

ИЗВЕСТИЯ

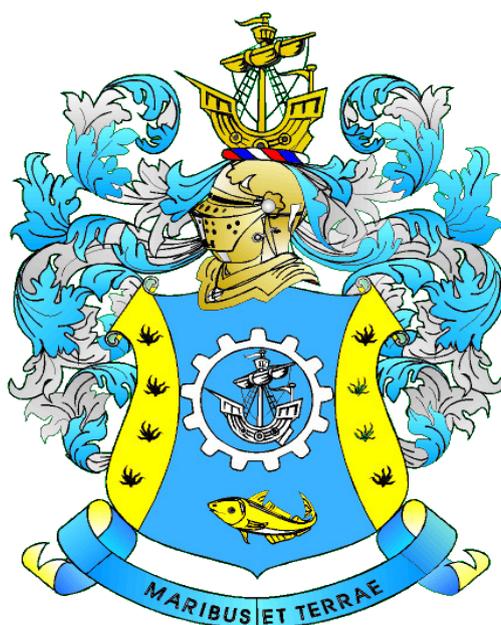
КГТУ

2021

№ 62

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных

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

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

«Известия КГТУ»
Учредитель: ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный
технический университет»

Научный журнал
Основан в 2002 г.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915 от 22 декабря 2011 г.

Редакционный совет:

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

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, проректор по научной и инновационной деятельности, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2021



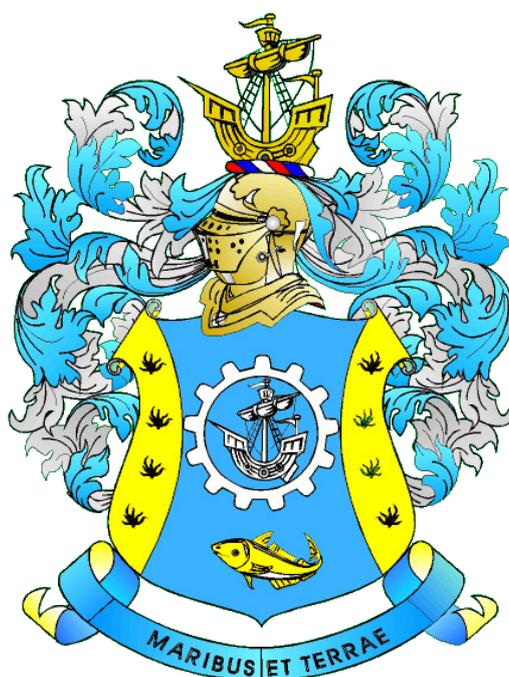
KSTU NEWS

2021

№ 62

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
«KALININGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY»

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

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

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Бераки Т., Шибеев С. В., Гулюгин С. Ю.</i> Возраст и рост синей акулы в Восточной Атлантике (на английском языке).....	11
<i>Насенков П. В., Недоступ А. А., Долин Г. М.</i> Экспериментальные исследования коэффициента Пуассона нитевидных рыболовных материалов.....	26
<i>Цупикова Н. А., Меньшенин А. С., Алдушин А. В.</i> Морфометрическая характеристика пруда Шенфлиз (г. Калининград).....	35
<i>Цупикова Н. А., Севостьянова Е. А.</i> Некоторые гидролого-гидрохимические особенности и проблемы малых городских прудов на примере пруда Поплавок.....	50

Техника и технология пищевых производств

<i>Агеев О. В., Наумов В. А., Фатыхов Ю. А., Самойлова Н. В.</i> Подход к расчету удельной работы разрушения материала при резании рыбы.....	67
<i>Воробьев В. И., Нижникова Е. В.</i> Получение фракций коллагена и гидроксипатита из рыбьей чешуи.....	80
<i>Карнеева Ф. С., Альшевская М. Н., Анистратова О. В.</i> Совершенствование рецептуры пресервов из сельди атлантической в майонезно-желейной заливке.....	92
<i>Кошкина А., Альшевский Д. Л.</i> Совершенствование технологии яблочного сидра с использованием дикорастущих плодов и ягод Калининградской области.....	106
<i>Степанова К. А., Байдалинова Л. С.</i> Оценка безопасности мясных паштетов, обогащаемых белково-минеральным комплексом из вторичного рыбного сырья горячего копчения.....	120

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Белей В. Ф., Коротких К. В.</i> Оценка режимов работы судового дизель-генератора на основе диаграммы располагаемых мощностей.....	135
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Beraki T., Shibaev S. V., Gulyugin S. Yu.</i> Age and growth of the blue shark <i>prionace glauca</i> in the eastern atlantic ocean.....	11
<i>Nasenkov P. V., Nedostup A. A., Dolin G. M.</i> Experimental studies of the Poisson coefficient of threadlike fishing materials.....	26
<i>Tsupikova N. A., Menshenin A. S., Aldushin A. V.</i> Morphometric characteristics of the Schönflies pond (Kaliningrad).....	35
<i>Tsupikova N. A., Sevostianova E. A.</i> Some hydrological and hydrochemical peculiarities and problems of small urban ponds on the example of the Poplavok pond.....	50

Processes and technology of food manufacturing

<i>Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Ju. A., Samoylova N. V.</i> An approach to calculation of specific work of material damage during fish cutting.....	67
<i>Vorobyov V. I., Nizhnikova E. V.</i> Obtaining collagen and hydroxyapatitis fractions from fish scales.....	80
<i>Karneeva F. S., Al'shevskaya M. N., Anistratova O. V.</i> Improving the recipe of Atlantic Herring preserves in a mayonnaise-jelly filling.....	92
<i>Koshkina A., Alshevskiy D. L.</i> Technological improvement of apple cider recipe using wild fruits and berries of the Kaliningrad region.....	106
<i>Stepanova K. A., Baydalinova L. S.</i> Safety assessment of meat pate enriched with protein-mineral complex from hot-smoked secondary fish raw material.....	120

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Beley V. F., Korotkikh K. V.</i> Assessment of the operating modes of a ship service diesel generator based on capability diagram.....	135
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 597.311

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-11-25

AGE AND GROWTH OF THE BLUE SHARK *PRIONACE GLAUCA*
IN THE EASTERN ATLANTIC OCEAN

T. Beraki, S. V. Shibaev, S. Yu. Gulyugin

ВОЗРАСТ И РОСТ СИНЕЙ АКУЛЫ В ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКЕ

Т. Бераки, С. В. Шибает, С. Ю. Гулюгин

In this study, 292 blue sharks *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) (from 151 to 305 cm total length, TL) were collected off western Africa in the eastern central Atlantic Ocean between 1980 and 1982. Vertebral sections of females specimens ranged from 175 to 300 cm and males specimens ranged from 166 to 312 cm TL were processed and analyzed for age and growth parameters. Growth band pairs (translucent and opaque bands) were counted on the images photographed from the stained whole vertebrae using digital microscope called Digi Scope II. The band pairs after the birthmark were counted from 3 to 12 for males and from 4 to 13 for females. Growth parameters were derived using the Von Bertalanffy growth function ($VBGF$) based on FISAT and solver solution Microsoft excel and Ford Wall-Ford. $VBGF$ was that which best fit the data. Parameters derived from the combination of observed and back-calculated lengths, $K = 0.1$, $L_{\infty} = 386.4$ cm and $t_0 = -1.35$ year for males and $K = 0.12 \text{ year}^{-1}$, $L_{\infty} = 355$ cm and $t_0 = -1.02$ year for females were considered to best describe growth. The longevity was estimated to be at least 23.7 and 28.3 years for females and males respectively. The natural mortality rate was estimated to be 0.15 year^{-1} and 0.18 year^{-1} for males and females respectively.

Prionace glauca, Eastern Atlantic, Longevity age and growth, von Bertalanffy parameters

Проведено исследование возраста и роста выборки из 292 экз. синей акулы *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) длиной (TL) от 151 до 305 см, отловленных в Центральной части Атлантического океана в районе Западной Африки в период с 1980 по 1982-е годы. Возраст определен по позвонкам. Пары полос роста (полупрозрачные и непрозрачные полосы) подсчитывали на изображениях, сфотографированных с окрашенных целых позвонков, с использованием цифрового микроскопа Digi Scope II. Количество полос колебалось от 3 до 12 для самцов и от 4 до 13 – для самок. Параметры роста функции фон Берталанфи рассчитывались с помощью программ FISAT, функции решения Microsoft Excel и уравнения Форда - УоллФорда (Ford – Walford) на основе наблюдаемых данных и обратных расчетов. Получены следующие числовые значения: $K = 0,1$, $L_{\infty} = 386,4$ см и $t_0 = -1,35$ года для самцов и $K = 0,12$, $L_{\infty} = 355$ см и $t_0 = -1,02$ года для самок. По оценкам, продолжительность жизни акулы составляет не менее 23,7 и 28,3 го-

да для самцов и самок соответственно. Естественная смертность оценена в 0,15 год⁻¹ и 0,18 год⁻¹ для самцов и самок рыб соответственно.

Prionace glauca, Восточная Атлантика, максимальный возраст и рост, уравнение Берталанфи

INTRODUCTION

The blue shark is considered as one of the pelagic carcharhinid that is mainly distributed in the world's oceans of the tropical and temperate waters from latitudes of about 60°N to 50°S and reported that it is the most abundant species of shark throughout its range of distribution [1]. In the history of cartilaginous fisheries, sharks have been targeted by local fishermen in small and locale scale [2]. Recently sharks have been considerably targeted by industrial fisheries as commercial species due to high price of the fin and expansion of the market for shark meat demand [3]. Blue sharks are considered the major catches accounting for landing which are mainly captured as by-catch in pelagic longlines which are targeting tunas (*Thunnus* spp) and swordfish (*Xiphias gladius*). Although commercial and recreational sectors in several countries harvest, fin, or discard blue sharks, comprehensive catch data are lacking. In many countries, the meat of the blue shark is consumed fresh, smoked, or dried salted, its hides are used for leather, fins are marketed for shark fin soup, liver oil and fishmeal are produced as well [4].

The age and growth of blue shark has been well studied in the north Atlantic compared to the south Atlantic. Litvinov conducted different studies about blue shark in the eastern Atlantic Ocean. For example, such of his studies are two forms teeth in blue shark, rate of tooth replacement, on the role of Dense Aggregations of Males and Juveniles in the functional structure of the range of the blue shark [5–7]. But the studies to generate information about the age and growth of reference blue shark are poor in south Atlantic especially in the Central eastern Atlantic and Southeast Atlantic. The objective of the current study is to enrich information about blue shark on estimating the age and growth of the species in eastern Atlantic Ocean.

METHODS AND MATERIALS

Vertebrae were brought from blue shark caught on Russian research cruises between 1980 and 1982 in Central Eastern Atlantic (Fig. 1). The samples were obtained from blue shark caught on the ship SRTM-8081 "Quant" cruise No.18 from 12.12.1980 to 07.03.1981 in coordinates of 7–32° N and 13–29° W and on the vessel SRTM-8030 "Specter" cruise No. 20, from 13.05 to 14.09.1982 with Coordinates 9° N – 8° S, 9° E – 20° W in the waters of the Central-East Atlantic (Table 1). The cruises were equipped with the fishing gears of longlines and trawls. But the Blue shark specimens for this current study were collected from longline fishing gear.

The vertebrae were cleaned and preserved in 10 % buffered formalin or 70 % ethanol and kept in the laboratory of Atlantic fisheries and Oceanography Research of Russian Federation (Kaliningrad, Russia). The fishing date, location, weight (kg), total length (*TL*) and fork length (*FL*) (cm) of the specimens were recorded to the nearest measurements, and the sex of each specimen was identified.

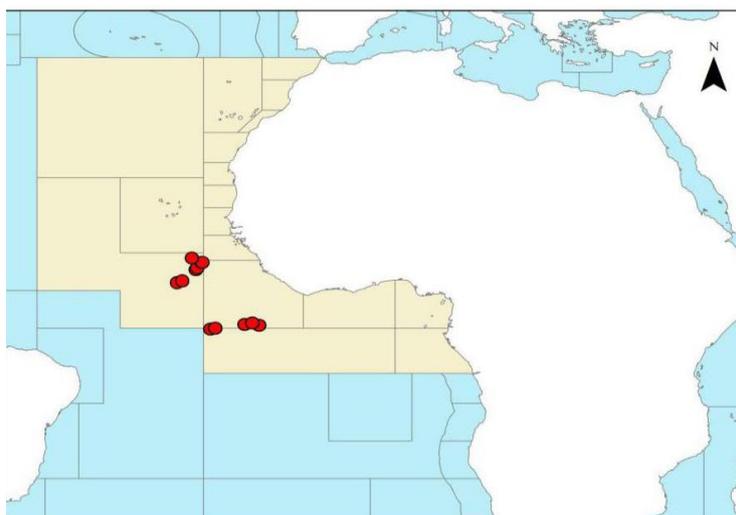


Fig. 1. Sampling site of blue shark in Central Eastern Atlantic Ocean
Рис. 1. Районы сбора материалов по синей акуле в Центральной Атлантике

AGE ESTIMATION

The whole vertebral section was used to estimate the age of the blue shark. The vertebral face was stained with silver nitrate to enhance the visibility of the band pairs (opaque and translucent zones) which were counted to determine the age of the species (Fig. 2). The growth rings on vertebrae were described as band pairs of one opaque (calcified) and one translucent (less calcified) which were considered as one year. After staining with silver nitrate, the vertebral section was dried for some minutes then digitally photographed with digital microscope known as Digi Scope II in the presence of sufficient light. Then the vertebrae were digitally enhanced using pain.net 4.1.1 before counting the band pairs to estimate age and it is very important to identify correctly the first and inner most bands. The innermost band was taken as birth mark and subsequently counting of the band pairs was started to determine the age of the blue shark. The band pairs were counted by two readers to assign age to each specimen. If differences resulted between the readers, the band pairs were recounted again until agreement reached. If agreement could not be reached at all, the vertebrae were discarded.

Table 1. Collected data used for study of blue sharks growth

Таблица 1. Объем материалов, использованных для изучения роста синей акулы

Month and year	Female		Male		Total	FAO Region
	n	TL (cm)	n	TL (cm)		
1	2	3	4	5	6	7
December, 1980	2	269–278	75	171–311	77	34
January, 1981	3	151–255	1	276	4	34
February, 1981	2	207–212	2	215–305	4	34
March, 1981	2	243–250			2	34
December, 1981	33	191–265	14	166–286	47	34 and 4 females from 37
January, 1982	18	191–280	3	209–236	21	Females from 34 and males from 37

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
February, 1982			1	237	1	37
May, 1982	5	218–250	16	212–311	21	34
June, 1982	10	188–267	26	202–298	36	34
July, 1982	29	203–295	29	220–303	58	34
August, 1982	4	175–305	8	199–312	12	34
September, 1982	2	225–228	7	200–241	9	34
Total	110		182		292	

GROWTH PARAMETERS

The standard dahl Lee direct proportions method was applied to determine back calculating previous length - at - age as the following formula [8]:

$$(TL)n = \frac{TL * Rn}{VR}, \quad (1)$$

where $(TL)n$ is the back-calculated length-at-age n , Rn is the vertebral radius at the time of the ring n , VR is the vertebral radius-at-capture, TL is the total length.

The growth parameters were tried to estimate in linear regression function (Ford Wall-Ford plot) and non-linear regression function by fitting to length at age data in FISAT software and by performing minimization with the add-in optimization tool (solver) of Microsoft Excel 2016 based on Von Bertalanffy growth functions (VBGF) as the following equation [9].

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)}). \quad (2)$$

In Ford-Walford plot, the value of L_{∞} in and K are estimated by fitting the length of the fish at age(t) against the length of the fish at the next age (L_{t+1}) then the value of t_0 is estimated based on VBGF as the following equation:

$$t_0 = t + \frac{1}{k} \ln \left[1 - \frac{L_t}{L_{\infty}} \right], \quad (3)$$

where t is the age of the blue shark at birth ($t = 0$) and L_t is the length of blue shark at birth which is taken averagely 45 cm [10].

In the Von Bertalanffy plot, the set of length at age were used as inputs to turn the FISAT software to estimate the growth parameters and to identify the growth curve that best fit a set of length - age. In the use of the Solver function in Microsoft Excel, the data were fitted by computing the minimum sum of squared residuals (SSR) taking into the account the non-linear nature of the tool by using the iterative approach.

$$SSR = \sum (L_t - \hat{L}_t)^2, \quad (4)$$

where L_t is the observed length at age (t) and \hat{L}_t is the length predicted at age (t).

Longevity was estimated directly from the oldest individual in the sample. However, this probably underestimates actual longevity because maximum age in a fished

population is likely to be lower than in an un-fished population, and because the sample size was not large enough to include the oldest individuals in the population study. Longevity could be defined, as the time required attaining 95% of L_{∞} using the equation [11].

$$t_{max} = t_0 + \frac{2.966}{k}. \quad (5)$$

This equation can be used to determine life-span based on 99% of L_{∞} by substituting 0.99 for 0.95 in the above equation [12].

$$t_{max} = \frac{5 \ln 2}{k}. \quad (6)$$

The natural mortality rate (M) was estimated using equation which is based on the observed empirical relationship between M and the maximum age (longevity) in the population [13]. Hoenig examined this relationship in fishes, cetaceans and mollusks. He concluded a significant negative relationship between the maximum age (longevity) and natural mortality in fishes and described by the following equation:

$$\ln M = 1.46 - 1.01(\ln t_{max}), \quad (7)$$

where t_{max} the maximum age in the population, and M is the natural mortality rate.

RESULT

In this study, totally 182 males and 110 females collected in the eastern Atlantic Ocean were used for analysis of size relationship total length versus total weight and size distribution analysis. The size of the specimens ranged from 151 to 305 cm TL with average size 231.1 cm TL for females and from 166 to 312 cm TL with average size 257.6 cm TL for males (Table 1 and Fig. 4). Out of these specimens, 70 specimens of females ranged from 175 to 300 cm and 57 specimens of males ranged from 166 to 312 cm TL were processed for age and growth parameters analysis. The relationship between total length and total weight was analyzed separately for both sexes in this present study (Fig. 3).

AGE ESTIMATION

The growth band pairs were counted after the birth mark to estimate the age of the individuals in the specimens. The age estimates in the sampled male specimens ranged from 3 to 12 years and the age estimates in the female specimens ranged from 4 to 13 years. The length of male specimens with 3 band pairs was 166 cm TL. The mean length of male specimens with 12 band pairs was 293 cm TL. Over 36% of the male blue shark specimens accounted 10 to 11 growth band pairs (Fig. 5). The mean length of female specimens with 4 growth band pairs was 190 cm TL while the mean length of female specimens with 13 growth band pairs was 297 cm TL. Almost half of the female specimens had 5 to 6 growth band pairs.

In the size distribution 35.16% of male specimens were ranged from 257 to 276 cm TL (14.29 % were from 257 to 266 and 20.88 % were from 267 to 276 cm TL) while over 60 % of female specimens ranged from 211 to 250 cm TL (Fig. 4).



Fig. 2. An example Digi Scope II image of vertebral magnetified by paint
Рис. 2. Пример изображения окрашенного позвонка в Digi Scope II

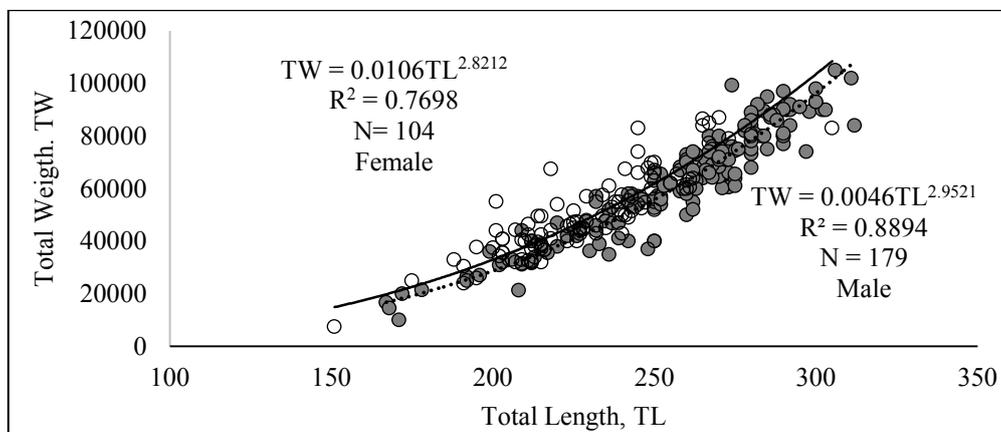


Fig. 3. Length–weight relationship for blue shark
Рис. 3. Зависимость длина–масса синей акулы

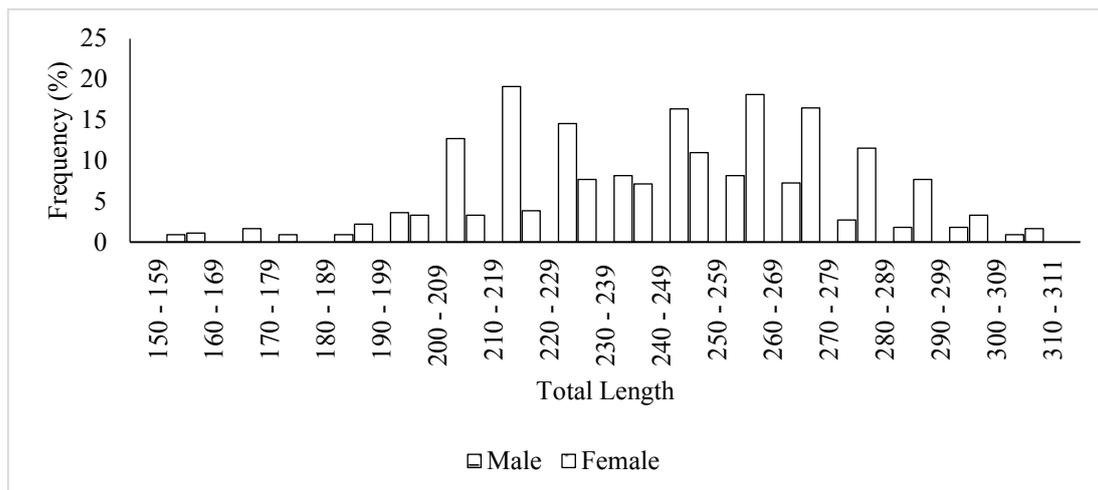


Fig. 4. Length-frequency distribution of the blue shark in catches
 Рис. 4. Размерная структура синей акулы в уловах

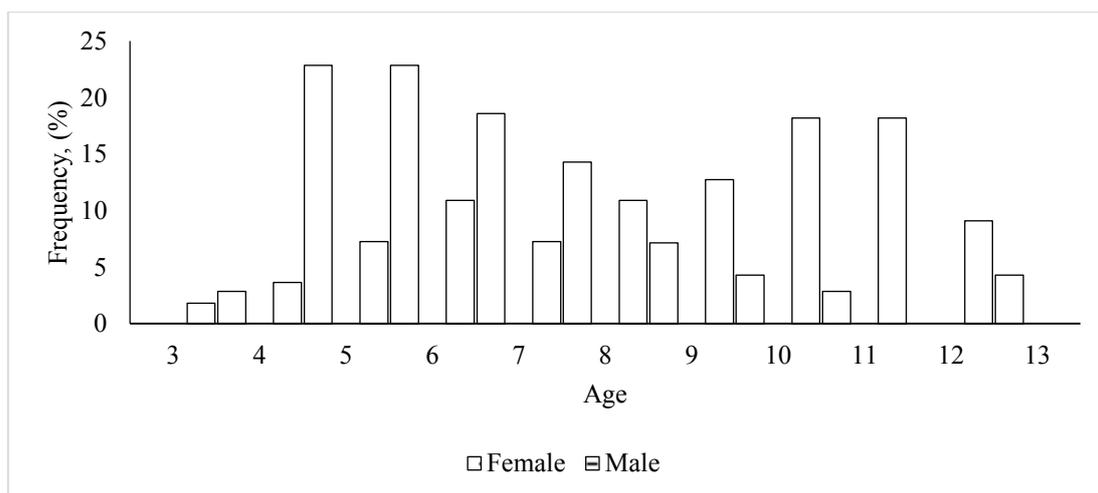


Fig. 5. Age-frequency distribution of the blue shark in catches
 Рис. 5. Возрастная структура синей акулы в уловах

The relationship between total length (TL) and centrum radius (CR) was linear for both sexes, females (slope = 2.2, intercept = 86.2, $r^2 = 0.52$) and males (slope= 2.4, intercept= 88.7, $r^2 = 0.67$) (Fig. 6).

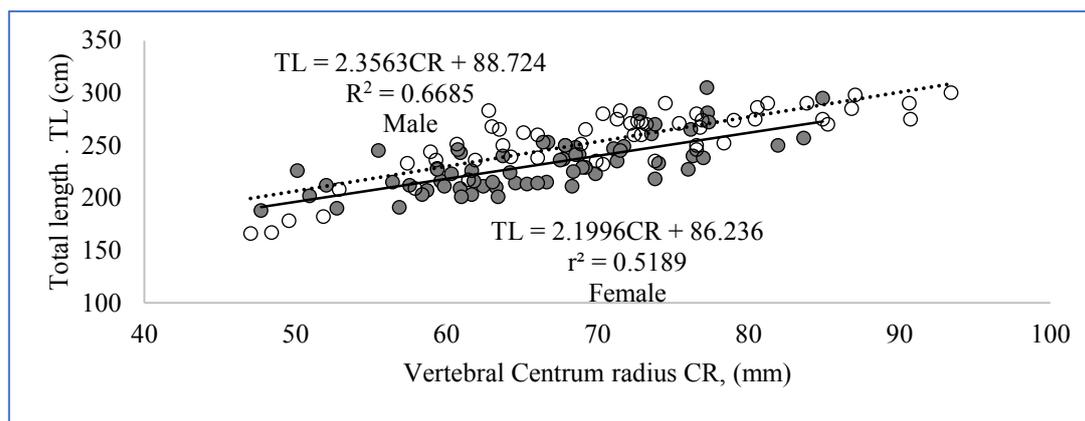


Fig. 6. Relationship between vertebral centrum radius and total length of blue shark
 Рис. 6. Зависимость между радиусом позвонка и длиной синей акулы

GROWTH PARAMETERS

The growth parameters were generated based on three ways namely back calculated length, observed length and back calculated length combined to observed length at age computed based on the Von Bertalanffy growth function (*VBGF*). The back calculated and observed lengths were combined as missing observed lengths for growth band pairs 0, 1, 2 in males and 0, 1, 2, 3 and 12 in females. The values of standard deviation in females for observed length per growth band pairs were less than those for back calculated and back calculated combined to observed lengths per growth band pairs class and the values of standard deviation in male for back calculated combined to observed lengths higher than back calculated and observed lengths per growth band pairs showing a variation in size for each growth band pair class. In both sexes, among the *VBGF* parameters obtained, observed lengths produced highest value of K and lowest value of L_{∞} compared to the values of back calculated lengths and back calculated combined to observed length (Table 2).

Table 2. Von Bertalanffy growth parameters of blue shark

Таблица 2. Параметры уравнения Берталанфи синей акулы

Methods	Female			Male		
	k	L_{∞}	t_0	k	L_{∞}	t_0
Observed	347.62	0.11	-1.26	351.41	0.12	-1.14
Back calculated	457.49	0.07	-1.48	430.47	0.08	-1.38
Observed + back calculate	399.51	0.09	-1.33	415.77	0.09	-1.27

Table 3. Von Bertalanffy growth parameters generated from FISAT
Таблица 3. Параметры уравнения Берталанфи, рассчитанные по FISAT

Parameters	Male			Female		
	Observed	Back calculated	Observed + back calculate	Observed	Back calculated	Observed + back calculate
L_{∞}	314.9	419.7	386.4	311.43	375	355
$S.e$	26.3	10.3	19.6	27.44	64.6	22.36
$C.v$	0.08	0.02	0.05	0.09	0.17	0.06
K	0.19	0.08	0.1	0.16	0.09	0.12
$S.e$	0.07	0.004	0.01	0.05	0.03	0.02
$C.v$	0.35	0.04	0.1	0.37	0.32	0.14
t_0	-0.71	-1.74	-1.35	-1.9	-1.06	-1.02
$S.e$	1.05	0.065	0.16	1.5	0.47	0.24
$C.v$	-1.47	-0.04	-0.12	-0.77	-0.44	-0.23

Abbreviations: S.e = standard error and C.v = covariance of the estimates

The growth parameter (L_{∞} , K and t_0) were generated in *FISAT* software by analyzing length at age in the three ways, observed, back calculated and observed combined to back calculated length at age. Generally, the value of L_{∞} was higher in back calculated and less in observed length at age while the value of K was higher in observed length at age and less in back calculated length at age. But medium value of K and L_{∞} were generated in observed combined to back calculated length at age. The values of standard error and covariance estimates less in observed length at age for male and in observed combined to back calculated length at age for female (Table 3). The growth curve of observed combined to back calculated length at age was considered best fit to the *VBGF* than the rest.

In the solver tool of Microsoft excel, the value of L_{∞} was high in back calculated length for both males and females and the value of K was high in the observed combined to back calculated length at age for females but the value of K is high in observed length for males. In males and females, the minimum value of *SSR* was recorded in back calculated length at age (Table 4).

Table 4. Parameters of Von Bertalanffy equation calculated using Microsoft Excel Solver function

Таблица 4. Параметры роста уравнения Берталанфи, рассчитанные с помощью Solver Microsoft Excel

Method	Female				Male			
	L_{∞}	K	t_0	<i>SSR</i>	L_{∞}	K	t_0	<i>SSR</i>
Observed	344.14	0.11	-3.35	39.58	320.14	0.18	-0.93	445.72
Back calculated	429.52	0.08	-1.53	36.48	421.15	0.08	-1.75	16.72
Observed + back calculated	358.74	0.12	-1.04	579.16	392.15	0.10	-1.39	174.31

The maximum observed age of this present study were 12 years for males and 13 years for females. Longevity estimates were estimated to be 28.3 for males and 23.7

years for females following Taylor's (1958) while 28.9 years for females and 34.7 years for males following Fabens' (1965) methods. The natural mortality of male and female blue shark estimated 0.15 and 0.18 in this current study using Hoenig's (1983) method.

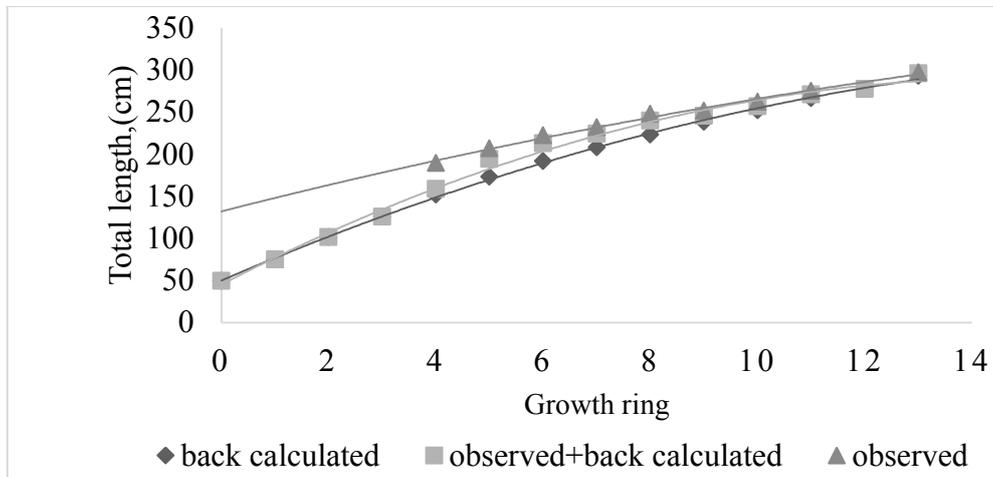


Fig. 7. Growth curves generated by different approaches for females of blue shark
Рис. 7. Кривые линейного роста самок синей акулы, полученные различными способами

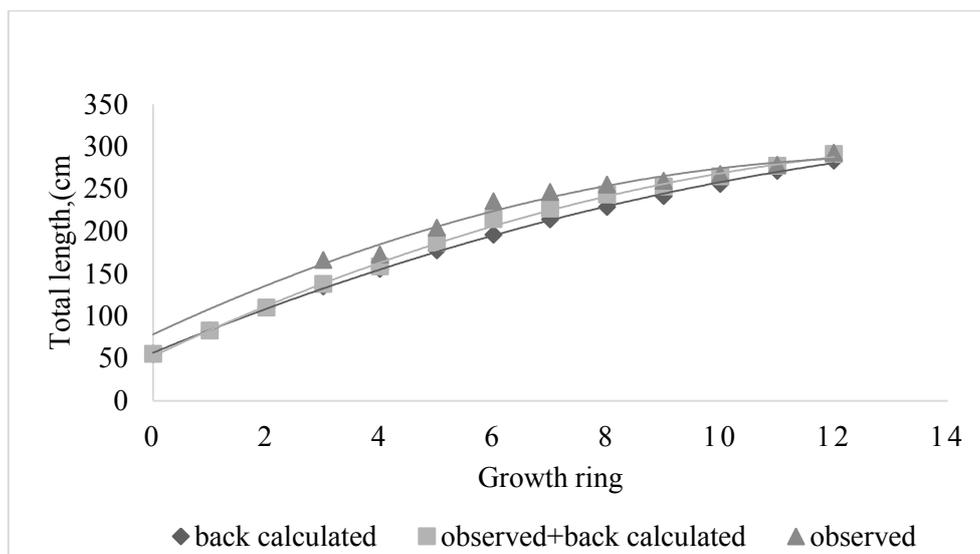


Fig. 8. Growth curves generated by different approaches for males of blue shark
Рис. 8. Кривые линейного роста самцов синей акулы, полученные различными способами

Table 5. Parameters of blue shark growth calculated using published data
Таблица 5. Параметры роста синей акулы, рассчитанные по литературным данным

Authors	Ocean	vertebrae condition	band visualization	N	measure	sex	VBGF parameters			max age
							L_{∞}	K	t_0	
Aasen (1966)	North Atlantic	whole centra	silver nitrate staining	268	TL	C	394	0.13	-0.8	8
Stevens (1975)	North Atlantic	whole centra and sections	silver nitrate staining, transmitted polarized light	82	TL	C	423	0.11	-1	7
Caillie et al (1983)	North Pacific	whole centra	silver nitrate staining, X-ray	130	TL	C	265.5	0.22		9
						M	295.3	0.18	-1.1	
						F	241.9	0.25	-0.8	
Tanaka et al (1990)	North Pacific	whole centra and sections	Haematoxylin staining, silver staining	195	TL	M	369	0.1	-1.4	7
						F	304	0.16	-1	8
Henderson et al (2001)	Northeast Atlantic	whole centra	unstained silver nitrate stained and alizarin red S stained	159	TL	C	376.5	0.12	-1.3	6
Skomal and Natanson (2003)	North Atlantic	sections	Reflected light	411	FL	C	285.4	0.17		16
						M	282.3	0.18	-1.4	
						F	286.8	0.16	-1.8	
Lessa et al (2004)	western South Atlantic	sections	Weight light	236	TL	C	352.1	0.16	-1	12
Blanco-Parra et al. (2008)	North Pacific	whole centra	silver nitrate staining	184	TL	C	303.4	0.1		16
						M	299.9	0.1	-2.4	16
						F	237.5	0.15	-2.2	12
Megalofonou et al. (2009)	Mediterranean	whole centra	digital enhancement, reflected light	54	TL	C	401.6	0.13	-0.6	12
Jolly et al. (2013)	South Atlantic	Whole	No staining, white	197	TL	C	311.6	0.12	-1.7	16
Joung et al (2017)	eastern south Atlantic	whole centra	X-ray and digital photography enhancement	742	TL	C	352.1	0.13	-1.3	15
Present study	central eastern Atlantic	whole	digitally photographed with digital microscope	127	TL	M	392.2	0.11	-1.4	12
						F	358.7	0.12	-1	13

DISCUSSION

In using the Von Bertalanffy growth function (VBGF), the FISAT software and solver tool of Microsoft excel were applied to estimate the growth parameters in nonlinear regression function in this present study. The results from the back calculated and

observed combined to back calculated showed similar values of the growth parameters while results from *FISAT* software produced higher values of growth parameters in observed length at age data compared to the results obtained from solver tool of Microsoft excel. In comparing the result of the present study with the results of previous studies both the values of K and L_{∞} lie within the range of previous studies result [14–23].

Several studies have been done based on the analysis of vertebrae to estimate the age and growth of blue sharks. The vertebrae of sharks are known not easy to be read due to poor contrast of the opaque and translucent growth bands [21, 24]. Age studies using whole vertebrae instead of sectioning is an easier and less expensive method, less time consuming as well as does not demand specific sectioning equipment. But several studies indicate that whole vertebrae tend to under estimate the age the older ones as the growth bands are not adequately visualized in the specimens. Because the growth bands get diffuse with increasing age of the sharks [25]. Silver nitrate and X-radiography methods were used to estimate the growth rate of the northeast Pacific blue shark using their vertebrae. It was figured out that both techniques produced clear growth zones but silver nitrate was preferred for the work [16]. In estimating the ages of blue sharks from the northeast Atlantic, they compared whole unstained vertebrae with whole vertebrae stained with silver nitrate and alizarin. However, they did not found differences in the age estimates obtained from the three techniques and they preferred analyzing of the whole unstained vertebrae under reflecting lightening as being most easy and convenient method. In this present study similarly stained whole vertebrae were used. In this technique, silver salts substitute the calcium salts in the calcified cartilage matrix of whole vertebrae that allows to count the growth bands in better visibility [22].

In this current study, validation of the age estimation was not carried out. However, other previous studies have validated the age of this species indicating an annual periodicity of growth band (opaque and translucent) deposition for blue shark [18,19, 21, 26, 27]. The previous studies assumed that the growth band pairs are produced once a year with the first band being considered birth mark. The same assumptions were taken to conduct this current study.

