoglund, T. A dynamic object-oriented model for efficient simulation of microbial reduction in dispersed turbulent flow / T. Skoglund, P. Dejmeck // Journal of Food Engineering. – 2008. – Vol. 86. – P. 358–369.
2. Мишакова, В. А. Анализ основных параметров центробежных насосов для пищевой промышленности / В. А. Мишакова, А. М. Рожков // Известия Туль-

ского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 7. – С. 138–142.

3. Оптимизация параметров технологического трубопровода по технико-экономическим показателям / А. А. Хвостов, М. Г. Магомедов, А. А. Журавлев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 1. – С. 34–46.

4. Наумов, В. А. Влияние плотности жидкости, перекачиваемой пищевым центробежным насосом, на рабочую точку / В. А. Наумов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 524–530.

5. Григорьев, С. В. Обоснование возможностей повышения энергетических характеристик центробежных насосов / С. В. Григорьев, Л. А. Савин, Р. М. Шахбанов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 7. – С. 122–127.

6. Numerical simulation and performance prediction of centrifugal pump's full flow field based on OpenFOAM / S. Huang, Y. Wei, C. Guo, W. Kang // Processes. – 2019. – Vol. 7. 605; DOI: 10.3390/pr7090605.

7. Hawas, N. M. Improving the efficiency and performance of centrifugal pump through model development and numerical analysis for the pump impeller / M. N. Hawas, A. A. Mohammed, A. H. Al-Abbas // Int. Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2020. – Vol. 9, No. 1. – P. 60–65; DOI: 10.18178/ijmerr.9.160-65.

8. Influence of cutting angle of blade trailing edge on unsteady flow in a centrifugal pump under off-design conditions / B. Cui, C. Zhang, Y. Zhang, Z. Zhu // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. 580; DOI: 10.3390/app10020580.

9. Великанов, Н. Л. Обобщенные характеристики канализационных насосов высокой производительности / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов, Л. В. Примак // Механизация строительства. – 2017. – Т. 78, № 10. – С. 32–36.

10. Некрасовский машиностроительный завод. Насосы ОНЦ [Электронный ресурс]. – URL: http://nmz-yaroslavl.ru/product/pumps/centrobezhnye_nasosy/ (Дата обращения: 01.06.2021).

11. Электронасосы типа СНЦ. Технические характеристики [Электронный ресурс]. – URL: http://www.agrovodcom.ru/file/pdf/ena_cnz.pdf (Дата обращения 01.06.2021).

12. Акционерное общество «Спомаш Замосць» [Электронный ресурс]. – URL: <https://spomasz.biz.pl/ru/pishhevye-nasosy> (Дата обращения: 20.06.2021).

13. INOXPA. Documents. Pumps [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.inoxpa.com/downloads/documents/pumps> (Дата обращения: 25.06.2021).

14. Великанов, Н. Л. Методика выбора центробежных скважинных насосов типа ЭЦВ / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов, С. И. Корягин // Техно-технологические проблемы сервиса. – 2017. – № 1 (39). – С. 18–21.

15. Фисенко, В. Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения / В. Н. Фисенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 6. – С. 52–63.

16. Increasing energy efficiency in water collection systems by submersible PMSM well pumps / M. Beck, A. Sperlich, R. Blank [et al.] // Water. – 2018. – Vol. 10.1310; DOI: 10.3390/w1010131.

17. Ивановский, В. Н. К вопросу о выборе рабочей области характеристики центробежных насосов / В. Н. Ивановский, А. А. Сабиров, А. В. Кузьмин // Территория «Нефтегаз». – 2015. – № 3. – С. 88–92.

18. ГОСТ 33967-2016. Насосы центробежные для перекачивания вязких жидкостей. Поправки к рабочим характеристикам: межгосударственный стандарт: изд. офиц.: утв. и введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 июня 2017 г. № 492-ст: введен впервые: дата введения 2018-01-01 / разработ. Российской ассоциацией производителей насосов. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 18 с.

19. Ченцова, Л. И. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие / Л. И. Ченцова, В. Н. Тепляшин, И. В. Мацкевич, В. Н. Невзоров. – Красноярск: Изд-во гос. аграрного ун-та, 2016 – 181 с.

REFERENCES

1. Skoglund T., Dejmek P. A dynamic object-oriented model for efficient simulation of micro-bial reduction in dispersed turbulent flow. *Journal of Food Engineering*, 2008, vol. 86, pp. 358–369.

2. Mishakova V. A., Rozhkov A. M. Analiz osnovnykh parametrov tsentrobezhnykh nasosov dlya pishchevoy promyshlennosti [Analysis of the main parameters of centrifugal pumps for the food industry]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2019, no. 7, pp. 138-142.

3. Khvostov A. A., Magomedov M. G., Zhuravlev A. A. Optimizatsiya parametrov tekhnologicheskogo truboprovoda po tekhniko-ekonomicheskim pokazatelyam [Optimization of technological pipeline parameters according to technical and economic indicators]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2020, vol. 82, no. 1, pp. 34–46.

4. Naumov V. A. Vliyanie plotnosti zhidkosti, perekachivaemoy pishchevym tsentrobezhnym nasosom, na rabochuyu tochku [Influence of the density of the liquid pumped by a food centrifugal pump on the working point]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2020, no. 5, pp. 524–530.

5. Grigor'ev S. V., Savin L. A., Shahbanov R. M. Obosnovanie vozmozhnostey povysheniya energeticheskikh kharakteristik tsentrobezhnykh nasosov [Justification of the possibilities of increasing the energy characteristics of centrifugal pumps]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 7, pp. 122–127.

6. Numerical simulation and performance prediction of centrifugal pump's full flow field based on OpenFOAM. S. Huang, Y. Wei, C. Guo, W. Kang. *Processes*, 2019, vol. 7, 605; DOI: 10.3390/pr7090605.

7. Hawas N. M., Mohammed A.A., Al-Abbas A.H. Improving the efficiency and performance of centrifugal pump through model development and numerical analysis for the pump impeller. *Int. Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 60–65; DOI: 10.18178/ijmerr.9.160-65.

8. Influence of cutting angle of blade trailing edge on unsteady flow in a centrifugal pump under off-design conditions. B. Cui, C. Zhang, Y. Zhang, Z. Zhu. *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, 580; DOI: 10.3390/app10020580.

9. Velikanov N. L., Naumov V. A., Primak L. V. Obobshchennye kharakteristiki kanalizatsionnykh nasosov vysokoy proizvoditel'nosti [Generalized characteristics of sewage pumps high performance]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, 2017, vol. 78, no. 10, pp. 32–36.

10. *Nekrasovskiy mashinostroitel'ny zavod. Nasosy ONC* [Nekrasovsky Machine-building Plant. ONC pumps]. Available at: http://nmz-yaroslavl.ru/product/pumps/centrobezhnye_nasosy/ (Accessed 01 June 2021).
11. *Elektronasosy tipa SNC. Tekhnicheskie kharakteristiki* [Electric pumps of the SNC type. Technical characteristics]. Available at: http://www.agrovodcom.ru/file/pdf/ena_cnz.pdf (Accessed 01 June 2021).
12. *Aksionernoe obshchestvo «Spomash Zamosc»* [Joint-stock Company "Spomash Zamosc"]. Available at: <https://spomasz.biz.pl/ru/pishhevye-nasosy> (Accessed 20 June 2021).
13. *INOXPA. Documents. Pumps.* Available at: <https://www.inoxpa.com/downloads/documents/pumps> (Accessed 25 June 2021).
14. Velikanov N. L., Naumov V. A., Koryagin S. I. Metodika vybora tsentrobezhnykh skvazhinnykh nasosov tipa ECV [Method of selecting centrifugal borehole pumps of the ECV type]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2017, no. 1 (39), pp. 18–21.
15. Fisenko V. N. Energeticheskaya effektivnost' nasosov v sistemakh vodonabzheniya i vodootvedeniya [Energy efficiency of pumps in water supply and sanitation systems]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2018, no. 6, pp. 52–63.
16. Beck M., Sperlich A., Blank R. [et al.]. Increasing energy efficiency in water collection systems by submersible PMSM well pumps. *Water*, 2018, vol. 10, 1310; DOI: 10.3390/w1010131.
17. Ivanovskiy V. N., Sabirov A. A., Kuz'min A. V. K voprosu o vybore rabochey oblasti kharakteristiki tsentrobezhnykh nasosov [On choosing a workspace characteristics of centrifugal pumps]. *Territoriya "Neftegaz"*, 2015, no. 3, pp. 88–92.
18. State Standard 33967-2016. Centrifugal pumps for pumping viscous liquids. Corrections to the performance characteristics. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 18 p. (In Russian)
19. Chentsova L. I., Teplyashin V. N., Matskevich I. V., Nevzorov V. N. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv: uchebnoe posobie* [Processes and devices of food production: textbook]. Krasnoyarsk, Izd-vo gos. Agrarnogo un-ta, 2016, 181 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Левичева Оксана Игоревна – ООО «Балтфармацевтика»; начальник участка водопользования и водоотведения; E-mail: csu411@rambler.ru

Levicheva Oksana Igorevna – LLC "Baltpharmaceutics"; Head of the Water Use and Sanitation section; E-mail: csu411@rambler.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 629.064.5

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-103-115

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ,
ОБУСЛОВЛЕННЫХ РАБОТОЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СУДОВЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В. Ф. Белей, Р. О. Брижак

THEORETICAL ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE DUE TO
THE OPERATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF SHIP POWER PLANTS
AND THEIR ELEMENTS

V. F. Beley, R. O. Brizhak

В работе приведены основные термины и определения в области электромагнитной совместимости (ЭМС) и электромагнитных помех. На примере судна пр. 488 показана электромагнитная среда судовой энергетической установки и ее элементов. Рассмотрены требования по обеспечению ЭМС и показатели качества электроэнергии, регламентируемые Правилами классификации и постройки морских судов и стандартами по качеству электроэнергии в системах общего назначения. Показано, что нормы, устанавливаемые стандартами, являются уровнями электромагнитной совместимости для кондуктивных электромагнитных помех, при соблюдении которых обеспечивается ЭМС электрооборудования судовых энергетических установок и их элементов. Дан теоретический анализ электромагнитных помех, обусловленных эксплуатацией силового судового электрооборудования: высшие гармоники напряжения и тока, колебания напряжения и фликер, провалы и перенапряжения. Отмечено, что нелинейные элементы при работе эмиссируют в электрическую сеть высшие гармоники тока. В результате напряжение в сети будет определяться напряжением, подводимым от питающей сети, и суммой падений напряжения от всего спектра высших гармоник тока нелинейного элемента. Рассмотрены электромеханические процессы в момент пуска электроприводов на базе асинхронных двигателей, и показано, что в подавляющем случаях они, наряду с нелинейными элементами, являются основными источниками кондуктивных электромагнитных помех в судовой электроэнергетической системе. В момент пуска электропривода ток практически имеет индуктивный характер, что обуславливает увеличение падения напряжения в питающих линиях, ведет к снижению результирующего поля синхронного генератора вследствие увеличения продольной составляющей реакции якоря и, соответственно, к уменьшению напряжения на зажимах дизель-генератора. Для оценки рекомендаций по снижению уровня электромагнитных помех, обусловленных работой судового силового электрооборудования, создана лабораторная модель с источниками этих помех.

судовая энергетическая установка, электромагнитная совместимость и помеха, качество электроэнергии, электрооборудование, напряжение, ток

The paper presents the main terms and definitions in the field of electromagnetic compatibility (EMC) and electromagnetic interference. On the example of the ship of project 488, the elements of the electromagnetic environment of the ship power plant and its elements are shown. The paper considers the requirements for ensuring EMC and indicators of the quality of electricity, regulated by the Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships and standards for the quality of electricity in general purpose systems. It is shown that requirements established by the power quality standards are the levels of electromagnetic compatibility for conducted electromagnetic interference, subject to which the EMC of electrical equipment of ship power plants and their elements is ensured. A theoretical analysis of electromagnetic interference caused by the operation of power ship electrical equipment is given: higher harmonics of voltage and current, voltage fluctuations and flicker, dips and overvoltages. It is shown that nonlinear elements emit higher current harmonics into the electrical network during operation. As a result, the voltage in the network will be determined by: the voltage supplied from the supply network and the sum of voltage drops from the entire spectrum of higher harmonics of the current of the nonlinear element. Electromechanical processes at the time of starting electric drives based on asynchronous motors are considered and it is shown that along with nonlinear elements they are mostly the main sources of conducted electromagnetic interference in the ship electrical power system. At the moment of starting the electric drive, the current is practically inductive, which causes an increase in the voltage drop in the supply lines, and leads to a decrease in the resulting field of the synchronous generator due to an increase in the longitudinal component of the armature response, and, accordingly, to a decrease in the voltage at the terminals of the diesel generator. In order to assess the recommendations for reducing the level of electromagnetic interference caused by the operation of the shipboard power electrical equipment, a laboratory model with the sources of this interference has been created.

ship power plant, electromagnetic compatibility and interference, power quality, electrical equipment, voltage, current

ВВЕДЕНИЕ

Все расширяющееся внедрение на судах новейших электротехнологий (нелинейных электроприемников, силовой полупроводниковой техники и пр.) приводит: 1) к значительному росту реактивной составляющей мощности, особенно при пуске электроприводов, и, как следствие, к нарушению нормального режима работы электрооборудования; 2) искажению синусоидальности кривой и ухудшению других показателей качества электроэнергии. В итоге, работа судового оборудования отличается от расчетной, что зачастую служит причиной негативных последствий. Поэтому исследование и разработка мер по снижению уровня электромагнитных помех, обусловленных работой силового электрооборудования в различных режимах эксплуатации судна, актуальны.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основные термины

Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС) – это способность технического средства функционировать с заданным качеством в элек-

тромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

Электромагнитная помеха (ЭМП) – помеха, электромагнитное явление, процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования электрооборудования.

Кондуктивная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводникам.

Электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах.

Электромагнитная обстановка может быть оценена посредством уровней ЭМП, в рамках которых обеспечивается взаимодействие всех технических средств, являющихся как источниками, так и техническими средствами, восприимчивыми к электромагнитным помехам (рис. 1) [1]. В работе рассматриваемые технические средства – это силовое электрооборудование судовых энергетических установок и их элементов и создаваемые ими ЭМП [2, 3].

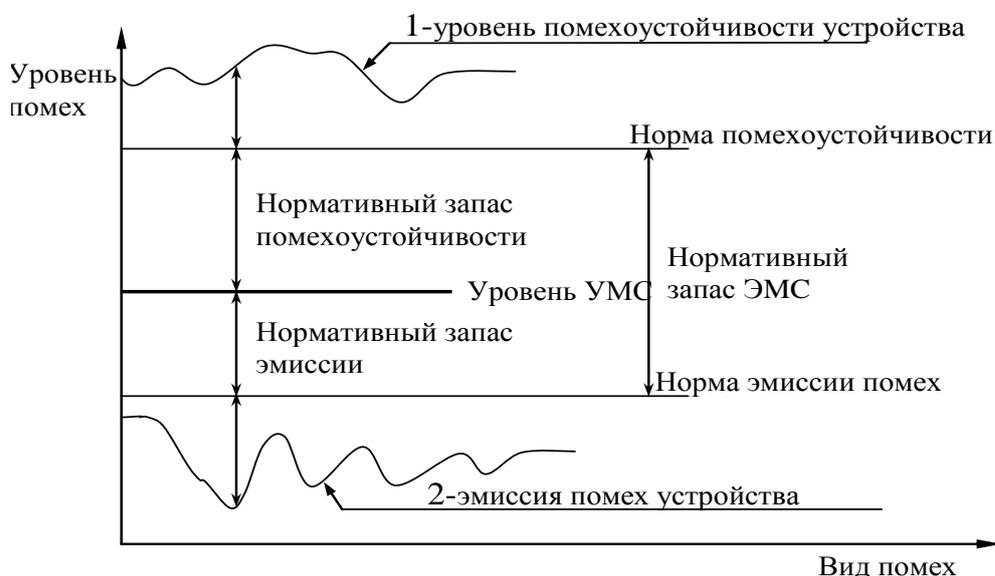


Рис. 1. Соотношение уровня электромагнитной совместимости с нормами помехоустойчивости и эмиссии помех

Fig. 1. Correlation between the level of electromagnetic compatibility and the norms for interference immunity and emission of interference

В судовой электроэнергетической системе (СЭЭС) электромагнитная среда представляет собой совокупность: генерации (дизель-генераторы – ДГ и валогенераторы – ВГ) и приемников электрической энергии, связанных между собой кабельными линиями и силовыми трансформаторами (ТР) (рис. 2).

Режим работы СЭЭС характеризуется балансом активной и реактивной мощностей:

$$\Sigma P_{\Sigma} = \Sigma P_n + \Sigma \Delta P; \quad \Sigma Q_{\Sigma} = \Sigma Q_n, \quad (1)$$

где ΣP_{Σ} , ΣQ_{Σ} – соответственно сумма генерирующих активной и реактивной мощностей; ΣP_n , ΣQ_n – соответственно сумма мощностей, потребленных электроприемниками в СЭЭС; $\Sigma \Delta P$ – сумма потерь активной мощности на стадии ее передачи от источника электроэнергии к приемнику.

В процессе эксплуатации СЭЭС баланс мощностей постоянно нарушается вследствие подключения, отключения, изменения режимов работы нагрузок и генерирующих источников. При этом СЭЭС переходит из одного установившегося состояния в другое. Изменение баланса активной мощности в основном отражается на частоте, а баланса реактивной мощности – на уровнях напряжения в узлах СЭЭС. Допустимые отклонения напряжения и частоты приведены в табл. 1.

Согласно [4] судовое электрооборудование должно безотказно эксплуатироваться до величин высших гармонических напряжений по цепи питания, не превышающих показанных на рис. 3.

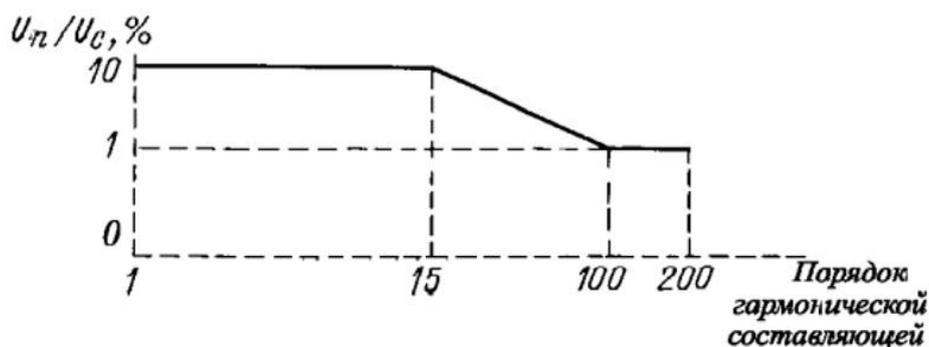


Рис. 3. Зависимость значений гармоник напряжения от порядка гармонической составляющей: U_c – действующее значение напряжения сети; U_n – значение амплитуды n-й гармоники напряжения

Fig. 3. Dependence of voltage harmonic values on the order of the harmonic component: U_c – effective value mains voltage; U_n – the value of the amplitude of the n-th harmonic of the volt age

Значение суммарного коэффициента гармонических составляющих кривой напряжения ($K_{нсU}$, %) не должно превышать 8 % [4]:

$$K_{нсU} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N (U^2_{(n)})}}{U_{ном}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где N – номер последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения.