In estimating growth parameters, the Ford Walford plot and the Von Bertalanffy growth function were used in this current study. Von Bertalanffy growth function is mostly preferred as it is the most commonly and frequently used in fisheries biology in order to conduct fisheries stock assessment [28]. Based on the results it could be suggested that the value of K was small and large value of L_{∞} in back calculated as the back calculated length were smaller than the actual lengths of specimens. However, in combination of the observed length and back calculate length produced reasonable and comparable value of growth parameters with the previous results of studies. It would be suggested that sample size should be large to include the smaller size and larger sizes of species. Von Bertalanffy growth function was preferred for estimating the growth parameters compared to the Ford-Walford plot. Because the Von Bertalanffy growth function provides more best fit growth curve than the Ford-Walford plot and the Von Bertalanffy growth function (*VBGF*) is the most used in previous age and growth studies of blue shark that allows comparison with the results of current study.

CONCLUSION

Blue sharks are the most and frequent caught pelagic sharks in the Eastern Atlantic Ocean. In recent years, the blue sharks have been targeted not only by the local

artisanal fisheries but also by industrial fisheries because of its importance and demand in fish market. The stock assessment and management for this blue shark is crucial for sustainable exploitation as sharks have slow growth rate, less fecundity and delay maturity. The study of age and growth provide fundamental key for stock assessment and management. The age and growth of blue sharks have been well studied in North Atlantic Ocean. Most of the study reported growth rate from 0.11 to 0.25 per year and maximum of age 16 years. In the present study, the growth rate for males was 0.1 and 0.12 per year for females while maximum age was estimated 12 and 13 years for males and females respectively.

REFERENCES

1. Last P. R. & Stevens J. D. Sharks and rays of Australia, 2nd ed. Melbourne, Vic: CSIRO, 2009, 644 p.
2. Ferretti F., Myers, R. A., Serena F. & Lotze H. K. Loss of large predatory sharks from the Mediterranean Sea. *Conservation Biology*, 2008, vol. 22, iss. 4, pp. 952–964.
3. Dent F. & Clarke S. State of the global market for shark products. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 590*. Rome, FAO, 2015, 187 p.
4. FAO. 1998. *FAO yearbook, Fishery statistics: Capture production*. FAO series, 1998, vol. 82, no. 50, 678 p.
5. Litvinov F. F. 1982. Two forms of teeth in blue shark, *Prionace glauca* (Carcharhinidae). *Journal of Ichthyology*, vol. 4, no. 22, pp. 153–156.
6. Litvinov F. F., Agapov S. N., Katalimov V. G., Mironov S.C. Rate of tooth replacement in blue shark, *Prionace glauca* (Carcharhinidae), in relation to feeding. *Journal of Ichthyology*, 1983, vol. 23, no. 1, pp. 143–145.
7. Litvinov F. F. On the role of dense aggregations of males and juveniles in the functional structure of the range of the blue shark, *Prionace glauca*, *Journal of Ichthyology*, 2006, vol. 46, no. 8, pp. 613–624.
8. Carlander K. D. *Handbook of freshwater fishery biology*, Iowa Univ. Press, Ames, IA, 1969, vol. 1, 752 p.
9. Von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Hum. Biol.*, 1958, vol. 10, pp. 181–213.
10. Joung S. J., Hsu H. H., Liu K. M., Wu T. Y. Reproductive biology of the blue shark, *Prionace glauca*, in the northwestern Pacific. *ISC/11/SHARKWG-2/ working paper*, 2011, 18 p.
11. Taylor C. C. Cod growth and temperature. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 1958, vol. 23, pp. 366–370.
12. Fabens A. J. Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. *Growth* 29, 1965, pp. 265–289.
13. Hoenig J. M. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fishery Bulletin*, 1983, no. 81, pp. 898–903.
14. Aasen O. Blåhaien, *Prionace glauca* (Linnaeus), 1758. *Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt*, 1966, no.1, pp. 1–15.

15. Blanco-Parra MP, Galvan-Magana F, Marquez-Farias F. Age and growth of the blue shark, *Prionace glauca* (Linnaeus 1758) in the Northwest coast off Mexico. *Rev Biol Mar Oceanogr*, 2008, vol. 43(3), pp. 513–520.

16. Cailliet G. M., Martin L. K., Harvey J. T., Kusher D. and Welden B. A. Preliminary studies on the age and growth of blue, *Prionace glauca*, common thresher, *Alopias vulpinus*, and shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, sharks from California waters. In Prince, E.D. and L.M. Pulos (eds), *Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks*. USDOC, 1983, Tech. Rep. NMFS 8, pp. 179–188.

17. Henderson A. C., Flannery K. and Dunne J. O observations on the biology and ecology of the blue shark in the north-east Atlantic. *Journal of Fish Biology*, 2001, no. 58, pp. 1347–1358.

18. Joung S. J., Leu K. T., Su K. Y., Hsu H. H. and Liu K. M. Distribution pattern and age and growth estimates of the blue shark, *Prionace glauca*, in the South Atlantic Ocean. *Marine and Coastal Fisheries*, 2017, vol. 9, no.1, pp. 38–49.

19. Lessa R., Santana F. M. and Hazin F. H. Age and growth of the Blue Shark, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), off northeastern Brazil. *Fisheries Research*, 2004, vol. 66, pp. 19–30.

20. Megalofonou P., Damalas D. & De Metrio G. Biological characteristics of blue shark, *Prionace glauca* in the Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2009, vol. 89, no. 6, pp. 1233–1242.

21. Skomal G. B. and Natanson L. J. Age and growth of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean. *Fisheries Bulletin*, 2003, vol. 101, pp. 627–639.

22. Stevens J. Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1975, vol. 55, iss. 3, pp. 657–665.

23. Tanaka S. H. O., Cailliet G. M. & Yudin K. G. 1990. Age and Growth Differences in Growth of the Blue Shark, *prionace glauca*: Technique or Population? NOAA. Tech.Rep. NMFS, 1990, vol. 90, pp. 177–187.

24. Manning M. J. and Francis M. P. Age and Growth of Blue Shark (*Prionace glauca*) from the New Zealand Exclusive Economic Zone. *New Zealand Fisheries Assessment Report 2005/26*. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand, 2005, 52 p.

25. Macneil M. A. and Campana S. E. Comparison of whole and sectioned vertebrae for determining the age of young blue shark (*Prionace glauca*). *Journal of North-west Atlantic Fisheries Science*, 2003, vol. 30, pp. 77–82.

26. Romanov E., Campana S., Rabehagaso N. Bomb radiocarbon dating of the Indian Ocean blue shark *Prionace glauca*: a preliminary test of ageing accuracy. IOTC working group report IOTC-2011-WPEB07-INF33, 2011, 14 p.

27. Wells R. J. D., Sprear N. and Kohin S. 2016. Age validation of the blue shark (*prionace glauca*) in the eastern Pacific Ocean. *Marine and fresh water Research*, 2016, vol. 68, iss. 6, pp.130–1136.

28. Cailliet G. M., Smith W. D., Mollet H. F. & Goldman K. J. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: The need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Environmental Biology of Fishes*, 2006, vol. 77, iss. 3 (4), pp. 211–228.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Teklekhaيمانot Beraki Weldegiorgish – Massawa College of Marine Science and Technology, Eritrea; E-mail: tekfino93@gmail.com

Теклехайманот Бераки Вельдегиоргиш – Колледж морских наук и технологий Массауа, Эритрея; E-mail: tekfino93@gmail.com

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

Шибает Сергей Вадимович – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; зав. кафедрой «Ихтиология и экология»; E-mail: shibaev@klgtu.ru

Gulyugin Sergey Yurievich – Atlantic branch of Russian Federal "Research institute of fisheries and oceanography" (AtlantNIRO); Candidate of Biology Science; Head of the Department of Expedition Research; E-mail: sergulyugin@atlantniro.ru

Гулюгин Сергей Юрьевич – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО); кандидат биологических наук; зав. сектором экспедиционных исследований; E-mail: sergulyugin@atlantniro.ru

УДК 639.2.081.1

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-26-34

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА
НИТЕВИДНЫХ РЫБОЛОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

П. В. Насенков, А. А. Недоступ, Г. М. Долин

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE POISSON COEFFICIENT OF THREADLIKE
FISHING MATERIALS

P. V. Nasenkov, A. A. Nedostup, G. M. Dolin

Коэффициент Пуассона для рыболовных нитевидных изделий играет большую роль, с его помощью можно отслеживать изменения физико-механических свойств материала, находящегося под различными нагрузками, что в результате влияет на уловистость орудия промышленного рыболовства. Исследования по определению коэффициента Пуассона на многие изотропные материалы, такие как металл, камень, стекло, достаточно известны и легко определяемы в силу структуры данных материалов. Анизотропные материалы, к которым относятся нитевидные рыболовные изделия, очень часто непостоянны в своей структуре, что приводит как к отрицательным значениям коэффициента, так и положительным.

Эксперименты по определению коэффициента Пуассона проводились на нитевидных рыболовных крученых изделиях, применяемых для постройки орудий промышленного рыболовства, в частности на полиамидных нитках. Была разработана методика, позволяющая определить значения данного коэффициента с точностью более 90 %. Исследования проводились в лаборатории экспертизы рыболовных материалов кафедры промышленного рыболовства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет».

Полученные результаты были проанализированы и математически обработаны с построением графических зависимостей в среде MathCad. Представленные зависимости позволили наглядно отследить изменения значений коэффициента Пуассона в зависимости от нагрузки на материал. Исследования подтверждают влияние коэффициента Пуассона на основные свойства и характеристики орудия промышленного рыболовства.

коэффициент Пуассона, рыболовные нитевидные изделия, физико-механические свойства, диаметр, удлинение, прочность, эксперименты, зависимости, математическая обработка, графики

The present work is devoted to an experimental study of the determination of Poisson's ratio for fishing threadlike materials. Poisson's ratio for fishing threadlike products plays an important role, because with its help, it is possible to track the behavioral changes in the physical and mechanical properties of the material, which is under constant variable loads, which as a result affects the performance and efficiency

of the industrial fishing tool in the fishery. Studies on the determination of Poisson's ratio for many isotropic materials, such as metal, stone, glass, are well known and easily determined due to the structure of these materials. Anisotropic materials, which include filamentary fishing products, are very often unstable in their structure, which leads to both negative values of the coefficient and positive ones.

Experiments to determine Poisson's ratio have been carried out on threadlike fishing twists used for the construction of commercial fishing tools, in particular on polyamide threads. A technique has been developed that allows you to determine the values of this coefficient with an accuracy of more than 90%. Experimental studies were carried out in the laboratory for the examination of fishing materials of the department of commercial fishing of FSEI HE "KSTU".

The results of the obtained experiments have been analyzed and mathematically processed with the construction of graphical dependencies in the MathCad environment. The presented dependences made it possible to visually trace the behavior of the change in the value of Poisson's ratio depending on the change in the load on the material. The obtained material makes one think about the values of Poisson's ratio for fishing thread-like products and its influence on the basic properties and characteristics of commercial fishing tools in general.

Poisson's ratio, fishing threadlike products, physical and mechanical properties, diameter, elongation, strength, experiments, dependencies, mathematical processing, graphs

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, орудия промышленного рыболовства представляют собой сложные конструкции, состоящие из различных элементов. Устройство орудия лова в какой-то степени можно сравнить с жилой постройкой, структуру которой образуют бетонный фундамент, железобетонные перекрытия, кирпичные стены и крыша. Каждая часть конструкции должна выдерживать определенные заданные нагрузки [1]. Так и орудия промышленного рыболовства нужно в полной мере выдерживать внешние и внутренние нагрузки.

Орудие промышленного лова, по сравнению с домом, дополнительно имеет одно значительное свойство – это изменение форм во время эксплуатации. За счет натяжения канатно-веревочных элементов такелажа и оснастки происходит перераспределение нагрузок в данных элементах, что влечет за собой асимметричность формы орудия лова [2].

Вернувшись к сравнению конструкции орудия лова с домом, немаловажно учитывать прочность элементов и изменение их свойств под влиянием нагрузок [3].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В изучении физико-механических свойств рыболовных нитевидных материалов, при изменении линейных размеров под влиянием различных нагрузок, важная роль отводится коэффициенту Пуассона.

Коэффициент Пуассона (μ) – это физическая характеристика материала упругого тела, равная отношению абсолютных значений относительной

поперечной деформации элемента тела к его относительной продольной деформации (1):

$$\mu = -\frac{\Delta d}{d} \times \frac{l}{\Delta l}, \quad (1)$$

где Δd – поперечное сжатие; d – поперечный размер (диаметр) до деформации; l – длина до деформации; Δl – продольное удлинение.

$$\Delta d = d' - d, \quad (2)$$

где d' – диаметр после деформации.

$$\Delta l = l' - l, \quad (3)$$

где l' – длина после деформации.

При растяжении прямоугольного параллелепипеда в направлении оси y имеют место вдоль этой оси удлинение, а вдоль перпендикулярных осей x и z – сжатие, т. е. сужение его поперечного сечения. Для изотропного тела величина коэффициента Пуассона не меняется ни при замене растяжения сжатием, ни при перемене осей деформации. В анизотропных телах коэффициент Пуассона зависит от направления осей, также он вместе с одним из модулей упругости определяет все упругие свойства анизотропного тела.

Коэффициент Пуассона также зависит от материала тела и является одной из важных постоянных, характеризующих его упругие свойства. Не обязательно выделять случаи, в которых действуют силы на сжатие, возможно рассмотрение сил на растяжение, но при этом использовать противоположный знак [4].

Коэффициент Пуассона определяется экспериментальным путем и представляет собой безразмерный коэффициент пропорциональности, который характеризует свойства материала [5].

Значения коэффициента для анизотропных материалов отмечаются как положительные, так и отрицательные [6]. При этом положительные могут выходить за рамки известных для изотропных материалов ограничений, которые возникают в силу положительной определенности упругой энергии деформируемого материала [7].

В табл. 1 представлены некоторые значения коэффициента Пуассона.

Таблица 1. Некоторые значения коэффициента Пуассона для различных материалов

Table 1. Some values of Poisson's ratio for different materials

Материал	Коэффициент Пуассона μ
Железо	0,29
Сталь	0,3
Бетон	0,16
Резина	0,5
Стекло	0,2

На примере анизотропных материалов, к которым относятся рыболовные нитевидные изделия, показан краткий анализ изменений коэффициента Пуассона с различной нагрузкой на материал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В лаборатории экспертизы рыболовных материалов кафедры промышленного рыболовства Калининградского государственного технического университета были проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента Пуассона таких рыболовных нитевидных материалов, как полиамид (ПА) разного диаметра:

- ПА 29Текс×3, диаметр (d) 0,39 мм, разрывная прочность (Тр) 44,12 Н;
- ПА 70Текс×3, диаметр (d) 0,54 мм, разрывная прочность (Тр) 93,16 Н;
- ПА 93,5Текс×3, диаметр (d) 0,78 мм, разрывная прочность (Тр) 176,51 Н;
- ПА 187Текс×3, диаметр (d) 1,1 мм, разрывная прочность (Тр) 392,31 Н;
- ПА 187Текс×3, диаметр (d) 2,1 мм, разрывная прочность (Тр) 686,46 Н.

Выбор данных материалов обусловлен активностью их использования при постройке орудий лова, а также возможностью максимально полного исследования в рамках работы [8]. Отбор образцов проходил по стандартной методике [9]. Все образцы перед началом исследования были выдержаны 24 ч в расправленном виде в помещении лаборатории с целью принятия исходной структуры.

Для исследования применяли следующее оборудование:

- окулярный микроскоп с ценой деления 0,01 мм для определения диаметра;
- металлическую линейку 500 мм (ГОСТ 427-75);
- грузы массой (Т) – 4,90 Н; 9,80 Н; 19,61 Н; 39,22 Н; 58,83 Н и 117,67 Н соответственно.

Предварительно у каждого отобранного образца определяли диаметр, используя окулярный микроскоп не менее 10 раз, в итоге установили среднеарифметическое значение.

На рис. 1 представлен окулярный микроскоп с закрепленным образцом с одной стороны и подвешенным грузом – с другой.

Образец закрепляли в неподвижном зажиме микроскопа, проводили непосредственно под окуляром, через блок пропускали свободный конец образца с предварительно отмеченным участком длиной 100 мм для определения относительного удлинения, затем подвешивали груз. Была проведена серия экспериментов с каждым грузом.



Рис. 1. Окулярный микроскоп с закрепленным образцом
Fig. 1. Ocular microscope with a fixed specimen

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Опыты проводились по 10 раз на каждый вес груза (Т). В табл. 2–6 представлены среднеарифметические значения полученных результатов.

Таблица 2. Полученные значения ПА, $d = 0,39$ мм

Table 2. PA received values, $d = 0,39$ mm

Груз, Н, (Т)	Средний диаметр d' , мм	Относительное изменение диаметра, %	Относительное удлинение, %	Коэффициент Пуассона μ	Т/Тр, Н, (Р)
4,90	0,382	2,06	3	0,66	0,111
9,80	0,370	5,13	7	0,72	0,222
19,61	0,334	14,36	11	1,27	0,444
29,41	0,323	17,18	13	1,31	0,666

Таблица 3. Полученные значения ПА, $d = 0,54$ мм

Table 3. PA received values, $d = 0,54$ mm

Груз, Н, (Т)	Средний диаметр d' , мм	Относительное изменение диаметра, %	Относительное удлинение, %	Коэффициент Пуассона μ	Т/Тр, Н, (Р)
9,80	0,503	6,86	2	3,40	0,105
19,61	0,468	13,34	4	3,32	0,210
36,22	0,439	18,71	9	2,07	0,420
58,83	0,411	23,89	12	1,98	0,631

Таблица 4. Полученные значения ПА, $d = 0,85$ мм

Table 4. PA received values, $d = 0,85$ mm

груз, Н, (Т)	Средний диаметр d' , мм	Относительное изменение диаметра, %	Относительное удлинение, %	Коэффициент Пуассона μ	Т/Гр, Н, (Р)
4,90	0,724	7,18	1	7,10	0,027
19,61	0,642	17,69	6	2,93	0,111
58,83	0,614	21,28	11	1,92	0,333
117,67	0,588	24,61	14	1,75	0,666

Таблица 5. Полученные значения ПА, $d = 1,1$ мм

Table 5. PA received values, $d = 1,1$ mm

груз, Н, (Т)	средний диаметр d' , мм	Относительное изменение диаметра, %	Относительное удлинение, %	Коэффициент Пуассона μ	Т/Гр, Н, (Р)
19,61	1,078	2	1	2	0,049
39,22	1,013	7,91	4	1,97	0,099
58,83	0,993	9,73	5	1,94	0,149
117,67	0,954	13,28	7	1,88	0,299

Таблица 6. Полученные значения ПА, $d = 2,0$ мм

Table 6. PA received values, $d = 2,0$ mm

груз, Н, (Т)	средний диаметр d' , мм	Относительное изменение диаметра, %	Относительное удлинение, %	Коэффициент Пуассона μ	Т/Гр, Н, (Р)
39,22	1,919	8,62	2	4,30	0,057
58,83	1,884	10,29	4	2,55	0,085
117,67	1,855	11,67	10	1,16	0,171

На рис. 2 графически изображена зависимость коэффициента Пуассона ($\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$) от отношения разрывной прочности изделия к грузу (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5) у всех пяти исследуемых образцов.

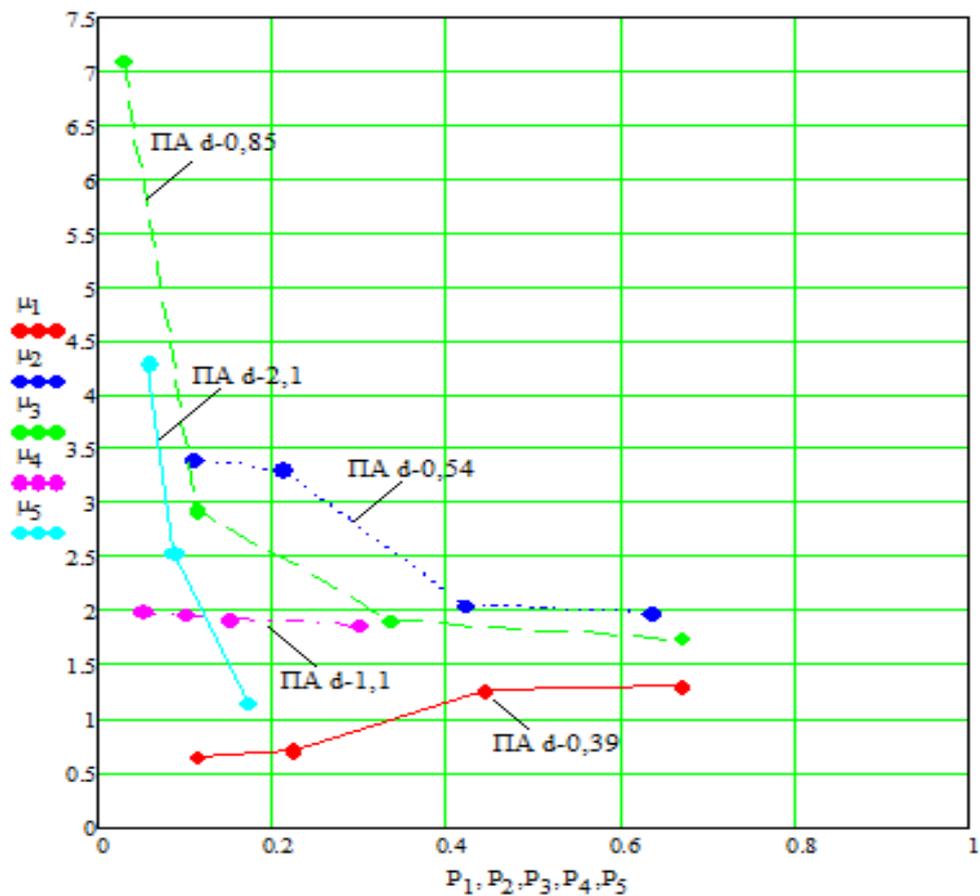


Рис. 2. Графическая зависимость полученных результатов
 Fig. 2. Graphical dependence of the obtained results

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рис. 2 прослеживается динамика зависимости коэффициента Пуассона от отношения разрывной прочности, значения которой предположительно сводятся к одному примерному значению.

Данные исследования позволяют нам с большой долей вероятности утверждать, что для анизотропных материалов, в данном случае рыболовных нитевидных, нет одного постоянного значения коэффициента Пуассона при различных моментах нагружения, но при достижении определенного процентного соотношения разрывной нагрузки материала к прилагаемой нагрузке данный коэффициент получит равное значение в пределах минимального.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Туполев, М. С. Конструкции гражданских зданий: учебник для вузов / М. С. Туполев. – Москва: Изд-во Архитектура-С, 2007. – 240 с.
2. Розенштейн, М. М. Механика орудий рыболовства / М. М. Розенштейн. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2000. – 362 с.
3. Насенков, П. В. Экспериментальные исследования разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных веревочно-нитевидных изделий с различной скоростью разрыва и длиной исследуемых образцов / П. В. Насенков, А. А. Недоступ, В. А. Наумов // Известия Калининградского ГТУ. – 2020. – № 58. – С. 35–48.
4. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин. – Москва: Физматлит, 2005. – Т. 1. – 560 с.
5. Федосеев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Федосеев. – Москва: МГТУ, 2003. – 592 с.
6. Гольдштейн, Р. В. Об отрицательности коэффициента Пуассона для анизотропных материалов / Р. В. Гольдштейн, В. А. Городцов, Д. С. Лисовенко // Доклады академии наук. – 2009. – Т. 429. – № 5. – С. 614–616.
7. Ting T. C. T. // Quart. J. Mech. Appl. Math. – 2005. – V. 58. №1. – P. 73–82.
8. Насенков, П. В. Экспериментальное исследование физико-механических свойств нитевидно-веревочных изделий / П. В. Насенков // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: V Междунар. науч.-техн. конф.: материалы. – Владивосток, 2018. – С. 144–147.
9. ГОСТ 6611.2-73 Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – Москва, 1997. – 35 с.

REFERENCES

1. Tupolev M. S. *Konstruktsii grazhdanskikh zdaniy: uchebnik dlya vuzov* [Structures of civil buildings: textbook for universities]. Moscow, Izd-vo Arkhitektura-S, 2007, 240 p.
2. Rozenshtein M. M. *Mekhanika orudiy rybolovstva* [Mechanics of fishing tools]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2000, 362 p.
3. Nasenkov P. V., Nedostup A. A., Naumov V. A. Eksperimental'nye issledovaniya razryvnogo usiliya i otnositel'nogo udlineniya rybolovnykh verevochno-nitevidnykh izdeliy s razlichnoy skorost'yu razryva i dlinoy issleduemykh obraztsov [Experimental research breaking effort and relative elongation fishing rope-threaded products with various rapid speed and length of the samples]. *Izvestiya KGTU*, 2020, no. 58, pp. 35–48.
4. Sivukhin D. V. *Obshchiy kurs fiziki* [General physics course]. Moscow, Fizmatlit, 2005, vol. 1, 560 p.
5. Fedoseev V. I. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow, MGTU, 2003, 592 p.
6. Gol'dshteyn R. V. Ob otritsatel'nosti koeffitsienta Puassona dlya anizotropnykh materialov [On the negative Poisson's ratio for anisotropic materials]. *Doklady akademii nauk*. 2009, vol. 429, no. 5, pp. 614–616.
7. Ting T.C.T. *Quart. J. Mech. Appl. Math.* 2005, vol. 58, no. 1, pp. 73–82.

8. Nasenkov P. V. Eksperimental'noe issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv nitevidno-verevochnykh izdeliy [Experimental study of the physical and mechanical properties of threadlike rope products]. *Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana: materialy V Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* Vladivostok, 2018, pp. 144–147.

9. GOST 6611.2-73 Niti tekstil'nye. Metody opredeleniya razryvnoy nagruzki i udlineniya pri razryve [Textile threads. Methods for determining breaking load and elongation at break]. Moscow, 1997, 35 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Насенков Павел Владимирович – Калининградский государственный технический университет; специалист по учебно-методической работе лаборатории САПР техники промышленного рыболовства;
E-mail: pavel.nasenkov@klgtu.ru

Nasenkov Pavel Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; teaching and learning specialist of the CAD laboratory of commercial fishing techniques; E-mail: pavel.nasenkov@klgtu.ru

Недоступ Александр Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; зав. кафедрой промышленного рыболовства; E-mail: nedostup@klgtu.ru

Nedostup Aleksandr Alekseevich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor; Head of the Department of Commercial Fishery; E-mail: nedostup@klgtu.ru

Долин Геннадий Макарович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; декан факультета промышленного рыболовства; E-mail: dolin@klgtu.ru

Dolin Gennadiy Makarovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering; Dean of the Commercial Fishery Faculty;
E-mail: dolin@klgtu.ru

УДК 551.4: 556.55 (06)
DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-35-49

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРУДА ШЕНФЛИЗ
(Г. КАЛИНИНГРАД)

Н. А. Цупикова, А. С. Меньшенин, А. В. Алдушин

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE SCHÖNFLIES POND
(KALININGRAD)

N. A. Tsupikova, A. S. Menshenin, A. V. Aldushin

В статье представлены результаты исследования одного из искусственных водоемов г. Калининграда – пруда Шенфлиз, расположенного в южной части города и являющегося важным рекреационным объектом, в котором разрешено купание. Силами кафедры ихтиологии и экологии Калининградского государственного технического университета в 2018 г. была проведена гидроакустическая съемка при помощи программно-аппаратного комплекса «АсКор», в ходе нее в реальном режиме времени осуществлялась совместная фиксация информации о текущей глубине и географических координатах исследуемого участка дна. Первоначальная обработка результатов полевых измерений была выполнена с применением электронных таблиц программы MS Excel и геоинформационных систем Golden Software Surfer и ArcGis. Впервые построены карты рельефа дна пруда в формате 2D и 3D, проведены границы водосборного бассейна. При последующем анализе полученных результатов определены основные морфометрические показатели пруда Шенфлиз: площадь водной поверхности, форма котловины и объем заключенной в ней водной массы, длина нулевой изобаты, максимальная длина и ширина пруда, глубины (средняя и максимальная), коэффициент изрезанности береговой линии, коэффициент открытости, а также площадь водосборного бассейна и показатель удельного водосбора и др. По результатам расчетов Шенфлиз можно отнести к неглубоким прудам среднего размера, с площадью водной поверхности 9,1 га и средней глубиной 3,1 м. Очертания его береговой линии близки к треугольнику. Рельеф дна пруда сложный, с резким увеличением глубины в северной и северо-восточной частях, где крутизна подводного берегового склона достигает 30°. Водосборный бассейн невелик – 7,3 га, что характерно для карьерных водоемов Калининградской области.

морфометрические характеристики, батиметрия, водосборный бассейн, пруд Шенфлиз

The paper presents the study results of one of the artificial reservoirs in Kaliningrad – the Schönflies Pond, located in the southern part of the city. It is an important recreational impoundment in which swimming is allowed. In 2018, the Department of Ichthyology and Ecology of KSTU carried out a hydroacoustic survey using the ASKOR data collection software-hardware complex, which allowed, in real time, joint

recording of the current depth and the geographical coordinates of the investigated bottom. Initial processing of the field measurement results was performed using MS Excel spreadsheets, Golden Software Surfer and ArcGis geoinformation systems. The maps of the bottom relief in 2D and 3D have been plotted for the first time; the boundaries of the catchment basin have been shown. During the subsequent analysis of the results obtained, the main morphometric parameters of the Schönflies pond have been determined, such as the water surface area, shape of the reservoir basin and volume of water mass enclosed therein, length of the contour line, maximum length and width, depth (average and maximum), tortuosity of coastline, coefficient of openness, as well as the water catchment area and specific water intake. Following the calculation results, the Schönflies Pond can be defined as a medium sized water reservoir with 9.1 hectares of surface area and with an average depth of 3.1 m. Its coast line has a shape close to triangle. The pond has a complex bottom relief, with a sharp increase in depth in the northern and northeastern parts, where the steepness of the underwater coastal slope reaches 30°. The drainage area is not large and amounts to approximately 7.3 hectares which is typical for quarry reservoirs of the Kaliningrad region.

morphometric characteristics, bathymetry, water catchment area, Schönflies Pond

ВВЕДЕНИЕ

Проблема эффективного управления водными ресурсами и рационального использования водных объектов остро стоит на повестке дня многих городов России, в том числе и Калининграда, и требует исследования их морфометрических параметров. Территория водосбора и водный объект представляют собой сложную единую геосистему, где осуществляется взаимодействие разнообразных процессов: гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических и др.

На начальном этапе формирования антропогенного водоема морфология его котловины зависит в основном от целей и способов ее сооружения, местных геолого-геоморфологических и гидрогеологических особенностей, специфики геологического строения. Постепенно, в ходе эволюции водного объекта доминирующими факторами в переработке берегов и преобразовании котловины становятся гидродинамические, гидрологические и климатические.

Цель работы – изучение особенностей рельефа котловины пруда Шенфлиз, определение и комплексный анализ полученных морфометрических показателей, которые оказывают весьма существенное влияние на внешний облик и развитие водоема, его гидрологический режим, распределение физико-химических показателей в толще вод и текущее экологическое состояние.

Пруд Шенфлиз является одним из немногих водоемов г. Калининграда, где купание официально разрешено, что определяет ценность данного водоема как важного рекреационного ресурса, имеющего все необходимые условия для пляжно-купального отдыха: слабое волнение доминирует в течение всего купального сезона, летом температура воды комфортна для купания, песчаный пляж и песчаное дно, наличие прибрежной отмели [1].

Пруд Шенфлиз находится на южной окраине Калининграда. Географический центр водоема, понимаемый как точка, расположенная в середине между двумя крайними точками территории по ее широте и долготе [2], имеет следую-

щие координаты: 54°39'52,0" с. ш., 20°32'11,5" в. д. Зеркало его вод лежит на абсолютной отметке около 12 м над уровнем моря.

В летний сезон водоем используется как зона отдыха, предлагаются услуги в сфере спорта и здорового образа жизни. Песчаный пляж, расположенный на восточном берегу, привлекает большое количество отдыхающих. Зимой в пруду осуществляется спортивное холодное плавание, действует круглогодичный бассейн на открытой воде. Водосбор пруда ограничен с запада железнодорожным полотном, находящимся в непосредственной близости (60 м) от уреза воды, с востока – улицей с оживленным движением (минимальное расстояние 120 м). К северу от водоема располагается территория торгово-производственного металлургического комплекса (рис. 1).



Рис. 1. Схема пруда Шенфлиз
Fig. 1. The Schönflies Pond

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

С целью получения морфометрических характеристик пруда Шенфлиз, вычисления конкретных параметров и сочетаний подводных элементов его котловины в октябре 2018 г. силами кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ» была проведена гидроакустическая съемка при помощи программно-аппаратного комплекса «АсКор», программная часть которого позволяет в реальном режиме времени фиксировать информацию о текущей глубине совместно с пространственной привязкой. Движение лодки в процессе съемки осуществлялось по сетке галсов по типу меандра, обеспечивающей высокое соотношение между покрытой площадью и пройденным расстоянием. Для более правильного учета значений глубин в прибрежной части озера при последующем моделировании рельефа его дна была проведена фиксация гидроакустической информации вдоль береговой линии водоема. Полученные результаты были подвергнуты первичной

обработке в среде электронных таблиц MS Excel на предмет выявления выбросов (измерений, выделяющихся из общей выборки) в собранном материале и последующей подготовки данных для их использования в географических информационных системах.

Построение цифровой модели рельефа дна и соответствующих карт пруда Шенфлиз осуществлялось путем интерполяции зарегистрированных в процессе гидроакустической съемки значений глубины в узлы регулярной решетки геостатистическим методом линейной интерполяции «Кригинг». Примерный вид эхограммы и основные показатели выполненной батиметрической съемки приведены на рис. 2 и в табл. 1 соответственно.

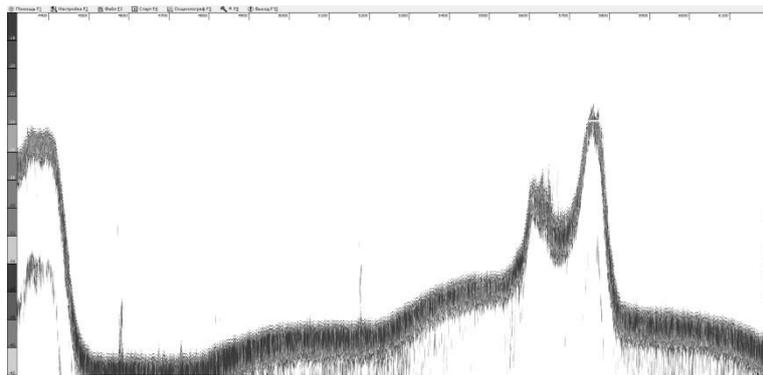


Рис. 2. Фрагмент эхограммы, фиксируемой программой сбора информации программно-аппаратного комплекса «АсКор» в процессе проведения гидроакустической съемки

Fig. 2. A fragment of the echogram recorded by the ASKOR data collection software-hardware complex during the hydroacoustic survey

Таблица 1. Основные показатели выполненной батиметрической съемки озера Шенфлиз в 2018 г.

Table 1. Main indicators of the bathymetric survey of the Schönflies pond, 2018

Показатель	Величина
Общее количество точек промеров глубин, зафиксированных в процессе гидроакустической съемки	2 112
Доля отбракованных измерений, %	5,2
Количество качественных измерений	2 002

Морфометрические характеристики и важные расчетные показатели типологического значения, к числу которых относятся коэффициенты глубинности, открытости и другие показатели, определялись в соответствии с работами С. В. Григорьева, Б. Б. Богословского, О. Ф. Якушко [3–5].

В целях изучения происхождения котловины водоема проанализированы многочисленные ретроспективные картографические и архивные материалы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенная работа позволила построить батиметрическую карту пруда Шенфлиз (рис. 3), которая дает представление о рельефе дна данного водоема.

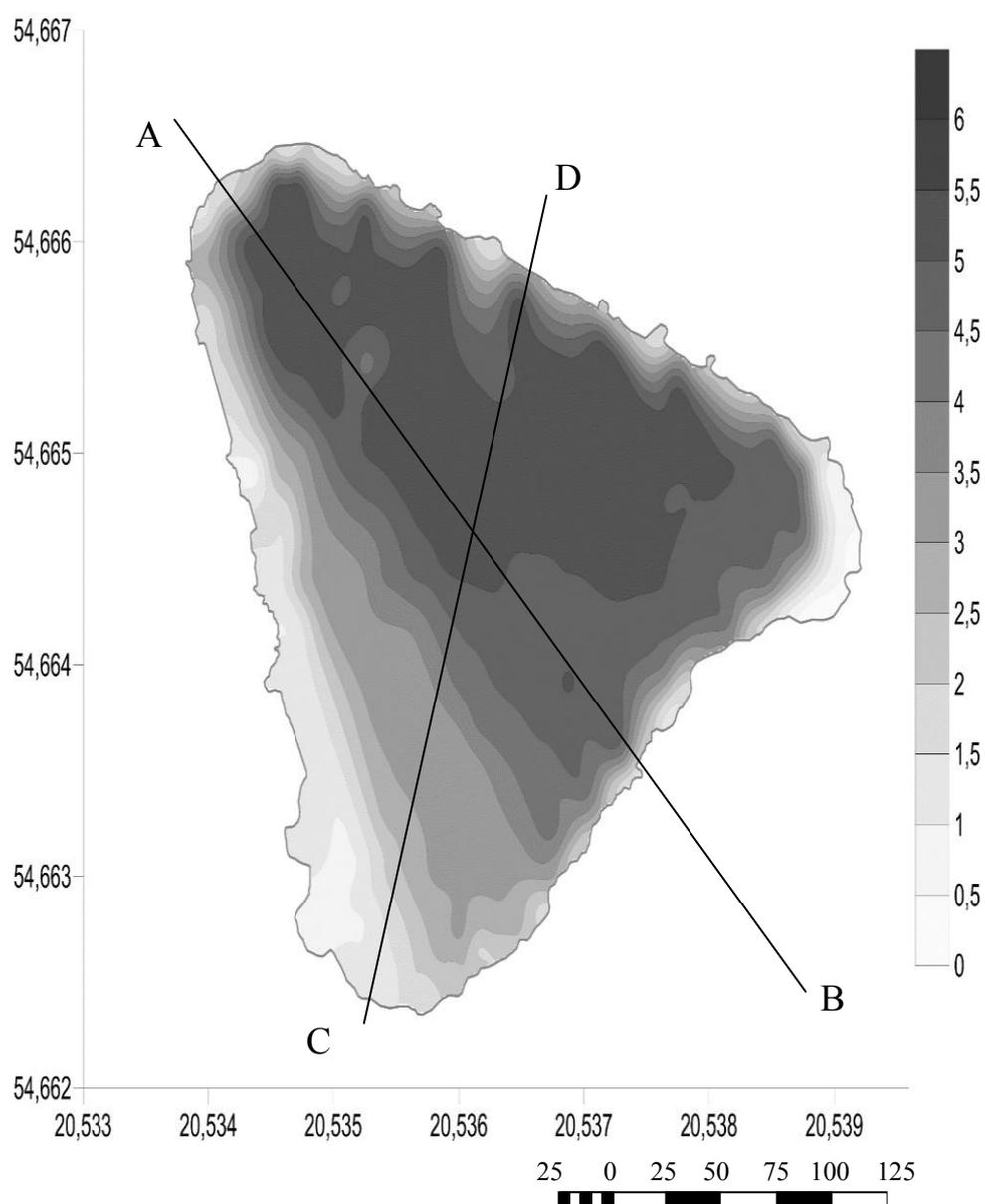


Рис. 3. Рельеф дна пруда Шенфлиз со схемой разрезов (отметки градусной сетки по левой и нижней рамкам – в градусах широты и долготы соответственно)
 Fig. 3. Bottom relief of the Schönflies pond and lines of the bottom relief profiles (grid grades on the left and bottom frame are in degrees of latitude and longitude respectively)

Для северного и северо-восточного склона котловины пруда характерен довольно резкий свал глубин в прибрежной зоне, местами до 4,0 м на расстоянии менее 10 м от берега. Крутизна подводного берегового склона здесь достигает 30°. В юго-восточной и особенно в южной частях водоема склон пологий, его крутизна существенно снижается (до 5–7°). В целом площадь мелководий с глубиной до 2 м составляет 25 % от площади зеркала пруда. Предполагаемая макси-

мальная глубина пруда, проектируемая системой ArcGIS с учетом глубин близ отмеренных точек – 5,5 м, обнаружена на севере водоема. Дно в его наиболее глубоких северной и северо-восточной частях довольно ровное.

Шенфлиз представляет собой средний (согласно [6]) по площади водного зеркала пруд (около 9,1 га), глубина которого не превышает 3–4 м в прибрежной зоне и менее 6 м – в центральной. Важным показателем является коэффициент глубинности водоема [3], который для пруда Шенфлиз составил 6,9. Это свидетельствует об умеренной укрытости котловины пруда от ветрового перемешивания вод и возможности их расслоения в летний и зимний периоды, что, в свою очередь, способствует усилению неоднородности химической и биологической неоднородности водной массы. Опасность возникновения неблагоприятного кислородного режима в условиях устойчивой стратификации подтверждает и низкое значение широко применяемого в морфометрии показателя открытости (согласно [5]), выражающего слабую степень динамического перемешивания вод пруда.

Акватория пруда имеет почти правильную треугольную форму с очень слабоизрезанными берегами (коэффициент изрезанности береговой линии – 1,12) при протяженности береговой линии 1,2 км. Согласно измерениям и расчетам авторов, длина Шенфлиза составляет – 0,48 км, максимальная ширина (0,32 км) заметно превосходит среднюю (около 0,19 км). В соответствии с величиной показателя удлиненности С. В. Григорьева [4], горизонтальная расчлененность водоема невелика и близка к округлой форме (таблица 2).

Таблица 2. Основные морфометрические характеристики пруда Шенфлиз
Table 2. Basic morphometric characteristics of the Schönflies pond

Параметр	Значение
Площадь водного зеркала, га	9,1
Длина, км	0,48
Ширина средняя, км	0,19
Ширина максимальная, км	0,32
Глубина средняя, м	3,1
Глубина максимальная, м	5,5
Протяженность береговой линии, км	1,2
Объем воды, тыс. м ³	281,4
Коэффициент изрезанности береговой линии	1,12
Коэффициент относительной глубины	6,9
Коэффициент открытости	0,03
Показатель формы озерной чаши	0,6 (полуэллипсоид)
Коэффициент удлиненности	2,5
Площадь водосборного бассейна, га	7,3
Показатель удельного водосбора	0,8

Трехмерная модель рельефа дна Шенфлиза (рис. 4) и батиметрических профилей (рис. 5) позволяет изучить пространственное распределение глубин по площади водоема и охарактеризовать форму его котловины. У берегов, в основном, отмечается резкое увеличение глубины до 2–3 м. Дно в центральной части котловины более выровненное. Котловина пруда слабооткрытая, что характерно

для небольших, но достаточно глубоких водоемов. Соотношение средней и максимальной глубин пруда (0,6) подтверждает близость его котловины по форме к полуэллипсоиду [7], что хорошо видно на трехмерной модели.

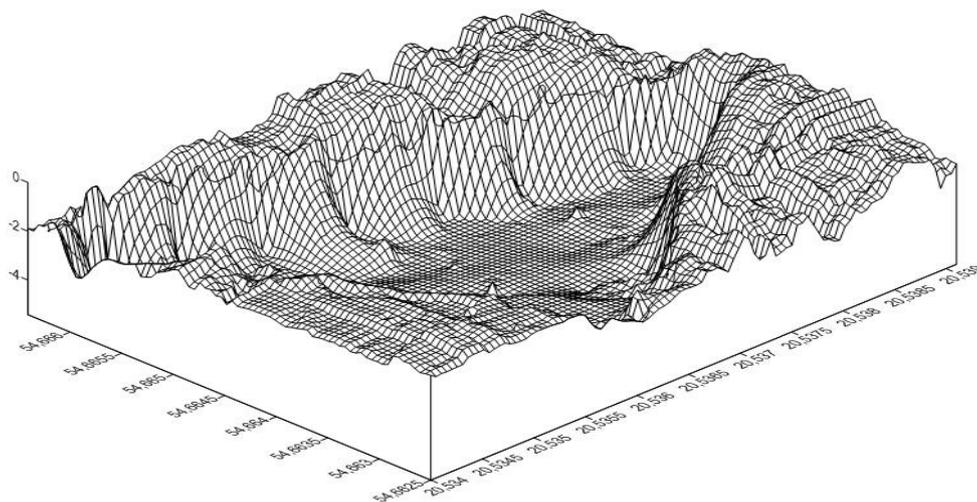


Рис. 4. Трехмерная модель рельефа дна пруда Шенфлиз
Fig. 4. Three-dimensional model of the bottom relief of the Schönflies pond

Для искусственной котловины пруда Шенфлиз характерна трапецевидная форма продольного профиля с заметным расчленением донного рельефа в центре водоема (линия АВ). Поперечный профиль котловины пруда (линия CD) имеет четко выраженную конусообразную форму (рис. 5).

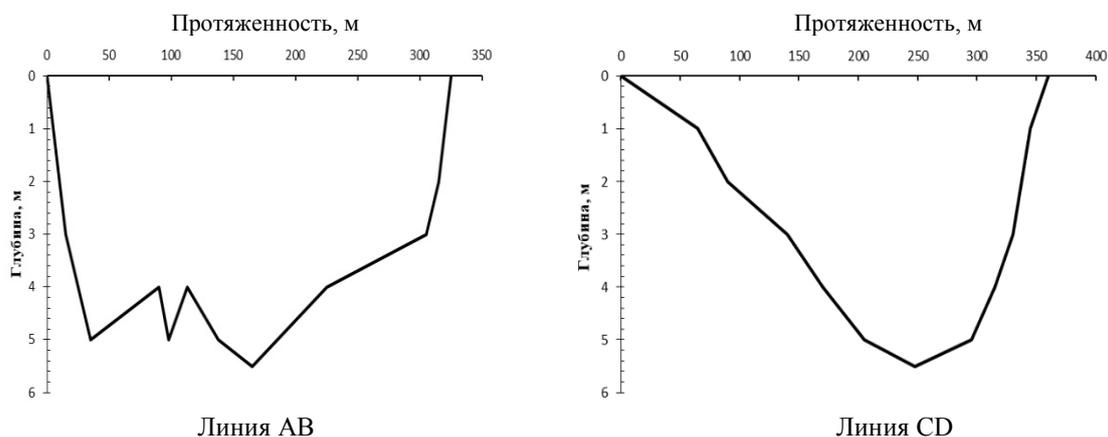


Рис. 5. Батиметрические профили пруда Шенфлиз
Fig. 5. Bathymetric profiles of the Schönflies pond

Новообразованные антропогенные водоемы далее могут подвергаться различным вмешательствам в естественные процессы развития лимносистем (формирование профиля равновесного берега, изменение уровня воды, накопление донных осадков и т. п.), которые ведут к постепенной выработке новых условий

обитания макрофитов, бентальных и планктонных организмов в водоеме. Батиграфические кривые позволяют отслеживать сдвиги в гидроморфометрических показателях (параметры глубинности, объемности, изменение формы котловины).

На батиграфических кривых (рис. 6) по занимаемым площадям преобладают глубины 3–5 м, по объемам – прибрежные участки до 2–2,5 м. Кривая площадей имеет два плавных изгиба, указывающих на морфологическую сложность водоема. Кривая объемов монотонно вогнута в сторону координатных осей, что связано с особенностями ее построения как послойно нарастающей суммы от дна к поверхности.

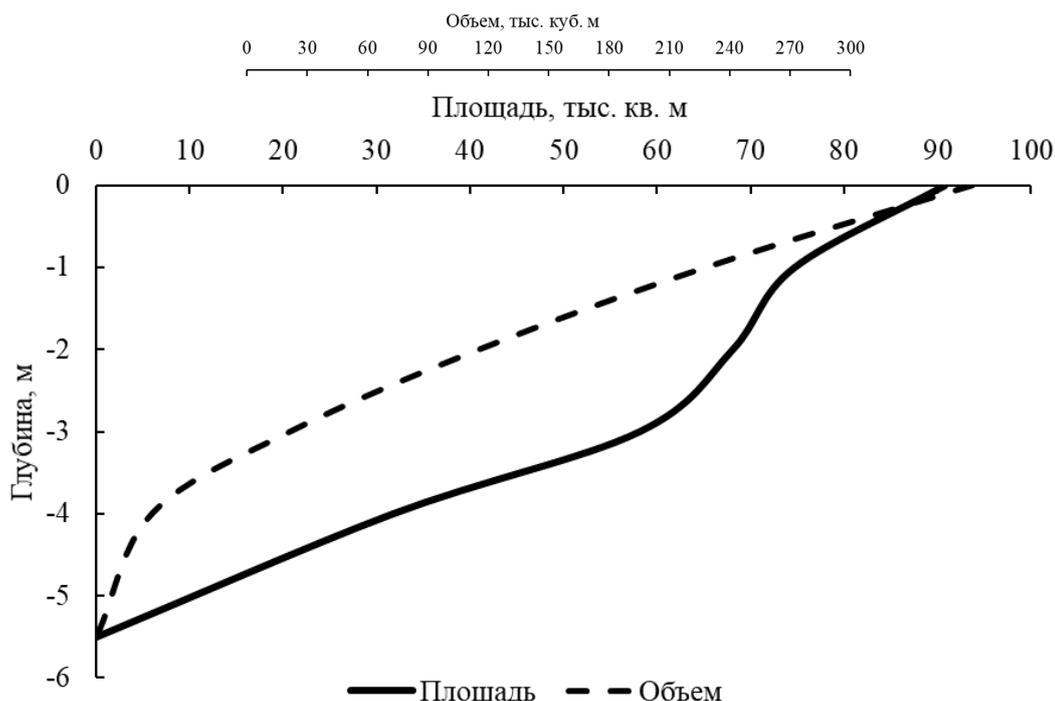


Рис. 6. Батиграфические кривые пруда Шенфлиз
Fig. 6. Bathymetric curves of the Schönflies pond

Берега пруда преимущественно довольно пологие, рельеф западного побережья – умеренно крутой. Дно обследованного пруда в центральной части, его берега и прибрежные участки дна в основном покрыты слоем черного ила, и только на участке дна и берега в районе пляжа (восток водоема) грунт – песчаный, с примесью камней, под песками также обнаружен черный ил. Для северной – северо-западной и южной частей пруда характерно сильное зарастание (до 70 %): преобладает тростник, который образует сплошные заросли, распространяющиеся от уреза воды на расстояние до 10 м и более; встречаются элодея и роголистник. У пляжа (восточный берег) водная растительность отсутствует. На севере, неподалеку от зданий отмечены отсыпки искусственного грунта.

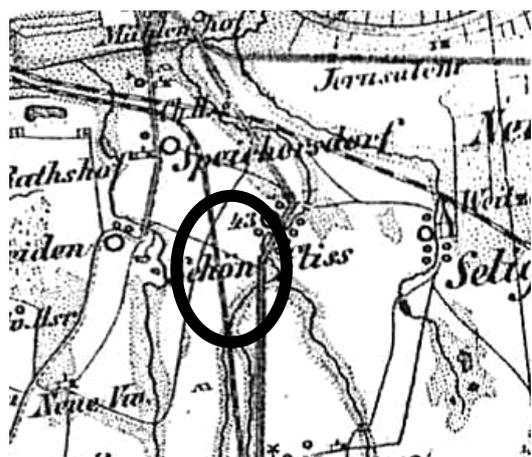
Берега водоема покрыты густой растительностью, по большей части смешанной, садовой и декоративной, сформировавшейся на месте бывших хвойно-широколиственных лесов. Из древесной растительности по берегам обнаружены алыча, груша, акация, рябина, боярышник, каштан, клен, ива, ольха, дуб, различ-

ные кустарники. Окружающий ландшафт представлен плоской моренной равниной; широко распространены насыпные грунты, в том числе и непосредственно вокруг водоема [8]. Отсыпка завозного песка для пляжа продолжает проводиться и в настоящее время: 100 т в 2017 г., 60 т в 2018 г. [9]. На рассматриваемой территории развиты легкосуглинистые дерново-слабоподзолистые почвы на почвообразующих моренных суглинках и супесях. Согласно картам Росреестра, территория относится к категории «земли населенных пунктов» [10]. Восточнее пруда Шенфлиз протекает р. Лесная (минимальное расстояние – около 70 м), которая берет начало возле пос. Отважное к югу от г. Калининграда и течет в северном направлении параллельно ул. Дзержинского. Неподалеку от ул. Яблочной она поворачивает на восток и впадает в р. Старую Преголю.

Шенфлиз – замкнутый, бессточный водоем, из него не вытекает ни один водоток. Основное питание, получаемое прудом Шенфлиз, – подземное, дождевое и снеговое; он не принимает ни одного водотока. Колебания уровня в пределах года очень малы, однако межгодовые колебания могут быть довольно существенными. Так, в 2016 г. водоем был закрыт для купания в связи с обмелением [11].

Таким образом, имеется ряд признаков (резкое увеличение глубин у берега и выровненный рельеф дна в центре котловины, практически прямолинейная береговая линия и почти правильная треугольная форма водоема, глубины более 5 м, превышающие значения, типичные для естественных старичных и пойменных озер долины р. Преголи), которые подтверждают искусственное происхождение пруда. Первоначально такой вывод был сделан на основе ретроспективных картографических материалов [12].

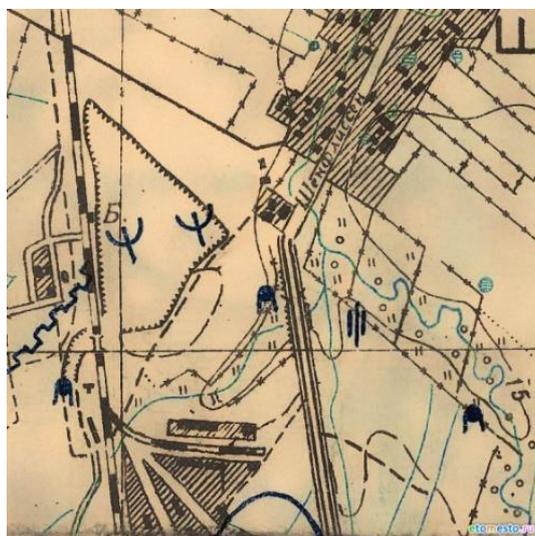
Впервые необводненный карьер с подводящим каналом в южной части, по форме напоминающий современный Шенфлиз, появляется на картах начала XX в., когда Кенигсберг стал расширяться, и для интенсивного городского строительства потребовались материалы, в том числе песок (Messtischblatt, 1933; Karte des Deutschen Reiches, Umgebung von Königsberg (Pr), 1938; Генеральный штаб РККА, № 34-41 (Фишхаузен), Вост. Пруссия, Кенигсбергск. пров., исправл. в 1922–30 гг.). На более ранних изображениях водоем или карьер здесь отсутствуют (Reumann's Special-Karte. Königsberg, 1806; Семитопографическая карта иностранных владений Российской Империи, 1820; Спец. карта Европейской России: Кенигсберг и Восточная Пруссия, 1885; Карта Германской империи 1:100000, 1878–1904). Восточнее находится водоток, русло которого отчетливо повторяет современные очертания р. Лесной; указано название поселения – Шенфлиз. На плане г. Кенигсберга, составленном по аэрофотоснимкам 1945 г., с рукописными пометками штаба 83-й гвардейской стрелковой дивизии РККА, можно увидеть, что в месте расположения карьера установлены станковые пулеметы, т. е. его дно было сухим (рис. 7).



а) Reymann's Special-Karte. Königsberg, 1806 (фрагмент)



б) Messtischblatt (4 cm-Karte), 1933 (фрагмент)



в) План г. Кенигсберга, 1945 г. (фрагмент)

Рис. 7. Пруд Шенфлиз на картах (1806 (а), 1933 (б), 1945 (в)) [12]
Fig. 7. Maps showing the Schönfließ pond (1806(a), 1933(в), 1945(c))

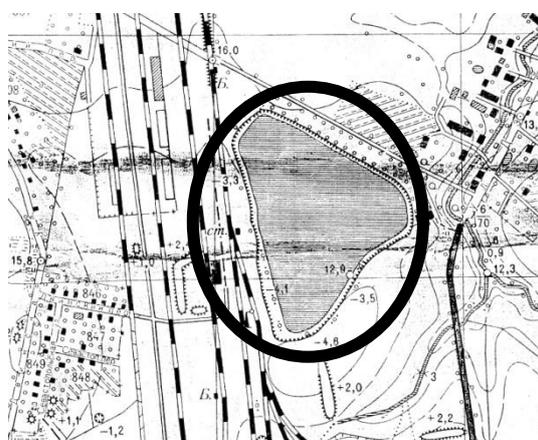
В то же время на архивных фотографических изображениях 1930-х гг. (рис. 8) в данном географическом пункте можно увидеть водоем с названием Ваггертеич, т. е. «карьерный пруд», «копань» [13]. Вероятно, вскоре после сооружения карьера существовала техническая возможность заполнять его водой и спускать воду при необходимости, но в военные и послевоенные годы возможность регулировать заполнение карьера водой была утрачена.



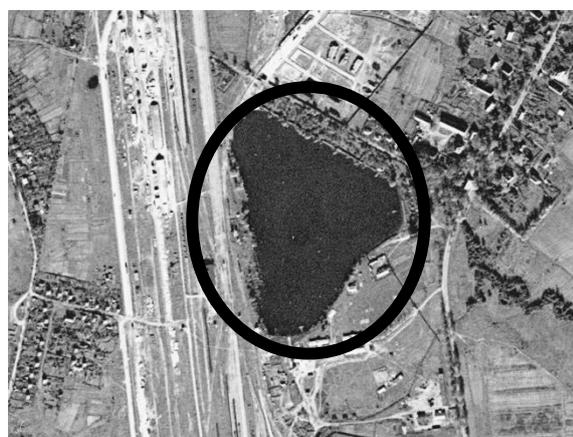
www.Bildarchiv-Ostpreussen.de 010730
Schönfließ, Stadtkreis Königsberg, MT13089-8.
Partie am Baggerteich. (1930-1936), © Paul Henschke, Schippenbeil

Рис. 8. Вид на пруд Баггертайх (Шенфлиз, округ Кенигсберг, 1930–1936) [13]
Fig. 8. The view of the Baggerteich (Schönflies, Königsberg urban district, 1930–1936)

На всех послевоенных картах и спутниковых снимках (План г. Калининграда N-34, 1959, по материалам съемки 1955 г.; спутниковый снимок г. Калининграда и окрестностей, 1966) данный объект уже обводнен, видимо, за счет поступления грунтовых вод, и окружен обрывистыми берегами со всех сторон. Подводящий канал на юге, как и другие впадающие в пруд или вытекающие из него водотоки, отсутствует (рис. 9).



а) План г. Калининград, N-34, 1959
(фрагмент)



б) Спутниковый снимок, 1966
(фрагмент)

Рис. 9. Пруд Шенфлиз на картах (1959 (а), 1966 (б)) [12]
Fig. 9. Maps showing the Schönflies pond (1959(a), 1966(b))

Рельеф окружающей местности также претерпел значительные изменения, появлялись новые неровности, видоизменилась гидрографическая сеть. В результате этого водосборный бассейн пруда Шенфлиз оказался ограничен близлежащими автомобильными и железной дорогами, построенными в ходе хозяйственного освоения территории. Границы водосборного бассейна выделены с помощью картографических сервисов Google Earth и геоинформационной системы ArcGis.

Положение линий водораздела, которые проходят, в основном, очень близко к урезу воды, особенно на западе и северо-востоке водоема – на расстоянии 30–40 м, определяется особенностями хозяйственного развития прилегающей местности (рис. 10).



Рис. 10. Водосборный бассейн пруда Шенфлиз
Fig. 10. Catchment area of the Schönflies pond

Площадь водосборного бассейна пруда Шенфлиз невелика, составляет приблизительно 7,3 га и сопоставима с площадью его водной поверхности, что в целом характерно для многих обводненных карьеров г. Калининграда [14, 15]. Водосборный бассейн включает участок местности почти до р. Лесной на востоке, расширяясь к юго-востоку. На западном берегу водоема его водосбор заметно уже (20–30 м), ограничен железнодорожными путями и вытянут с севера на юг. Небольшой размер водосбора пруда (удельный водосбор Шенфлиза 0,8) определяет его сниженное влияние на гидрологический режим водного объекта. Следовательно, значение изменчивых погодных условий и внутриводоемных процессов усиливается. Поскольку пруд Шенфлиз – замкнутый непроточный водоем с замедленным водообменом, а объем водной массы сравнительно невелик, то его устойчивость к загрязнению также не может быть высокой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные работы позволили впервые построить батиметрическую карту и трехмерную модель рельефа дна пруда Шенфлиз, а также определить его морфометрические характеристики. Это водоем среднего размера (площадь водной поверхности 9,1 га) со средней глубиной 3,1 м, максимальная зафиксированная глубина составила 5,5 м. Сочетание небольшой площади водного зеркала пруда с такой глубиной приводит к ослаблению ветрового перемешивания его водной толщи и неравномерному распределению тепла и растворенных элементов, усиливает риск возникновения кислорододефицитных зон в придонном слое.

Техногенная природа водоема и его сравнительная молодость обуславливают достаточно сложный рельеф дна. Котловина пруда выровнена в центре, береговая линия с треугольными очертаниями очень слабоизрезанная. Площадь водосборного бассейна пруда Шенфлиз невелика и составляет приблизительно 7,3 га. Показатель удельного водосбора относится к очень малым, что говорит о низкой роли водосборного бассейна в протекающих внутренних процессах в пруду.

Наиболее благоприятные условия для создания пляжа имеются на западном и юго-западном берегу водоема, так как в отличие от восточного побережья глубины там изменяются более плавно и постепенно. Ширина полосы акватории пруда, ограниченной изобатой 2 м, достигает почти 50 м. Увеличение площади организованного пляжа позволило бы снизить рекреационную нагрузку на пруд Шенфлиз в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цупикова, Н. А. Оценка состояния пруда Шенфлиз (г. Калининград) по гидрохимическим показателям в 2018 году / Н. А. Цупикова, А. С. Меньшенин // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: материалы X Национальной (всероссийской) научно-практической конференции (19–21 марта 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 128–132.
2. Ащеулов, В. А. О географическом центре России / В. А. Ащеулов // Геодезия и картография. – 1994. – № 7. – С. 54–55.
3. Общая гидрология (гидрология суши) / Б. Б. Богословский [и др.]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 422 с.
4. Григорьев, С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении / С. В. Григорьев // Труды Карельского филиала АН СССР. – 1959. – Вып. 18. – С. 29–45.
5. Якушко, О. Ф. Общие и индивидуальные черты лимногенеза ложбинных озер Белорусского Поозерья / О. Ф. Якушко // Вестник БГУ. Сер. 2.2006. – № 2. – С. 78–83.
6. Мишон, В. М. Функционально-генетическая классификация прудов Центрального Черноземья / В. М. Мишон // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – Воронеж, 2003. – № 3. – С. 23–32.
7. Bajkiewicz-Grabowska E., Magniuszewski A., Mikulski Z., 1993, Hydro-metria. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. 313 s.
8. Калининград: Экологический атлас. Калининград, 1999.
9. На озеро Шенфлиз в Калининграде завезли 160 тонн песка и разрешат купаться [Электронный ресурс] – URL: <https://www.kaliningrad.kp.ru/daily/26828.5/3868395/> (дата обращения 18.01.2021).
10. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] – URL: <https://pkk5.rosreestr.ru> (дата обращения 18.01.2021).
11. Официальный сайт администрации городского округа «Город Калининград» / В Калининграде начали подготовку к купальному сезону [Электронный ресурс] – URL: https://www.klgd.ru/press/news/detail.php?ID=424200&sphrase_id=42344070 (дата обращения 18.01.2021).

12. Старые карты России и мира онлайн / Южная часть Восточной Пруссии 1806 года [Электронный ресурс] – URL: http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad_1806/ (дата обращения 18.01.2021).

13. Bildarchiv Ostpreußen [Электронный ресурс] – URL: <https://www.bildarchiv-ostpreussen.de> (дата обращения 18.01.2021).

14. Цупикова, Н. А. Морфометрические характеристики пруда Пелавского (г. Калининград) / Н. А. Цупикова, Е. А. Лозицкая, А. В. Алдушин // Известия КГТУ. – 2018. – № 49. – С. 55–66.

15. Моисеенко, В. В. Изучение внешней нагрузки на пруд Янтарный (Калининградская область) в 2018 году / В. В. Моисеенко, Н. А. Цупикова [Электронный ресурс]: официальное сетевое научное издание «Вестник молодежной науки». – 2019. – Вып. 5 (220) / Калининградский государственный технический университет. – URL: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2020/01/Moiseenko-522.pdf> (дата обращения 18.01.2021).

REFERENCES

1. Tsupikova N. A., Men'shenin A. S. Otsenka sostoyaniya pruda Shenfliz (g. Kaliningrad) po gidrokhimicheskim pokazatelyam v 2018 godu [Assessment of the state of the Schönflies pond (Kaliningrad) according to hydrochemical indicators in 2018]. *Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie: materialy X Natsional'noy (vserossiyskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii (19–21 marta 2019 g.)* [Natural resources, their current state, conservation, industrial and technical application: proceedings of X National (All-Russian) Scientific and Practical Conference (19–21 March 2019)]. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2019, pp. 128–132.

2. Ashcheulov V. A. O geograficheskom tsentre Rossii [On the geographical center of Russia]. *Geodeziya i kartografiya*, 1994, no. 7, pp. 54–55

3. Bogoslovskiy B. B. i dr. *Obshchaya gidrologiya (gidrologiya sushy)* [General hydrology (land hydrology)]. L., Gidrometeoizdat, 1984, 422 p.

4. Grigor'ev S. V. O nekotorykh opredeleniyakh i pokazatelyakh v ozerovedenii [On some definitions and indicators in lake hydrology]. *Trudy Karel'skogo filiala AN SSSR* [Proceeding of Karelian branch of the USSR Academy of Sciences]. 1959, iss. 18, pp. 29–45.

5. Yakushko O. F. Obshchie i individual'nye cherty limnogeneza lozhbinnykh ozer Belorusskogo Poozer'ya [General and individual features of limnogenesis of the hollow lakes of the Belarusian Poozerie]. *Vestnik BGU, ser. 2*. 2006, no. 2, pp. 78–83.

6. Mishon V. M. Funktsional'no-geneticheskaya klassifikatsiya prudov Tsentral'nogo Chernozem'ya [Functional-genetic classification of the ponds of the Central Chernozem Region]. *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. Voronezh, 2003, no. 3, pp. 23–32.

7. Bajkiewicz-Grabowska E., Magniuszewski A., Mikulski Z. *Hydrometria*, 1993, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 313 p.

8. *Kaliningrad: Ekologicheskii atlas* [Kaliningrad: ecological atlas]. Kaliningrad, 1999.

9. *Na ozero Shenfliz v Kaliningrade zavezli 160 tonn peska i razreshat kupat'sya* [160 tons of sand have been brought to Lake Shionfliz in Kaliningrad and people will be

allowed to swim]. Available at: <https://www.kaliningrad.kp.ru/daily/26828.5/3868395/> (Accessed 18 January 2021).

10. *Publichnaya kadastravaya karta* [Public cadastral map]. Available at: <https://pkk5.rosreestr.ru> (Accessed 18 January 2021).

11. *V Kaliningrade nachali podgotovku k kupal'nomu sezonu* [Preparations for the swimming season have begun in Kaliningrad]. Ofitsial'nyy sayt administratsii gorodskogo okruga “Gorod Kaliningrad”. Available at: https://www.klgd.ru/press/news/detail.php?ID=424200&sphrase_id=42344070 (Accessed 18 January 2021).

12. *Starye karty Rossii i mira onlayn. Yuzhnaya chast' Vostochnoy Prussii 1806 goda* [Old maps of Russia and the world online. Southern part of East Prussia 1806]. Available at: http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad_1806/ (Accessed 18 January 2021).

13. *Bildarchiv Ostpreußen*. Available at: <https://www.bildarchiv-ostpreussen.de> (Accessed 18 January 2021).

14. Tsupikova N. A., Lozitskaya E. A., Aldushin A. V. Morfometricheskie kharakteristiki pruda Pelavskogo (g. Kaliningrad) [Morphometric characteristics of the Pelavsky pond (Kaliningrad)]. *Izvestiya KGTU*, Kaliningrad, 2018, no. 49, pp. 55–66.

15. Moiseenko V. V., Tsupikova N. A. Izuchenie vneshney nagruzki na prud Yantarnyy (Kaliningradskaya oblast') v 2018 godu [Study of the external load on the Yantarny pond (Kaliningrad region) in 2018]. *Ofitsial'noe setevoe nauchnoe izdanie “Vestnik molodezhnoy nauki”*. 2019, iss. 5 (220). Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. Available at: <http://vestnikmolnauki.ru/wpcontent/uploads/2020/01/Moiseenko-522.pdf> (Accessed 8 January 2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Цупикова Надежда Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Tsupikova Nadezhda Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Меньшенин Александр Сергеевич – Калининградский государственный технический университет; студент; E-mail: sascha11101999@mail.ru

Menshenin Aleksandr Sergeevich – Kaliningrad State Technical University; student; E-mail: sascha11101999@mail.ru

Алдушин Андрей Викторович – Калининградский государственный технический университет; старший преподаватель; E-mail: aldushin@klgtu.ru

Aldushin Andrey Viktorovich – Kaliningrad State Technical University; Senior lecturer; E-mail: aldushin@klgtu.ru

УДК 504.455

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-50-64

НЕКОТОРЫЕ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
И ПРОБЛЕМЫ МАЛЫХ ГОРОДСКИХ ПРУДОВ
НА ПРИМЕРЕ ПРУДА ПОПЛАВОК

Н. А. Цупикова, Е. А. Севостьянова

SOME HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL PECULIARITIES
AND PROBLEMS OF SMALL URBAN PONDS ON THE EXAMPLE
OF THE POPLAVOK POND

N. A. Tsupikova, E. A. Sevostianova

В статье рассмотрена роль малых городских водоемов в жизни урбоэкосистем, их значение для современных городов. По данным ежемесячных гидрологических и гидрохимических наблюдений и дополнительных исследований в период с февраля 2015 г. по ноябрь 2017 г. оцениваются изменения в химическом составе воды пруда Поплавок под влиянием произведенной очистки, антропогенных воздействий, природных факторов. Сравнение пруда с другими водоемами подобного назначения по морфометрическим и гидрохимическим параметрам показало, что он является одним из типичных искусственных водоемов г. Калининграда, чей гидрологический и гидрохимический режим существенно зависит от погодных условий и проводимых хозяйственных мероприятий. Особенность искусственных водоемов г. Калининграда – их небольшой размер и замедленный естественный водообмен, который выступает одной из важнейших гидрологических и гидроэкологических характеристик.

Эти малые водоемы Калининграда представляют собой динамически пассивные акватории с упрощенной структурой и сниженной устойчивостью внутриводоемных процессов. В результате в прудах наблюдается тенденция к значительно ускоренной эвтрофикации по сравнению с естественными водными объектами и «цветению» воды.

Омолождение прудов и продление срока их эксплуатации возможно путем очистки ложа, реконструкции водоема. В статье изучен результат такого омоложения на примере пруда Поплавок. После рекультивации водоем проходил период восстановления и уже к 2016 г. многие из рассматриваемых показателей пришли к допустимому уровню. Выявленные особенности формирования замкнутой системы пруда не способствуют быстрому обновлению вод или их самоочищению, что приводит к постепенному снижению качества воды в результате быстрого накопления органического материала даже после рекультивационных работ, что и наблюдалось в пруде Поплавок в 2017 г. Для экосистем подобных водоемов требуется постоянный контроль за их состоянием и своевременное вмешательство для поддержания или улучшения их экологического состояния.

малые городские пруды, пруд Поплавок, гидрохимическая характеристика, экологическое состояние, мониторинг

The paper considers the role of small water bodies in the life of urban ecosystems and their importance for modern cities. Changes in the chemical composition of the water of the Poplavok pond due to the recent clean-out, anthropogenic influences and natural factors are assessed based upon the data of monthly hydrological and hydrochemical observations and additional studies within the period from February 2015 to November 2017. Comparison of the pond with other water reservoirs of the similar purpose in Kaliningrad in terms of morphometric and hydrochemical parameters showed that the Poplavok pond is one of the typical artificial reservoirs of Kaliningrad; its hydrological and hydrochemical regime significantly depends on weather conditions and performed water control and water economic practice. A feature of the artificial reservoirs of the city of Kaliningrad is their small size and slow natural water exchange, which is one of the most important hydrological and hydroecological characteristics.

These small water reservoirs of Kaliningrad are dynamically passive water areas with a simplified structure and reduced stability of in-water body processes. As a result, there is a tendency in ponds to significantly accelerated eutrophication in comparison with natural water bodies and “water blooming”.

Rejuvenation of ponds and extension of their life cycle is possible by cleaning the bed and reconstruction of the reservoir. The result of such rejuvenation is studied in the article using the example of the Poplavok pond. After reclamation, the reservoir underwent a recovery period, and by 2016 many indicators had reached the permissible level. These features of the formation of a closed system of the pond don't contribute to the rapid renewal of the waters or their self-purification, which leads to a gradual decrease in water quality as a result of the rapid accumulation of organic material even after reclamation, which was observed in the Poplavok pond in 2017. For this type of ecosystems a constant monitoring of their condition and timely intervention to maintain or improve their ecological state are recommended.

small city ponds, the Poplavok pond, hydrochemical characteristics, ecological state, monitoring

ВВЕДЕНИЕ

Условия жизнедеятельности человека определяются не только совокупностью физических, химических, биологических, социальных объектов, явлений и факторов окружающей (природной и искусственной) среды. Важным также является пейзажно-эстетическая привлекательность ландшафтов и их способность обеспечить массовый отдых населения в пределах урбанизированных территорий. Нередко такими резортами (стихийными или организованными) для горожан становятся берега водоемов, в частности, прудов. Кроме того, они являются местами обитания диких водоплавающих птиц.

Быстрое развитие современных городов, застройка свободных участков (часто точечная, что вызывает многочисленные нарекания и возражения со стороны населения) оказывают огромное воздействие на водные объекты: одни из них претерпевают существенные изменения, другие вообще исчезают, многие подвержены неконтролируемому загрязнению, ухудшая общую санитарно-эпидемиологическую обстановку в городах. Поэтому вопросы восстановления малых водоемов, сохранения и улучшения их экологического состояния посте-

ленно становятся одной из первоочередных задач обустройства городской территории во многих российских населенных пунктах.

Городские пруды обычно сильно отличаются от естественных озер: они мелководны, часто сильно эвтрофированы и испытывают гораздо большую антропогенную нагрузку, чем водоемы за городом.

Город Калининград, расположенный на берегах р. Преголи, в условиях равнинного рельефа местности и близко залегающих подземных вод имеет очень развитую гидрографическую сеть: в городе множество ручьев, прудов, канав, водных рвов вокруг фортов и оборонительных сооружений. На территории Калининградской области расположено более 3750 озер и искусственных водоемов. Непосредственно в городе водоемы занимают около 20 % территории [1–2]. Значительную часть этих пространств составляют пруды, которых в городе насчитывается несколько сот. Они в основном двух типов: копаные и подпрудные. Это водоемы небольшого размера (площадь водного зеркала не превышает 1000 м²), некоторые даже не имеют названий. К средним прудам с площадью от 2 до 10 га [3] можно отнести Пелавский, Поплавок, Нижний, Школьный, Шенфлиз и др. Многие из городских водоемов первоначально служили для создания запасов воды, водоснабжения населения, но сейчас больше выполняют эстетические и рекреационные функции, а также выступают немаловажными компонентами естественной дренажной сети города. Водоемы и связанные с ними парки и скверы, являясь существенным элементом антропогенного ландшафта, придают особое очарование многим районам.

Один из таких калининградских прудов – Поплавок – находится в центральной части города, в 40 м от крупной транспортной магистрали, и окружен как мало-, так и многоэтажными жилыми и административными зданиями. Пруд сооружен в 1905 г. для украшения пейзажа и во избежание подтопления прилегающих территорий, где велось интенсивное строительство вилл и особняков, берега пруда засадили редкими породами деревьев и кустарников [1]. Поплавок (получил свое современное название в 1949 г., до этого – нем. Zwillingsteich или Zwillingssee – пруд Близнецы) быстро стал одной из достопримечательностей района, «точкой притяжения» для жителей, каковым остается и по настоящее время. В 90-е годы, на фоне общего экономического кризиса, пруд постепенно пришел в упадок: каменное ограждение частично осыпалось, вода практически исчезла под слоем мусора и ряски. Весной 2013 г. началась реконструкция пруда, в ходе которой разбиралась дамба, выполнялось осушение, очищение от донных отложений, укрепление берега, были реконструированы мосты, система водоотведения и др. [4].