Для СЭЭС с электродвижением при непосредственно не подключенных к сети общесудовых потребителей значение суммарного коэффициента гармонических составляющих кривой напряжения должно быть не более 10 %.

Высшие гармоники (ВГ) напряжения в СЭЭС в основном обусловлены: несинусоидальностью кривой напряжения дизель-генератора и (или) валогенератора; наличием нелинейных элементов в составе СЭЭС. Судовые генераторы, как правило, явнополюсные. Магнитная индукции (В) в воздушном зазоре имеет

несинусоидальный характер (рис. 4), что обуславливает наведение в обмотках статора несинусоидальной ЭДС. Наличие пазов усиливает эффект несинусоидальности (рис. 5).

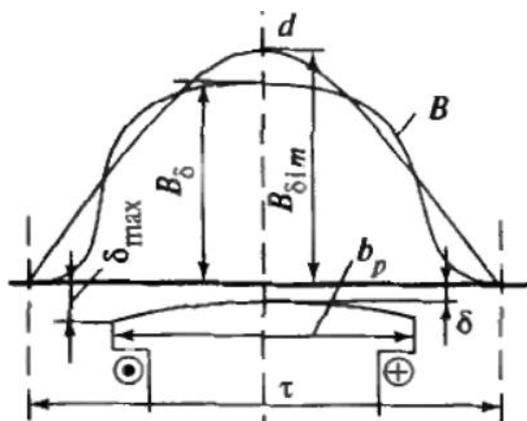


Рис. 4. Магнитное поле дизель-генератора
Fig. 4. Magnetic field of the diesel generator

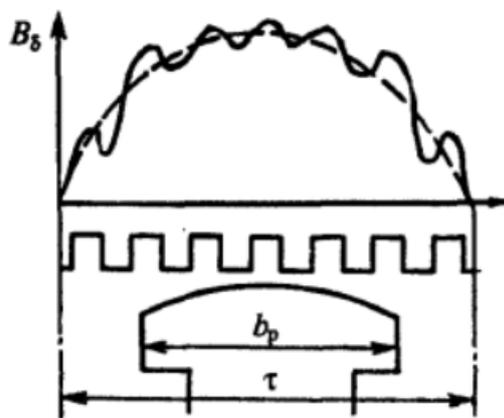


Рис.5. Поле при наличии пазов на статоре
Fig. 5. Field with grooves on the stator

При соединении фазных обмоток синхронного генератора звездой в линейных напряжениях генератора третьи и кратные ей гармоники отсутствуют. Величины же других высших гармонических напряжений значительно снижаются за счет реализации конструктивных решений: укорочения шага, скоса пазов и распределения обмотки статора.

$$E_n = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f_n \cdot w_l \cdot \Phi_n \cdot k_{yn} \cdot k_{cn} \cdot k_{pn}, \quad (3)$$

где K_{yn} , K_{cn} , K_{pn} – соответственно коэффициенты: укорочения шага, скоса пазов и распределения обмотки для n -гармоники; f_n – частота высших гармоник; w_l – число витков.

Несмотря на предпринимаемые меры, коэффициент несинусоидальности кривой напряжения на шинах дизель-генератора снижается только до 2–3 % [6].

При работе электроприемники, реализованные на основе нелинейных элементов, эмиссируют в судовую сеть высшие гармоники тока. ВГ тока, протекая по элементам судовой электрической сети, вызывают на них гармонические падения напряжения. В результате в рассматриваемой сети напряжение будет определяться: напряжением, подводимым от питающей сети $u_{сети}$, и суммой падений напряжения от всего спектра ВГ тока:

$$u = u_{сети} + \sum_{n=2}^{\infty} i_n \cdot z_n \quad (4)$$

где z_n – гармоническое сопротивление участка цепи на частоте f_n .

Приведенные выше показатели КЭ и ЭМП, влияющие на них, не охватывают весь спектр ЭМП, имеющихся в СЭЭС. Ниже, основываясь на опыте эксплуатации СЭЭС [4, 6], рассмотрим ЭМП, обуславливающие колебания напряжения и фликер, провалы и перенапряжения.

Колебания напряжения и фликер. Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются: кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин, значение которой не должно превышать 1,38, и

длительная доза фликера Plt , измеренная в интервале времени 2 ч, ее значение должно быть не более 1,0 в течение 100 % времени интервала в одну неделю [5]. Доза колебаний напряжения (ψ) – интегральная характеристика колебаний напряжения, вызывающих у человека накапливающееся за установленный период времени раздражение миганиями света [7]:

$$\psi = \frac{1}{\theta} \cdot \int_{t-\theta}^t dt \int_0^{25} g_f^2 \cdot S(f, t) \cdot df, \quad (5)$$

где g_f – коэффициент приведения действительных размахов изменения напряжения к эквивалентным; θ – интервал времени усреднения, равный 10 δU мин; $S(f, t)$ – частотный спектр процесса изменения напряжения в момент времени t .

Показатель КЭ, относящийся к колебаниям напряжения, – размах изменений напряжения. Предельно допустимое значение установившегося отклонения напряжения δU и размаха изменений напряжения δU_t в точках присоединения к электрическим сетям напряжением 0,38 кВ равно $\pm 10\%$ от номинального. Электроприемники, характеризующиеся импульсным, нелинейным и резкопеременным режимами, являются источниками колебаний напряжения. При их работе наблюдаются значительные изменения активной (0,05–1,2) $P_{ном}$ и особенно реактивной мощности. В итоге в СЭС происходит рост потерь электроэнергии, снижается надежность работы электроприемников. Размах изменения напряжения δU_t вычисляют по формуле (6) (рис. 6):

$$\delta U_t = (U_{t1} - U_{t2}) / U_{ном} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где U_{t1} , U_{t2} – значения следующих один за другим экстремумов и горизонтального участка огибающей среднеквадратичных значений напряжений основной частоты, определенных на каждом полупериоде основной частоты (рис. 6).

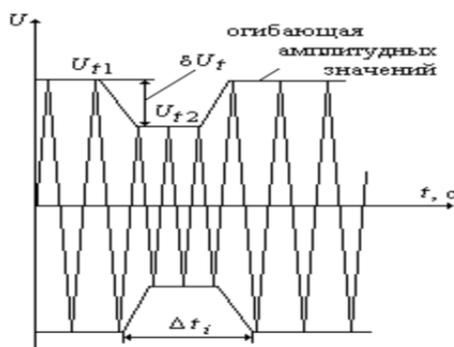


Рис. 6. Размах изменения напряжения
Fig. 6. Voltage swing

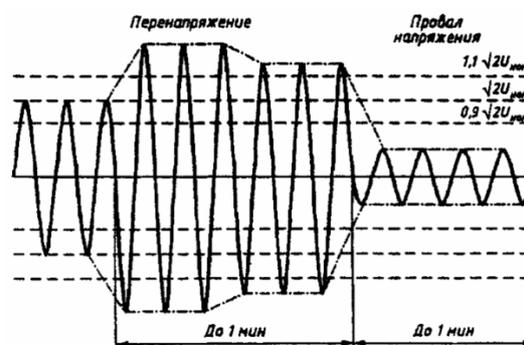


Рис. 7. Провалы и перенапряжения
Fig. 7. Dips and overvoltages

Частоту повторений изменений напряжения $F_{\delta U_t}$ (c^{-1}) при периодических колебаниях напряжения вычисляют по (7):

$$F_{\delta U_t} = \frac{m}{T}, \quad (7)$$

где m – число изменений напряжения за время T .

Для нагрузки в узле электрической сети размах колебаний напряжений может быть определен по выражению:

$$\delta U \approx 10 \frac{\Delta Q_H x_{кз}}{U^2} \approx 10 \frac{\Delta Q_H}{S_{кз}}, \quad (8)$$

где ΔQ_H – величина изменения реактивной мощности.

Распространяясь по электрической сети, колебания напряжения оказывают негативное воздействие на потребителей электроэнергии, особенно на системы освещения [1].

Провалы и перенапряжения. Провал напряжения связан с коротким замыканием или иным резким возрастанием тока в электроустановке, подключенной к электрической сети. Перенапряжения обусловлены переключениями и отключениями нагрузки. Они могут возникать между фазными или фазными и защитным проводниками. Провал и перенапряжение – это электромагнитная помеха, ее интенсивность определяется как напряжением, так и длительностью, которая может достигать 1 мин (рис. 7 и табл. 2).

Таблица 2. Классификация провалов напряжения

Table 2. Voltage dips classification

Остаточное напряжение u , %, опорного напряжения	Длительность провала (прерывания) напряжения $\Delta t_{п}$, с					
	$0,01 < \Delta t_{п} \leq 0,2$	$0,2 < \Delta t_{п} \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t_{п} \leq 1$	$1 < \Delta t_{п} \leq 5$	$5 < \Delta t_{п} \leq 20$	$20 < \Delta t_{п} \leq 60$
$90 > u \geq 85$						
$85 > u \geq 70$						
$70 > u \geq 40$						
$40 > u \geq 10$						
$10 > u \geq 5$						

Для систем среднего напряжения ожидаемая величина перенапряжения зависит от типа заземления в системе. Так, в системах с жестко заземленной нейтралью или с заземлением нейтрали через сопротивление перенапряжение обычно не превышает $1,7 U_c$, а с изолированной нейтралью или с заземлением нейтрали через реактор оно чаще всего не более $2,0 U_c$. [6].