Цель работы – определение проблем малых водоемов, находящихся в городской черте, а также выявление связанных с ними гидрохимических и гидрологических изменений на примере пруда Поплавок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В целях контроля экологической ситуации на пруду Поплавок с февраля 2015 г. был организован ежемесячный мониторинг. Пробы воды для исследования отбирались из поверхностного горизонта на трех основных и двух дополнительных станциях с февраля 2015 г. по ноябрь 2017 г.; их гидрохимический анализ проводился в лаборатории Калининградского государственного технического

университета по общепринятым методикам для объемного и колориметрического методов (рис. 1). Параллельно на кафедре проходили альгологические исследования [5–6].

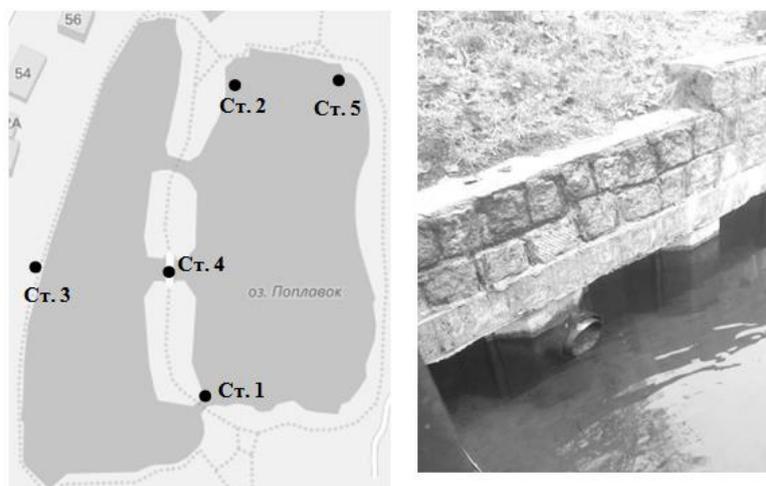


Рис. 1. Пруд Поплавок: схема расположения станций мониторинга и труба у ст. 1, отводящая сток с прилегающей территории
 Fig. 1. The Poplavok Pond: scheme of monitoring stations and a water outlet at st. 1, discharge from adjacent territory

За указанный период было собрано и обработано более 400 проб. Данные для анализа сезонного хода веществ осреднены по станциям, так как выявленные пространственные различия их значений по площади пруда невелики. Расчет морфометрических характеристик выполнен с применением Google Maps.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По величине площади водного зеркала (2,3 га) пруд Поплавок является малым, хотя некоторые авторы [3] считают, что такие водоемы (с площадью водной поверхности от 2 до 10 га) следует относить к категории средних. Глубина водоема небольшая – от 1,5 до 3 м; длина его береговой линии – всего 1,1 км. Объем воды приблизительно 40 тыс. м³. По морфометрическим параметрам водоем очень близок к калининградским водоемам – оз. Лесному, Летнему, Зимнему, пруду в парке Южном и многим другим озерам и прудам (табл. 1). Все рассмотренные водоемы небольшого размера, сопоставимой длины, средней ширины и протяженности береговой линии.

Таблица 1. Сравнение морфометрических характеристик водоемов г. Калининграда
 Table 1. Comparison of morphometric characteristics of some waterbodies located in Kaliningrad

Параметр	Пруд Поплавок	Озеро Лесное	Озеро Летнее	Озеро Зимнее
1	2	3	4	5
Площадь водного зеркала, га	2,3 (1,1/1,2)*	3,1	3,3	1,4
Длина, м	228/191*	330	305	165
Средняя ширина, м	48/62*	95	108	85

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Максимальная ширина, м	86/87*	170	167	115
Протяженность береговой линии, км	1,1	0,8	0,8	0,5
Коэффициент изрезанности береговой линии	1,4	1,2	1,2	1,2

Примечание: * в числителе – параметры для западной части, в знаменателе – параметры для восточной части пруда.

Главным отличием пруда Поплавок является его форма – он состоит из двух примерно равных половин (очевидно, немецкое название водоема – Близнецы – объясняется формой пруда), которые соединяются тремя протоками (рис. 1).

Пруд непроточный, он не принимает ни одного водотока и ни одного водотока из него не вытекает. При заполнении пруда во время его реконструкции бурилась скважина до грунтовых вод, которая в настоящий момент не функционирует из-за засорения камнями и кирпичом [7]. Пруд пополняется грунтовыми водами и влагой атмосферных осадков. Кроме того, в него выведена труба, через которую осуществляется дополнительный сброс воды с прилегающей территории (рис. 1). В жаркую погоду при отсутствии атмосферных осадков уровень воды в Поплавке сильно падает и в некоторых местах глубина уменьшается до 15–20 см. На поверхности обычно присутствует мусор, летом много водорослей, пуха и перьев птиц, пыльцы и семян растений.

В период проведения наблюдений пруд каждую зиму покрывался льдом только в январе, в остальные месяцы температура поверхностных вод изменялась в пределах 4,3–24,7 °С, причем летом воды западной части прогревались сильнее, чем восточной. В 2015 г. конец весны и первая половина лета были прохладными (ниже климатической нормы на 0,4–0,9 °С наблюдались среднемесячные температуры воздуха с мая по июль) и дождливыми, в то время как остальная часть года и особенно ноябрь–декабрь – очень теплыми (среднемесячная температура воздуха превысила среднемноголетние значения на 2,8 и 4,8 °С соответственно); в 2016 г. почти постоянно температура воздуха была значительно выше нормы (особенно теплыми выдались март и май – среднемесячная температура в эти месяцы отмечалась на 9,6–6,3 °С больше среднемноголетней) и только в октябре – ниже; во многие, в том числе летние месяцы, осадков выпало больше нормы [8]. Температура воздуха в начале 2017 г. была близка к климатической норме, однако к концу лета и на протяжении всей осени превышала ее на 0,6–3,0 °С. Температура воды в пруду в период исследований в основном (за исключением весенних месяцев 2015–2016 гг.) была выше температуры воздуха и максимальных значений (около 20–25 °С на поверхности) достигала к концу лета. Общий температурный фон в 2015 г. в целом был ниже, чем в 2016 и 2017 гг. (рис. 2).

Вода в пруду малопрозрачная, летом относительная прозрачность на всех станциях составляла около 30 см, цвет воды – зеленовато-бурый. Грунт песчаный и илистый, причем значительные объемы песка завозились при реконструкции водоема.

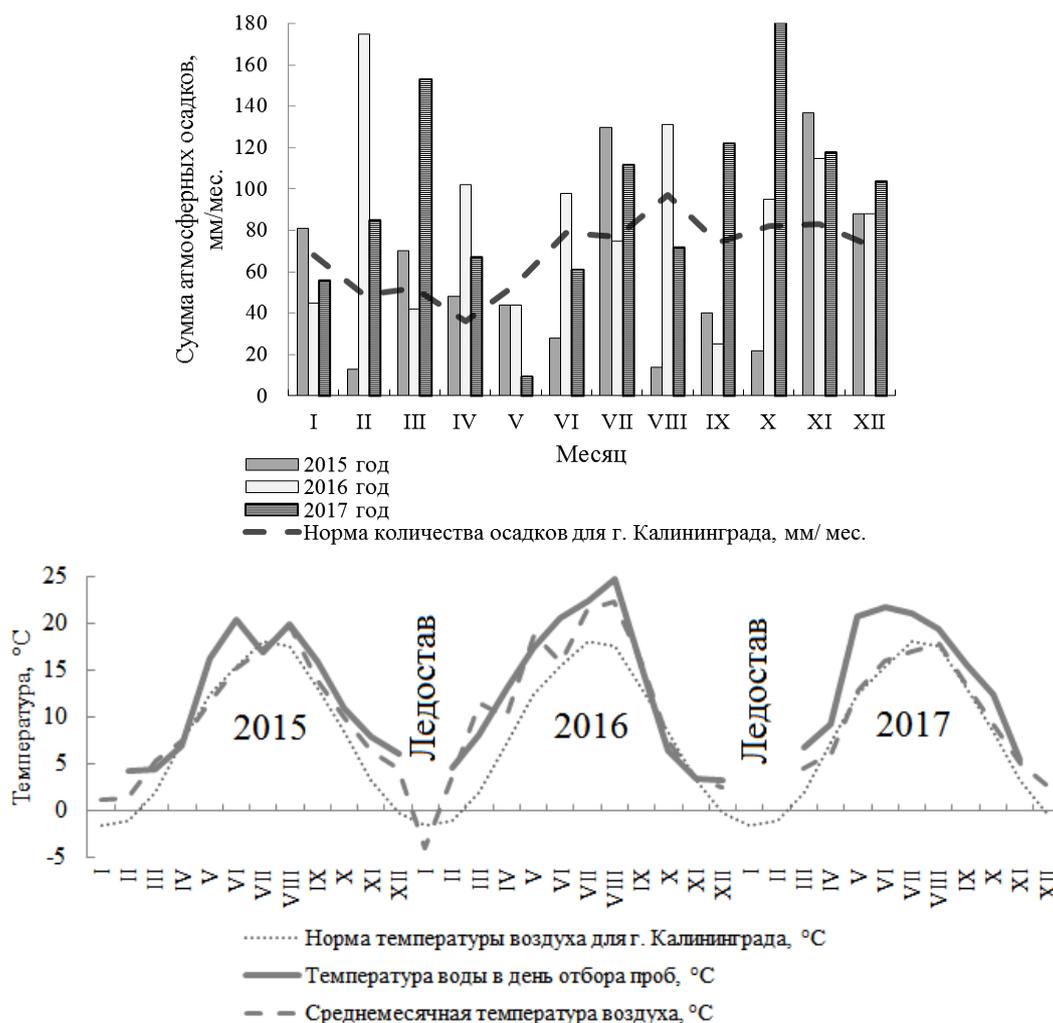


Рис. 2. Погодные условия в г. Калининграде в 2015–2017 гг.
Fig. 2. Weather in Kaliningrad in 2015–2017

По классификации О. А. Алекина [9], вода в пруду мягкая: жесткость – около 2,7–2,8 мг·эquiv./дм³, средней степени минерализации – менее 300 мг/дм³. На ст. 1, у выхода трубы, сумма ионов наименьшая, что связано с атмосферным происхождением вод (приблизительно 250 мг/дм³). В 2015 г. воды сульфатно-кальциевые второго типа, в северной части водоема – гидрокарбонатно-кальциевые, в 2017 г. – гидрокарбонатно-натриевые первого типа по всей акватории. Изменение типа могло произойти в результате изменения условий водообмена и восстановления биогеохимических процессов в водах пруда.

Водородный показатель подвержен значительным колебаниям в течение года, с выраженным максимумом летом и минимумом в холодный сезон. Воды пруда – олигоценные: в среднем за период наблюдений величина pH составляла 8,5–8,6 (рис. 3), оставаясь в пределах нормы для водоемов зоны смешанных лесов (8,0±1,7 по [10]). Изменения pH тесно связаны с процессами фотосинтеза, так как при потреблении углекислого газа водной растительностью высвобождаются ионы OH⁻ (сильного основания), что смещает карбонатное равновесие вправо, в сторону щелочной реакции и образования карбонатов и бикарбонатов. Толь-

ко к концу 2017 г. величина рН сместилась в сторону кислых вод, что может говорить о повышенном содержании ионов H^+ . В 2015 и 2017 гг. в дневные часы летом в воде пруда двуокись углерода не была обнаружена. Содержание карбонатов составило более 2,5, гидрокарбонатов – 135–170 мг/дм³ соответственно. Карбонатная щелочность – около 1,6–1,8 мг·эquiv./дм³.

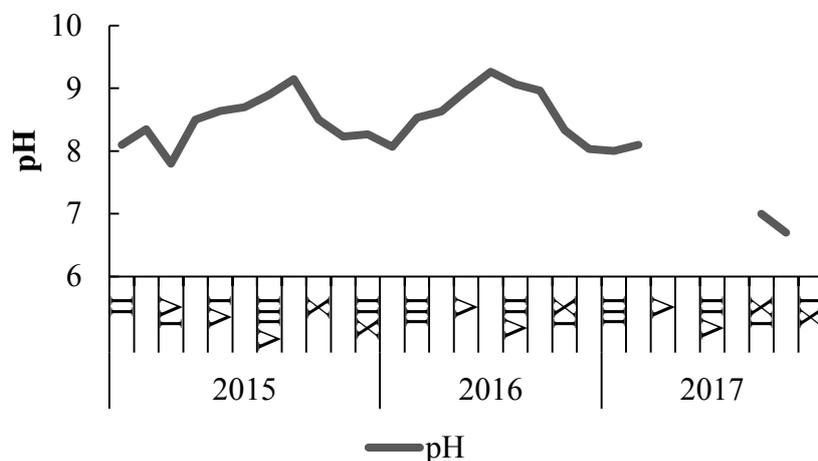


Рис. 3. Величина водородного показателя воды пруда Поплавок в 2015–2017 гг.

Fig. 3. Hydrogen ion concentration in the Poplavok pond in 2015–2017

Перманганатная окисляемость, свидетельствующая о содержании в воде легкоокисляемых органических веществ, в 2015 г. в целом более высокая, чем в другие годы. Ее величина характеризуется как средняя (что соответствует олиго-мезогумозным водоемам [10]), в отдельные месяцы (август-октябрь 2015 г., март 2017 г.) – повышенная (рис. 4). Поскольку водоем небольшой, малой глубины и беспроточный, его естественная способность к самоочищению снижена и аква-экосистема очень чутко реагирует на любые внешние воздействия, такие как проведенная рекультивация, обильное выпадение осадков, интродукция новых видов. В целях очистки пруда от водорослей и предотвращения его быстрого эвтрофирования в сентябре 2016 г. в водоем запустили 400 особей толстолобиков. Предпринятые действия не оказали ожидаемого результата. Начиная с 2018 г. очисткой с помощью специальной машины-амфибии занимается МБУ «Гидротехник». Помимо сбора поверхностного мусора, агрегат срезает цветущие водоросли на глубине до 1,5 м.

Кислородные условия в 2015–2016 гг. благоприятные: концентрация кислорода не опускалась ниже 6 мг/дм³, а в конце лета–начале осени 2015 г. превышала 13 мг/дм³ (рис. 5), достигнув значительного перенасыщения (до 130–140 % в августе). В 2016 г., за исключением марта-мая, содержание растворенного кислорода ниже, чем в 2015 г., как в абсолютных, так и в относительных показателях, что может быть связано с более высокими температурами воды и воздуха. Тем не менее и летом 2016 г. воды пруда были насыщены кислородом на уровне около 100 %. В 2017 г. абсолютное содержание кислорода заметно ниже, чем в предыдущие годы. В июне и августе складывались неблагоприятные кислородные усло-

вия со значительным недосыщением (56–64 %) и нарушением рыбохозяйственных нормативов (5,7 и 5,2 мг/л соответственно).

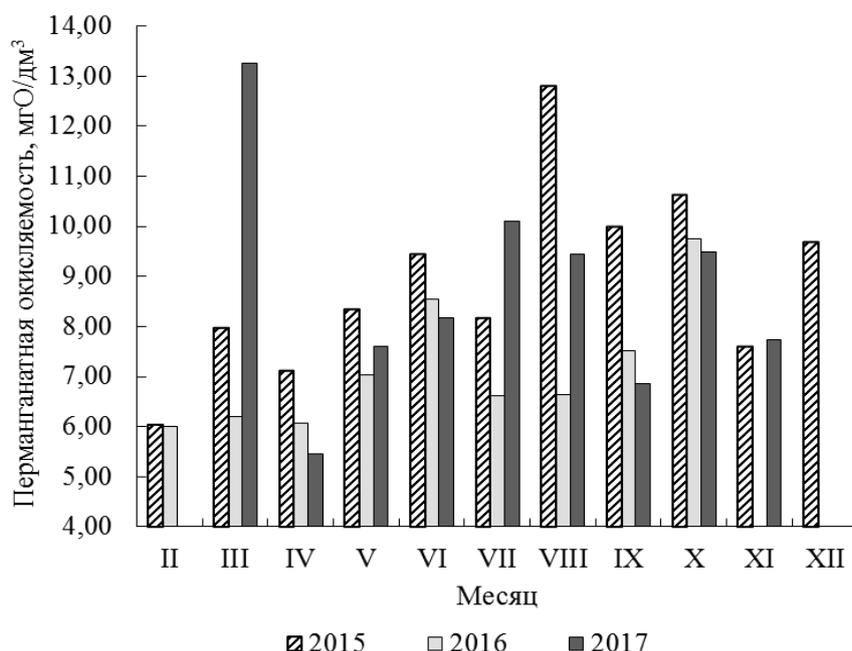


Рис. 4. Перманганатная окисляемость, мгО/дм³
Fig. 4. Permanganate value, mgO/dm³

Сезонность в ходе растворенного кислорода нарушена, особенно в 2015 г. (много кислорода обнаружено в феврале, годовой минимум наблюдался в мае), в 2016 г. годовой ход более правильный. В 2017 г. содержание кислорода возрастает в периоды активного фотосинтеза весной и осенью, но снижается летом [6].

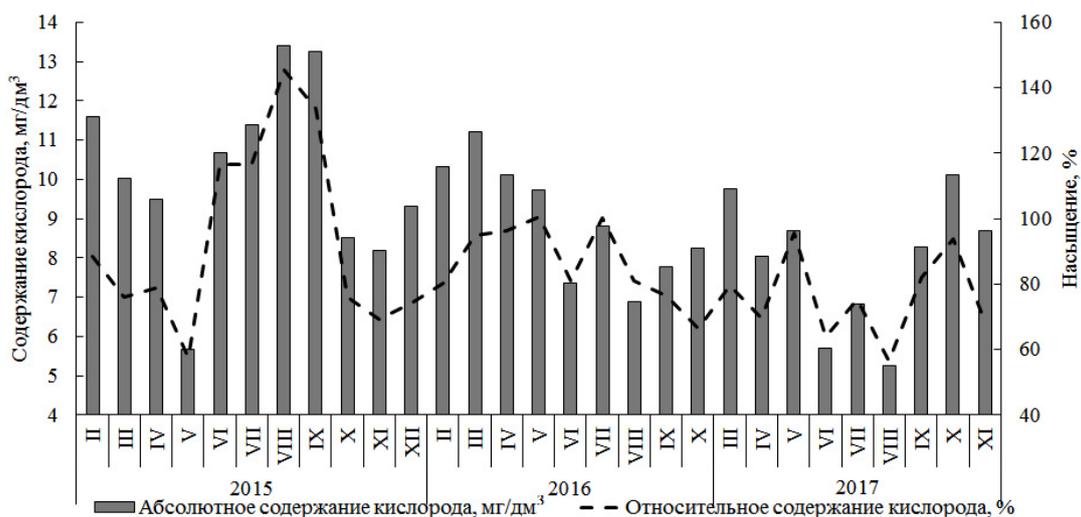


Рис. 5. Растворенный кислород, мг/дм³, %
Fig. 5. Dissolved oxygen, mg/dm³, %

Лабораторные исследования показали, что содержание биогенных элементов в воде пруда Поплавок выходит за пределы нормативов для рыбохозяйственных водоемов только по азоту аммонийному и железу общему. Их концентрации выше или близки к ПДК большую часть года.

Содержание общего железа постоянно существенно превышает рекомендуемые значения (более $0,64 \text{ мгFe/дм}^3$ в сентябре 2015 г.), что, вероятно, обусловлено заполнением котловины пруда подземными водами после рекультивации (рис. 6): для вод четвертичных отложений в Калининградской области, связанных с ледниковыми образованиями, характерно повышенное содержание железа.

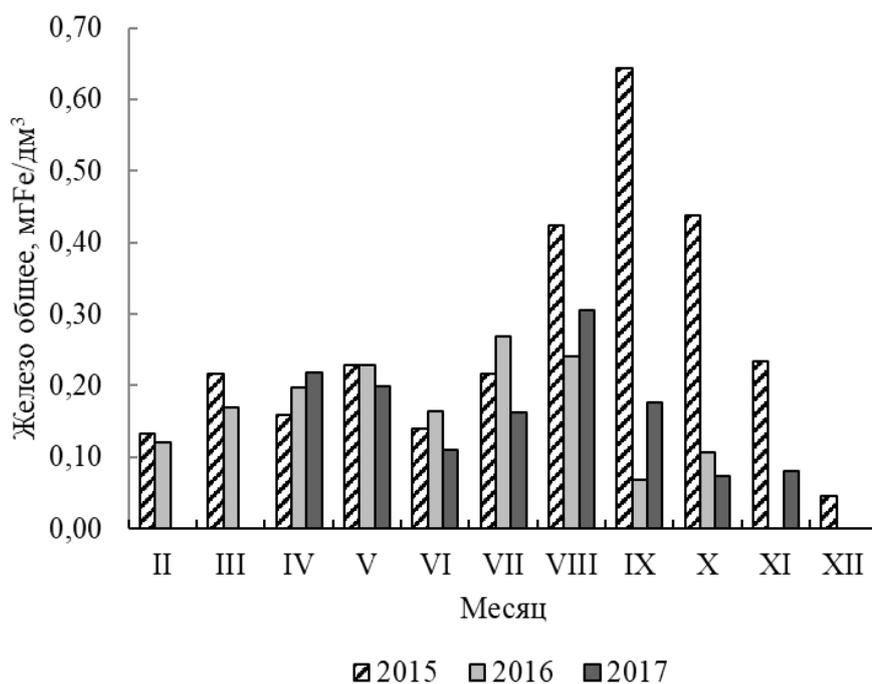


Рис. 6. Железо общее, мгFe/дм^3
 Fig. 6. Total iron, mgFe/dm^3

Концентрации аммонийного азота в пруду были всегда высокими. В сентябре 2015 г. (более $0,6 \text{ мгN/дм}^3$) и практически весь весенне-летний период 2017 г. они достигали максимума. Это позволяет характеризовать воды пруда как загрязненные. При этом наибольшая концентрация азота аммонийного совпала с самым высоким значением pH воды, что усилило токсичность аммонийного азота за счет увеличения содержания аммиака. Правильное внутригодовое распределение нарушено.

Концентрация нитритов (рис. 7) была незначительной и колебалась в интервале $0-0,027 \text{ мг/дм}^3$, при этом почти одинаковые значения ($0,017-0,025 \text{ мг/дм}^3$) наблюдались в марте, июне, сентябре, ноябре 2015 г., т. е. практически во все сезоны года. В 2016–2017 гг. отмечен более плавный ход концентрации нитритов.

Повышение концентрации ионов аммония и нитритов обычно указывает на свежее загрязнение, а поскольку в пруд не поступают сельскохозяйственные, хозяйственно-бытовые или промышленные сточные воды, можно предположить, что присутствие больших количеств ионов аммония связано главным образом с

протекающими в водоеме биохимическими процессами (деградация белков, дезаминирование аминокислот и др.) и его подземным питанием (фоновые концентрации аммония в подземных водах Прибалтийского бассейна – в диапазоне от 0,5 до 3,5 мг/дм³ и более [11]).

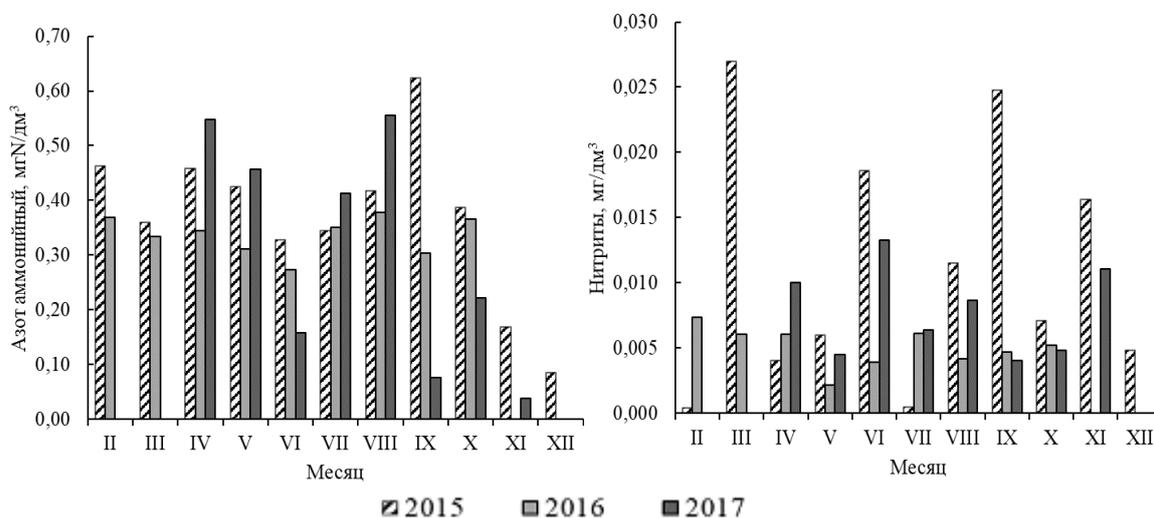


Рис. 7. Азот аммонийный и нитрит-ионы, мг/дм³
 Fig. 7. Ammonia nitrogen and nitrite, mg/dm³

Содержание фосфатного фосфора в поверхностных водах пруда было не очень высоким и в основном не превышало 0,1 мгP/дм³ (рис. 8), при этом он довольно равномерно распределен по поверхности водоема.

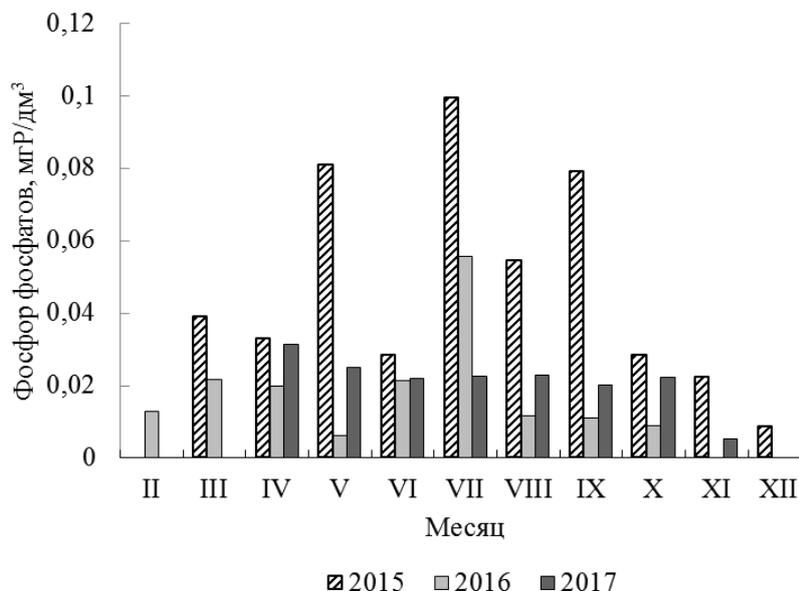


Рис. 8. Фосфор фосфатов, мгP/дм³
 Fig. 8. Phosphorus phosphate, mgP/dm³

В более прохладном 2015 г. фосфатов обнаружено заметно больше. В сезонном ходе какая-либо отчетливая закономерность не прослеживается. Годовой максимум в 2015 г. фиксируется в июле, как и в 2016 г. Много минерального фосфора было растворено в мае, что совпадает с годовым минимумом в ходе кислорода. Вероятно, аномалии в сезонном содержании этих величин объясняются общей причиной. В 2017 г. сезонный ход фосфора фосфатов также нетипичный, его содержание очень низкое и находится в пределах 0,01–0,03 мгР/дм³.

Пруд Поплавок схож с другими водоемами Калининграда не только по морфометрическим признакам, но и по термическому и ледовому режимам, гидролого-гидрохимическим показателям (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение гидрохимических характеристик водоемов Калининграда в вегетационный период [1213]

Table 2. Comparison of hydrochemical characteristics of some waterbodies located in Kaliningrad during the growing season

Показатель	Пруд озеро Голубое	Озеро Карповское	Пруд Пелавский	Пруд Шенфлиз	Пруд Поплавок
Минерализация	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
Железо общее, мгFe/ дм ³	0,05	0,36	0,09	0,06	0,23
Растворенный кислород, мг/дм ³	7,79	8,12	8,73	7,83	8,77
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	9,62	12,70	7,51	6,73	8,37
Нитриты, мг/дм ³	0,01	0,05	0,02	0,00	0,01
Азот аммонийный, мгN/ дм ³	0,39	0,28	0,22	0,19	0,37
Фосфор фосфатов, мгР/дм ³	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03

Это особенно заметно в значениях минерализации, средней концентрации кислорода, близкой к 8 мг/дм³, повышенной концентрации азота аммонийного и чаще средней, но иногда повышенной величины окисляемости [12–13]. Такое сходство гидрохимического режима может говорить о некоторой общности проблем городских водоемов, связанных с неустойчивым рекреационным и хозяйственным их использованием, например, с поступлением в водоемы избыточного количества органических веществ с водосборного бассейна, низкой экологической культурой горожан и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что традиционно прибрежные территории рек и озер являются наиболее ценными для использования их в градостроительных целях, зна-

чение небольших водоемов в современных городах, возможности их использования до сих пор часто оказываются недооцененными.

Данные социологических опросов [14] показывают, что жители российских городов относят проблему загрязнения водоемов к числу самых актуальных. Многие горожане полагают, что водоемы требуют мероприятий по очистке, признают свою ответственность за их состояние и понимают, что сами должны участвовать в мероприятиях по охране окружающей среды.

Усилия, направленные на оздоровление и благоустройство городских водоемов, приводят к очень хорошим результатам, превращая их в украшение урбандо ландшафтов и излюбленные места отдыха. Наблюдения показали, что по всем рассмотренным гидрохимическим характеристикам воды пруда Поплавок в 2016 и 2017 гг. оказались более чистыми, чем в 2015 г. к началу периода восстановления экосистемы после рекультивации. В 2016 г. уменьшилась величина перманганатной окисляемости, снизились концентрации фосфора фосфатов, азота аммонийного, нитрит-ионов, железа, т. е. происходит постепенное комплексное самоочищение водоема. Это свидетельствует о положительном результате очистки, проведенной в 2014 г. Но из-за морфометрических особенностей, сниженного водообмена и возрастающей рекреационной нагрузки водоем быстро накапливает достаточно большое количество органических веществ, что отражено в динамике изменения гидрохимических показателей в 2017 г.

Администрациям российских городов при формировании экологической политики и выполнении долгосрочных экологических программ следует предусматривать мероприятия по поддержанию и реабилитации водных объектов, существующих в неблагоприятных условиях городской среды, особенно малых рек и водоемов.

При подборе видового состава рыб для зарыбления водоемов следует выбирать виды, умеренно требовательные к качеству воды, например, карповые. Во избежание перегрева воды летом и быстрого зарастания прибрежных мелководий растительностью необходимо поддерживать в межледный период глубину вдоль берега не менее 0,8–1 м.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Губин, А. Б. Калининград в зеркале статистики / А. Б. Губин // Балтийский альманах. – Калининград, 2006. – № 6. – С. 63–70.
2. Калининградская область // Научно-популярная энциклопедия «Вода России» [Электронный ресурс]. – URL: https://water-f.ru/Регионы_России/2529/Калининградская_область (дата обращения 11.01.2019).
3. Мишон, В. М. Функционально-генетическая классификация прудов центрального Черноземья / В. М. Мишон // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 23–32.
4. Цупикова, Н. А. Проблемы благоустройства малых городских водоемов на примере пруда Поплавок (г. Калининград) / Н. А. Цупикова, А. С. Дроздова // Научно-исследовательские публикации. – 2016. – № 2 (34). – С. 117–126.

5. Бугранова, О. С. Сезонная динамика развития фитопланктона пруда Поплавок (г. Калининград) в 2015 году / О. С. Бугранова, Н. А. Цупикова, А. С. Дроздова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – Т. 3 (69). – № 1. – С. 18–31.
6. Бугранова, О. С. Динамика и условия развития фитопланктона пруда Поплавок (г. Калининград) в 2017 году / О. С. Бугранова, Е. А. Лозицкая, Н. А. Цупикова // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов: Юргинский технологический институт. – Томск – 2020. – С. 95–101.
7. 60 тонн водорослей в год: машина-амфибия снова начала уборку на озере Поплавок в Калининграде [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kaliningrad.kp.ru/daily/27146/4241336/> (дата обращения: 25.12.2020).
8. Климат Калининграда // Погода и климат [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/26702.htm> (дата обращения: 17.11.2020).
9. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. – 413 с.
10. Китаев, С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С. П. Китаев – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.
11. Закутин, В. П. Аммонийсодержащие подземные воды (условия формирования и распространения) / В. П. Закутин [и др.] // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 6. – С. 726–737.
12. Лозицкая, Е. А. Оценка экологического состояния озера Карповского в 2019 г. / Е. А. Лозицкая [и др.] // Научный журнал «Известия КГТУ», 2020. – № 59. – С. 73–87.
13. Лозицкая, Е. А. Анализ динамики качества вод в пруду Пелавском (Калининград) за период 2015–2019 гг. / Е. А. Лозицкая, Н. А. Цупикова // VII Международный Балтийский морской форум: материалы – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – Т. 3. – С. 347–359.
14. Россияне о состоянии окружающей среды по результатам социологических исследований [Электронный ресурс]. – URL: https://wciom.ru/fileadmin/file/reports_conferences/2013/2013-06-17-ekologiya.pdf (дата обращения: 25.03.2021).

REFERENCES

1. Gubin A. B. Kaliningrad v zerkale statistiki [Kaliningrad in the mirror of statistics]. *Baltiyskiy al'manakh*, Kaliningrad, 2006, no. 6, pp. 63–70.
2. Kaliningradskaya oblast' [Kaliningrad region]. *Nauchno-populyarnaya entsiklopediya "Voda Rossii"*. Available at: https://waterf.ru/Regiony_Rossii/2529/Kaliningradskaya_oblast' (Accessed 11 January 2019).
3. Mishon V. M. Funktsional'no-geneticheskaya klassifikatsiya prudov Tsentral'nogo Chernozem'ya [Functional-genetic classification of the ponds of the Central Chernozem Region]. *Vestnik VGU, Voronezh*, 2003, no. 3, pp. 23–32
4. Tsupikova N. A., Drozdova A. S. Problemy blagoustroystva malykh gorodskikh vodoemov na primere pruda Poplavok (g. Kaliningrad) [Problems of im-

improvements of small urban water bodies by the example of the Poplavok pond (Kaliningrad)]. *Nauchno-issledovatel'skie publikatsii*, 2016, no. 2 (34), pp. 117–126.

5. Bugranova O. S., Tsupikova N. A., Drozdova A. S. Sezonnaya dinamika razvitiya fitoplanktona pruda Poplavok (g. Kaliningrad) v 2015 godu [Seasonal cycle of phytoplankton in the Poplavok pond (Kaliningrad) in 2015]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2017, vol. 3 (69), no. 1, pp. 18–31.

6. Bugranova O. S., Lozitskaya E. A., Tsupikova N. A. Dinamika i usloviya razvitiya fitoplanktona pruda Poplavok (g. Kaliningrad) v 2017 godu [Dynamics and conditions for the development of phytoplankton in the Poplavok pond (Kaliningrad) in 2017]. *Sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov: Yurginskiy tekhnologicheskii institut* [Collection of works of the Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Post-graduates and Students: Yurga Technological Institute]. Tomsk, 2020, pp. 95–101.

7. 60 tonn vodorosley v god: mashina-amfibiya snova nachala uborku na ozere Poplavok v Kaliningrade [60 tons of algae per year: an amphibious vehicle has started harvesting again on The Poplavok Lake in Kaliningrad]. Available at: <https://www.kaliningrad.kp.ru/daily/27146/4241336/> (Accessed 25 December 2020).

8. *Klimat Kaliningrada* [Kaliningrad climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/26702.htm> (Accessed 17 November 2020).

9. Alekin O. A. *Osnovy gidrokhimii* [Basics of hydrochemistry]. L., Gidrometeoizdat, 1970, 413 p.

10. Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtiologov* [Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists]. Petrozavodsk, Karelskiy nauchnyy tsentr RAN, 2007, 395 p.

11. Zakutin V. P. [i dr.] Ammoniysoederzhashchie podzemnye vody (usloviya formirovaniya i rasprostraneniya) [Ammonium-containing groundwater (conditions of formation and distribution)]. *Vodnye resursy*, 1995, vol. 22, no. 6, pp. 726–737.

12. Lozitskaya E. A., Bugranova O. S., Kazimirchenko O. V., Tsupikova N. A. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya ozera Karpovskogo v 2019 g. [Assessment of the ecological state of the Karpovskoye Lake in 2019]. *Izvestiya KGTU*, 2020, no. 59, pp. 73–87.

13. Lozitskaya E. A., Tsupikova N. A. Analiz dinamiki kachestva vod v prudu Pelavskom (Kaliningrad) za period 2015–2019 gg. [Analysis of the water quality changes in the Pelavsky pond (Kaliningrad) within the years 2015–2019]. *VII Mezhdu-narodnyy Baltiyskiy morskoy forum* [VII International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, BGARF, KSTU, 2019, vol. 3, pp. 347–359.