Основное количество электроприводов в СЭЭС – это электроприводы на основе асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, в первую очередь обеспечивающих эксплуатацию судовых энергетических установок: насосов, компрессоров и пр. [4, 6]. Их эксплуатация осуществляется в продолжительном, кратковременном или повторно-кратковременном режимах и сопровождается частыми пусками. Электромеханические процессы в момент пуска электроприводов характеризуются значительными бросками токов, моментов [4]. Таким образом, они являются основными кондуктивными ЭМП в СЭЭС. Ниже рассмотрим процессы при пуске такого электропривода [8]. На рис. 8 приведены полная и T-образная схемы замещения асинхронного электродвигателя.

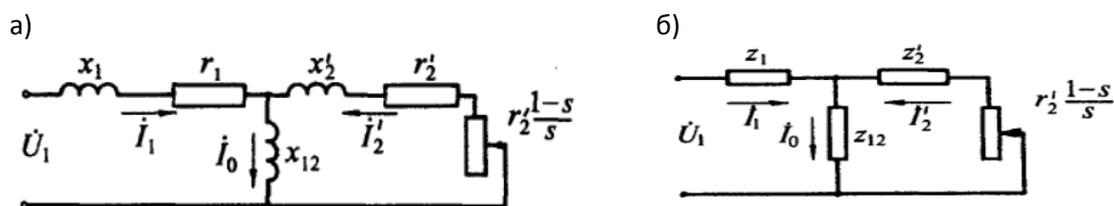


Рис. 8. Схемы замещения асинхронного электродвигателя;
а) – полная; б) Т-образная

Fig. 8. Equivalent circuits of an asynchronous electric motor; а) – full; б) T-shaped

Здесь $r_1, (r_2)'$ – соответственно активное сопротивление обмотки статора и приведенное активное сопротивление обмотки ротора; $x_1, (x_2)'$ – соответственно индуктивное сопротивление обмотки статора и приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора; s – скольжение.

Величины токов статора (I_1) и ротора (I_2) с учетом схем замещения определяются по выражениям:

$$I_1 = I_0 + (-I_2)'; \tag{9}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_1 \frac{z_{12} + z'_{23}}{z_1 z_{12} + z_{12} z'_{23} + z_1 z'_{23}} = \dot{U}_1 \frac{1 + \frac{z'_{23}}{z_{12}}}{z_1 + C_1 z'_{23}}; \tag{10}$$

$$-\dot{I}'_2 = \dot{U}_1 \frac{z_{12}}{z_1 z_{12} + z_{12} z'_{23} + z_1 z'_{23}} = \dot{U}_1 \frac{1}{z_1 + C_1 z'_{23}}, \tag{11}$$

где C_1 – комплексный коэффициент.

В момент пуска электродвигателя при скольжении, равном единице, активная мощность на валу электродвигателя равна нулю. Ток статора электродвигателя имеет практически индуктивный характер, так как сумма индуктивных сопротивлений обмоток статора и ротора $(x_1 + (x_2)')$ значительно больше суммы активных сопротивлений $(r_1 + (r_2)')$. Причем этот пусковой ток в несколько раз превышает номинальное значение тока электродвигателя (рис. 9).

$$(P_2 = 3((I_2)')^2 (r_2)' (1-s)/s) = 0. \tag{12}$$

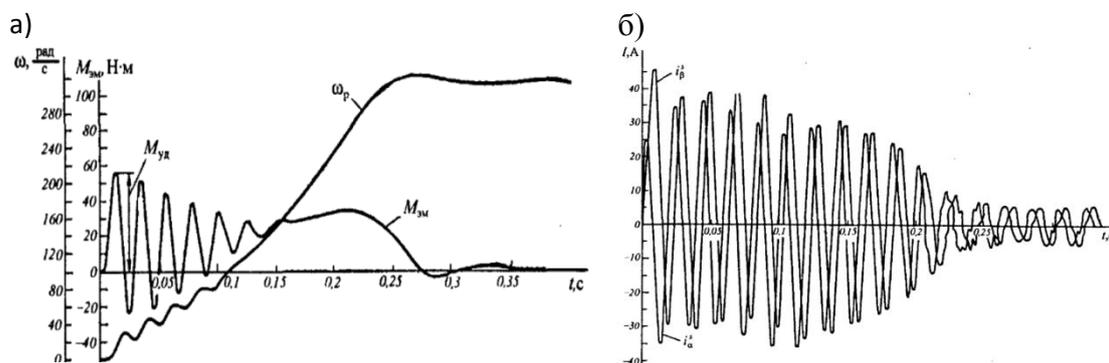


Рис. 9. Пуск асинхронного двигателя 4А10084УЗ на холостом ходу ($M_C=0$).

Осциллограммы: а) скорости и момента; б) тока статора

Fig. 9. Start of an asynchronous motor 4A10084UZ at idle speed ($M_C = 0$).

Oscillograms: а) speed and torque; б) stator current

Это приводит к падению напряжения в питающих линиях. Величину напряжения U_2 на зажимах приемника (P_n и Q_n) определяют по формуле (13):

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 - \left[\frac{P_n r_{12} + Q_n x_{12}}{U_{ном}} + j \frac{P_n x_{12} - Q_n r_{12}}{U_{ном}} \right], \quad (13)$$

где r_{12} и x_{12} – соответственно активное и индуктивное сопротивления электрической цепи.

При индуктивной нагрузке реакция якоря синхронного генератора продольно-размагничивающая, и магнитный поток реакции якоря (F_a) замыкается по тем же путям, как и поток возбуждения (F_f), что приводит к уменьшению результирующего магнитного поля в генераторе (рис. 10, б), снижению напряжения на зажимах дизель-генератора в отличие от воздействия поперечной реакции якоря (рис. 10, а).

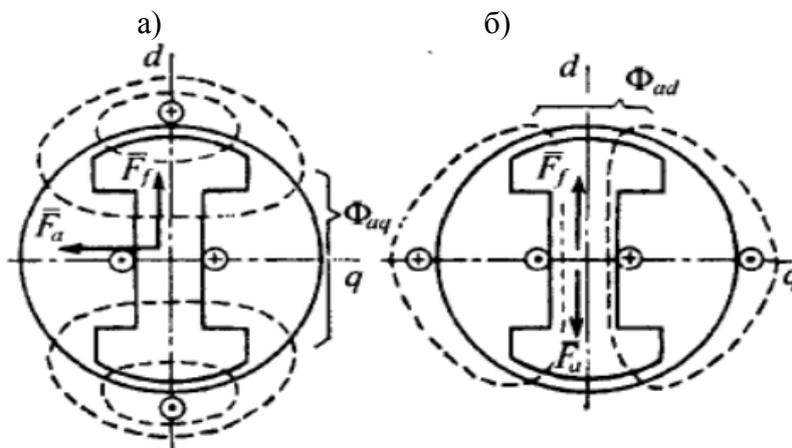


Рис. 10. Поля поперечной (а) и продольной (б) реакции якоря синхронного генератора

Fig. 10. Fields of transverse (a) and longitudinal (б) reactions of the armature of a synchronous generator

С целью исследования ЭМП, обусловленных работой судового силового электрооборудования, создана лабораторная модель с источниками ЭМП (рис. 11). Для измерения и регистрации параметров электрической энергии использованы прибор по измерению ПКЭ Fluke-434 и цифровой осциллограф Owon DS 6062.

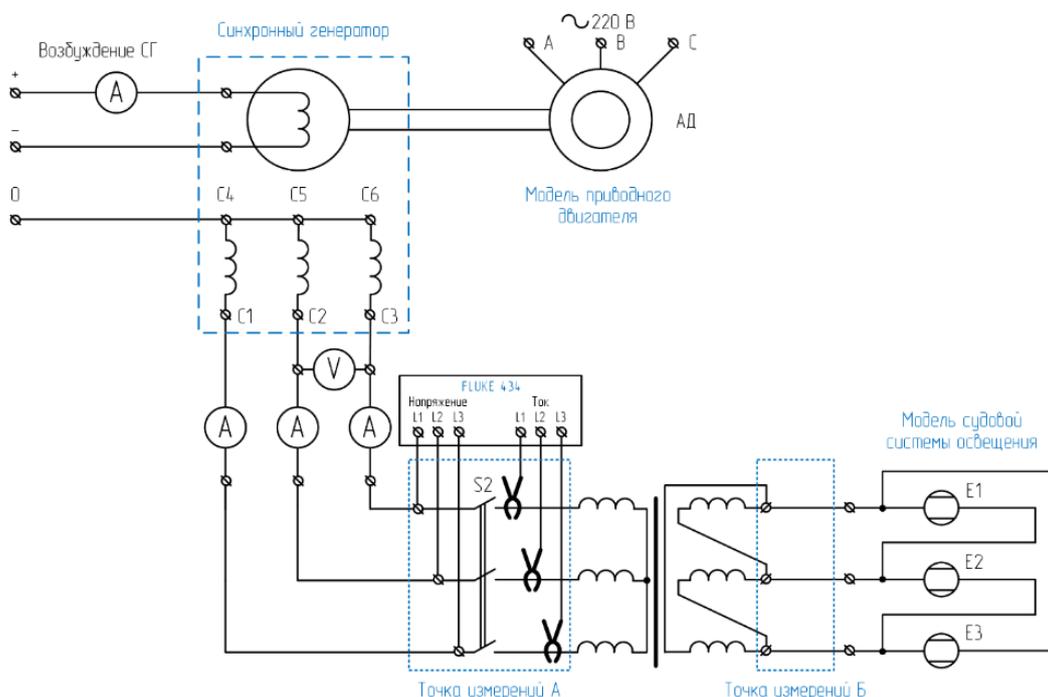


Рис. 11. Лабораторная модель судовой электростанции с источниками ЭМП
 Fig. 11. Laboratory model of a ship power plant with EMF source

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дан теоретический анализ электромагнитных помех, обусловленных эксплуатацией электрооборудования судовых энергетических установок и их элементов. С целью проведения исследований и оценки рекомендаций по снижению уровня электромагнитных помех, вызванных работой судового силового электрооборудования, создана лабораторная модель с источниками электромагнитных помех.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90128\20.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Управление качеством электроэнергии / под ред. Ю. В. Шарова. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.
2. Хабигер, Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике / Э. Хабигер: пер. с нем. И. П. Кужекина; Под ред. Б. К. Максимова. – Москва: Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.
3. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / под ред. А. Ф. Дьякова. – Москва: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
4. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование». НД № 2-020101–138. – Санкт-Петербург. – 2021.

5. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: нац. стандарт Российской Федерации : изд. офиц. : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по тех. регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400-ст : введ. впервые : дата введ. 2014-07-01 / разработ. ООО «ЛИНВИТ» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств». – Москва: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

6. Качество электрической энергии на судах: справочник / В. В. Шейникович, О. Н. Климанов, Ю. И. Пайкин, Ю. Я. Зубарев. – Ленинград: Судостроение, 1988. – 160 с.

7. ГОСТ 13109–87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения: гос. стандарт Союза ССР: изд. офиц. : утв. и введен в действие Постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 16 декабря 1987 № 4566 : введ. впервые : дата введ. 1989-01-01 / разработ. Министерством энергетики и электрификации СССР. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 23 с.

8. Копылов, И. П. Электрические машины: учебник для вузов / И. П. Копылов. – Москва: Логос, 2000. – 320 с.

REFERENCES

1. *Upravleniye kachestvom elektroenergii* [Power quality management]. Moscow, “MEI” Publ., 2006, 320 p.

2. Habiger E. *Elektromagnitnaya sovместimost'. Osnovy yeye obespecheniya v tekhnike* [Electromagnetic compatibility. Fundamentals of its provision in technology]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1995, 304 p.

3. *Elektromagnitnaya sovместimost' v elektroenergetike i elektrotekhnike* [Electromagnetic compatibility in electrical power and electrical engineering]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2003, 768 p.

4. *Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov* [Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships]. vol. XI “Elektricheskoe oborudovanie”, DOI: 2-020101–138, Saint-Petersburg, 2021.

5. State Standard 32144–2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 19 p. (In Russian).

6. Sheynikhovich V. V. *Kachestvo elektricheskoy energii na sudakh: spravochnik* [Electricity quality on ships: handbook]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1988, 160 p.

7. State Standard 13109–87. Electrical energy. Requirements for quality of electrical energy in general-purpose electrical networks. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1988, 23 p. (In Russian).

8. Kopylov I. P. *Elektricheskiye mashiny: uchebnyy dlya vuzov* [Electric machines: textbook for universities]. Moscow, Logos Publ., 2000, 320 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белей Валерий Феодосиевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой электрооборудования судов и электроэнергетики; E-mail: vbeley@klgtu.ru

Beley Valeriy Feodosievich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Technical Sciences; Professor; Head of the Department of Electrical Equipment of Ships and Electric Power Engineering; E-mail: vbeley@klgtu.ru

Брижак Роман Олегович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики; E-mail: brizhak12@gmail.com

Brizhak Roman Olegovich – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student of the Department of Electrical Equipment of Ships and Electric Power Engineering; E-mail: brizhak12@gmail.com

УДК 624.012

DOI 10.46845/1997-3071-2021-63-116-127

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ БОРТОВЫХ
ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ РАЗНОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЖЕНИЯ

А. И. Притыкин

ELASTO-PLASTIC DEFORMATION OF THE BOARD ASSEMBLIES
UNDER DIFFERENT LOADING

A. I. Pritykin

Приведены результаты деформирования бортовых перекрытий с регулярно расположенными шпангоутами и одним стрингером при действии распределенных ледовых нагрузок и нагрузок при швартовках. Исследования проводились численным методом с использованием программного комплекса ANSYS по специально разработанной автором программе. В настоящее время в литературе нет данных, позволяющих оценить напряженно-деформированное состояние перекрытий ни в упругой, ни тем более в упругопластической области. Имеющиеся теоретические решения относятся в основном к расчету перекрытий с нагрузкой, равномерно распределенной по всей площади обшивки, в то время как большинство остаточных деформаций в них обусловлены ледовыми или швартовными нагрузками, действующими на ограниченных площадях. Рассмотрен характер деформирования связей перекрытий и образования пластических шарниров при разных схемах воздействия нагрузок на перекрытия. Диаграмма нагружения задается в билинейной форме с модулем упрочнения в сто раз меньшим модуля упругости. Расчету на ледовые нагрузки, приложенные по линии бортового стрингера, подвергается реальное бортовое перекрытие ледокола типа Oden. Установлено, что наиболее нагруженными зонами шпангоутов, где появляются первые пластические деформации, являются их сечения на опорном контуре. Из-за большой ширины присоединенного пояса обшивка у контура перекрытия практически никогда не переходит в пластическое состояние. Единственным слабым местом последней является ее продавливание при швартовках в открытом море, в результате чего появляется гофрировка типа «худая лошадь». Выполненные расчеты позволяют оценить порядок прогибов при упругопластическом деформировании перекрытий, которые невозможно подсчитать аналитически.

перекрытие, шпангоуты, стрингер, ледовая нагрузка, нагрузка при швартовках, пластический шарнир, предельная нагрузка, МКЭ

The paper presents the results of deformation of board assemblies with regular located frames and one stringer under action of distributed ice loads and mooring loads in open sea. Investigations were performed by numerical methods using program complex ANSYS and using the program specially elaborated by the author. At present, literature lacks data that allows for evaluation of stress state of grillage neither in elastic

nor in elasto-plastic stage of loading. Available theoretical solutions relate basically to calculation of grillages under universally distributed load on the whole area of grillage plating, although most part of residual deformations are caused with ice loads or by mooring loads, acting on limited areas. The paper considers the character of deformations of ties of grillages and appearance of plastic hinge under different scheme of action of loads on grillages. The diagram of loading is represented in a bilinear form with modulus of strengthening in 100 times less the modulus of elasticity. Real board grillage of Oden-type icebreaker under ice pressure at level of board stringer has been considered. It has been found that most loaded zones of frames are their support sections. Because of big width of associated plate, the shell plating near the contour of grillage practically never turns to plastic condition. The only weak place of plating is their deformation under mooring at open sea, which results in appearance of corrugation. Performed calculations allow us to evaluate order of deflections under elasto-plastic deformations of grillages which is impossible to calculate analytically.

grillage, frames, stringer, ice load, mooring load, plastic hinge, limit load, FEM

ВВЕДЕНИЕ

В качестве одного из параметров, характеризующих опасное состояние поврежденной конструкции, выступает величина остаточных деформаций. Ее допустимые значения отыскиваются на основании эмпирического опыта и физических представлений об особенностях работы конструкции в процессе развития пластических деформаций [1]. При расчете прочности в настоящее время используется так называемый критерий фибровой текучести, устанавливающий равенство максимальных номинальных напряжений пределу текучести материала, т. е. появление первых пластических деформаций в наиболее напряженной точке конструкции. Однако понятно, что исключение текучести должно производиться только в отношении номинальных напряжений, определяемых без учета концентрации. В локальных зонах с концентрацией напряжений при этом допустимо развитие пластических деформаций. Существующая практика оценки технического состояния корпусов эксплуатирующихся судов, базирующаяся на обобщении обширного эмпирического опыта Регистра, описанная А. И. Максимаджи и др. [2], допускает повреждения в виде остаточных деформаций со стрелками остаточных прогибов в несколько процентов от длины свободного пролета конструкции.

Аналитическое описание упругопластического деформирования и предельного состояния судовых перекрытий связано со значительными математическими трудностями, обусловленными наличием физической и геометрической нелинейностей, поэтому наиболее эффективным способом получения информации об упругопластическом деформировании конструкции является метод конечных элементов (МКЭ), реализованный, например, в программном комплексе ANSYS. Данные, полученные МКЭ, помогут дальнейшему развитию аналитических методов, которые гораздо удобнее для инженерных расчетов, чем численные.

Как отмечается в работе Е. М. Апполонова [1], нахождение предельной нагрузки перекрытий для сложных конструктивных схем и способов нагружения следует осуществлять на основании численных алгоритмов. Аналитический путь решения задачи, как правило, применим только для достаточно простых расчетных схем.

Для использования аналитического метода определения предельной нагрузки перекрытия необходимо установить все возможные пластические механизмы перехода перекрытия в предельное состояние; сформулировать допущения о распределении поперечной нагрузки между пересекающимися связями перекрытия (что сделать весьма проблематично); установить местоположение пластических шарниров в пролете и на контуре деформированной зоны перекрытия; найти предельную комбинацию внешней нагрузки и узловых реакций, переводящую связь в предельное состояние, и т. д. Понятно, что такой расчет является довольно трудоемким. Гораздо проще получить решение МКЭ при наличии разработанной программы [3] и соответствующей квалификации оператора.

Бортовые перекрытия в процессе эксплуатации подвергаются различного рода силовым воздействиям. В большинстве случаев повреждения бортовых конструкций являются следствием действия интенсивных локально распределенных нагрузок – усилий со стороны кранцев при швартовках в открытом море, случайных навалов на причальную стенку, ледовых нагрузок и т. п. Поскольку бортовые перекрытия получают остаточные деформации, то целесообразно рассмотреть несущую способность их для определения запасов прочности и выработки конструктивных решений, повышающих надежность эксплуатации судов. При этом важно знать действующие на бортовые перекрытия корпуса судна усилия в ходе его эксплуатации.

Целью настоящей работы было получение информации о зонах образования пластических шарниров и установление характера упругопластического деформирования бортового перекрытия при разном характере нагружения, обусловленном действием кранцевой защиты и ледовых нагрузок.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования выбраны жестко защемленные по контуру бортовые перекрытия с регулярно расположенными шпангоутами и одним стрингером, на которые действует равномерно распределенная по части площади нагрузка (рис. 1).