14. *Rossiyanе о sostoyanii okruzhayushchey sredy po rezul'tatam sotsiologicheskikh issledovaniy* [Russians about the state of the environment based on the results of sociological research]. Available at: https://wciom.ru/fileadmin/file/reports_conferences/2013/2013-06-17-ekologiya.pdf (Accessed 25 March 2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Цупикова Надежда Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат геолого-минералогических наук; доцент кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Tsupikova Nadezhda Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Севостьянова Екатерина Александровна – Калининградский государственный технический университет; аспирант;
E-mail: Lozitskaya.EA@yandex.ru

Sevostianova Ekaterina Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD student; E-mail: Lozitskaya.EA@yandex.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.9.022

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-67-79

ПОДХОД К РАСЧЕТУ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ РЕЗАНИИ РЫБЫ

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

AN APPROACH TO CALCULATION OF SPECIFIC WORK OF MATERIAL DAMAGE DURING FISH CUTTING

O. V. Ageev, V. A. Naumov, Ju. A. Fatykhov, N. V. Samoylova

Показана актуальность разработки комплекса математических моделей, позволяющих рассчитать удельную работу при резании рыбы с целью определения коэффициента полезного действия элементарного ножа. Получено выражение для вычисления безразмерной удельной работы разрушения мышечных волокон. Сформулирована модель расчета указанной величины при упругом вырыве волокна с большой скоростью деформирования. Определена удельная работа вязкого разрыва при большой скорости резания. Получена математическая модель, позволяющая вычислить безразмерную удельную работу, необходимую на упругий вырыв волокна при не очень больших скоростях. Рассчитана безразмерная удельная работа вязкого разрыва волокна при не очень малых скоростях. Численным методом определены зависимости безразмерных удельных работ упругого вырыва и вязкого разрыва от безразмерной скорости деформирования. Установлено, что с ростом безразмерной скорости происходит нелинейное увеличение безразмерной удельной работы вязкого разрыва. При достижении максимального значения безразмерной удельной работы разрушения, соответствующего характерной безразмерной скорости, происходит смена вязкого разрыва на упругий вырыв волокна. При этом с дальнейшим ростом безразмерной скорости безразмерная удельная работа упругого разрушения изменяется немонотонно. При мере эластичности материала 3; 5; 8; 12 максимальные значения удельной работы разрушения составляют 0,0694; 0,0417; 0,0262; 0,0173 и достигаются при характерных безразмерных скоростях 0,0982; 0,0549; 0,0331; 0,0218, при этом минимальные значения безразмерной удельной работы упругого вырыва составляют 0,05761; 0,02714; 0,01279; 0,00641 и достигаются при безразмерной скорости 0,248; 0,217; 0,187; 0,161 соответственно. С увеличением меры эластичности материала максимальная безразмерная удельная работа разрушения и минимальная работа упругого вырыва существенно снижаются. Также с ростом меры эластичности уменьшается значение характерной безразмерной скорости, при которой вязкий разрыв сменяется упругим вырывом.

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

The paper shows the relevance of the development of a complex of mathematical models that allows calculating the specific work when cutting fish in order to determine the coefficient of efficiency of an elementary knife. An expression has been obtained for calculating the dimensionless specific work of muscle fibers destruction. A model for calculating this value for elastic fiber tear with a high deformation rate has been formulated. The specific work of viscous laceration at high cutting speed has been determined. A mathematical model for calculating the dimensionless specific work required for elastic fiber tear at not very high speeds has been obtained. The dimensionless specific work of viscous laceration of the fiber at not very low speeds has been calculated. The dependences of the dimensionless specific works of elastic tear and viscous laceration on the dimensionless strain rate have been determined by a numerical method. It has been found that with an increase in the dimensionless velocity, there is a nonlinear increase in the dimensionless specific work of viscous laceration. When the maximum value of the dimensionless specific fracture work, corresponding to the characteristic dimensionless speed, is reached, the viscous laceration changes to elastic fiber tear. In this case, with a further increase in the dimensionless velocity, the dimensionless specific work of elastic fracture changes nonmonotonically. With the values of measures of elasticity 3; 5; 8; 12 the maximum values of the specific work of destruction are 0.0694; 0.0417; 0.0262; 0.0173 and are achieved with a characteristic dimensionless speed values of 0.0982; 0.0549; 0.0331; 0.0218, while the minimum values of the dimensionless specific work of elastic tear are 0.05761; 0.02714; 0.01279; 0.00641 and are reached at dimensionless speed values of 0.248; 0.217; 0.187; 0.161 respectively. With an increase in measures of elasticity of the material, the maximum value of the dimensionless specific work of destruction and the minimum value of the work of elastic tear reduce significantly. Also, with an increase in measures of elasticity, the value of the characteristic dimensionless speed, at which a viscous laceration is replaced by an elastic tear, decreases.

fish, fiber, muscle tissue, cutting, damage, knife, work, rheology, viscoelasticity

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие рыбоперерабатывающих производств обуславливает возрастающие требования к эффективности технологического процесса резания сырья. Это предполагает сокращение энергетических затрат на обработку, повышение качества готового продукта, увеличение производительности, снижение металлоемкости, выбор рациональных режимов резания, применение износостойких ножей с антифрикционными покрытиями, соединение режущих органов с мехатронными устройствами и другие мероприятия. Повышение энергоэффективности указанного процесса предусматривает, прежде всего, снижение сил сопротивлений, возникающих при разделении материала на части. Выделим следующие основные пути достижения поставленной цели:

- повышение коэффициента полезного действия ножа;
- применение двухкромочного (обоюдоострого) ножа и ножа без боковых граней;
- оптимизацию формы профиля ножа;
- геометрическую трансформацию угла заточки;

- кинематическую трансформацию угла заточки;
- геометрическую и кинематическую трансформацию режущей кромки лезвия;
- применение дискового ножа, обеспечивающего геометрическую и кинематическую трансформацию формы профиля;
- применение ножа с фигурной кромкой и оптимизацию формы кромки;
- измерение морфометрических параметров сырья и выбор рациональных способов подачи материала при резании;
- применение сервопривода для приведения ножа в движение и автоматическое регулирование момента на вале серводвигателя (контурное управление);
- выбор рациональной скорости резания и автоматическое регулирование скорости ножа, установленного на сервоприводе.

Наряду с отмеченными выше, предусматриваются дополнительные мероприятия по повышению эффективности процесса резания рыбы, к которым относятся: выбор рациональных значений скорости подачи материала и угла подачи; определение рациональной степени уплотнения сырья при резании; увеличение долговечности лезвия и его износостойкости; снижение шероховатости поверхности режущего органа; снижение массы лезвия; упрощение эксплуатации режущего приспособления; улучшение условий для перезаточки ножа; повышение универсальности; применение многолезвийных режущих устройств и др.

Важным показателем, характеризующим эффективность процесса резания, является коэффициент полезного действия элементарного ножа. Для его определения требуется расчет удельной работы разрушения мышечных волокон рыбы. Несмотря на ценность известных публикаций, а также обширных экспериментальных результатов, в настоящее время недостаточно развит теоретический подход, позволяющий определить указанную величину. Таким образом, разработка комплекса математических моделей, дающих возможность рассчитать удельную работу, необходимую для разрушения пищевого материала, представляет собой актуальную отраслевую задачу.

Математическое моделирование процессов резания – актуальное направление, в рамках которого опубликован широкий перечень работ в России и за рубежом. М. Boisly, S. Schuldt, M. G. Kaestner, Y. Schneider, H. Rohm, G. Arnold, J. Kowalewski [1, 2] исследовали резание мясных продуктов, установили эмпирические зависимости между силами сопротивлений при разрушении волокнистого материала и скоростью движения ножа, проанализировали влияние угла заточки лезвия на параметры указанного процесса. Т. Atkins [3, 4] провел подробное теоретико-экспериментальное изучение процессов резания различных пищевых материалов, исследовал оптимальные углы заточки режущих органов, обобщив результаты в крупнейшей монографии по теме резания пищевых продуктов. А. Spagnoli, M. Terzano, R. Brighenti, F. Artoni, P. Stahle [5, 6] проанализировали силы трения, закономерности процесса резания вязкоупругих материалов, провели сравнительный анализ усилий резания в зависимости от режимных параметров. В исследовании К.-R. Deibel, S. Lämmlein, K. Wegener [7] разработали модель для расчета усилий скользящего резания тонких образцов материала. В. S. Ogunsina, A. I. Bamgboye [8] рассматривали силы разрушения при

обработке растительных пищевых продуктов. J. Sadowska, T. Jeliński, W. Błaszczak, S. Konopka, J. Fornal, W. Rybiński [9] изучали влияние структурные свойства растительного сырья на силы сопротивлений при обработке. В работах S. M. Goh, M. N. Charalambides, J. G. Williams [10] приводятся результаты исследований по резанию струнными режущими органами. Также процессу резания посвящена обстоятельная публикация E. Vandenberghe, M. N. Charalambides, I. K. Mohammed, B. D. Ketelaere, J. D. Baerdemaeker, J. Claes [11]. Авторы B. S. Sridhar, K. Sommer [12] исследовали методом конечных элементов процессы разрушения вязкоупругих продуктов с различной консистенцией. H. J. Holl, M. Meindlhumer, V. Simader, D. Schnurer, A. Brandl в [13] изложили результаты по вибрационному резанию материалов с различными структурно-реологическими свойствами.

В предшествующем исследовании авторов [14] получен комплекс математических моделей, позволяющих рассчитать интервалы времени наступления вязкого разрыва и упругого вырыва в зависимости от структурно-реологических свойств мышечной ткани и скорости ее деформирования режущим органом. Разработаны модели, описывающие режим разрушения волокон, который характеризуется внезапно возникшей постоянной деформацией материала. Представленные в работе [14] математические модели в размерной и безразмерной формах отражают физические закономерности процесса разрушения мышечных волокон рыбы в удобной для исследования форме.

В статье [15] получены математические описания для определения сил полезных сопротивлений при резании пищевых продуктов. В публикации [16] предложен подход к оптимизации формы профиля ножа для резания рыбы по критерию минимальной силы вредного сопротивления.

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБЪЕМНОГО РАЗРУШЕНИЯ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН ПРИ РЕЗАНИИ

На основе результатов [14] определим удельную работу объемного разрушения, которую необходимо совершить для преодоления внутренних вязкоупругих сил сопротивления, препятствующих продольному растяжению в единице объема волокна. Напряжение и относительная деформация волокна являются переменными и могут быть представлены в виде функций времени. Тогда удельную работу объемного разрушения запишем в виде определенного интеграла:

$$A_{\tau} = \int_0^{t_{cr}} \left(\hat{\sigma}_{\tau} \cdot \frac{d\hat{\varepsilon}_{\tau}}{dt} \right) dt, \left[\frac{H}{m^2} \right], \quad (1)$$

где t_{cr} – интервал времени разрушения с начала деформирования волокна; $d\hat{\varepsilon}_{\tau}$ – элементарное относительное удлинение волокна; $\hat{\sigma}_{\tau}$ – напряжение в вязкоупругом волокне.

В выражении (1) верхний предел интегрирования является наименьшим из двух интервалов времени упругого вырыва t_{cr0} и вязкого разрыва t_{cr1} . С учетом результатов работы [14] выражение (1) запишем в следующем виде, принимая во внимание начальное условие $\tilde{t}_{cr} = 0$, $A_{\tau} = 0$:

$$\begin{aligned}
 A_\tau &= \int_0^{t_{cr}} \left(\frac{18 \cdot \xi \cdot v^4}{25 \cdot l_a^4} \cdot t^3 + \frac{36 \cdot \xi^2 \cdot \eta \cdot v^4}{25 \cdot E_1^2 \cdot l_a^4} \cdot t^2 + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{36 \cdot \xi^2 \cdot \eta^2 \cdot v^4}{25 \cdot E_1^2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot l_a^4} \cdot t \cdot \left[\exp\left(-\frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t\right) - 1 \right] \right) dt = \\
 &= \int_0^{\tilde{t}_{cr}} \left(\frac{18 \cdot v^4}{25 \cdot l_a^4} \cdot \left(\frac{E_0 \cdot E_1 \cdot \eta^4 \cdot \tilde{t}^3}{(E_0 + E_1)^5} + \frac{2 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot \tilde{t}^2}{(E_0 + E_1)^5} + \frac{2 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot \tilde{t}}{(E_0 + E_1)^5} \cdot [\exp(-\tilde{t}) - 1] \right) \right) d\tilde{t} = \quad (2) \\
 &= \frac{36 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \cdot \int_0^{\tilde{t}_{cr}} \left(\frac{\tilde{t}^3}{2 \cdot e_{01}} + \tilde{t}^2 + \tilde{t} \cdot [\exp(-\tilde{t}) - 1] \right) d\tilde{t} = \\
 &= \frac{36 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \cdot \left(\frac{\tilde{t}_{cr}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr}^2}{2} - \exp(-\tilde{t}_{cr}) \cdot (\tilde{t}_{cr} + 1) + 1 \right),
 \end{aligned}$$

где E_0 – мгновенный модуль упругости материала (модуль Юнга); E_1 – запаздывающий (высокоэластичный) модуль упругости; $e_{01} = E_0/E_1$ – мера эластичности; η – коэффициент динамической вязкости материала; v – скорость деформирования; l_a – половинная ширина волокна; $\xi = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1} = \frac{E_0}{1 + e_{01}}$ –

длительный модуль упругости; $\tilde{t}_{cr} = \frac{E_0 + E_1}{\eta} \cdot t_{cr}$ – безразмерное время разрушения волокна с момента начала деформирования.

Введем безразмерную скорость деформирования $\tilde{v}_t = \frac{v}{l_a} \cdot \frac{\eta}{(E_0 + E_1)}$ и выразим удельную работу разрушения через безразмерную скорость:

$$\begin{aligned}
 A_\tau &= \frac{36 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot \tilde{v}_t^4 \cdot l_a^4 \cdot (E_0 + E_1)^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4 \cdot \eta^4} \cdot \left(\frac{\tilde{t}_{cr}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr}^2}{2} - \exp(-\tilde{t}_{cr}) \cdot (\tilde{t}_{cr} + 1) + 1 \right) = \\
 &= \frac{36 \cdot E_0^2 \cdot \tilde{v}_t^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)} \cdot \left(\frac{\tilde{t}_{cr}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr}^2}{2} - \exp(-\tilde{t}_{cr}) \cdot (\tilde{t}_{cr} + 1) + 1 \right), \quad (3)
 \end{aligned}$$

откуда следует выражение для безразмерной удельной работы:

$$\tilde{A}_\tau = \frac{25 \cdot (E_0 + E_1)}{36 \cdot E_0^2} \cdot A_\tau = \tilde{v}_t^4 \cdot \left(\frac{\tilde{t}_{cr}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr}^2}{2} - \exp(-\tilde{t}_{cr}) \cdot (\tilde{t}_{cr} + 1) + 1 \right). \quad (4)$$

Значение безразмерного интервала времени разрушения $\tilde{t}_{cr} = \min(\tilde{t}_{cr0}, \tilde{t}_{cr1})$ определяется согласно [14] путем численного решения системы трансцендентных уравнений и подставляется в выражение (4) для получения значения безразмерной величины \tilde{A}_τ .

Модель (4) позволяет численно исследовать зависимость величины \tilde{A}_τ от безразмерной скорости деформирования и структурно-реологических свойств материала.

При очень быстром упругом разрушении, т. е. при упругом вырыве с очень большой скоростью резания и очень малых значениях \tilde{t}_{cr0} , удельную работу согласно (4) возможно приближенно найти следующим образом:

$$\begin{aligned}
 A_{\tau}^0 &= \frac{36 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \times \\
 &\times \left(\frac{\tilde{t}_{cr0}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr0}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr0}^2}{2} - \left[1 - \tilde{t}_{cr0} + \frac{\tilde{t}_{cr0}^2}{1 \cdot 2} - \frac{\tilde{t}_{cr0}^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots \right] \cdot (\tilde{t}_{cr0} + 1) + 1 \right) = \\
 &= \frac{36 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \cdot \left(\frac{\tilde{t}_{cr0}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr0}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr0}^2}{2} - \left[1 - \tilde{t}_{cr0} + \frac{\tilde{t}_{cr0}^2}{2} - \frac{\tilde{t}_{cr0}^3}{6} \right] \cdot (\tilde{t}_{cr0} + 1) + 1 \right) = \\
 &= \frac{6 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \cdot \tilde{t}_{cr0}^4 \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Подставив в (5) выражение $\tilde{t}_{cr0} = \frac{l_a}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E_1 \cdot (E_0 + E_1) \cdot \sigma_{cr0}}{3 \cdot \xi}}$ из публикации [14], имеем:

$$\begin{aligned}
 A_{\tau}^0 &= \frac{6 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \cdot \left(\frac{l_a}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E_1 \cdot (E_0 + E_1) \cdot \sigma_{cr0}}{3 \cdot \xi}} \right)^4 \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right) = \\
 &= \frac{2 \cdot \sigma_{cr0}^2}{3 \cdot (E_0 + E_1)} \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right),
 \end{aligned} \tag{6}$$

где σ_{cr0} – упругая составляющая предельного напряжения в волокне.

С учетом (4) выражение для безразмерной удельной работы \tilde{A}_{τ}^0 в данном случае примет вид:

$$\tilde{A}_{\tau}^0 = \frac{25 \cdot \sigma_{cr0}^2}{54 \cdot E_0^2} \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right). \tag{7}$$

В свою очередь, в случае вязкого разрыва при большой скорости резания и малой высокоэластичной составляющей предельного напряжения в волокне σ_{cr1} безразмерную удельную работу также возможно приближенно найти следующим образом:

$$A_{\tau}^1 = \frac{6 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \cdot \tilde{t}_{cr1}^4 \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right). \tag{8}$$

Подставив в (8) выражение $\tilde{t}_{cr1} = \frac{l_a \cdot (E_0 + E_1)}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot \sigma_{cr1}}{3 \cdot \xi}}$ из статьи [14], получим:

$$A_{\tau}^1 = \frac{6 \cdot E_0^2 \cdot \eta^4 \cdot v^4}{25 \cdot (E_0 + E_1)^5 \cdot l_a^4} \cdot \left(\frac{l_a \cdot (E_0 + E_1)}{\eta \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot \sigma_{cr1}}{3 \cdot \xi}} \right)^4 \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right) =$$

$$= \frac{2 \cdot (E_0 + E_1) \cdot \sigma_{cr1}^2}{3 \cdot E_1^2} \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right). \quad (9)$$

С учетом (4) выражение для безразмерной удельной работы \tilde{A}_{τ}^1 запишем в следующем виде:

$$\tilde{A}_{\tau}^1 = \frac{25 \cdot \sigma_{cr1}^2}{54 \cdot \xi^2} \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot e_{01}} + 1 \right). \quad (10)$$

Отношение безразмерных удельных работ упругого и вязкого разрушения $\tilde{A}_{01} = \tilde{A}_{\tau}^0 / \tilde{A}_{\tau}^1$ возможно определить из (7) и (10):

$$\tilde{A}_{01} = \frac{\sigma_{cr0}^2}{\sigma_{cr1}^2 \cdot (e_{01} + 1)^2}, \quad (11)$$

откуда видно, что безразмерная удельная работа при упругом вырыве с очень большой скоростью может быть как больше соответствующей работы при вязком разрыве с очень малой скоростью, так и меньше ее. Данное отношение безразмерных удельных работ зависит от критерия $\sigma_{cr0} / \sigma_{cr1}$ и меры эластичности материала e_{01} . В частности, при $\sigma_{cr0} / \sigma_{cr1} = 3$ и $e_{01} = 2$ указанные безразмерные удельные работы равны между собой: $\tilde{A}_{01} = 1$.

Определим безразмерную удельную работу, необходимую на упругий вырыв волокна при не очень больших скоростях. Выражение (4) в данном случае примет вид:

$$\tilde{A}_{\tau 0} = \tilde{v}_t^4 \cdot \left(\frac{\tilde{t}_{cr0}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr0}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr0}^2}{2} - \exp(-\tilde{t}_{cr0}) \cdot (\tilde{t}_{cr0} + 1) + 1 \right), \quad (12)$$

где \tilde{t}_{cr0} определяется численным методом при заданных значениях скорости \tilde{v}_t , меры эластичности материала e_{01} , длительного модуля упругости ξ , предельного напряжения σ_{cr0} . По выражению (12) не составляет труда произвести перерасчеты на фактическую скорость резания v и соответствующую ей удельную работу разрушения $A_{\tau 0}$ при упругом вырыве, принимая во внимание известные реологические константы мышечной ткани рыбы $\sigma_{cr0}, E_0, E_1, \eta$.

Определим безразмерную удельную работу, необходимую на вязкий разрыв волокна при не очень малых скоростях. С учетом выражения (4) запишем:

$$\tilde{A}_{\tau 1} = \tilde{v}_t^4 \cdot \left(\frac{\tilde{t}_{cr1}^4}{8 \cdot e_{01}} + \frac{\tilde{t}_{cr1}^3}{3} - \frac{\tilde{t}_{cr1}^2}{2} - \exp(-\tilde{t}_{cr1}) \cdot (\tilde{t}_{cr1} + 1) + 1 \right), \quad (13)$$

где \tilde{t}_{cr1} определяется численным методом при заданных значениях \tilde{v}_t , e_{01} , ξ , σ_{cr1} . От выражения (13) также несложно перейти к удельной работе разрушения при вязком разрыве $A_{\tau1}$ как функции фактической скорости резания v . Значение характерной безразмерной скорости резания \tilde{v}_{01} при $\tilde{t}_{01} = 1$, разделяющей области вязкого разрыва и упругого вырыва, возможно получить в результате численного решения системы трансцендентных уравнений, задав в них $\tilde{t}_{cr0} = \tilde{t}_{cr1} = \tilde{t}_{cr01}$ (см. статью [14]).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зависимости безразмерных удельных работ $\tilde{A}_{\tau1}$, $\tilde{A}_{\tau0}$ от безразмерной скорости \tilde{v}_t изобразим на графике, показанном на нижеприведенном рисунке. Точками на данном графике отмечены значения работы при характерной безразмерной скорости резания \tilde{v}_{01} . Методика построения графика на ЭВМ следующая:

1. Принимаются определенные величины меры эластичности материала e_{01} , длительного модуля упругости ξ , предельных напряжений σ_{cr0} , σ_{cr1} .
2. Принимается текущее значение безразмерной скорости $\tilde{v}_t < \tilde{v}_{01}$, которое отмечается по оси абсцисс графика. Значение характерной безразмерной скорости \tilde{v}_{01} , как отмечено выше, определяется численно путем решения системы уравнений (см. выражения (20), (21) в работе [14]).
3. Численным методом определяется текущий безразмерный интервал времени вязкого разрыва \tilde{t}_{cr1} , соответствующий заданной текущей безразмерной скорости \tilde{v}_t .
4. По значениям \tilde{v}_t и \tilde{t}_{cr1} в соответствии с выражением (13) вычисляется текущее значение безразмерной удельной работы вязкого разрыва $\tilde{A}_{\tau1}$, которое отмечается по оси ординат графика.
5. Линия графика, соответствующая зависимости $\tilde{A}_{\tau1}(\tilde{v}_t)$, строится до характерного значения аргумента безразмерной скорости \tilde{v}_{01} .
6. Принимается дальнейшее текущее значение безразмерной скорости $\tilde{v}_t > \tilde{v}_{01}$.
7. Численным методом определяется безразмерный интервал времени упругого вырыва \tilde{t}_{cr0} .
8. По значениям \tilde{v}_t и \tilde{t}_{cr0} в соответствии с выражением (12) вычисляется текущее значение безразмерной удельной работы упругого вырыва $\tilde{A}_{\tau0}$, которое отмечается по оси ординат графика.
9. Линия графика, соответствующая зависимости $\tilde{A}_{\tau0}(\tilde{v}_t)$, строится до конечного значения \tilde{v}_t .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты численного моделирования на ЭВМ показывают, что с ростом безразмерной скорости имеет место нелинейное увеличение безразмерной удельной работы вязкого разрыва $\tilde{A}_{\tau 1}$. При достижении максимального значения безразмерной удельной работы разрушения, соответствующего характерной безразмерной скорости \tilde{v}_{01} , происходит смена вязкого разрыва на упругий вырыв волокна. При этом с дальнейшим ростом безразмерной скорости безразмерная удельная работа упругого разрушения $\tilde{A}_{\tau 0}$ изменяется немонотонно: вначале снижается, достигает своего минимального значения и далее увеличивается. Таким образом, на графике имеются явно выраженные минимумы работы $\tilde{A}_{\tau 0}$, соответствующие определенным значениям безразмерной скорости.

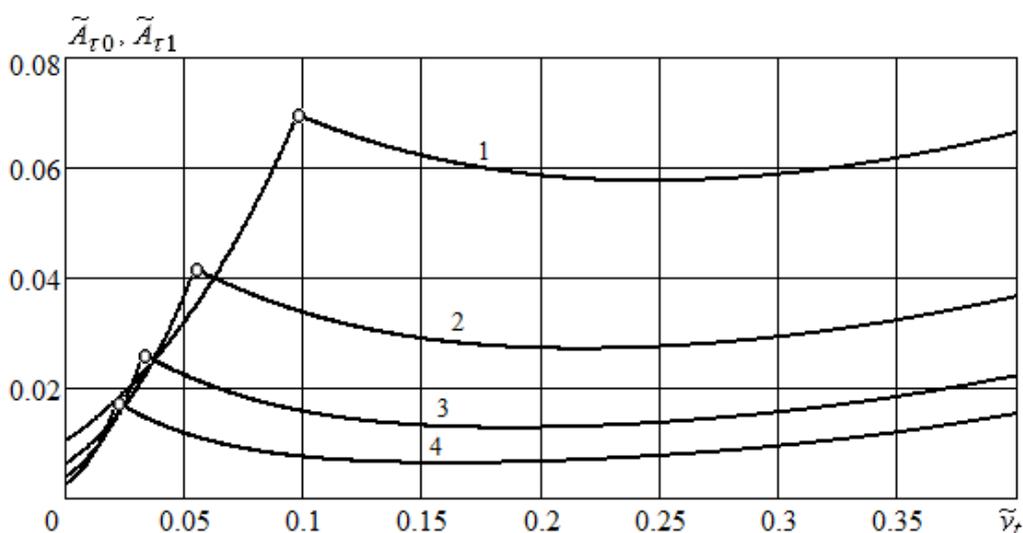


Рис. Зависимость безразмерной удельной работы разрушения волокна от безразмерной скорости резания при различных значениях меры эластичности ($\bar{\sigma}_{01} = \sigma_{cr0}/\sigma_{cr1} = 3$): 1 – $e_{01} = 3$; 2 – $e_{01} = 5$; 3 – $e_{01} = 8$; 4 – $e_{01} = 12$
 Fig. Dependence of the dimensionless specific work of filament damage on the dimensionless cutting speed for different values of the elasticity measure ($\bar{\sigma}_{01} = \sigma_{cr0}/\sigma_{cr1} = 3$): 1 – $e_{01} = 3$; 2 – $e_{01} = 5$; 3 – $e_{01} = 8$; 4 – $e_{01} = 12$

Согласно рисунку при мере эластичности 3; 5; 8; 12 максимальные значения удельной работы разрушения составляют 0,0694; 0,0417; 0,0262; 0,0173 и достигаются при значениях характерной безразмерной скорости 0,0982; 0,0549; 0,0331; 0,0218, при этом минимальная безразмерная удельная работа упругого вырыва составляет 0,05761; 0,02714; 0,01279; 0,00641 и достигается при значениях безразмерной скорости 0,248; 0,217; 0,187; 0,161 соответственно. Рисунок иллюстрирует, что с увеличением меры эластичности материала максимальная безразмерная удельная работа разрушения и минимальная работа упругого вырыва существенно снижаются. Также с ростом меры эластичности уменьшается значение характерной безразмерной скорости, при которой вязкий разрыв сменяется упругим вырывом.

ВЫВОДЫ

Предложен теоретический подход к расчету удельной работы разрушения волокон мышечной ткани при резании, который позволяет провести анализ коэффициента полезного действия элементарного ножа с учетом его геометрии, реологических свойств материала и скорости обработки. Установлен сложный немонотонный характер основных зависимостей безразмерной удельной работы разрушения материала от безразмерной скорости резания при различных значениях меры эластичности. Комплекс математических моделей дает возможность научно обоснованно определять конструктивные параметры режущих органов и выбирать режимные параметры процесса с целью повышения эффективности первичной обработки рыбы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Schuldt S., Schneider Y., Rohm H. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces. *Journal of Food Engineering*, 2018, no. 230, pp. 55–62.
2. Schuldt S., Arnold G., Kowalewski J., Schneider Y., Rohm H. Analysis of the sharpness of blades for food cutting. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 188, pp. 13–20.
3. Atkins T. Prediction of sticking and sliding lengths on the rake faces of tools using cutting forces. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2015. no. 91, pp. 33–45.
4. Atkins T. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. *Engineering Fracture Mechanics*, 2006, no. 73, pp. 2523–2531.
5. Spagnoli A., Brighenti R., Terzano M., Artoni F. Cutting resistance of soft materials: Effects of blade inclination and friction. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2019, no. 101, pp. 200–206.
6. Spagnoli, A., Terzano, M., Brighenti, R., Artoni F., Stähle P. The fracture mechanics in cutting: A comparative study on hard and soft polymeric materials. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2018, no. 148, pp. 554–564.
7. Deibel K.-R., Lämmlein S., Wegener K. Model of slice-push cutting forces of stacked thin material. *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, no. 214, pp. 667–672.
8. Ogunsina B. S., Bamgboye A. I. Fracture Resistance of Cashew Nuts as Influenced by Pre-Shelling Treatment. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:7, pp. 1452–1459.
9. Sadowska J., Jeliński T., Błaszczak W., Konopka S., Fornal J., Rybiński W. The Effect of Seed Size and Microstructure on Their Mechanical Properties and Frictional Behavior. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:4, pp. 814–825.
10. Goh S. M., Charalambides M. N., Williams J. G. On the mechanics of wire cutting of cheese. *Engineering Fracture Mechanics*, 2005, no. 72, pp. 931–946.
11. Vandenberghe E., Charalambides M. N., Mohammed I. K., Ketelaere B. D., Baerdemaeker J. D., Claes J. Determination of a critical stress and distance criterion for crack propagation in cutting models of cheese. *Journal of Food Engineering*, 2017, no. 208, pp. 1–10.

12. Sridhar B. S., Sommer K. Finite Element Simulation of Fracture Mechanism of Fibrous Food. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:2, pp. 444–460.

13. Holl H. J., Meindlhumer M., Simader V., Schnurer D., Brandl A. Experimental investigation of friction reduction by superimposed vibrations. *Materials Today: Proceedings*, 2018, no. 5, pp. 26615–26621.

14. Агеев, О. В. Математическое моделирование процесса разрушения волокон мышечной ткани при резании рыбы / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2021. – № 60. – С. 57–73.

15. Агеев, О. В. Математическое моделирование сил полезного сопротивления при резании охлажденных пищевых продуктов / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // Вестник Международной академии холода. – 2020. – № 3. – С. 70–82.

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

REFERENCES

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

2. Schuldt S., Arnold G., Kowalewski J., Schneider Y., Rohm H. Analysis of the sharpness of blades for food cutting. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 188, pp. 13–20.

3. Atkins T. Prediction of sticking and sliding lengths on the rake faces of tools using cutting forces. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2015, no. 91, pp. 33–45.

4. Atkins T. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. *Engineering Fracture Mechanics*, 2006, no. 73, pp. 2523–2531.

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

6. Spagnoli A., Terzano M., Brighenti R., Artoni F., Stähle P. The fracture mechanics in cutting: A comparative study on hard and soft polymeric materials. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2018, no. 148, pp. 554–564.

7. Deibel K.-R., Lämmlein S., Wegener K. Model of slice-push cutting forces of stacked thin material. *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, no. 214, pp. 667–672.

8. Ogunsina B. S., Bamgboye A. I. Fracture Resistance of Cashew Nuts as Influenced by Pre-Shelling Treatment. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:7, pp. 1452–1459.

9. Sadowska J., Jeliński T., Błaszczak W., Konopka S., Fornal J., Rybiński W. The Effect of Seed Size and Microstructure on Their Mechanical Properties and Frictional Behavior. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:4, pp. 814–825.

10. Goh S. M., Charalambides M. N., Williams J. G. On the mechanics of wire cutting of cheese. *Engineering Fracture Mechanics*, 2005, no. 72, pp. 931–946.
11. Vandenberghe E., Charalambides M. N., Mohammed I. K., Ketelaere B. D., Baerdemaeker J. D., Claes J. Determination of a critical stress and distance criterion for crack propagation in cutting models of cheese. *Journal of Food Engineering*, 2017, no. 208, pp. 1–10.
12. Sridhar B. S., Sommer K. Finite Element Simulation of Fracture Mechanism of Fibrous Food. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:2, pp. 444–460.
13. Holl H. J., Meindlhumer M., Simader V., Schnurer D., Brandl A. Experimental investigation of friction reduction by superimposed vibrations. *Materials Today: Proceedings*, 2018, no. 5, pp. 26615–26621.
14. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie protsessa razrusheniya volokon myshechnoy tkani pri rezanii ryby [Mathematical simulation of the process of muscle filaments damage during fish cutting]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 60, pp. 57–73.
15. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie sil poleznogo soprotivleniya pri rezanii okhlazhdennykh pishchevykh produktov [Mathematical simulation of effective resistance forces during cutting of chilled food products]. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 2020, no. 3, pp. 70–82.
16. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Ivanova E. E. Optimizatsiya formy profilya nozha dlya resursosberegayushchey pervichnoy obrabotki ryby [Optimization of the knife profile for resource-saving primary fish processing]. *News of institutes of higher education. Food technology*, 2020, no. 1(373), pp. 77–80.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

Фатыхов Юрий Адгамович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: yuriy.fatyhov@klgtu.ru

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

Самойлова Наталья Владимировна – преподаватель-исследователь;
E-mail: procyon@mail.ru

Samoylova Natalia Vladimirovna – consultant-researcher;
E-mail: procyon@mail.ru

УДК 664.957(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91

ПОЛУЧЕНИЕ ФРАКЦИЙ КОЛЛАГЕНА И ГИДРОКСИАПАТИТА ИЗ РЫБЬЕЙ ЧЕШУИ

В. И. Воробьев, Е. В. Нижникова

OBTAINING COLLAGEN AND HYDROXYAPATITE FRACTIONS FROM FISH SCALES

V. I. Vorobyov, E. V. Nizhnikova

Разработан способ получения фракций коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи, который заключается в следующем. Промытую водой и двукратно обработанную в растворе, содержащем пищевую соль и пищевую соду, рыбью чешую высушивают горячим воздухом (до 80 °С) до массовой доли влаги не более 10 %, далее измельчают в высокоскоростном измельчителе (продолжительность измельчения 0,1–5 мин, 36000 об/мин) с одновременным или последующим сепарированием полученной смеси по меньшей мере на две фракции: коллагеновую волокнистую и порошковую гидроксиапатитовую. Опытным путем определено, что высушенная и измельченная в естественном состоянии коллагеновая ткань имеет наименьший размер частиц в диапазоне от 0,1 мм (100 мкм) и больше, при этом частицы выглядят как фрагменты волокон. Частично денатурированная коллагеновая ткань может быть измельчена на гораздо более мелкие сферические частицы (менее 0,1 мм). Представлен общий химический состав (включая кальций и фосфор) полученных фракций рыбьей чешуи судака и сазана. Определено, что массовая доля выхода фракций измельченной и сепарированной рыбьей чешуи зависит от вида сырья, его химического состава и продолжительности процесса измельчения. Выявлено, что с уменьшением размера частиц получаемых фракций увеличивается массовая доля (%) в них кальция и соответственно насыпная масса. Показано, что основным компонентом волокнистой фракции (размер частиц 2,5 мм и более) является белок (коллаген), массовая доля которого более 70 %, а порошковой (размер частиц 0,1 и менее) – зола (гидроксиапатит) с массовой долей более 62 %.

рыбья чешуя, рыбный коллаген, гидроксиапатит, технический наполнитель, пищевая добавка

A method for obtaining collagen and hydroxyapatite fractions from fish scales has been developed. The method consists in the following: fish scales are washed with water and treated twice in a solution containing edible salt and baking soda, then scales are dried with hot air (up to 80 °C) until the mass fraction of moisture is not more than 10%, then it is crushed in a high-speed grinder (grinding duration 0.1-5 minutes, 36000 r/min) with simultaneous or subsequent separation of the resulting mixture into at least two fractions: fibrous collagen and hydroxyapatite powder. It has been experimentally

determined that collagen tissue, dried and crushed in its natural state, has the smallest particle size in the range of 0.1 mm (100 microns) and more, while the particles look like fiber fragments. Partially denatured collagen tissue can be crushed into much smaller spherical particles (less than 0.1mm). The general chemical composition (including calcium and phosphorus) of the obtained fractions of fish scales of pike perch and sazan is presented. It has been determined that the mass fraction of the yield of crushed and separated fish scales fractions depends on the type of raw material, its chemical composition, as well as on the duration of the grinding process. It has been revealed that with a decrease in the particle size of the resulting fractions, mass fraction (%) of calcium in them and, accordingly, the bulk density, increase. The work also shows that the main component of the fibrous fraction (particle size 2.5 mm and more) is protein (collagen) mass fraction, which is more than 70%, and powder (particle size 0.1 and less)- ash (hydroxyapatite) with mass fraction of over 62%.

fish scales, fish collagen, hydroxyapatite, technical filler, food additive

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в процессе разделки рыбы образуется несколько сотен тысяч тонн рыбьей чешуи, которая в настоящее время мало востребована (загрязняет окружающую среду) и поэтому в основном направляется на производство малорентабельной кормовой рыбной муки. Количество чешуи соответствует 0,5–10 % массы рыбы, состоящей в основном из коллагена и гидроксиапатита кальция. Структура чешуи обычно имеет два слоя: внешний (костный), представленный, как правило, кристаллами гидроксиапатита и произвольно ориентированными коллагеновыми волокнами, и внутренний, состоящий из пластинчатых структур коллагеновых волокон с различной степенью минерализации. Стоимость 1 кг биогенного гидроксиапатита около 2000 долл. США, лидеры его промышленного производства – Швейцария и Япония, синтетического – Китай и США, основные потребители – США, Южная Корея, Израиль. Ввиду биосовместимости биогенного гидроксиапатита с костной тканью человека основной областью его использования являются травматология, ортопедия, реконструктивная хирургия и стоматология, так как покрытые им имплантаты не вызывают реакции отторжения, обладают способностью активно связываться со здоровой костной тканью, ускоряя процесс регенерации и реабилитации [1]. Кроме того, гидроксиапатит применяется как компонент кремов, улучшающих структуру кожи, наполнитель, стабилизатор и эмульгатор косметических средств, составляет основу для БАДов, используется как пищевая добавка в качестве соли и стабилизатора консистенции мороженого, молока и напитков на его основе, рыбного филе, рыбной и креветочной пасты, соусов, хлебобулочных, кондитерских и мучных изделий, сухих завтраков, теста, сидра и безалкогольных напитков. Стоимость рыбного коллагена на сегодня менее 100 долл. США за 1 кг для пищевой продукции, 5000–50 000 – для медицинских препаратов, 11–17 долл. стоит гидролизированный коллаген (желатин) [2]. По оценкам, к 2025 г. рынок морского коллагена (основные направления использования – косметическая, пищевая промышленность и производство напитков) достигнет 983,84 млн. долл. США, при этом среднегодовой темп роста (CAGR) составит 7,4 % [3]. Рыбья чешуя представляет объемный и дешевый источник сырья для рыбного коллагена и биогенного гидроксиапатита, имеющих

высокую добавленную стоимость и повышенный спрос в различных отраслях промышленности, что способствует изысканию и разработке экономически приемлемых способов их получения на основе чешуи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись партии чешуи судака и сазана, полученные в процессе разделки рыбы. Местами проведения стали испытательная лаборатория ООО «Калининградский испытательный центр» и лаборатория органической химии Калининградского государственного технического университета (КГТУ). Определение химического состава исследуемых образцов осуществлялось в соответствии со следующими методами: Кьельдаля – для белка, экстракционно-весовой – для жира, гравиметрический – для влаги и золы, атомно-абсорбционная спектрометрия – для кальция, спектрофотометрия с молибденово-кислым аммонием в присутствии гидрохинона и сульфита натрия – для фосфора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известные способы получения коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи основаны на предварительной ее очистке от органических примесей и переводе в растворимое состояние (при помощи кислот, щелочей, эвтектических растворителей, ферментов, высоких давлений, температур и др.) с последующим разделением на фракции (центрифугирование, осаждение, диализ, высаливание и др.), извлечением коллагена и гидроксиапатита из раствора с дальнейшей дополнительной очисткой и обезвоживанием (сублимационная или распылительная сушка, сжигание в муфельной печи) с целью получения высушенной готовой продукции [4–7].