Исследования проводились МКЭ с использованием программного комплекса ANSYS, позволяющего универсально определить характер распределения напряжений и деформаций в конструкции любой сложности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Деформации перекрытий при ледовых нагрузках

Статистика повреждений бортовых конструкций показывает [4–7], что большая их часть обусловлена швартовками или повреждениями от ледовых нагрузок. Согласно Морскому Регистру РФ [8] условная ледовая нагрузка определяется тремя параметрами: давлением p , длиной l и высотой b её распределения. В районе VI расчётное ледовое давление вычисляется по формуле

$$p_{VI} = 1500a_3\sqrt[6]{D/1000} \text{ [кПа]}, \quad (1)$$

где a_3 – коэффициент, который берется из табл. 3.5 в [8]; D – водоизмещение по летнюю грузовую ватерлинию, т.

Например, для судна водоизмещением $D = 20000$ т и $a_3 = 0.22$ получим из (1)

$$p_{BI} = 1500 \cdot 0.22 \sqrt[6]{20000/1000} = 0.544 \text{ МПа}.$$

Ледовые нагрузки по высоте перекрытия принимаются в пределах

$$b_B = C_3 k_\Delta, \quad (2)$$

где C_3 – коэффициент, определяемый по табл. 3.5 в [8]; $k_\Delta = \sqrt[3]{D/1000}$, но не более 3.5 [8]; D – водоизмещение судна, т.

Так, для судна водоизмещением $D = 20000$ т и $C_3 = 0.27$ находим из (2)

$$b_B = 0.27 \cdot \sqrt[3]{20000/1000} = 0.73 \text{ м}.$$

Длина распределения ледовой нагрузки

$$l_B^H = 6b_B, \quad (3)$$

но не менее $3\sqrt{k_\Delta}$. Подставляя $b_B = 0.73$ м в (3), получим $l_B^H = 6 \cdot 0.73 \approx 4.4$ м. Вычисление по $3\sqrt{k_\Delta}$ приводит к значению $3\sqrt[6]{20000/1000} = 4.94$ м. Следовательно, принимаем $l_B^H = 4.94$ м.

Эмпирические формулы по нахождению предельных нагрузок перекрытий, содержащиеся в Справочниках [9, 10], относятся к вариантам нагружения равномерно распределенной нагрузкой по всей площади перекрытия. В данной работе рассматриваются случаи нагружения перекрытий нагрузкой, действующей в пределах определенной полосы, обусловленной либо толщиной ледяного поля, либо шириной отпечатка кранца.

Следует отметить, что максимальная ледовая нагрузка ограничивается предельной прочностью льда при сжатии, растяжении и сдвиге, причем механические характеристики льда могут изменяться в широком диапазоне в зависимости от условий его образования и сил, действующих на ледовые поля. Предельная прочность льда при разрушении обычно не превышает $\sigma_y = 2.4 \text{ Н/мм}^2$. При оценке прочности бортовых конструкций в качестве эквивалентных напряжений, вызывающих текучесть материала, принимаются напряжения по Мизесу. Как отмечено в работе Е. М. Апполонова [1], этот критерий является наиболее подходящим для конструкционных сталей корпусов судов.

Таким образом, расчетная нагрузка на бортовое перекрытие определяется зависимостями (1)–(3). Допускаемые рабочие напряжения в бортовых шпангоутах, как и в обшивке, предполагаются равными пределу текучести материала. Практика эксплуатации судов в ледовых условиях показывает, что реальные нагрузки значительно меньше тех, которые соответствуют разрушению льда.

Безопасные размеры шпангоутов чаще всего определяются на основе расчетных нагрузок, найденных для бортового перекрытия. Поперечная система набора – наиболее рациональная для бортовых перекрытий ледоколов и судов ледового плавания.

Для обеспечения прочности бортового перекрытия совершенно необходимыми элементами конструкции становятся бортовые стрингеры, способствующие разнесению распределенной нагрузки на большую длину. Бортовой стрингер обеспечивает необходимую опору шпангоуту, чтобы выстоять расчетным нагрузкам.

Согласно Германскому Ллойд [11] типичное распределение давления льда вследствие различной изгибной жесткости шпангоутов и обшивки корпуса носит синусоидальный характер: максимальное давление p_{\max} воздействует на шпангоуты, а минимальное p_{\min} – на обшивку между шпангоутами. В данной работе при расчетах МКЭ нагружение от давления льда осуществлялось равномерно распределенной нагрузкой по толщине льда в районе стрингера.

В общем случае для описания перекрытия, имеющего балки только одного направления, будем использовать обозначение $L-l-b_b-t_b-h_w-t_w-b_f-t_f-n$, где приняты параметры $L-l$ – длина и ширина перекрытия; b_b-t_b – ширина присоединенного пояска и толщина бортовой обшивки соответственно; h_w-t_w – высота и толщина стенки шпангоута; b_f-t_f – ширина и толщина фланца шпангоута; n – число шпангоутов. Все рассматриваемые перекрытия регулярные, т. е. с одинаковыми шпангоутами, расположенными на равных расстояниях друг от друга и имеющими одинаковые заделки на опорах. При известной длине перекрытия и числе шпангоутов n величина шпации определялась как $b_b = L/(n+1)$.

На рис. 1 показаны результаты расчета перекрытия размерами 3000–2000–500–14–200–8–60–12 мм–5 со стрингером 300–12–140–14 мм под действием ледовой нагрузки, распределенной по полосе, равной толщине льда $t = 400$ мм по всей длине перекрытия (рис. 1, а). Общий характер деформирования показан на рис. 1, б, где видно, что обшивка получает деформации только в районе относительно узкой полосы приложения нагрузки, а вот в стрингере в опорных сечениях при нагрузке $p_y = 2.48$ Н/мм² образуются пластические шарниры (рис. 1, в). Стенки всех шпангоутов вдоль опорного контура за исключением узкой зоны, примыкающей к присоединенному пояску, почти полностью переходят в пластическое состояние, причем наиболее нагруженным оказывается средний шпангоут. Дальнейшее увеличение нагрузки до уровня $p_y = 2.79$ Н/мм² (рис. 1, г) приводит к значительному росту напряжений в обшивке и возрастанию прогибов перекрытия.

Что касается обшивки, то текучести в ней не наблюдается. Расчеты производились при размерах конечных элементов $\Delta_{КЭ} = 80$ мм, модуле упругости $E = 210$ ГПа и секущем модуле $E_t = 0.01E$. Максимальный прогиб перекрытия при нагрузке $p_y = 2.48$ Н/мм² составил $w_{\max} = 3.26$ мм (рис. 1, в).

Рассмотрим вариант реального бортового перекрытия ледокола Oden [10], у которого размеры перекрытия такие: толщина обшивки $t_b = 30$ мм, шпация в средней части судна $s = 800$ мм, стенка шпангоута $h_w-t_w = 250$ мм–14 мм; полка шпангоута $b_f-t_f = 90$ мм–14 мм. Размеры стенки стрингера $h_s-t_s = 650$ мм–12 мм; полка стрингера $b_s-t_s = 200$ мм–15 мм. Расстояние между стрингерами составляло $a_s = 1200$ мм. Длину перекрытия примем равной $L = 5600$ мм, а ширину $l = 2400$ мм. При нагружении бортового перекрытия ледовой нагрузкой будем моделировать ее линейной распределенной, действующей на стрингер в пределах пяти шпаций (рис. 2, а).

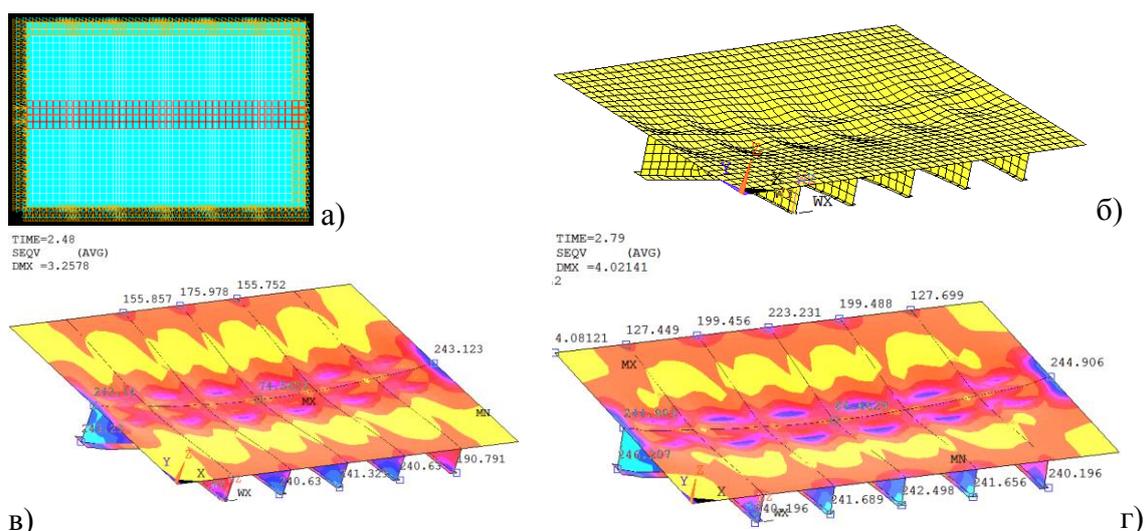


Рис. 1. Перекрытие 3000–2000–500–14–200–8–60–12 мм–5 со стрингером 300–12–140–14 мм: а – общий вид нагружения; б – характер деформирования; в – деформирование при $p_y = 2.48 \text{ Н / мм}^2$; г – деформирование при $p_y = 2.79 \text{ Н / мм}^2$

Fig. 1. Grillage 3000–2000–500–14–200–8–60–12 mm–5 with stringer 300–12–140–14 mm: а – view of loading; б – deformation character; в – deformation under $p_y = 2.48 \text{ N / mm}^2$; г – deformation under $p_y = 2.79 \text{ N / mm}^2$

Из рис. 2, б видно, что при действии равномерно распределенной нагрузки $q_y = 1416 \text{ кН / м}$, приложенной по линии на уровне стрингера на длине пяти шпангоутов между шпангоутами, имеет место текучесть стенок шпангоутов в опорных сечениях. В 1-м и 6-м шпангоутах напряжения по Мизесу достигают 240 МПа. Локальное деформирование обшивки не приводит к появлению зон текучести в ней: уровень напряжений хоть и высокий, но не превышает 226 МПа. Деформация стрингера (рис. 2, в) показывает, что полная текучесть стенки стрингера наблюдается в двух сечениях – в местах пересечения стрингера с 1-м и 6-м шпангоутами. Это фактически зоны образования пластических шарниров в стрингере.

Если перевести распределенную нагрузку по длине $q_y = 1416 \text{ кН / м}$ в распределенную нагрузку по площади $p_y = q_y / t$, предполагая, что толщина льда составляет $t = 1000 \text{ мм}$, то получим эквивалентную ледовую нагрузку $p_y = 1.42 \text{ Н / мм}^2$, т. е. фактически прочность корпуса судна на миделе обеспечивается при толщине льда 1 м. Максимальный прогиб перекрытия при этом составляет $w_{\max} = 7.66 \text{ мм}$ (рис. 2, г).

Сопоставляя полученные результаты МКЭ с данными по зависимостям (1)–(3), приведенным выше, можем констатировать, что несущая способность бортового перекрытия превышает параметры, задаваемые проектировщиком, так как даже при толщине льда $b_B = 1 \text{ м}$, а не $b_B = 0,73 \text{ м}$, как в (3), не наблюдается текучести обшивки.

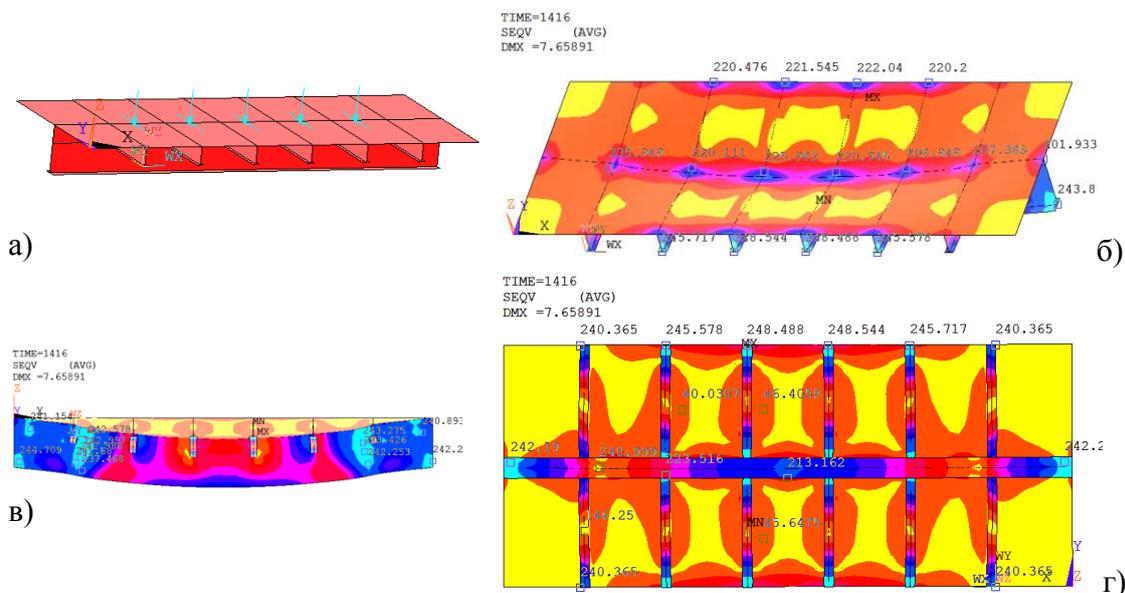


Рис. 2. Перекрытие 5600–2400–800–30–250–14–90–14 mm–6, нагруженное по линии стрингера: а – вид нагружения; б – напряженное состояние; в – напряжения в стрингере; г – распределение напряжений со стороны балок

Fig. 2. Grillage 5600–2400–800–30–250–14–90–14 mm–6 loaded along the stringer: а – loading; б– stress state; в – stress state of stringer; г – reverse side of stress state

Деформации перекрытий при нагружении через кранцы

Статистика повреждений бортовых конструкций показывает [4–7], что для промысловых судов большая их часть обусловлена швартовками в открытом море на волнении. Эти повреждения сосредоточены главным образом в районах расположения штатной кранцевой защиты корпусов судов выше уровня переменной ватерлинии. Согласно требованиям Германского Ллойда [11] нагрузки на бортовые перекрытия от кранцев рассчитываются по зависимости

$$P_f = 0.5Dv^2 / f, \quad (4)$$

где D – водоизмещение судна, соответствующее осадке (t); $D_{\max} \leq 100000$ t ; f – прогиб кранца или пала (m); v – скорость судна при швартовке (m/s).

Если неизвестны более точно значения f и v , то усилие P_f , вызываемое кранцем для судов в диапазоне водоизмещений $2100 < D \leq 17000$ t , может быть приближенно принято равным

$$P_f = 170 \text{ кН}. \quad (5)$$

Поскольку кранец более-менее равномерно передает нагрузку на перекрытие, то величина давления, приходящегося на обшивку p_f , в зависимости от площади A соприкосновения с кранцем определится как

$$p_f = P_f / A. \quad (6)$$

При оценке прочности перекрытия требуется обеспечить прочность балок и обшивки. У судов с поперечной системой набора обшивка проектируется как состоящая из элементарных полос, заземленных на шпангоутах. Если шпация равна a , среднее давление на обшивку от кранца $p_f (H / мм^2)$, то в предположении, что допускаемые напряжения в районе опорных сечений балок-полосок не превышают предела текучести материала, получим

$$p_f a^2 / 12 \leq \sigma_y W, \quad (7)$$

где $W = t_b^2 / 6$ – момент сопротивления элементарной полоски, заземленной на концах. Следовательно, толщина наружной обшивки в зоне швартовок вычисляется как

$$t_b = a \sqrt{p_f / 2\sigma_y}, \quad (8)$$

где $\sigma_y = 240 H / мм^2$ – предел текучести стали.

Учитывая соотношения (5)–(8), определим толщину наружной обшивки t_b для перекрытия размерами – с одним стрингером в зоне действия швартовных нагрузок

$$t_b = 500 \sqrt{(170 \cdot 10^3 / 500 \cdot 1000) / (2 \cdot 240)} \approx 14 \text{ мм}. \quad (9)$$

При нагружении перекрытия через кранцы возможно разное ее распределение по площади перекрытия. Поэтому ниже будут рассмотрены варианты нагружения, затрагивающего две шпации (рис. 3, а), четыре шпации (рис. 5, а) и шесть шпаций (рис. 6, а).

Приняв размеры стрингера 300–12–140–14 мм, проверим прочность указанного перекрытия расчетом МКЭ с помощью программного комплекса ANSYS по разработанной программе [3]. На рис. 3, а представлена схема нагружения жестко заделанного по контуру перекрытия равномерно распределенной нагрузкой на длине двух шпаций по всей высоте перекрытия, а на рис. 3, б приведена схема его деформирования.

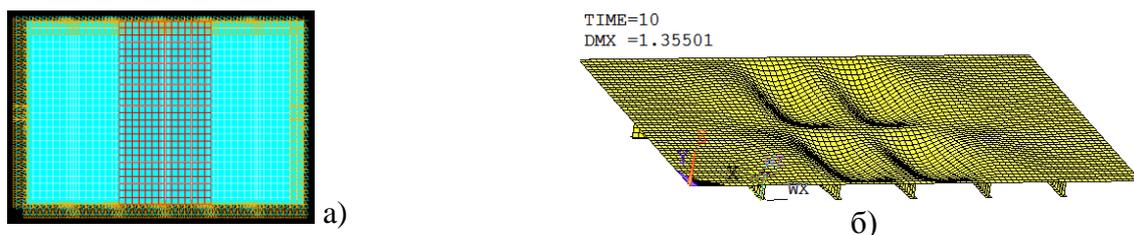


Рис.3. Нагружение перекрытия через кранцы: а – зона нагружения; б – деформированное состояние

Fig.3. Loading of grillage via fenders: а – zone of loading; б – deformed state

На рис. 4, а показано распределение напряжений в обшивке по ширине шпации, которое подтверждает приемлемость теории цилиндрического изгиба удлиненных пластин к оценке напряжений в них: в районе заделки σ_x немного ниже предела текучести и равно $\sigma_{\max} = 224 H / мм^2$, а в середине шпации, как и следует из теории, напряжения составляют половину их величины на опоре, т. е. $\sigma_{\min} \approx -124.2 H / мм^2$.

Сравнивая схемы напряженного состояния, видим, что теперь текучесть в опорных сечениях наблюдается уже у трех внутренних шпангоутов. Крайние шпангоуты – первый и пятый – находятся в упругом состоянии, напряжения в их свободных полках не превышают 213 МПа. В стрингере напряжения также не достигают предела текучести. Таким образом, наиболее нагруженными оказываются промежуточные шпангоуты в опорных сечениях.

При передаче нагрузки через кранец на всю обшивку перекрытия (рис. 6, а) предельная нагрузка сохраняет то же значение $p_y = 0.612 \text{ Н/мм}^2$ (рис. 6, б), как и для четырех нагруженных шпаций. Но теперь уже и в свободных поясках крайних шпангоутов на опорах возникает текучесть, хотя в их присоединенных поясках напряжения по Мизесу не превышают 182 МПа.