Применение значительных объемов промывных жидкостей, а также кислот, щелочей, растворителей и дорогостоящих ферментов, многостадийность, энергоемкость и длительность технологических процессов значительно повышают стоимость готовой продукции, что ограничивает их использование в промышленных масштабах.

Учитывая повышенный спрос и высокую добавленную стоимость морского коллагена и биогенного гидроксиапатита, на кафедре химии КГТУ были проведены исследования, разработан и предложен способ получения коллагена и гидроксиапатита (находится в стадии патентования), позволяющий увеличить их концентрацию во фракциях, минуя этап перевода рыбьей чешуи в растворимое состояние и используя физические способы обработки (измельчение, сепарирование, высушивание), что значительно сокращает продолжительность обработки и стоимость готовой продукции. Кроме того, предложенный способ позволяет расширить сферу применения полученных коллагеновых фракций.

При разработке способа исходили из того, что основными компонентами рыбьей чешуи являются коллаген (семейство фибриллярных белков), имеющий нитевидную структуру, и гидроксиапатит (биоминерал), находящийся в аморфной или кристаллической форме в виде порошка. Плотность коллагена чешуи составляет 1,33, а гидроксиапатита кальция – 3,17 г/см³, основное количество которого содержится в ее костном слое [8]. Исходя из архитектоники и химического состава высушенной чешуи было сделано предположение о возможности разделения ее

основных фракций физическими способами (измельчение и сепарация), способствующими значительному снижению стоимости готовой продукции.

Сущность способа получения фракций коллагена и гидроксиапатита заключается в том, что рыба чешуя очищается от органических примесей в перфорированном барабане моечной центрифуги в течение 20 мин. Промытая чешуя обрабатывается в смесителе с добавлением пищевой соли, пищевой соды и дробленого льда в течение 10 мин, затем промывается пресной водой. После промывки чешую повторно обрабатывают в водном растворе с добавлением пищевой соли и соды не менее 30 мин, далее отделенную твердую часть промывают пресной водой. Очищенную чешую высушивают при помощи горячего воздуха до содержания массовой доли влаги не более 10 % (предпочтительно до 5 %), так как при влажности более 10 % возрастает вероятность образования клееобразного вязкого комка – «катыша» – при ее измельчении (вследствие перехода части коллагена при нагреве трением в присутствии воды в водорастворимый глютин, являющийся основой рыбного клея), что приводит к остановке или выводу из строя оборудования. Высушенную чешую измельчают в высокоскоростном измельчителе и сепарируют (фракционируют) при помощи воздушного сепаратора или сит с получением по меньшей мере двух фракций: коллагеновой волокнистой и гидроксиапатитовой порошковой.

Опытным путем было определено, что измельченная рыба чешуя находится в виде порошка с размером частиц 0,1 мм (100 мкм) и менее. При большем размере частиц она имеет вид коротких волокон, это подтверждается данными других исследований, где показано, что в высушенной и измельченной в естественном состоянии коллагеновой ткани наименьший размер частиц достигает 100 мкм и больше. При этом частицы выглядят как фрагменты волокон. Частично денатурированная коллагеновая ткань может быть измельчена на гораздо более мелкие сферические частицы [9].

Гидроапатит (биоминерал) в естественных структурах находится в нанокристаллическом состоянии с размером частиц приблизительно 5–10 мкм [10], поэтому фракция измельченной рыбой чешуи с размером частиц 0,1 мм и менее представляет собой в основном гидроксиапатит, а также частично денатурированный коллаген (образующийся в процессе высушивания горячим воздухом и при кратковременном нагреве сырья за счет трения при измельчении) в виде порошка.

Согласно этому способу были наработаны опытные партии различных фракций очищенной и высушенной чешуи сазана и судака.

Экспериментальные данные выхода массовой доли (%), внешнего вида и насыпной массы (г/см^3), измельченных в течение 3 мин и сепарированных (сита) фракций высушенных партий чешуи сазана и судака (с массовой долей влаги соответственно 7,4 и 8,7 %), взятых в шестикратной повторности, представлены в табл. 1, 2.

Из табл. 1, 2 видно, что насыпная масса порошковой гидроксиапатитовой фракции (0,1 мм и менее) на порядок (в 11,47 раза – сазан, в 14,82 раза – судак) отличается от волокнистой коллагеновой (2,5 мм и более), при этом массовая доля выхода фракций при одних и тех же параметрах измельчения (3 мин) различна, что связано с видом сырья и его химическим составом.

Таблица 1. Выход массовой доли (%), насыпная масса (г/см³) и внешний вид измельченных в течение 3 мин и сепарированных (сита) фракций высушенной партии чешуи сазана с массовой долей влаги 7,4 % (6-кратная повторность)

Table 1. Yield of mass fraction (%), bulk weight (g/cm³) and appearance of crushed within 3 min and separated (sieve) fractions of a dried lot of zazan scales with a mass fraction of moisture 7.4 % (6-fold repetition)

Фракция	Массовая доля выхода фракций, %						Среднее значение, %	Насыпная масса	Внешний вид
	1	2	3	4	5	6			
0,1 мм и менее	12,0	14,9	13,3	16,0	16,0	16,0	14,7	0,551	Порошок
0,1–2,5 мм	26,0	21,3	28,9	22,0	30,0	30,0	26,4	0,125	Смесь порошка и короткого волокна-ваты
2,5 мм и более	62,0	63,8	57,8	62,0	54,0	54,0	58,9	0,048	Волокнистый ватобразный материал
Высушенная чешуя	100,0							0,065	Твердая изогнутая пластинка

Таблица 2. Выход массовой доли (%), насыпная масса (г/см³) и внешний вид измельченных в течение 3 мин и сепарированных (сита) фракций высушенной партии чешуи судака с массовой долей влаги 8,7 % (6-кратная повторность)

Table 2. Yield of mass fraction (%), bulk weight (g/cm³) and appearance of crushed within 3 min and separated (sieve) fractions of a dried lot of pike perch scales with a mass fraction of moisture 7.4 % (6-fold repetition)

Фракция	Массовая доля выхода фракций, %						Среднее значение, %	Насыпная масса	Внешний вид
	1	2	3	4	5	6			
0,1 мм и менее	33,7	34,0	35,0	35,4	34,7	33,4	34,4	0,593	Порошок
0,1–2,5 мм	40,8	42,5	41,0	39,6	39,8	42,4	41,0	0,226	Смесь порошка и короткого волокна-ваты
2,5 мм и более	25,5	23,5	24,0	25,0	25,5	24,2	24,6	0,040	Волокнистый ватобразный материал
Высушенная чешуя	100,0							0,102	Твердая изогнутая пластинка

Фракция чешуи судака от 0,1 до 2,5 мм дополнительно измельчалась (3 мин) и фракционировалась (сита) с получением массовой доли фракции (0,1 мм

и менее) 49,5 % в виде порошка и соответственно фракции (0,1–2,5 мм) 50,5 % в виде мягкого волокна-пуха.

Экспериментальные данные общего химического состава (в т. ч. кальция, фосфора) измельченных в течение 3 мин и разделенных воздушной сепарацией фракций высушенной чешуи сазана (в процентах), а также их внешний вид представлен в табл. 3, 4.

Таблица 3. Внешний вид, а также общий химический состав (в том числе кальций и фосфор) измельченных в течение 3 мин и разделенных воздушной сепарацией фракций высушенной чешуи сазана, %

Table 3. Appearance, as well as the general chemical composition (including calcium and phosphorus) of dried sazan scales crushed for 3 minutes and separated by air, %

Фракции	Массовая доля, %						Выход фракции, %	Внешний вид
	вла-га	белок	жир	зола	Ca	P		
Целая чешуя	7,4	54,0	1,1	29,0	7,1	4,5	100,0	Твердая изогнутая пластинка
Более 2,5 мм	4,6	81,0	0,7	11,5	3,4	3,9	58,8	Волокнистый ватобразный материал
От 0,1 до 2,5 мм	6,5	35,4	0,7	51,9	14,1	4,7	27,1	Смесь порошка и короткого волокна-ваты
Менее 0,1 мм	6,4	26,4	0,8	62,7	17,1	3,7	14,1	Порошок

Таблица 4. Внешний вид, а также общий химический состав (в т. ч. кальций и фосфор) измельченных в течение 3 мин и разделенных воздушной сепарацией фракций высушенной чешуи судака, %

Table 4. Appearance, as well as the general chemical composition (including calcium and phosphorus) of dried pike perch scales crushed for 3 minutes and separated by air, %

Фракции	Массовая доля, %						Выход фракции, %	Внешний вид
	вла-га	белок	жир	зола	Ca	P		
Целая чешуя	8,7	39,9	2,6	50,4	19,1	4,9	100,0	Твердая изогнутая пластинка
Более 2,5 мм	9,2	71,4	3,7	22,4	6,5	3,8	24,6	Волокнистый ватобразный материал
От 0,1 до 2,5 мм	7,4	36,4	2,3	53,8	14,5	3,9	41,0	Смесь порошка и короткого волокна-ваты
Менее 0,1 мм	6,9	25,7	2,4	63,5	17,4	3,7	34,4	Порошок

Из табл. 3, 4 видно, что процент выхода фракций коррелирует с исходным химическим составом сырья: так, чешуя сазана, содержащая 29,0 % золы, в процессе измельчения и сепарации имеет выход порошковой фракции 14,1 %, а чешуя судака, содержащая 50,4 % золы, аналогично имеет выход 34,4 %, при этом с уменьшением размера частиц фракции увеличивается содержание в них кальция.

Выход фракций зависит также от условий проведения процесса измельчения и сепарирования. Измельчение высушенной рыбьей чешуи может осуществляться одновременно или с последующей сепарацией с получением волокнистых и порошковых фракций.

Экспериментальные данные процесса измельчения (продолжительность обработки 1–5 мин, 36000 об/мин) и сепарирования (сита) с удалением порошковой фракции рыбьей чешуи и без ее удаления в процессе обработки представлены в табл. 5, 6.

Таблица 5. Выход фракций высушенной рыбьей чешуи судака (массовая доля влаги – 8,7%) в процессе ее измельчения (1–5 мин, 36000 об/мин) и сепарирования (сита) с удалением порошковой фракции в ходе обработки

Table 5. Yield of dried pike perch fish scales fractions (mass fraction of moisture 8.7 %) during its grinding (1–5 min, 36000 r/min) and separation (sieve) with removal of the powder fraction during processing

Фракции	Время обработки, мин									
	1		2		3		4		5	
	Масса начального образца, г									
	100,0		78,0		61,0		49,0		41,0	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
0,1 мм и менее	20,0	20,4	14,0	18,7	10,0	16,9	6,0	12,8	6,0	12,0
0,1–2,5 мм	39,0	39,8	31,0	41,3	20,0	33,9	12,0	25,6	6,0	12,0
2,5 мм и более	39,0	39,8	30,0	40,0	29,0	49,2	29,0	61,6	29,0	76,0
Общая сумма	98,0	100	75	100	59,0	100	47,0	100	41	100

Таблица 6. Выход фракций партии высушенной рыбьей чешуи судака (массовая доля влаги – 8,7 %) в процессе ее измельчения (1–5 мин, 36000 об/мин) и сепарирования (сита)

Table 6. The yield of fractions of a batch of dried pike perch fish scales (mass fraction of moisture – 8.7 %) during its grinding (1–5 min, 36000 r/min) and separation (sieve)

Фракции	Время обработки, мин									
	1		2		3		4		5	
	Масса начального образца, г									
	100,0									
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1 мм и менее	18,0	18,0	27,0	27,3	33,0	34,7	34,0	35,8	38,0	40,4
0,1–2,5 мм	42,0	42,0	42,0	42,4	37,0	38,9	36,0	37,8	35,0	37,2
2,5 мм и более	40,0	40,0	30,0	30,3	25,0	26,4	25,0	26,4	21,0	22,4
Общая сумма	100,0	100	99,0	100	95,0	100	95,0	100,0	94,0	100

Из табл. 5, 6 видно, что в процессе измельчения и сепарирования высушенной партии рыбьей чешуи судака с удалением порошковой фракции (0,1 мм и менее) в ходе обработки (5 мин) суммарная массовая доля удаленной фракции составила 56 г (%), в то время как без удаления – 38 г (%). Кроме того, отмечен интервал времени обработки (3–5 мин) с удалением и (3–4 мин) без удаления порошковой фракции, где волокнистая коллагеновая фракция (2,5 мм и более) не изменялась по массе.

Внешний вид коллагеновой волокнистой фракции (2,5 мм и более) и порошковой гидроксиапатитовой фракции (0,1 мм и менее) чешуи судака представлен на рис. 1.

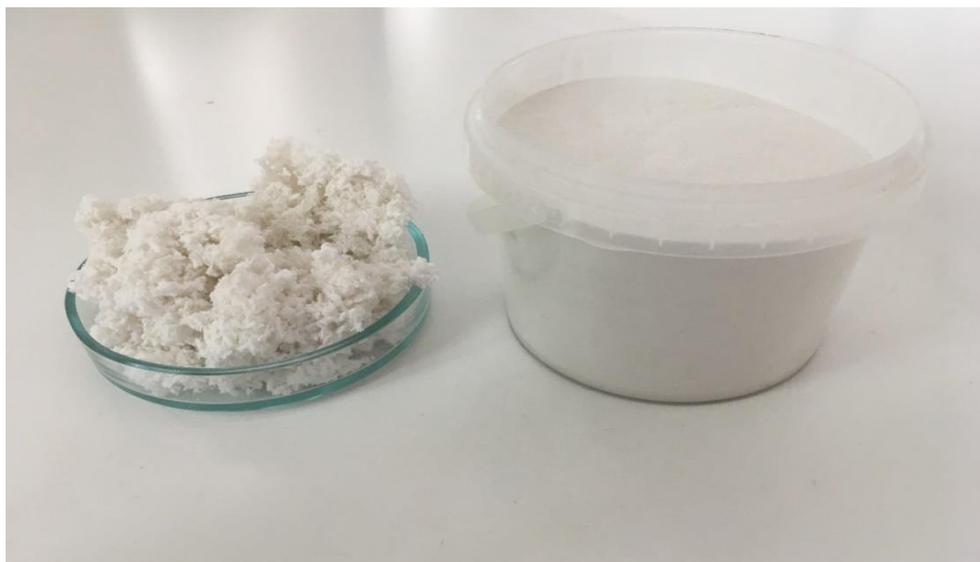


Рис. 1. Внешний вид коллагеновой волокнистой фракции (2,5 мм и более) и порошковой гидроксиапатитовой фракции (0,1 мм и менее) чешуи судака

Fig. 1. Appearance of collagen fibrous fraction (2.5 mm or more) and powdered hydroxyapatite fraction (0.1 mm or less) of pike perch scales

Продолжительность измельчения (истирания) влияет на свойства получаемого волокнистого коллагенового материала (степень жесткости и разволокнения структуры, насыпная масса, пористость, дисперсность, длина волокна и др.) и, соответственно, на выбор направления его применения.

Внешний вид волокнистых фракций смеси высушенной чешуи из разных рыб (судак, сазан, лещ, карп, карась, плотва и др.) представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид полученных фракций смеси высушенной чешуи из разных рыб (судак, сазан, лещ, карп, карась, плотва)

Fig. 2. Appearance of the obtained various fractions of a mixture of dried scales from various types of fish (pike perch, sazan, bream, carp, crucian carp, roach)

Волокнистые коллагеновые фракции и их смеси, взятые в определенных соотношениях, как и порошковые гидроксиапатитовые фракции, могут быть использованы в качестве пищевой добавки в хлебобулочных и кондитерских изделиях, мясных, рыбных полуфабрикатах, морепродуктах, молочнокислых и соко-содержащих напитках.

Также волокнистые фракции и их смеси могут применяться как натуральный технический наполнитель постельных принадлежностей, игрушек, мебели, фильтров, как полимерный компонент композитов, паст, красок, пленок, покрытий, керамики, имплантов, тканей, бумаги.

Подушка с натуральным наполнителем из чешуи судака и сазана (фракция 2,5 мм и более) представлена на рис. 3.

Порошковые гидроксиапатитовые фракции также могут быть использованы как натуральный технический наполнитель композитов, паст, кремов, пудры, красок, пленок, покрытий, керамики, имплантов, повязок.



Рис. 3. Подушка с наполнителем из чешуи судака и сазана (фракция более 2,5 мм)
Fig. 3. Pillow filled with pike perch and sazan scales (fraction more than 2.5 mm)

ВЫВОДЫ

1. Разработан эффективный способ получения фракций волокнистого коллагена и порошкового гидроксиапатита из рыбьей чешуи.
2. Исследован общий химический состав волокнистых и порошковых фракций рыбьей чешуи.
3. Определены возможные направления использования фракций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Производство и реализация биогенного гидроксиапатита [Электронный ресурс]. – URL: <https://gap.biofizpribor.ru> (дата обращения: 28.05.2021).
2. Luca, S., Nunzia, G., Lucia, N. M., Lorena, C., Paola, L., Marta, M., ... & Alessandro, S. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare //Materials Science and Engineering: C. – 2020. – С. 110963.
3. Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., & de Pascale, D. Fish Waste: From Problem to Valuable Resource //Marine Drugs. – 2021. – Т. 19. – №. 2. – С. 116.
4. Pat. №2008285456(JP) IPC C01B25/32, C07K14/78. Extraction method and extraction apparatus of collagen, production method and production apparatus of hydroxyapatite, and collagen-containing aqueous extract and hydroxyapatite / Harada O.; Hasegawa Y. – 2008-11-27
5. Pat. №107056933(CN) IPC C01B25/32, C07K1/30, C07K1/34. Comprehensive extraction method of collagen, hydroxyapatite and protein in fish scales / Li L.; Yang Y.; Yao T.; Lin Y.; Chen L.; Xue X. – 2017-08-18.
6. Pat. №108949882(CN) IPC C01B25/32, C07K14/78, C12P21/06. Method for extracting fish scale collagen protein peptide powder and hydroxyapatite / Zhang Y; Tu D; Dai Z. – 2018-12-07.

7. Pat. №111302319(CN) IPC C01B25/32, C07K14/78. Method for extracting hydroxyapatite and collagen from fish scales by using deep eutectic solvent Liu Y.; Ji S.; Zhang L.; Yang F. – 2020-06-19.

8. Zhu, D., Ortega, C. F., Motamedi, R., Szewciw, L., Vernerey, F., & Barthelat, F. Structure and mechanical performance of a “modern” fish scale // *Advanced Engineering Materials*. – 2012. – Т. 14. – №. 4. – С. B185-B194.

9. Meyer M. Processing of collagen based biomaterials and the resulting materials properties // *Biomedical engineering online*. – 2019. – Т. 18. – №. 1. – С. 1-74.

10. Goloshchapov, D. L., Kashkarov, V. M., Rumantseva, N. A., Seredin, P. V., Lenshin, A. S., Agapov, B. L., Domashevskaya, E. P. Получение нанокристаллического гидроксиапатита методом химического осаждения с использованием биогенного источника кальция // *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy* = Condensed Matter and Interphases. – 2011. – Т. 13. – №. 4. – С. 427-441.

REFERENCES

1. *Proizvodstvo i realizatsiya biogennogo gidroksiapatita* [Production and sale of biogenic hydroxyapatite]. Available at: <https://gap.biofizpribor.ru> (Accessed 28 May 2021).

2. Luca S., Nunzia G., Lucia N. M., Lorena C., Paola L., Marta M. ... & Alessandro S. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare. *Materials Science and Engineering: C*, 2020, pp. 110963.

3. Coppola D., Lauritano C., Palma Esposito F., Riccio G., Rizzo C., de Pascale D. Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. *Marine Drugs*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 116.

4. Pat. №2008285456(JP) IPC C01B25/32, C07K14/78. Extraction method and extraction apparatus of collagen, production method and production apparatus of hydroxyapatite, and collagen-containing aqueous extract and hydroxyapatite. Harada O., Hasegawa Y. 2008-11-27.

5. Pat. №107056933(CN) IPC C01B25/32, C07K1/30, C07K1/34. Comprehensive extraction method of collagen, hydroxyapatite and protein in fish scales. Li L., Yang Y., Yao T., Lin Y., Chen L., Xue X. 2017-08-18.

6. Pat. №108949882(CN) IPC C01B25/32, C07K14/78, C12P21/06. Method for extracting fish scale collagen protein peptide powder and hydroxyapatite. Zhang Y., Tu D., Dai Z. 2018-12-07.

7. Pat. №111302319(CN) IPC C01B25/32, C07K14/78. Method for extracting hydroxyapatite and collagen from fish scales by using deep eutectic solvent. Liu Y., Ji S., Zhang L., Yang F. 2020-06-19.

8. Zhu D., Ortega C. F., Motamedi R., Szewciw L., Vernerey F., Barthelat F. Structure and mechanical performance of a “modern” fish scale. *Advanced Engineering Materials*, 2012, vol. 14, no. 4, pp. B185–B194.

9. Meyer M. Processing of collagen based biomaterials and the resulting materials properties. *Biomedical engineering online*, 2019, vol. 18, no. 1, pp. 1–74.

10. Goloshchapov D. L., Kashkarov V. M., Rumantseva N. A., Seredin P. V., Lenshin A. S., Agapov B. L., Domashevskaya E. P. Poluchenie nanokristallicheskogo gidroksiapatita metodom khimicheskogo osazhdeniya s ispol'zovaniem biogennogo is-

technika kal'tsiya [Obtaining nanocrystalline hydroxyapatite by chemical precipitation using a biogenic source of calcium]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy= Condensed Matter and Interphases*, 2011, vol. 13, no. 4, pp. 427–441.

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

Нижникова Елена Владимировна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры химии;
E-mail: nizhnikova6462@mail.ru

Nizhnikova Elena Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Chemistry;
E-mail: nizhnikova6462@mail.ru

УДК 664.951.6

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-92-105

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ ПРЕСЕРВОВ ИЗ СЕЛЬДИ
АТЛАНТИЧЕСКОЙ В МАЙОНЕЗНО-ЖЕЛЕЙНОЙ ЗАЛИВКЕ

Ф. С. Карнеева, М. Н. Альшевская, О. В. Анистратова

IMPROVING THE RECIPE OF ATLANTIC HERRING PRESERVES
IN A MAYONNAISE-JELLY FILLING

F. S. Karneeva, M. N. Al'shevskaya, O. V. Anistratova

Соленая рыбная продукция и пресервы из сельди атлантической являются традиционным продуктом питания населения нашей страны. Заливка в пресервах может составлять 35 % от общей массы, она находится в жидком состоянии и, как правило, не употребляется в пищу. Срок годности пресервов зависит от условий хранения. В торговых сетях такой продукт сберегают при температуре (4 ± 2) °С. Разработка рецептуры заливки, гармонично сочетающейся по вкусу с соленой рыбой, плотной консистенции для пресервов с условно-положительными температурами хранения является актуальной. Для решения этой задачи в качестве структурообразователя выбран желатин, основой служила майонезная заливка с добавлением таких компонентов, как томатная паста и чеснок. Исследование влияния кислой среды, образующейся в результате внесения томатной пасты, на прочность заливки выявило уменьшение прочности с увеличением содержания томатной пасты. Обоснована массовая доля желатина 3,5 %, позволяющая образовать прочный студень в процессе хранения пресервов при условно положительных температурах. Дегустационная оценка пресервов позволила определить оптимальное содержание томатной пасты в продукте – 10 %. Обоснован срок годности продуктов – 15 сут. В течение данного времени не было выявлено присутствия санитарно-показательных, условно-патогенных и патогенных микроорганизмов. Показатель КМАФАнМ не превысил значения $2 \cdot 10^5$ КОЕ/г. Общая кислотность продукта в течение срока хранения изменялась незначительно и оставалась в пределах нормативных значений. Разработаны рецептура и технологическая схема приготовления пресервов в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты и чеснока, проект технической документации.

пресервы, сельдь атлантическая, майонезно-желейная заливка, прочность заливки, срок годности

Salted fish products and preserves from Atlantic herring are the traditional food in our country. The filling in the preserves can make up to 35% of the total mass in a liquid state and as a rule people do not eat it. The shelf life of preserves depends on the

storage conditions. In retail chains, such a product is stored at temperatures of +5+20C. The development of a filling recipe that is harmoniously combined in taste with salted fish, a dense consistency for preserves with conditionally positive storage temperatures is relevant. To solve this problem gelatin was chosen as a structure-forming agent. The basis for the development of the recipe was mayonnaise filling with the addition of components such as tomato paste and garlic. The study of the influence of the acidic environment formed as a result of the tomato paste on the strength of the filling revealed a decrease in strength with an increase in the content of tomato paste. The mass fraction of gelatin in the formulation of 3.5% is justified, which makes it possible to form a strong jelly during the storage of preserves at conditionally positive temperatures. The tasting evaluation of preserves allowed us to determine the optimal content of tomato paste in the product which is 10%. The shelf life of the products is justified in 15 days. During this time, no sanitary-indicative, conditionally pathogenic and pathogenic microorganisms were detected. The CMAFAnM index did not exceed the value of $2 * 10^5$ CFU / g. The total acidity of the product during the shelf life changed slightly and remained within the standard values.

A recipe and technological scheme of preserves in mayonnaise-jelly filling with the addition of tomato paste and garlic, a draft of technical documentation have been developed.

preserves, Atlantic herring, mayonnaise-jelly filling, filling strength, shelf life

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день пресервы являются популярным продуктом, который реализуется во всех торговых сетях. Они относятся к группе закусочных товаров, традиционных для населения нашей страны, и не требуют дополнительной кулинарной обработки, что обуславливает их востребованность. Широкий ассортимент пресервов обеспечивается использованием различных видов рыбного сырья, упаковок и заливок.

Производство пресервов из разделанной сельди (из тушки, филе, филекусочков) с применением различных вкусовых заливок – прогрессивное направление за последние двадцать лет [1].

Известно, что заливка в рыбных пресервах может составлять до 35 % от общей массы. Добавление соусов и заливок позволяет регулировать вкусоароматические свойства готового продукта, а также его энергетическую и биологическую ценность. Следовательно, актуальна разработка рецептуры такой заливки, которая могла бы полностью употребляться в пищу.

На данный момент в промышленности для производства пресервов широко используют разнообразный ассортимент заливок и соусов, таких как свекольный, морковный, чесночный, томатный, горчичный, сметанный, майонезный, пивной, винный, укропный, с добавлением хрена, икры рыбной, фруктово-ягодные заливки (лимонная, яблочная, брусничная, черничная, сливовая и др.), масло и ароматизированное масло [2]. Со временем предпочтение потребителей к заливкам изменяется (рис. 1).

На рис. 1 видно, что с 2013 г. потребитель устойчиво сохраняет свои предпочтения к заливкам на основе масла. Незначительно уменьшился интерес к майонезным заливкам, но зато возрос к заливкам из томатов [3].

Исходя из вышеизложенного, целью исследования являлось совершенствование рецептуры пресервов из сельди атлантической в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты.

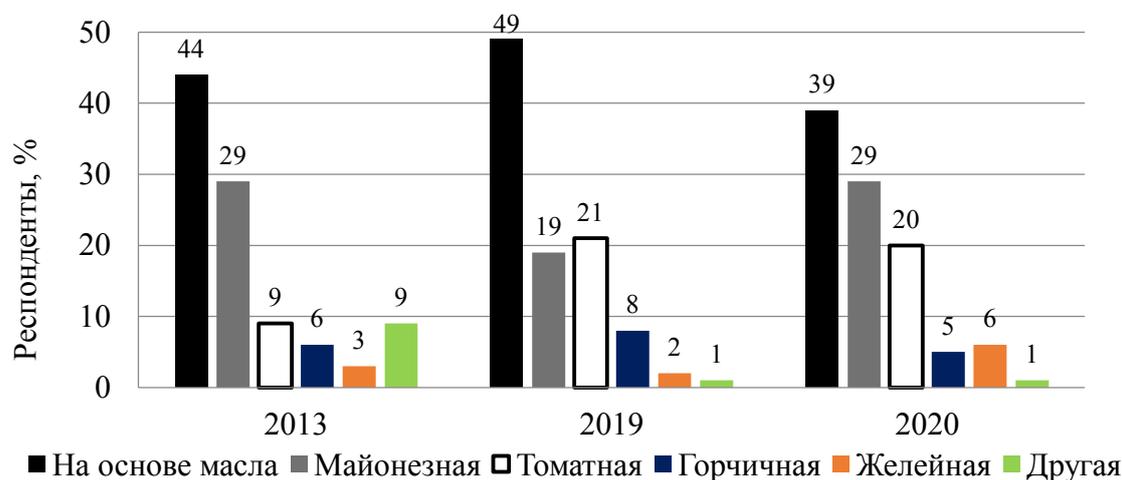


Рис. 1. Предпочтения респондентов в отношении вида заливки в пресервах
 Fig. 1. Respondents' preferences regarding the type of filling in preservers

Для достижения данной цели нужно было выполнить следующие задачи:

1. Изучить влияние компонентов заливки на физико-химические и органолептические характеристики продукта;
2. Обосновать срок годности пресервов в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты и чеснока;
3. Разработать рецептуру и технологическую схему производства пресервов из сельди атлантической в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты и чеснока, проект технической документации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве основного сырья для производства пресервов в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты была использована сельдь атлантическая, по качеству соответствующая требованиям ТР ЕАЭС 040/2016, ТР ТС 021/2011 и ГОСТ 32910-2014 (химический состав: жир – 19,7 %, белок – 16,3, минеральные вещества – 3,6, массовая доля влаги – 60,4 %).

Все используемое сырье в процессе исследований соответствовало требованиям нормативной и технической документации (табл. 1).

Таблица 1. Перечень нормативно-технической документации на сырье
Table 1. List of normative and technical documentation for raw materials

Наименование вспомогательных материалов	Действующая документация
Сахар белый	ГОСТ 33222-2015, ТР ТС 021/2011
Майонез	ГОСТ 31761-2012, ТР ТС 021/2011
Томатная паста	ГОСТ 3343-2017, ТР ТС 021/2011
Чеснок свежий	ГОСТ Р 55909-2013
Перец черный молотый	ГОСТ 29050-91
Перец душистый	ГОСТ ISO 973-2016
Имбирь молотый	ГОСТ ISO 1003-2016
Лист лавровый сухой	ГОСТ 17594-81
Соль пищевая	ГОСТ Р 51574-2018
Вода	ГОСТ Р 51232-98, СанПиН 2.1.4.1116-02
Желатин пищевой	ГОСТ 11293-2017, ТР ТС 021/2011
Бензоат натрия	ГОСТ 32777-2014, ТР ТС 029/2012

Посол сырья для проведения исследований осуществлялся прерванным насыщенным охлажденным тузлучным посолом в 26,4%-ном солевом растворе при температуре (4 ± 2) °С до достижения массовой доли соли в мышечной ткани рыбы $(5 \pm 0,5)$ % [4]. Исследования по обоснованию массовой доли желатина и рецептурного состава проводились одновременно.

С этой целью были приготовлены три образца заливки (табл. 2, рецептура № 2) с массовой долей желатина 2,5; 3,5 и 4,5 % (достигалась за счет уменьшения или увеличения в составе заливки воды). Прочность в образцах определяли на приборе Валента.

Для обоснования массовой доли томатной пасты были приготовлены образцы пресервов из сельди атлантической в майонезно-желейной заливке по рецептурам, представленным в табл. 2. Соотношение филе-кусочков соленой сельди к заливке составляло 65 : 35 %. В качестве контрольного образца рассматривалась майонезно-желейная заливка без добавления томатной пасты. Образцы были герметично укупорены в полимерную пластиковую тару и хранились в холодильной камере при температуре (4 ± 2) °С.

Таблица 2. Рецептуры образцов майонезно-желейных заливок
Table 2. Recipes for samples of mayonnaise-jelly fillings

Ингредиенты	Номер рецептуры			
	Контроль	1	2	3
1	2	3	4	5
Сахар	5,50	5,50	5,50	5,50
Майонез «Провансаль» 67%-ный	40,95	38,25	36,75	35,25
Томатная паста	–	5,00	10,00	15,00
Чеснок	–	3,00	3,00	3,00
Перец черный молотый	0,11	0,11	0,11	0,11

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Перец душистый	0,24	0,24	0,24	0,24
Имбирь	0,11	0,11	0,11	0,11
Лист лавровый	0,24	0,24	0,24	0,24
Соль	3,50	3,50	3,50	3,50
Вода	55,77	50,81	47,31	43,81
Желатин	3,50	3,50	3,50	3,50
Натрий бензойнокислый	0,11	0,11	0,11	0,11
Выход (с учетом 5 % потерь на розлив)	110,03	110,03	110,03	110,03

В полученных образцах определяли органолептические и физико-химические показатели (прочность студня, общую кислотность – в пересчете на уксусную кислоту, массовую долю соли, рН заливки).

Для обоснования срока годности продукта были приготовлены образцы пресервов в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты по рецептуре № 2 (табл. 2), соотношение филе-кусочков соленой сельди к заливке составляло 65 : 35 %. Полученные образцы хранили при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 20 сут. В процессе определяли органолептические, физико-химические и микробиологические показатели.

Органолептические показатели выявляли по разработанной шкале, дегустацию приготовленных образцов пресервов проводили на кафедре технологии продуктов питания Калининградского государственного технического университета.

Содержание массовой доли хлористого натрия и влаги в рыбе определяли в соответствии с ГОСТ 7636-85, общую кислотность пресервов – титриметрическим методом согласно ГОСТ 27082-2014.

Для определения прочности на приборе Валента пластиковую тару (габаритные размеры 80x110x30 мм) со 180 мл заливки устанавливали на основание прибора и на поверхность студня. В пяти точках опускали грибовидную насадку массой 19 г, следом равномерно подавали нагрузку до момента разрыва студня.

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) определяли по ГОСТ 10444.15-94, бактерий группы кишечных палочек – по ГОСТ 31747-2012, *S. aureus* – по ГОСТ 31746-2012, *v. parahaemolyticus* – по ГОСТ ISO/TS 21872-1-2013, сульфитредуцирующих кластридий – по ГОСТ 29185-2014, *Salmonella* – по ГОСТ 31659-2012, *Listeria monocytogenes* – по ГОСТ 32031-2012, дрожжи и плесневые грибы – по ГОСТ 10444.12-2013.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований были разработаны рецептуры заливки на основе майонеза с добавлением томатной пасты, гармонично сочетающейся по вкусу с соленой сельдью атлантической (табл. 2, рис. 2). В качестве структурообразователя выбран желатин, позволяющий получить плотный студень при заявленных технологических условиях (рН среды заливки, компонентный состав).

Известно, что на процесс студнеобразования большое влияние оказывает рН среды. Застудневание наиболее эффективно протекает при значениях рН, близких к изоэлектрической точке [5]. Выяснено, что компоненты, входящие в рецептуру разработанных заливок, снижают значение рН ниже 5,0 (изоэлектрическая точка желатина составляет 6...6,95 ед.), поэтому одновременно проводилось обоснование массовой доли желатина в заливке для получения продукта с оптимальными структурно-реологическими свойствами [6].

Изменение прочности майонезно-желейной заливки (табл. 2, рецептура № 2) с массовой долей желатина 2,5; 3,5 и 4,5 % соответственно представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты измерения прочности майонезно-желейной заливки
Table 3. The results of measuring the strength of the mayonnaise-jelly filling

Содержание желатина	Прочность Н
2,5 %	0,77 ± 0,03
3,5 %	1,06 ± 0,01
4,5 %	1,08 ± 0,03

Из данных табл. 3, можно сделать вывод, что разница в прочности студня в образцах с массовой долей желатина 3,5 и 4,5 % достоверно имеет близкие значения. Следовательно, является нецелесообразным увеличение массовой доли желатина более чем 3,5 % в составе рецептуры майонезно-желейных заливок для производства пресервов из слабосоленой сельди.

Органолептическая оценка образцов пресервов с майонезно-желейными заливками представлена на рис.2.

Как видно из рис. 2, наиболее высокими органолептическими показателями обладает опытный образец с добавлением заливки по рецептуре № 2, где содержание томатной пасты составляет 10 %. Данный образец пресервов характеризовался наиболее гармоничным вкусом и ароматом, незначительный привкус томатной пасты ощущался слабо и не выделялся.