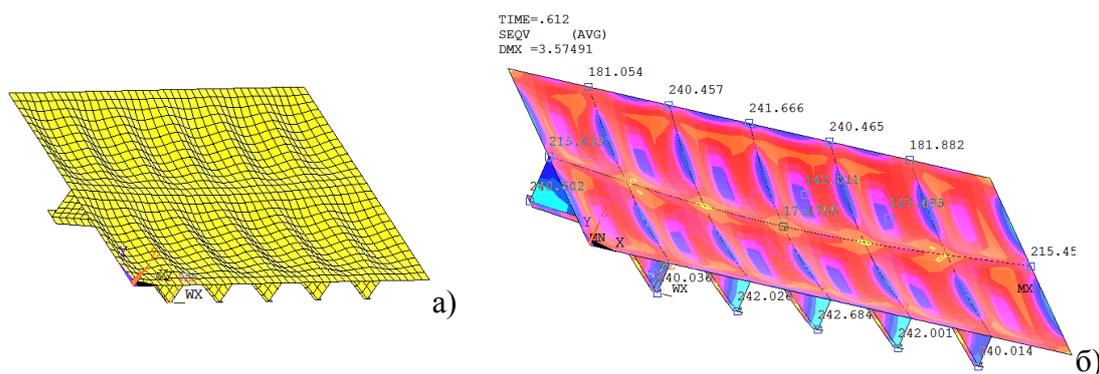


Рис. 6. Предельная нагрузка от кранца от кранца на шести шпациях:
 а – общий вид деформации; б – распределение напряжений
 Fig. 6. Limit load of grillage via fenders on six spaces: a – common view
 of deformation; б – stress distribution

Характерной особенностью является то, что появилась фибровая текучесть в опорных сечениях стрингера. Посредине его пролета никакой текучести не наблюдается. Что касается деформаций перекрытия, то максимальные прогибы во всех трех случаях очень близки: разница в них не превышает 2–10 %.

В следующей работе предполагается рассмотреть предельные нагрузки бортовых перекрытий с регулярно расположенными шпангоутами без стрингера.

ВЫВОДЫ

1. Полученные данные расчетов методом конечных элементов упругопластического деформирования бортового перекрытия при нагружении распределенной нагрузкой через кранцы позволили сделать вывод, что при нагружении ограниченного количества шпаций деформации достигают существенных величин только в зонах нагружения, т. е. соседние шпации остаются практически недеформируемыми.

2. При жесткой заделке контура перекрытия пластические шарниры образуются, прежде всего, в районе заделок шпангоутов и в узлах пересечения стрингеров со шпангоутами. Причем в силу несимметричного по высоте профиля балок из-за наличия присоединенного пояска пластического деформирования обшивки

достичь очень трудно при линейном характере упрочнения даже при секущем модуле, равном $E_t = 0.01E$.

3. Напряжения в обшивке при действии равномерно распределенной нагрузки через кранцы вполне соответствуют цилиндрическому изгибу, описываемому теорией изгиба пластин.

4. Если момент инерции стрингера в 5-6 раз превосходит момент инерции шпангоута, то такой стрингер позволяет существенно разгрузить шпангоуты при действии равномерно распределенной нагрузки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Апполонов, Е. М. Предельные нагрузки и упругопластическое деформирование судовых балочных конструкций / Е. М. Апполонов, О. В. Таровик. – Санкт-Петербург: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2012. – 128 с.

2. Оценка технического состояния корпусов морских судов / А. И. Максимаджи, Л. М. Беленький, А. С. Брикер, А. Ю. Неугодов. – Ленинград: Судостроение, 1982. – 156 с.

3. Притыкин, А. И. Программа GRILLAGE создания расчетной модели прямоугольного перекрытия / А. И. Притыкин, С. В. Тананыкин // Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2016660552 РФ от 16.09.2016.

4. Повреждения судовых конструкций / Н. В. Барабанов, Н. А. Иванов, В. В. Новиков, В. А. Окишев [и др.]. – Ленинград: Судостроение, 1977. – 400 с.

5. Varabanov, N. V. Structural design of sea-going ships / N. V. Varabanov. – Moscow: Mir publishers, 1976. – 464 с.

6. Гаврилов, М. Н. Повреждение и надежность корпусов судов / М. Н. Гаврилов, А. С. Брикер, М. Н. Эпштейн. – Ленинград: Судостроение, 1978. – 216 с.

7. Ершов, Н. Ф. Повреждения и эксплуатационная прочность конструкций судов внутреннего плавания / Н. Ф. Ершов, О. И. Свешников. – Ленинград: Судостроение, 1977. – 312 с.

8. Регистр РФ. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. II, Корпус. – Санкт-Петербург: 2016. – 196 с.

9. Справочник по строительной механике корабля: в 3 т. / под ред. О. М. Паляя. – Ленинград: Судостроение, 1982. – Т. 1. – 376 с.

10. Belenkiy, L. Handbook on Plastic Analysis in Engineering / L. Belenkiy, USA Backbone Publishing Co., 2006, 1055 p.

11. Германский Ллойд. Правила классификации и постройки морских судов. – Санкт-Петербург: Германишер Ллойд, 2007. – 300 с.

REFERENCES

1. Appolonov E. M., Tarovik O. V. *Predel'nye nagruzki i uprugoplasticheskoe deformirovanie sudovykh balochnykh konstruksiy* [Limit loads and elastic-plastic deformation of ship beam structures]. Saint-Petersburg, TSNII im. akad. A. N. Krylova, 2012, 128 p.

2. Maksimadzhi A. I., Belenkiy L. M., Briker A. S., Neugodov A. Ju. *Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya korpusov morskikh sudov* [Evaluation of technical state of sea-going ship hulls]. L., Sudostroenie, 1982, 156 p.
3. Pritykin A. I., Tananykin S. V. Programma GRILLAGE sozdaniya raschetnoy modeli pryamougol'nogo perekrytiya [GRILLAGE program for creation of the calculation model of rectangular grillage]. *Svidetel'stvo o gosregistratsii programmy dlya EVM*, no. 2016660552 RF ot 16.09.2016.
4. Barabanov N. V., Ivanov N. A., Novikov V. V., Okishev V. A., Chibiryak I. M. *Povrezhdeniya sudovykh konstruksiy* [Damage of ship structures]. L., Sudostroenie, 1977, 400 p.
5. Barabanov N. V. *Structural design of sea-going ships*. Moscow, Mir publishers, 1976, 464 p.
6. Gavrilov M. N., Briker A. S., Epshteyn M. N. *Povrezhdenie i nadezhnost' korpusov sudov* [Damage and safety of ship hulls]. L., Sudostroenie, 1978, 216 p.
7. Ershov N. F., Sveshnikov O. I. *Povrezhdeniya i ekspluatatsionnaya prochnost' konstruksiy sudov vnutrennego plavaniya* [Damage and exploitation strength of ship hulls of inner shipping]. L., Sudostroenie, 1977, 312 p.
8. *Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov* [Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships]. *Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva*, 2018, 209 p.
9. *Spravochnik po stroitel'noy mekhanike korablya* [Handbook on structural mechanics of ship]. L., Sudostroenie, 1982, vol. 1, 376 p.
10. Belenkiy L. *Handbook on Plastic Analysis in Engineering*. USA, Backbone Publishing Co., 2006, 1055 p.
11. *Germanskiy Lloyd. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov* [Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships]. Saint-Petersburg, Germanisher Lloyd, 2007, 300 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Притыкин Алексей Игоревич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, доцент; профессор кафедры кораблестроения; E-mail: prit_alex@mail.ru

Pritykin Aleksey Igorevich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Associate Professor; Professor of the Department of Shipbuilding; E-mail: prit_alex@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

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

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

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

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

Объем статьи

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

Структура статьи

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

– **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

Составные части статьи и порядок их следования

1. **Индекс** по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов)** (кегель 12, шрифт обычный).

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт нежирный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт нежирный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 1000–2000 знаков (200–250 слов). Запрещается использовать дословный текст из статьи во избежание повторов, название работы, а также таблицы, графики и внутритекстовые ссылки. В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т.п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg С».

7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** со строчной, через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация на английском языке** (кегель 12, обычный, слово «Аннотация» не указывается).

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

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** со строчной через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.**

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегель 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее семи источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.

2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.

2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 14–16.

2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова //

Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74–80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpru-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52–56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. научн. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29–32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York : Academic Press, 1967].

2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Патентные документы

Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. Рос. Федерация / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н. – № 2011138279/07; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. – 10 с.

Стандарты

ГОСТ Р 57618.1–2017. Инфраструктура маломерного флота. Общие положения : нац. стандарт Российской Федерации : изд. офиц. : утв. и введен в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 17 авг. 2017 г. № 914-ст : введ. впервые : дата введ. 2018-01-01 / разраб. ООО «Техречсервис». – М.: Стандартиформ, 2017. – IV, 7 с.

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. **Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.**

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit-online.ru/> и настроив перевод: **ё** → **yo**; **й** → **y**; **х** → всегда **kh**; **ц** → **ts**; **щ** → **shch**; **э** → **e** (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskikh chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

Timoshenko S. P., Yound D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

Патентные документы

Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. *Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel'* [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.

Стандарты

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).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе(ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы (аббревиатуру расшифровать) и город; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)31-39-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;
- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:
 - не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;
 - необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

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

Рисунки допускаются только черно-белые четкие, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь 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 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 Таб. 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: 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 (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется

писать а/в. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

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

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

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

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915 от 22.12.2011 г.

Подписной индекс 83871 в Объединенном каталоге «Пресса России»,
цена свободная

Редакторы: Е. В. Билко, Г. А. Смирнова, 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 31.10.2021. Выход в свет 01.11.2021. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 17,25. Уч.-изд. л. 11,0. Тираж 1000 экз. Заказ № 79.