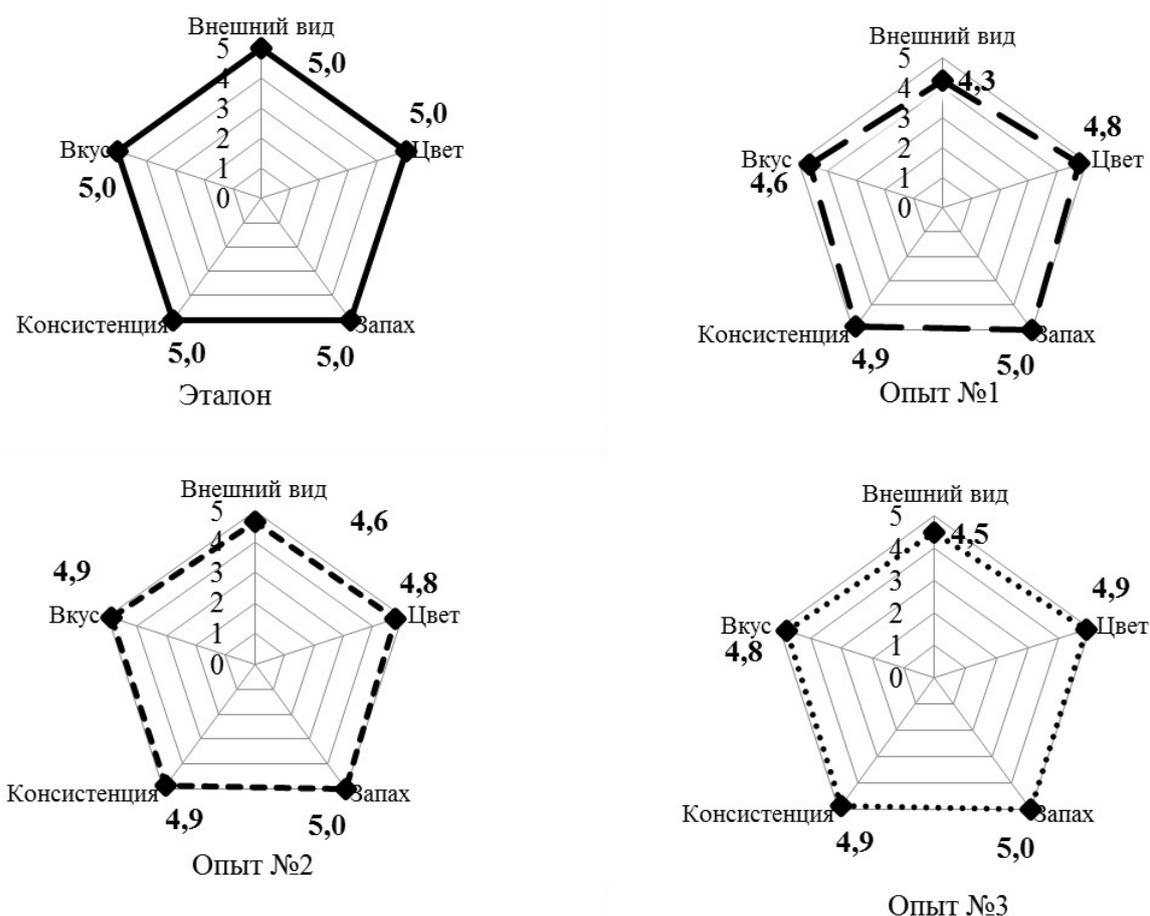


Рис. 2. Органолептическая оценка образцов пресервов
 Fig. 2. Organoleptic evaluation of preserves samples

Физико-химические показатели исследуемых образцов пресервов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Физико-химические показатели пресервов
 Table 4. Physicochemical indicators of preserves

Показатель	Допустимый уровень	Образец			
		Контроль	Опыт № 1	Опыт № 2	Опыт № 3
1	2	3	4	5	6
Общая кислотность, % (в пересчете на уксусную кислоту)	Не более 0,8 %	$0,07 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,05$	$0,17 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,05$
pH	—	$6,10 \pm 0,1$	$5,96 \pm 0,1$	$5,32 \pm 0,1$	$4,93 \pm 0,1$

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
Массовая доля NaCl, %	От 5 до 8 %	$5,5 \pm 0,1$	$5,9 \pm 0,1$	$6,1 \pm 0,1$	$6,4 \pm 0,1$
Прочность Н	–	$1,23 \pm 0,04$	$1,21 \pm 0,04$	$1,08 \pm 0,02$	$0,86 \pm 0,02$

Из таблицы видно, что все образцы по массовой доле соли и кислотности находятся в допустимом стандартном диапазоне, оптимальные потребительские и функционально-технологические показатели в пресервах из малосоленой сельди достигаются при использовании в рецептуре майонезно-желейной заливки желатина в количестве 3,5 % и томатной пасты 10 % соответственно. Данная рецептура заливки была выбрана для дальнейших исследований с целью обоснования срока годности пресервов.

Изменение органолептических показателей пресервов в процессе хранения представлено на рис. 3.

Как видно из профилограмм, пресервы на протяжении всего срока хранения в условиях положительных температур сохраняли довольно высокие органолептические характеристики и практически не изменились, за исключением консистенции и внешнего вида заливки. В процессе хранения происходило старение геля, которое выражалось в выделении незначительного количества влаги на поверхности и уплотнении студня (рис. 5).

В процессе хранения пресервов вероятны изменения физико-химических и реологических показателей компонентов пресервов, что может отрицательно сказаться на потребительских свойствах готового продукта. Известно, что под воздействием уксусной кислоты белки рыбы частично гидролизуются и размягчаются, но в то же время поваренная соль делает мясо рыбы жестче [7].

График изменения кислотности пресервов в процессе хранения представлен на рис. 4, откуда можно сделать вывод, что кислотность образцов пресервов увеличивается незначительно в процессе хранения и находится в допустимом диапазоне (см. табл. 4).

Из рисунка видно, что в процессе хранения пресервов в исследуемом временном диапазоне прочность желейной заливки увеличивается, что, вероятно, связано со старением геля в процессе хранения и согласуется с данными органолептической оценки.

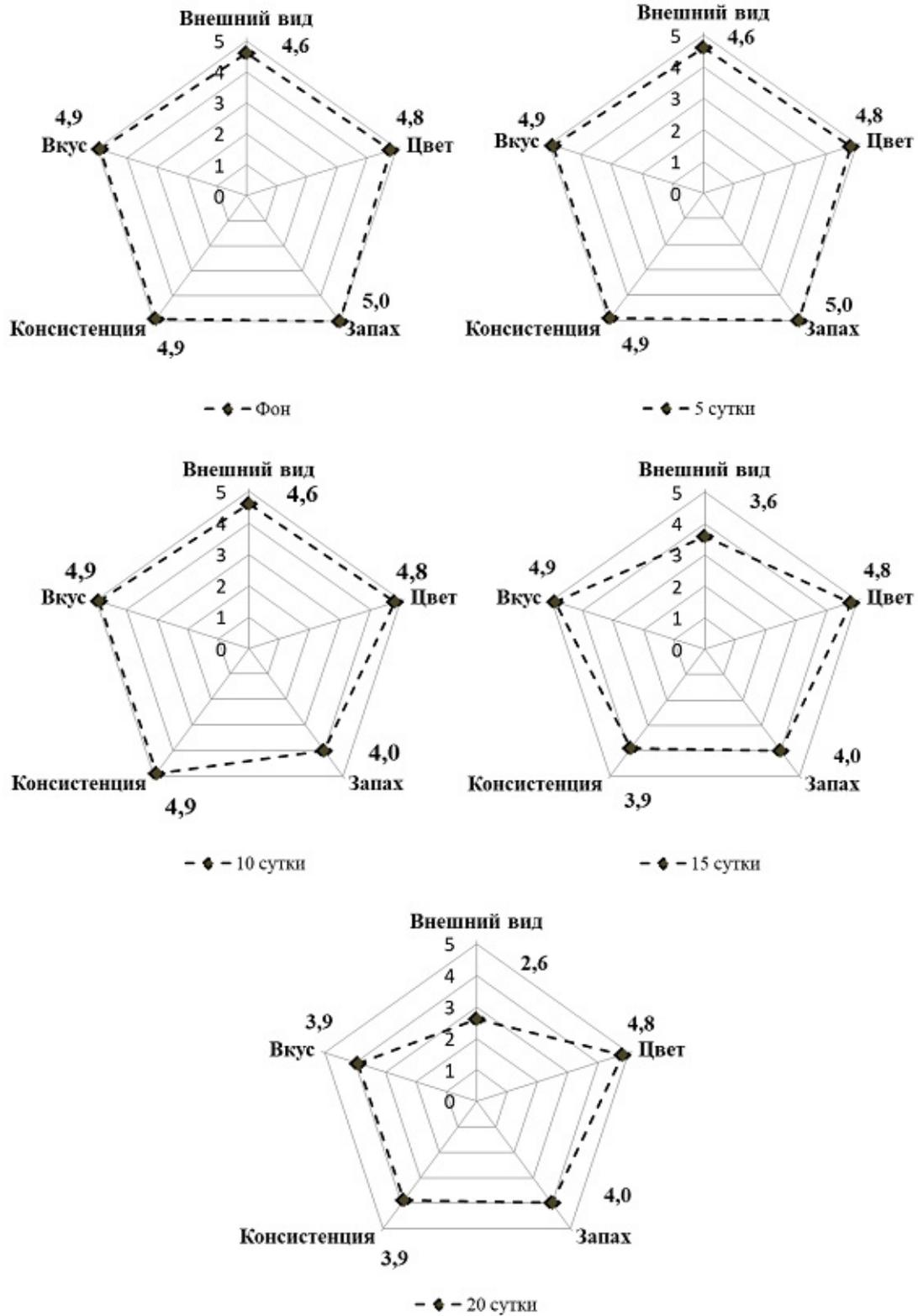


Рис. 3. Изменение органолептических показателей пресервов в процессе хранения
 Fig. 3. Changes in the organoleptic characteristics of preserves during storage

Санитарно-микробиологические показатели пресервов из сельди атлантической в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты приведены в табл. 5.

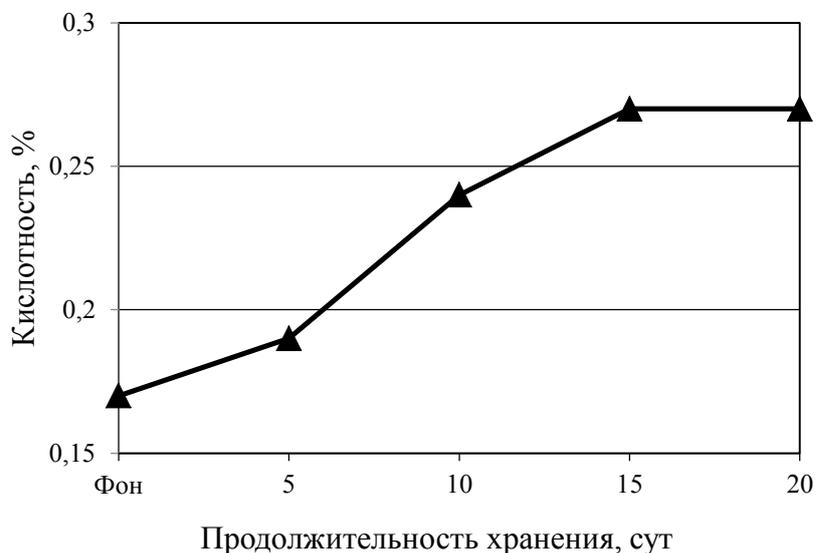


Рис. 4. Изменение кислотности пресервов в процессе хранения
Fig. 4. Changes in the acidity of preserves during storage

На рис. 5 представлен график изменения прочности майонезно-желейной заливки в процессе хранения.



Рис. 5. График изменения прочности майонезно-желейной заливки пресервов в процессе хранения
Fig. 5. The graph of the change in the strength of the mayonnaise-jelly filling during storage

Таблица 5. Санитарно-микробиологические показатели пресервов в процессе хранения

Table 5. Sanitary and microbiological indicators of preserves during storage

Показатель	Допустимый уровень	Полученные данные				
		Фон	5-е сутки	10-е сутки	15-е сутки	20-е сутки
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $2 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, не допускаются в массе продукции (г)	25	Не установлены в 25 г				
<i>Listeria monocytogenes</i> не допускаются в массе продукции (г)	25	Не установлены в 25 г				
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы) не допускаются в массе продукции (г)	0,01	Не установлены в 0,01 г				
<i>S. aureus</i> не допускается в массе продукции (г)	0,1	Не установлены в 0,1 г				
Сульфитредуцирующие клостридии, не допускаются в массе продукции (г)	0,01	Не установлены в 0,01 г				
<i>V. parahaemolyticus</i> , КОЕ/г, не более	100	Менее 100				
Дрожжи, КОЕ/г, не более	$5 \cdot 10^2$	Менее 500				
Плесени, КОЕ/г, не более	50	Менее 50				

Проведенные исследования продемонстрировали, что на протяжении всего срока хранения микробиологические показатели пресервов находились в допустимых пределах. На основании полученных данных с учетом коэффициента резерва 1,3 определен срок годности пресервов в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты, который составил 15 сут при температуре хранения $(4 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

По результатам исследований была разработана рецептура майонезно-желейной заливки с добавлением томатной пасты и технологическая схема ее производства для пресервов из малосоленой сельди (рис. 6).

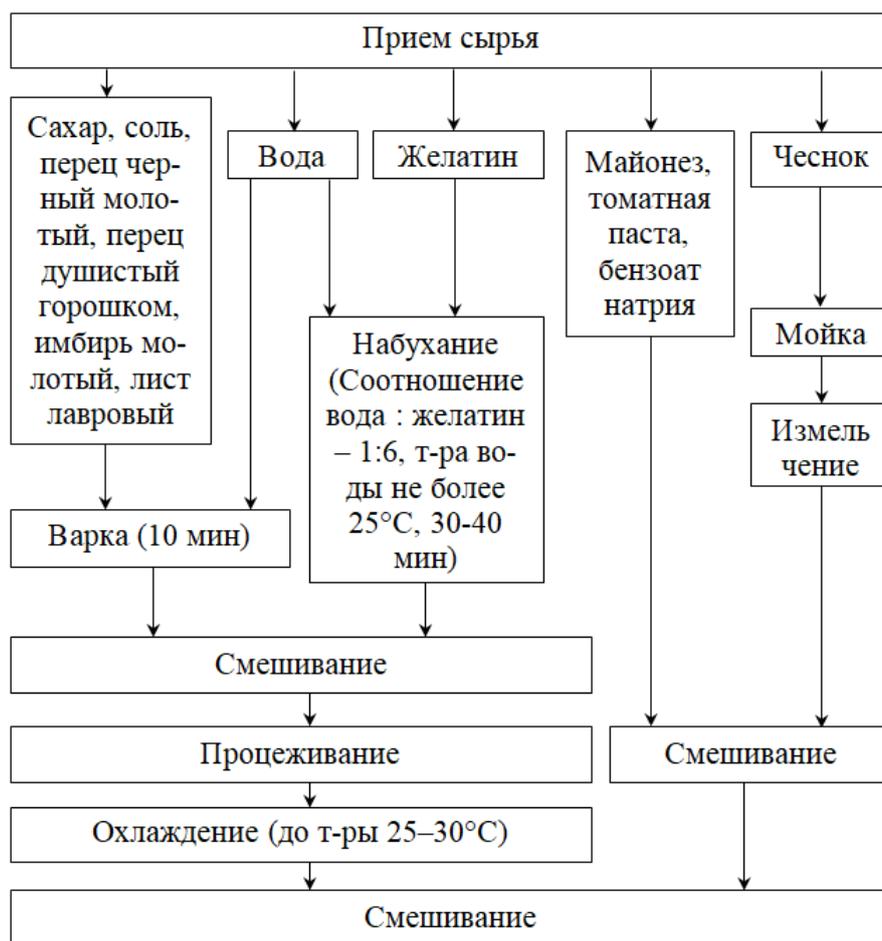


Рис. 6. Технологическая схема приготовления майонезно-желейной заливки
 Fig. 6. Technological scheme for the preparation of mayonnaise-jelly filling

ВЫВОДЫ

Изучено влияние томатной пасты на физико-химические и органолептические характеристики продукта. Показано, что оптимальные потребительские показатели в пресервах из малосоленой сельди достигаются при использовании в рецептуре майонезно-желейной заливки желатина 3,5 % и томатной пасты 10 % соответственно.

Обоснован срок годности пресервов в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты и чеснока, который составляет 15 сут при температуре хранения (4 ± 2 °C).

На основании проведенных исследований была разработана рецептура приготовления пресервов из сельди атлантической в майонезно-желейной заливке с добавлением томатной пасты и чеснока. Выявлено, что наиболее оптимальным является добавление 10 % томатной пасты и 3,5 % желатина.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Салтанова, Н. С. Современные тенденции производства соленой продукции из гидробионтов / Н. С. Салтанова, М. В. Благодравова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2012. – № 20. – С. 67–74.
2. Смагина, А. В. Использование заливок, соусов и гарниров при производстве пресервной продукции / А. В. Смагина // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2012. – № 21. – С. 59–62.
3. Карнеева, Ф. С. Изучение изменений, происходящих на рынке соленой рыбной продукции и пресервов Калининградского региона / Ф. С. Карнеева, М. Н. Альшевская // Инновации в технологии продуктов здорового питания-2020: VIII Международный Балтийский морской форум (5–10 октября): материалы. – Калининград, 2020. – С. 3–8.
4. Альшевская, М. Н. Обоснование способа посола сельди атлантической в условиях малых производств / М. Н. Альшевская, О. В. Анистратова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2021. – № 55. – С. 6–17.
5. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. – Москва: Химия, 1975. – 512 с.
6. Аймесон, А. Пищевые загустители, стабилизаторы и гелеобразователи / А. Аймесон: пер. с англ. / под ред. д-ра хим. наук С. В. Макарова. – Санкт-Петербург: ИД «Профессия», 2012. – 408 с. [Alan Imeson. Food stabilisers, thickeners and gelling agents].
7. Люк, Э. Консерванты в пищевой промышленности / Э. Люк, М. Ягер: пер. с нем. / под ред. д-ра хим. наук Л. А. Сафронова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 1998. – 256 с. [Lück E. Chemische Lebensmittelkonservierung / E. Lück, M. Jager. – Springer Berlin Heidelberg, 1995. – 273 p.].

REFERENCES

1. Saltanova N. S., Blagonravova M. V. Sovremennye tendentsii proizvodstva solenoy produktsii iz gidrobiontov [Modern trends in the production of salted products from aquatic organisms]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 20, pp. 67–74.
2. Smagina A. V. Ispol'zovanie zalivok, sousov i garnirov pri proizvodstve preservnoy produktsii [Use of fillings, sauces and garnishes in the production of preserves]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 21, pp. 59–62.
3. Karneeva F. S., Al'shevskaya M. N. Izuchenie izmeneniy, proiskhodyashchikh na rynke solenoy rybnoy produktsii i preservov Kaliningradskogo regiona [Study of changes in the market of salted fish products and preserves of the Kaliningrad region]. *Materialy VIII Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma "Innovatsii v tekhnologii produktov zdorovogo pitaniya"* [Proceedings of the VIII International Baltic Maritime Forum "Innovations in Healthy Food Technology"]. Kaliningrad, 2020, pp. 3–8.
4. Al'shevskaya M. N., Anistratova O. V. Obosnovanie sposoba posola sel'di atlanticheskoy v usloviyakh malykh proizvodstv [Substantiation of optimal method of

atlantic herring's salting process for small-business production]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 55, pp. 6–17.

5. Voyutskiy S. S. *Kurs kolloidnoy khimii* [Colloidal chemistry course]. Moscow, Khimiya, 1975, 512 p.

6. Aymeson A. *Pishchevye zagustiteli, stabilizatory i geleobrazovateli* [Food thickeners, stabilizers and gelling agents]. Transl. from English Dr. chem. sciences S. V. Makarova, Saint Petersburg, Publishing House “Professiya”, 2012, 408 p.

7. Lück E., Jager M. *Chemische Lebensmittelkonservierung*. Springer Berlin Heidelberg, 1995, 273 p. (Russ. Ed.: Lyuk, E., Yager M. *Konservanty v pishchevoy promyshlennosti*. Saint-Petersburg, GIORP Publ., 1998, 256 p.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Карнеева Фаина Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: karneeva.faina@mail.ru

Karneeva Faina Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; Master student, Department of Food Technology; E-mail: karneeva.faina@mail.ru

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

Al'shevskaya Marina Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences, 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; Candidate of Technical Sciences; Associate Professor, Department of Food Technology; E-mail: anistratova1981@mail.ru

УДК 663.317

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-106-119

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЯБЛОЧНОГО СИДРА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИКОРАСТУЩИХ ПЛОДОВ И ЯГОД
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Кошкина, Д. Л. Альшевский

TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF APPLE CIDER RECIPE USING WILD
FRUITS AND BERRIES OF THE KALININGRAD REGION

A. Koshkina, D. L. Alshevskiy

Переработка свойственных регионам фруктов и ягод в алкогольные напитки с целью их сохранения на более длительный срок и увеличения гастрономического разнообразия является традиционной практикой. 12 000 лет назад зародилось и стало развиваться производство вин и слабоалкогольных фруктовых винных напитков [1]. Определенная местность имеет свою фруктово-ягодную базу в зависимости от природных и климатических условий, а также трудозатрат для возделывания. На сегодняшний день в каждой климатической зоне сформировался характерный для нее набор сортов и видов культур, так появилось понятие «алкогольные пояса». Южной Европе свойственно различное виноделие, Центральная Европа преимущественно перерабатывает яблоки в вино и сидр. В рамках представленной статьи предложено несколько экспериментальных рецептов яблочного сидра с использованием дикорастущих плодов и ягод, а именно плодов шиповника, облепихи и калины. В каждой из рецептов установлены показатели, определяющие принадлежность конечного продукта к категории «сидр», такие как кислотность, содержание спирта и сахара. Крепость некоторых составов доходила до 8–9 % при дозволённых ГОСТ 31820 6 % [2]. Кислотность соответствовала норме и составила не менее 4 г/дм³, а по содержанию сахара значения колеблются от 5,8 до 24,8 Втх, нижние значения характерны для составов с добавлением облепихи, высокие – свойственны напиткам с сиропом калины в их составе. Для оценки органолептических показателей использована 50-балльная система. Лидирующими стали напитки с большим процентом сиропа калины и шиповника (50 и 75 %), набравшие в среднем по 47 баллов, и напиток с малым содержанием облепихового сиропа в составе (25 %) – 43 балла.

яблоки, сидр, калина, облепиха, балтийский шиповник, титруемая кислотность, содержание спирта, содержание сахара, рецептура, брожение

Processing of regional fruits and berries into alcoholic beverages in order to preserve them for a longer period and increase the gastronomic variety is a traditional practice. Humanity has been developing the production of wines and low-alcohol fruit wine drinks. With the development of the mankind, different types of fruit and berry bases

have become common to certain territories, depending on the natural and climatic conditions and labor costs for cultivation. As a result, today in each climatic zone a specific set of varieties and types of cultivated crops has been formed – this is where the "alcohol belts" concept takes its beginning. Winemaking culture varies in southern Europe quite dramatically, while central Europe predominantly processes apples into wine and cider. Within the scope of this research, several experimental recipes for apple cider have been developed using wild fruits and berries, namely briar, sea buckthorn and viburnum. Special indicators were established to confirm that the final product can be considered "cider", such as acidity, alcohol and sugar content. Strength of some compositions reached 8-9%, while the permitted GOST 31820 was 6% [2]. Acidity was within acceptable range: at least 4 g / dm³, and in terms of sugar content, the values range from 5.8 Brix to 24.8 Brix, the lower values appeared to be common for samples with added sea buckthorn, high values were mostly seen in samples with viburnum syrup in their composition. To assess organoleptic characteristics, a 50-point system was used. In the end, samples with a high percentage of viburnum and briar syrup (50 and 75%) have scored the highest - an average of 47 points, and the sample with a low content of sea buckthorn syrup in the composition (25%) scored 43 points.

apples, cider, viburnum, sandthorn, briar, titrated acid, alcohol content, sugar content, recipe, brewing

ВВЕДЕНИЕ

Тенденция и развитие винодельческого (не только виноградного) сектора стран мира свидетельствует о том, что состав и структура ассортимента меняется для удовлетворения возросших физиологических потребностей человека. Реальный спрос на вино связан не только с социально-психологическими факторами, но и с его лечебно-профилактическими свойствами и пищевой ценностью. Поэтому наблюдается устойчивая заинтересованность покупателя в натуральных винах и сидре, особенно если в их составе присутствуют природные компоненты с ярко выраженными органолептическими свойствами.

Для получения наиболее высоких вкусовых показателей яблочного сидра лучше всего использовать купаж нескольких яблок. Желательно, чтобы один сорт был кислым и терпким, а другой – сладким и мягким, так вкус будет наиболее сбалансированным. В Калининградской области, как и в близлежащих странах с похожей климатической картиной, а также в Германии произрастают яблоки различных сортов, поскольку летом температура редко поднимается до 32 °С и выше [3]. В связи с этим государства Прибалтики, особенно Литва, уже давно активно развивают сектор фруктовых вин и фруктовых слабоалкогольных напитков, таких как сидр и пуаре. Алкогольные напитки из местных фруктов и ягод предпочитает не только местное население, их увозят с собой туристы в качестве сувенира.

Также следует упомянуть Германию и ее федеральный округ Гессен с крупнейшим городом Франкфуртом, где на протяжении 500 лет традиционно производят некрепкое, мягкое яблочное вино, находящееся под защитой ЮНЕСКО [4].

Германия, как и Прибалтика, является «пивным» государством, однако это не помешало ей основать и развить сектор более мягких и благородных напитков из регионального сырья.

Сегодня следует обратить внимание на то, что в Калининградской области наблюдается активное развитие агропромышленного комплекса, в 2020 г. общая площадь садов интенсивного типа (в основном яблоневых) составила 794, многолетних ягодников – 157, питомников плодовых и ягодных культур – 63 га [5].

Ассортимент продукции из данного вида сырья в масс-маркете ограничен, особенно если речь идет о продуктах из шиповника, калины и облепихи. Как правило, их перерабатывают в сладости или соковые напитки, а типичные и регионально узнаваемые продукты, рецептуры которых основаны на данном сырье, такие как алкогольные, отсутствуют.

Таким образом, разработка рецептур винных напитков на основе сброженного яблочного сока весьма актуальна благодаря развивающемуся агропромышленному комплексу. Целью эксперимента является выявление оптимальной концентрации вносимых натуральных сиропов из дикорастущих плодов и ягод для достижения идеальных органолептических и физико-химических характеристик, что, в свою очередь, может лечь в основу развития и производства региональных слабоалкогольных напитков из дикорастущих культур Калининградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования были выбраны культуры, активно произрастающие в Калининградской области, такие как яблоки, облепиха, балтийский шиповник и калина. Использовались именно дикорастущие виды для более полного выявления потенциала растений, все сырье соответствовало ТР ТС 021/2011. При проведении эксперимента в состав добавляли дрожжи марки Biowin (Польша), соответствующие ТРТС 021/2011.

Первоначально предполагалось основывать исследования на плодово-ягодном вине, произведенном из дикорастущего сырья. Однако впоследствии вектор исследования решено было скорректировать, на брожение были поставлены образцы вина из облепихи, калины, шиповника и яблочный сидр. Брожение проходило в специальной стеклянной емкости с гидрозатвором для обеспечения одностороннего выхода углекислого газа из тары (табл. 1).

Таблица 1. Рецепт плодово-ягодных вин
Table 1. Recipe of fruit and berry wines

Компонент рецептуры, кг	Вино из шиповника	Вино из калины	Вино из облепихи	Яблочный сидр
Плоды шиповника	3	–	–	–
Ягоды калины	–	3	–	–
Ягоды облепихи	–	–	3	–
Яблочный сок	–	–	–	20
Дрожжи	0,07	0,007	0,007	0,01
Сахар-песок	1	1	1	2
Вода питьевая	3	1	1	–

По окончании первого этапа брожения была подготовлена тара и вкусоароматические ингредиенты (табл. 2). Плоды и ягоды протирали, сок отжимали и процеживали. Мезгу заливали горячей водой, добавляли сахар, проваривали при слабом кипении 5–10 мин, затем остужали до 40 °С и добавляли отжатый сок.

Таблица 2. Рецептатура вкусо-ароматических ингредиентов
Table 2. Recipe of flavor ingredients

Компонент рецептуры, кг	Сироп из шиповника	Сироп из калины	Сироп из облепихи
Плоды шиповника	0,450	–	–
Ягоды калины	–	0,450	–
Ягоды облепихи	–	–	0,450
Сахар-песок	0,350	0,350	0,350
Вода питьевая	1	1	1

Во время второго этапа брожения было поставлено девять экспериментальных образцов по рецептуре табл. 3 согласно технологическим схемам (рис. 6).

Таблица 3. Рецептатура экспериментальных образцов
Table 3. Test sample recipe

Компонент рецептуры, %	Номер рецептуры									
	0 (контроль)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Яблочное сусло	100	75	50	25	75	50	25	75	50	25
Сироп облепихи	–	25	50	75	–	–	–	–	–	–
Сироп калины	–	–	–	–	25	50	75	–	–	–
Сироп шиповника	–	–	–	–	–	–	–	25	50	75
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

По прошествии 14 сут начался третий, конечный, этап брожения (дображивание). Образцы разлили в бугельные бутылки темного цвета, чтобы предостеречь продукт от прямых солнечных лучей и обеспечить естественную карбонизацию напитка. Подробно этапы брожения представлены в табл. 4.

Таблица 4. Этапы и режимы брожения
Table 4. Fermentation stages and modes

Этапы брожения	Образцы	Продолжительность, сут	Температура, °С
1	2	3	4
1	Облепиховое вино	5	20 ±2
	Вино из калины	5	20 ±2
	Вино из шиповника	5	20 ±2
	Яблочный сидр	5	20 ±2
2	Облепиховое вино	14	17 ±2
	Вино из калины	14	17 ±2
	Вино из шиповника	14	17 ±2
	Яблочный сидр с наполнителями	7	12 ±2

Окончание табл. 4

1	2	3	4
3	Облепиховое вино	20	4 ±2
	Вино из калины	20	4 ±2
	Вино из шиповника	20	4 ±2
	Яблочный сидр	20	4 ±2

Таким образом, было получено 13 опытных образцов, часть которых представлена на рис. 1.



Рис. 1. Образцы исследования
Fig. 1. Test samples

По окончании брожения были сняты базовые физико-химические данные, представленные на рис. 4–6. Содержание сахарозы определяли по ГОСТ ISO 2173-2013 [6], массовую концентрацию титруемых кислот – по ГОСТ 32114-2013 [7], для измерения приблизительного содержания спирта использовали виномер капиллярный.

Оценку вкуса, цвета и аромата проводили органолептическим методом с применением специально разработанных шкал.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЯ

Первостепенно исследованию подверглись дрожжевые грибы (рис. 2).

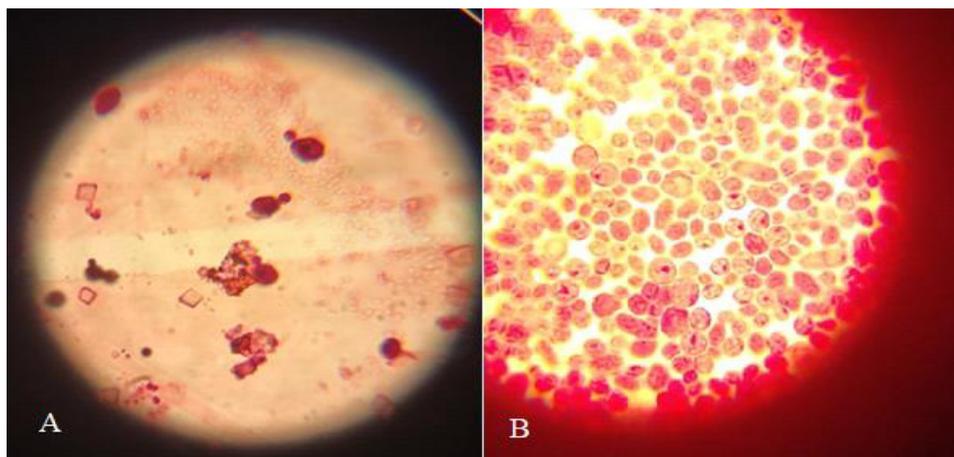


Рис. 2. А – дрожжевая клетка, отпочковывающая дочку; Б – дрожжевые клетки с дочерними шрамами
 Fig. 2. А – yeast cell (branching out a child cell); В – yeast cells with child markings (scars)

Микроскопия показала, что сухие дрожжи представляют собой дрожжевые грибы вида *Saccharomyces cerevisiae* [8].

Содержание сахара в образцах показано на рис. 3.

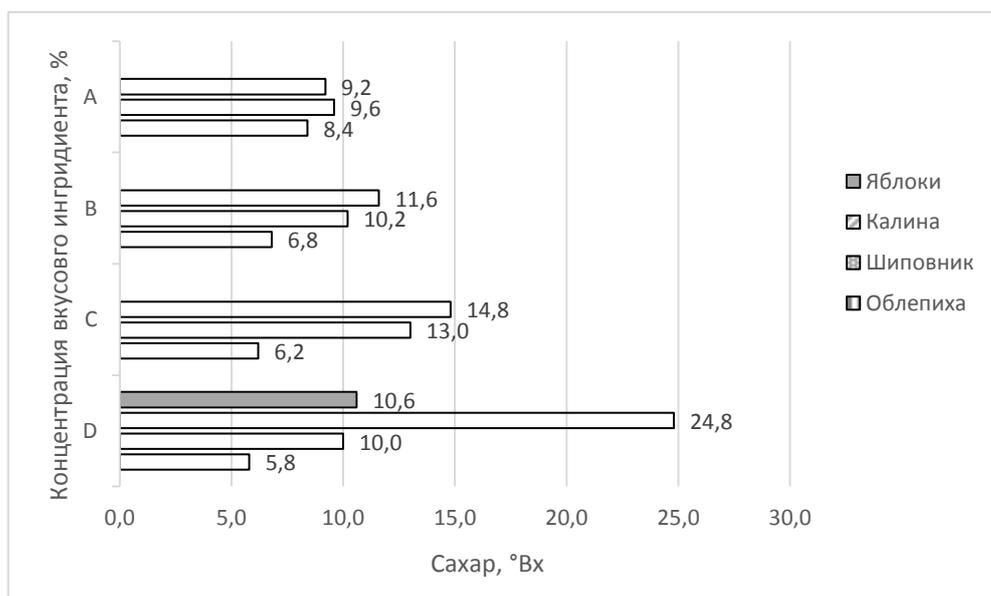


Рис. 3. Диаграмма содержания сахара в конечном продукте в зависимости от количества вносимого компонента (А – 25 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; В – 50 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; С – 75 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; D – чистые, ни с чем не смешанные образцы вина и яблочного сидра)

Fig. 3. Final product sugar content (in relation to the amount of flavor filler added (A – 25 % of flavor filler per volume; B – 50 % of flavor filler per volume; C – 75 % of flavor filler per volume; D – pure samples of wine and apple cider)

Согласно полученным данным содержание сахара в образцах с облепихой уменьшается при увеличении концентрации сиропа. При повышении концентрации сиропа шиповника и калины увеличивается и концентрация сахара в конечном продукте. Также следует обратить внимание на контрольный чистый продукт, где сбразивалась калина без смешивания с яблочным суслом, при одинаковом количестве вносимого сахара в начале брожения в итоговом продукте содержание сахара по сравнению с другими образцами больше на 15–20 °Вх.

На рис. 4 представлено конечное содержание алкоголя в продукте.

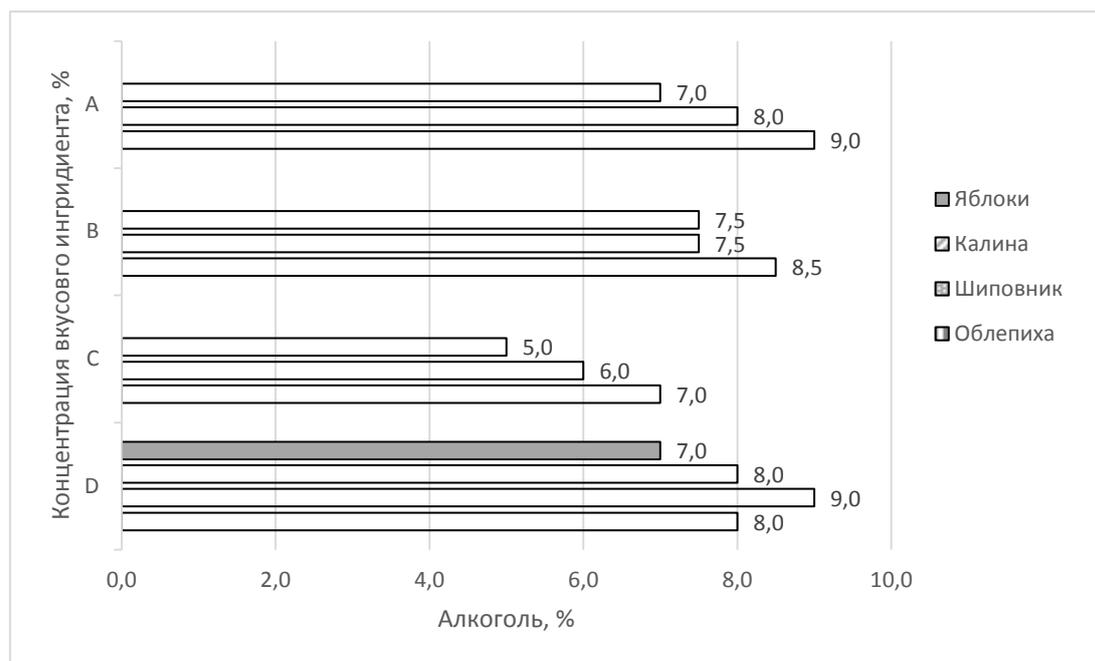


Рис. 4. Диаграмма содержания алкоголя в готовых образцах в зависимости от количества вносимого компонента (А – 25 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; В – 50 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; С – 75 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; D – чистые, ни с чем не смешанные образцы вина и яблочного сидра)

Fig. 4. Final product alcohol content in relation to the amount of filler added (A – 25 % of flavor filler per volume; B – 50 % of flavor filler per volume; C – 75 % of flavor filler per volume; D – pure samples of wine and apple cider)

Самым крепким из представленных образцов является напиток с добавленной облепихой, и наоборот, наименее крепким получились напитки с калиной.

В представленных данных (рис. 5) показано количество титруемых кислот в пересчете на яблочную.

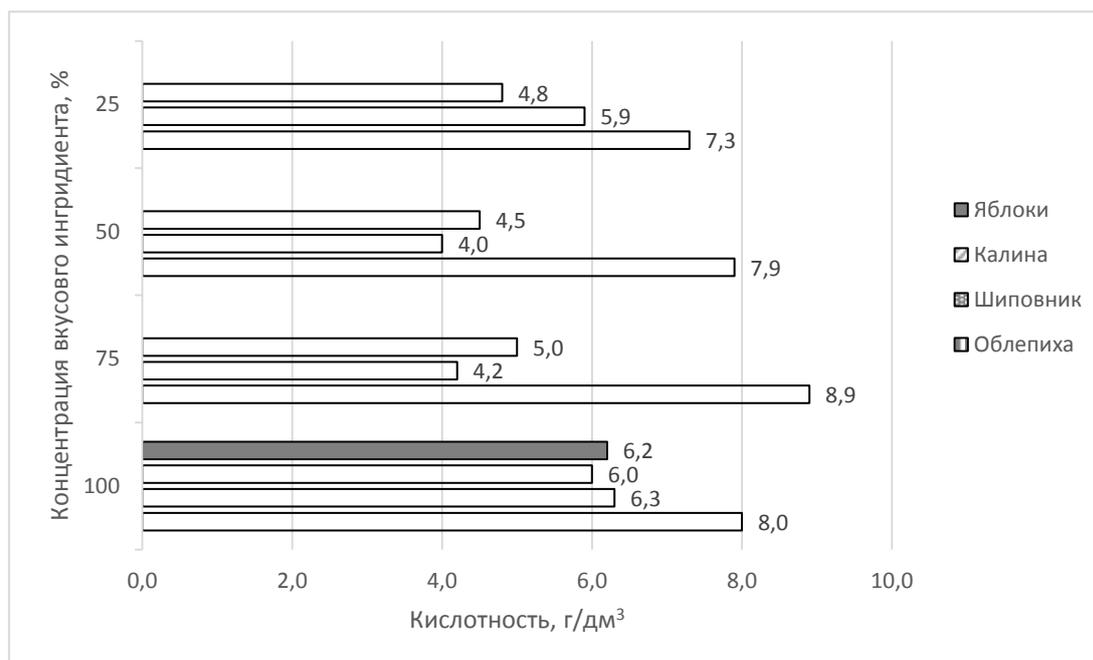


Рис. 5. Диаграмма содержания титруемых кислот в готовых образцах (А – 25 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; В – 50 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; С – 75 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; D – чистые, ни с чем не смешанные образцы вина и яблочного сидра)
 Fig. 5. Test sample titrated acids content diagram (A – 25 % of flavor filler per volume; B – 50 % of flavor filler per volume; C – 75 % of flavor filler per volume; D – pure samples of wine and apple cider)

Показатель кислотности должен быть не менее 4,0 г/дм³, чему соответствуют все образцы. Однако заметно, что наибольшей кислотностью обладает напиток с добавленной облепихой, что было ожидаемо, ведь в облепихе содержание органических кислот колеблется между 1,1 и 4,0 %, в то время как в калине титруемые кислоты составляют максимум 2,3 % [9].

Далее были сняты первые органолептические пробы готовых образцов. Оказалось, что монопродукт обладает излишне сильным вкусом, отчего требуется либо длительная выдержка готового вина, либо купаж. Решено было остановиться на купажировании, тем самым адаптируя яркие вкусы диких плодов и ягод согласно предпочтениям среднестатистического потребителя. Опираясь на полученные результаты, была разработана технологическая схема производства обогащенного яблочного сидра (рис. 6).

На заключительном этапе исследований была разработана балльная таблица для оценки гармоничности и качества продукта, а также колесо ароматов (матрица вкусов и ароматов сидра, которая помогла после опроса определить доминирующие и яркие вкусы каждого из образцов).

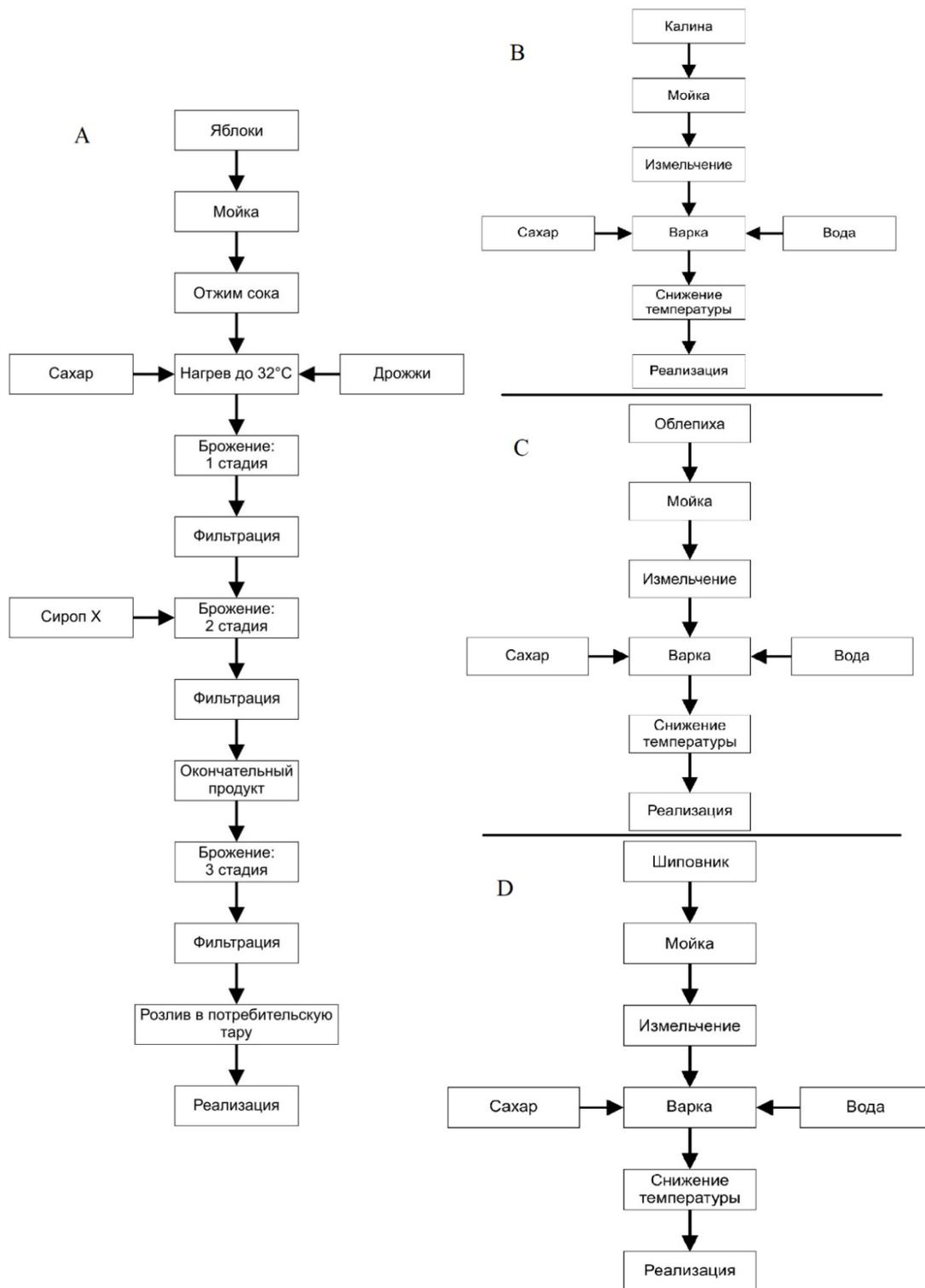


Рис. 6. Технологическая схема производства сидра (А) и вкусо-ароматических добавок к нему (В, С, D)
 Fig. 6. Cider production technological block-scheme (A) and cider flavor filler production block-scheme (B, C, D)

При проведении органолептической оценки образцов выделялись такие параметры, как внешний вид, аромат, вкус, телесность и послевкусие. Была использована упрощенная таблица органолептических параметров для доступной оценки представителями разных слоев населения. Максимально образцы могли набрать 50 баллов, результаты представлены в табл. 5.

Дегустационной комиссии было предложено разложить наиболее удачные вкусовые сочетания по колесу ароматов [10].

Таблица 5. Результаты органолептической оценки

Table 5. Organoleptic test results

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Внешний вид	5	4	4	4	5	5	3	5	5	5
Аромат	13	10	7	13	9	10	8	12	15	14
Вкус	14	10	9	13	17	18	12	15	15	14
Послевкусие	8	5	5	6	9	10	5	9	9	7
Итого	40	29	25	36	40	43	28	41	44	40

На рис. 7 представлены данные результатов органолептической оценки.

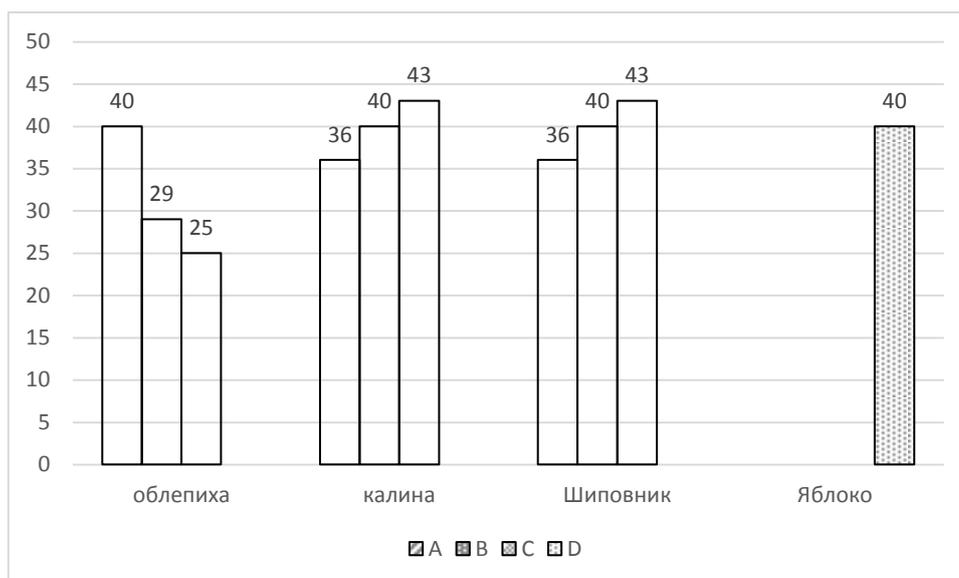


Рис. 7. Диаграмма итоговых результатов органолептической оценки (А – 25 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; В – 50 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; С – 75 % от массы напитка составляет вкусовой компонент; D – чистые, ни с чем не смешанные образцы вина и яблочного сидра)

Fig. 7. Final organoleptic score diagram (A – 25 % of the weight of the drink is the flavor component; B – 50 % of the weight of the drink is the flavor component; C – 75 % of the weight of the drink is the flavor component; D – pure unmixed samples of wine and apple cider)

Как видно из рис. 7, самыми удачными вкусовыми сочетаниями стали:

- образец №1
- образцы № 5 и 6
- образцы № 8 и 9
- образец № 0

Изменения физико-химических показателей у наиболее удачных вкусовых сочетаний с течением времени показаны на рис. 8.

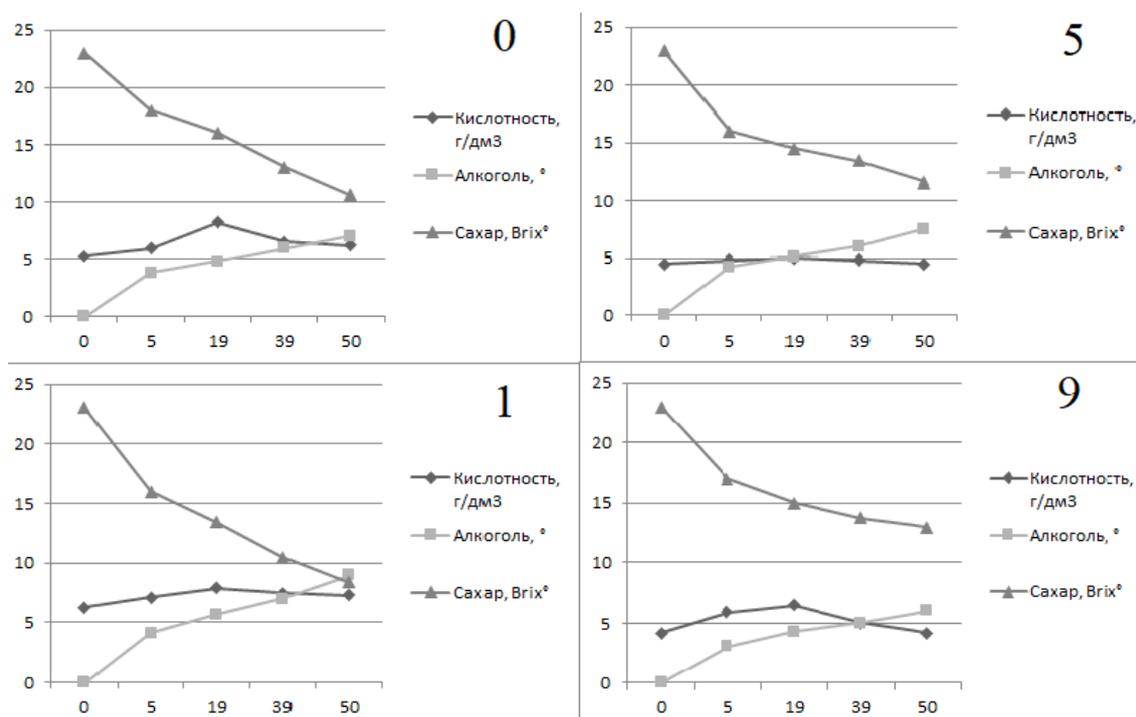


Рис. 8. Изменения физико-химических показателей с течением времени
 Fig. 8. Change of physicochemical parameters over time

Физико-химические показатели со временем менялись ожидаемо, количество спирта в продукте постепенно увеличивалось, а сахара – уменьшалось. Содержание кислот до 19 сут-медленно возрастало, а после пошло на спад.

ВЫВОДЫ

По итогам проведенной работы получены следующие результаты:

1. Выход чистых, не содержащих яблочного сусла, ягодных вин оказался мал и экономически невыгоден, однако вкусовые ингредиенты получились очень активными, разбавление их в яблочном сусле делает продукт приятнее в употреблении.

2. Исследуя образцы, определили следующие физико-химические данные:

- содержание сахара в образцах варьирует от 4,0 до 50,0 г/дм³;
- содержание титруемых кислот колеблется в диапазоне от 4,0 до 8,9 г/дм³;
- содержание спирта в образцах составляет от 5 до 9°.

3. Каждая из добавок вносила свои особенные оттенки в напиток. При добавлении сиропа шиповника дегустаторы ощущали вкус и запах груши, яблочного джема, сена, меда. Добавка калины придавала вкус черной смородины, лесных ягод, изюма, горьких специй. Облепиха же оказалась агрессивной, даже при малых вносимых концентрациях чувствовалась едкая кислинка, ощущалась ореховая горечь, а также аромат розы и цитрусовых.

4. Наиболее удачными с органолептической точки зрения оказались следующие образцы:

- сочетание 75 % яблочного суслу и 25 % облепихового сиропа;
- сочетание 50 % яблочного суслу и 50 % сиропа калины; сочетание 25 % яблочного суслу и 75 % сиропа калины;
- сочетание 50 % яблочного суслу и 50 % сиропа шиповника; сочетание 25 % яблочного суслу и 75 % сиропа шиповника;
- контрольный образец без обогатителей.

Учитывая полученные данные и то, что они в большей степени удовлетворяют поставленным целям и задачам, можно говорить о существенном потенциале проектируемого продукта. В настоящее время основной задачей является не только изобретение новых технологий, но и использование всех доступных пищевых ресурсов для удовлетворения потребности населения, а именно разработка рецептур и вывод на рынок новых вкусовых сочетаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. МакГоверн, Патрик Э. Древнее вино: поиски истоков виноградарства / Патрик Э. МакГоверн, Роберт Г. Мондави // Принстон, Изд-во «Принстонский Университет». – 2004.

2. ГОСТ 31820-2015. Сидры. Общие технические условия.

3. Дорошенко, Т. Н. Устойчивость плодовых и декоративных растений к температурным стрессорам: диагностика и пути повышения: моногр. / Т. Н. Дорошенко, Н. В. Захарчук, Д. В. Максимцов. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. – 117 с.

4. Эйхорн, С. Яблочное вино на пути к культурному наследию / С. Эйхорн // Франкфуртский журнал. – 2020 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.journal-frankfurt.de/journal_news/Kultur-9/Bundesliste-des-Immateriellen-Kulturerbes-Das-Stoeffche-auf-dem-Weg-zum-Kulturerbe-36119.html (дата обращения: 29.04.2021).

5. Итоги развития АПК региона в 2019 году [Электронный ресурс]. – URL: <http://mex39.ru/operativnaya-informaciya/itogi-razvitiya-apk-regiona/> (дата обращения: 29.04.2021).

6. ГОСТ ISO 2173-2013. Продукты переработки фруктов и овощей: рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ.

7. ГОСТ 32114-2013. Продукция алкогольная и сырье для ее производства: методы определения массовой концентрации титруемых кислот.

8. Бабьева, И. П. Биология дрожжей / И. П. Бабьева, И. Ю. Чернов. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 239 с.

9. Лю Ронг Сен. Химический состав плодов облепихи в Китае / Лю Ронг Сен // 2-й Международный симпозиум по облепихе. – Барнаул; Новосибирск: НИИСС, 1993. – С. 128 – 130.

10. Кошкина, А. Методика обобщенной численной органолептической оценки качества натуральных сидров, обогащенных сиропами из дикорастущих плодов и ягод / А. Кошкина, Д. Л. Альшевский // Вестник молодежной науки: электронный научный журнал. – 2021. – № 30 [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnikmolnauki.ru/3-30/> (дата обращения: 5.07.2021).

REFERENCES

1. MakGovern Patrik E., Mondavi Robert G. *Drevnee vino: poiski istokov vinogradarstva* [Ancient Wine: The Search for the Origins of Viniculture]. Prinstonkiy Universitet, 2004

2. GOST 31820-2015 Sidry. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Ciders. General specifications].

3. Doroshenko T. N., Zakharchuk N. V., Maksimtsov D. V. *Ustoychivost' plodovykh i dekorativnykh rasteniy k temperaturnym stressoram: diagnostika i puti povysheniya* [Resistance of fruit and ornamental plants to temperature stressors: diagnostics and ways to increase]. Krasnodar, Kubanskiy GAU, 2014, 117 p.

4. Eykhorn S. Yablochnoe vino na puti k kul'turnomu naslediyu [Apple wine on the way to cultural heritage]. *Frankfurtskiy zhurnal*, 2020, available at: https://www.journal-frankfurt.de/journal_news/Kultur-9/Bundesliste-des-Immateriellen-Kulturerbes-Das-Stoeffche-auf-dem-Weg-zum-Kulturerbe-36119.html (Accessed 29 April 2021).

5. Itogi razvitiya APK regiona v 2019 godu [Results of the development of the agro-industrial complex of the region in 2019]. Available at: <http://mex39.ru/operativnaya-informaciya/itogi-razvitiya-apk-regiona/> (Accessed 29 April 2021).

6. GOST ISO 2173-2013. Produkty pererabotki fruktov i ovoshchey. Refraktometricheskii metod opredeleniya rastvorimyykh sukhikh veshchestv [Fruit and Vegetable Products. Refractometric Method for Determination of Soluble Solids].

7. GOST 32114-2013. Produktsiya alkohol'naya i syr'e dlya ee proizvodstva. Metody opredeleniya massovoy kontsentratsii titruemykh kislot [Alcoholic products and raw materials for their production. Methods for determining mass concentration of titratable acids].

8. Bab'eva I. P., Chernov I. Yu. *Biologiya drozhzhey* [Biology of yeast]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2004, 239 p.

9. Lyu Rong Sen. *Khimicheskiy sostav plodov oblepikhi v Kitae* [Chemical composition of sea buckthorn fruits in China]. 2-y Mezhdunarodnyy simpozium po oblepikhe. Barnaul; Novosibirsk, NIIS, 1993, pp.128–130.

10. Koshkina A., Al'shevskiy D. L. Metodika obobshchyonnoy chislennoy organolepticheskoy otsenki kachestva natural'nykh sidrov, obogashchyonnykh siropami iz dikorastushchikh plodov i yagod [Methodology for the generalized numerical organoleptic assessment of the quality of natural ciders enriched with syrups from wild fruits and berries]. *Vestnik molodyozhnoy nauki*, 2021, no. 30, available at: <http://vestnikmolnauki.ru/3-30/> (Accessed 5 July 2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кошкина Анастасия – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: anastasija.koskina@gmail.com

Koshkina Anastasiya – Kaliningrad State Technical University;
Master student of the Department of Food Technology;
E-mail: anastasija.koskina@gmail.com

Альшевский Дмитрий Леонидович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: alshevsky@klgtu.ru

Alshevskiy Dmitriy Leonidovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Technology;
E-mail: alshevsky@klgtu.ru

УДК 637.524.2

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-120-132

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ МЯСНЫХ ПАШТЕТОВ, ОБОГАЩАЕМЫХ
БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ ИЗ ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО
СЫРЬЯ ГОРЯЧЕГО КОПЧЕНИЯ

К. А. Степанова, Л. С. Байдалинова

SAFETY ASSESSMENT OF MEAT PATE ENRICHED WITH PROTEIN-MINERAL
COMPLEX FROM HOT-SMOKED SECONDARY FISH RAW MATERIAL

K. A. Stepanova, L. S. Baydalinova

Рассматривается возможность реализации частично безотходной технологии производства консервов «Шпроты в масле» на базе рыбоперерабатывающих предприятий Калининградской области. Показана эффективность и безопасность применения белково-минерального комплекса (БМК), получаемого путем гидротермолиза голов кильки горячего копчения, для обогащения мясных продуктов. Определена функциональность БМК по содержанию кальция. Массовая доля кальция и фосфора в БМК составляет 6,5 и 4 % соответственно. Рассчитаны содержание кальция и фосфора и их соотношение в мясном паштете, обогащенном белково-минеральным комплексом. Введение этой добавки в мясные продукты в количестве 5 % повышает содержание кальция в них (37 % от суточной нормы его потребления в пересчете на 100 г продукта) и обеспечивает оптимальное для усвоения организмом соотношение кальция и фосфора. Доказана безопасность обогащенного мясного паштета по содержанию бенз(а)пирена, нормируемого в копченой продукции. Дана рекомендация по допустимому уровню бенз(а)пирена в БМК – не более 0,016 мг/кг. Срок годности паштета в упаковке с низкими барьерными свойствами с учетом коэффициента резерва составил 12 сут при температуре хранения (4±2) °С. Не выявлено значительное влияние БМК на изменение микробной обсемененности и, соответственно, на срок годности экспериментальных образцов паштета в сравнении с контрольными. Даны рекомендации по возможному увеличению срока годности паштета. Обнаружена высокая вероятность несоответствия мясного сырья микробиологическим нормативам, чему необходимо уделять серьезное внимание при организации производства мясной продукции.

белково-минеральный комплекс, кальций, фосфор, мясной паштет, бенз(а)пирен, микробиологические показатели, безопасность

The paper considers a possibility of implementing a partially waste-free technology for the production of canned food “Sprats in oil” on the basis of fish processing enterprises in Kaliningrad. It shows efficiency and safety of the use of the protein-mineral complex (PMC), produced by hydrothermolysis of the hot smoked head sprat, for the enrichment of meat products. Functionality of PMC has been determined by the content of calcium. The content of calcium and phosphorus in PMC is 6.5 and 4 %, re-

spectively. The content of calcium and phosphorus and their ratio in meat pate, enriched with a mineral complex of a protein-mineral complex have been calculated. Introduction of this additive into meat products in the amount of 5 % provides an increase in the calcium content in them (37 % of the daily intake in terms of 100 g of product) and provides an optimal ratio of calcium and phosphorus for absorption by the body. Safety of the enriched meat pate has been proven in terms of benzo(a)pyrene content, which is standardized in smoked products. A recommendation has been given for the maximum permissible level of benzo(a)pyrene in PMC – no more than 0.016 mg / kg. The shelf life of pate in a package with low barrier properties, taking into account the reserve coefficient, was 12 days at a storage temperature of (4 ± 2) °C. There has been no significant effect of PMC on the change in microbial contamination and, accordingly, the shelf life of experimental pate samples in comparison with control samples. Recommendations are given for a possible increase in the shelf life of the pate. A high probability of non-compliance of meat raw materials with microbiological standards has been found, which must be given serious attention when organizing manufacturing of meat products.

protein-mineral complex, calcium, phosphorus, meat pate, benzo(a)pyrene, microbiological indicators, safety

ВВЕДЕНИЕ

При создании и реализации технологий комплексной безотходной переработки рыбного сырья на первый план выдвигается вопрос о возможности и безопасности пищевого использования продукции из рыбных отходов. В данном случае в качестве объекта исследования выбраны отходы кильки горячего копчения, которые получают при производстве консервов «Шпроты в масле». Важным при этом является выбор ассортимента продукции, которую можно обогащать ценными компонентами вторичного рыбного сырья.

Больше половины российского рынка консервов типа «Шпроты в масле» занимают производители Калининградской области: ООО «РК «За Родину», ООО «Роскон», ООО «БАРС», ОАО «Мамоновский рыбоконсервный комбинат», ООО «Балтфиштрейд», ООО «Главпродукт». Предприятиями региона выпускается более 100 тыс. условных банок «Шпроты в масле» в сутки и более 40 млн. – в год. Улов балтийской кильки за последние 5 лет вырос вдвое и сейчас стабильно держится на отметке 40 тыс. т в год. При этом с 2019 г. возобновился промысел кильки каспийской обыкновенной. В 2020 г. ее улов составил 14 тыс. т, а на 2021 г. рекомендовано к вылову уже 98 тыс. т кильки Каспийского моря [1].

Рассчитано, что в процессе выработки рыбных консервов типа «Шпроты в масле» в Калининградской области за год накапливается более 3,5 тыс. т отходов – голов и хвостовых плавников [2]. Этот показатель может увеличиваться вместе с ростом производства за счет кильки Каспийского бассейна.

По технологии, созданной на кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ», путем обработки отходов шпротного производства гидротермическим способом получают белково-минеральный комплекс (БМК) [3]. Головы кильки горячего копчения подвергают гидротермолизу с последующим разделением на три фракции: протеиновый раствор, жировую фракцию и белково-минеральный осадок. Из последнего после высушивания получается БМК. Он использован нами в качестве обогащающего компонента рецептуры.

БМК отличается повышенным содержанием минеральных веществ костной ткани рыб, в частности, кальция и фосфора. Согласно рекомендациям МР 2.3.1.2432-08 [4] средняя суточная норма кальция для человека составляет 1000 мг. При этом на его усвояемость большое влияние оказывают сопутствующие вещества: витамин D, фосфор, магний, а также содержание белков и жиров в продукте. Оптимальным для усвоения является соотношение кальция, фосфора и магния в рационе 1,2:1,0:0,5 [4].

Объектом для обогащения выбрана мясная продукция массового потребления – мясной паштет. БМК придает пашкету пикантный вкус и аромат копчености и позволяет сбалансировать повышенное содержание фосфора в мясном продукте.

Из-за присутствия в отходах кильки горячего копчения коптильных компонентов, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и фенольные соединения, они не могут быть использованы для переработки на кормовую продукцию, поэтому подвергаются утилизации, что является экономически и экологически неблагоприятным фактором.

Наиболее известный высокотоксичный ПАУ – бенз(а)пирен, который обладает свойством биоаккумуляции, оказывая при этом доказанное канцерогенное и мутагенное действие на животных и ограниченно доказанное – на человека [5]. Предельно допустимые концентрации бенз(а)пирена в продуктах питания устанавливает технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: не более 0,005 мг/кг – в копченой рыбе и не более 0,001 мг/кг – в остальной пищевой продукции, исключая специализированные продукты питания.

На территории государств-членов Евразийского экономического союза пищевая продукция нового вида подлежит государственной регистрации и процедуре подтверждения соответствия техническим регламентам. Следовательно, для такой продукции обязательным является проведение исследований по органолептическим и физико-химическим показателям, определение соответствия требованиям гигиенической и микробиологической безопасности, а также установление сроков годности продукции. В настоящей работе рассматриваются результаты исследования обогащенных мясных паштетов по уровню бенз(а)пирена, наиболее опасного контаминанта в копченой продукции, а также по изменению микробиологической обсемененности в процессе хранения образцов паштета.

Целью исследования явилось создание доказательной базы возможности применения БМК из голов копченой кильки в рецептурах мясного паштета и других пищевых продуктов при соблюдении требований безопасности, предусмотренных техническими регламентами.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- подтверждение функциональной активности БМК в новом виде паштета;
- установление соответствия разрабатываемого паштета требованиям нормативных документов по содержанию бенз(а)пирена;
- установление срока годности мясного паштета, обогащаемого БМК из голов кильки горячего копчения, и влияния БМК на стабильность паштета в процессе хранения на основании показателей микробиологической безопасности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для эксперимента приготавливали контрольные и экспериментальные с внесением 5 % БМК образцы паштетов. Дозировка БМК была установлена ранее на основе органолептической оценки и физико-химических исследований образцов паштетов с дозами БМК от 2,5 до 5,5 % от массы паштета [6].

В рецептуру образцов паштета включали: мясо и печень цыплят-бройлеров, их кожу в качестве жирового компонента, обогащающую добавку – БМК из голов копченой кильки, а также вспомогательные вкусовые и структурообразующие компоненты. По стандартизованным методикам для БМК и образцов паштетов определяли органолептические, физико-химические показатели (массовую долю воды, жира, белка и минеральных веществ) и микробиологическую безопасность в соответствии с требованиями технических регламентов.

Образцы паштетов приготавливали следующим образом. Фарш из бланшированного мясного сырья и другие компоненты рецептуры смешивали, тонко измельчали, паштетную массу температурой 50 °С фасовали по 80 г в полимерные контейнеры, которые перекрывали фольгой и закрывали крышками. Образцы паштетов пастеризовали в паровой среде в течение 50 мин, охлаждали и закладывали на хранение для последующих исследований.

В целях подтверждения функциональности БМК в нем определялось содержание кальция по ГОСТ 26570–95 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция» и фосфора по ГОСТ 26657–97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора». Соотношения кальция и фосфора в паштете устанавливались расчетным путем.

В БМК и головах кильки горячего копчения определяли содержание бенз(а)пирена по ФР.1.31.2008.01033 [7] на базе Лабораторного центра «Атлант-НИРО». На основе полученных данных рассчитывали содержание бенз(а)пирена в паштете.

При установлении срока годности продукта микробиологическим методом в качестве контрольного общепринято использовать показатель КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов) по ГОСТ 10444.15–94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов».

В начале хранения для отдельных образцов паштетов проводился контроль на наличие санитарно-показательной и условно-патогенной микрофлоры: БГКП (бактерии группы кишечной палочки) и *Staphylococcus aureus* – по ГОСТ 31747–2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)» и ГОСТ 31746–2012 «Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*». Контроль патогенной микрофлоры в сырье и готовом продукте не проводился.

При установлении стабильности и микробиологической безопасности паштета на первом этапе работы определяли безопасность компонентов его рецептуры, обладающих высокой степенью риска: мяса цыпленка-бройлера, кожи кур и БМК по показателям КМАФАнМ и БГКП.

Самый распространенный способ установления срока годности – тестирование продукта при хранении в контролируемых условиях, которые имитируют реальные условия хранения и реализации продукта. При этом невозможно полно-

стью воспроизвести реальные условия обращения продукции в связи с непредсказуемостью ситуаций в розничной торговле и у потребителей [8].

Для экспериментов были подготовлены следующие образцы:

- мясной паштет, обогащенный БМК;
- контрольный образец мясного паштета без добавления БМК;
- мясной паштет промышленного производства, приобретенный в торговой сети.

В качестве образца промышленного производства был выбран паштет мясной «Печеночный» категории Б, приготавливаемый в виде батончика в полиамидной оболочке, с двух сторон закрепленного алюминиевыми скобами, массой нетто 125 г с заявленным сроком годности 30 сут.

При установлении сроков годности образцы паштета хранились в следующих условиях: при температуре минус 18 °С, в оптимальных – при температуре (4±2) °С, в экстремальных – при температуре (18±2) °С. Замороженные образцы в течение исследования не подвергались изменениям. При экстремальной температуре паштеты испортились в течение 5 сут и были сняты с дальнейшего исследования. Поэтому в статье приводятся только данные, полученные при хранении паштетов в оптимальных условиях при температуре (4±2) °С.

На основании информации, собранной при изучении ассортимента паштетов в торговой сети, был выбран предполагаемый срок годности обогащенного паштета – от 20 до 30 сут. Образцы контролировали по микробиологическим показателям в начале хранения и затем раз в 5 сут в течение месяца.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 1 приведен химический состав наиболее важного компонента рецептуры паштетов, белково-минеральной функциональной добавки, включая содержание кальция и фосфора в ней.

Таблица 1. Химический состав белково-минерального комплекса из голов кильки горячего копчения, % [6]

Table 1. Chemical composition of the protein-mineral complex from hot smoked sprat heads, %

Объект	Влага	Белок	Жир	Зола	Са	Р
Белково-минеральный комплекс	10,9	53,9	16,1	18,6	6,5	4,0

Функциональная добавка характеризуется повышенным содержанием минеральных веществ, из которых более половины занимают кальций и фосфор, что указывает на наличие значительной доли костной ткани в ее составе. Другую половину минеральных веществ (порядка 9 %) составляют К, Mn, Fe, Mg, Na, переходящие из мышечной ткани рыб [9].

В табл. 2 представлены расчеты соотношения кальция и фосфора в мясном паштете, не обогащенном БМК, а в табл. 3 – такие расчеты для паштета, обогащенного БМК, соответственно.

Таблица 2. Соотношение кальция и фосфора в контрольном образце мясного паштета

Table 2. The ratio of calcium and phosphorus in the control meat pate

Компоненты рецептуры	Массовая доля компонента в рецептуре, кг/100 кг	Кальций		Фосфор	
		мг/100 г сырья	мг/100 г паштета	мг/100 г сырья	мг/100 г паштета
Печень говяжья	39	15,0	5,9	268,0	104,5
Мясо цыпленка-бройлера	30	14,0	4,2	160,0	48,0
Мука пшеничная	5	18,0	0,9	86,0	4,3
Молоко сухое обезжиренное	3	1155,0	35,0	920,0	27,6
Лук репчатый	7	31,0	2,2	58,0	4,1
Кожа кур	10	34,0	3,4	230,0	23,0
Бульон куриный	20	3,0	0,6	27,0	5,4
Масло подсолнечное	6	–	–	–	–
Соль пищевая	1,5	–	–	–	–
Специи	0,2	–	–	–	–
Итого			52,2		216,9
Соотношение Ca:P	1,0:4,2				

Таблица 3. Соотношение кальция и фосфора в обогащенном БМК мясном паштете

Table 3. The ratio of calcium and phosphorus in meat pate enriched with PMC

Компоненты рецептуры	Массовая доля компонента в рецептуре, кг/100 кг	Кальций		Фосфор	
		мг/100 г сырья	мг/100 г паштета	мг/100 г сырья	мг/100 г паштета
Печень говяжья	38	15,0	5,7	268,0	101,8
Мясо цыпленка-бройлера	28	14,0	4,0	160,0	45,0
Мука пшеничная	5	18,0	0,9	86,0	4,3
Молоко сухое обезжиренное	3	1155,0	35,0	920,0	27,6
Лук репчатый	6	31,0	2,0	58,0	3,5

Окончание табл. 3

Компоненты рецептуры	Массовая доля компонента в рецептуре, кг/100 кг	Кальций		Фосфор	
		мг/100 г сырья	мг/100 г паштета	мг/100 г сырья	мг/100 г паштета
БМК	5	6500,0	325,0	4000,0	200,0
Кожа кур	10	34,0	3,4	230,0	23,0
Бульон куриный	23	3,0	0,7	27,0	6,2
Масло подсолнечное	5	–	–	–	–
Соль пищевая	1,5	–	–	–	–
Специи	0,2	–	–	–	–
Итого			376,7		411,4
Соотношение Са:Р		1,0:1,1			

Показано, что введение в паштет 5 % БМК позволяет приблизить соотношение Са:Р к оптимальному для усвоения организмом соотношению 1,2:1, тогда как в образцах без БМК и промышленного производства данное соотношение составляет порядка 1:4. При этом важно, что употребление обогащенного паштета в количестве 50 г в сутки способно обеспечивать не менее 15 % суточной нормы потребности в кальции.

Большую тревогу у производителей и потребителей вызывает вероятность превышения допустимого уровня бенз(а)пирена в копченых продуктах. При определении возможного уровня бенз(а)пирена в мясном паштете предварительно проведен теоретический расчет на основании норм, установленных техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011. Допустимый уровень бенз(а)пирена в копченой рыбе – не более 0,005 мг/кг, в разрабатываемом паштете – не более 0,001 мг/кг.

При гидротермолизе голов копченой кильки выход БМК составляет порядка 30 % от исходного сырья. Бенз(а)пирен является не растворимым в воде веществом и слабо растворимым в жирах, в связи с чем основная его масса переходит в БМК – плотную часть, остающуюся после разделения фракций, полученных при гидротермолизе голов кильки горячего копчения. Тогда теоретическое содержание бенз(а)пирена в БМК можно ожидать не более 0,015 мг/кг.

При 5 %-ном содержании БМК в рецептуре паштета теоретический уровень бенз(а)пирена в нем может составлять не более 0,0008 мг/кг.

Определение содержания бенз(а)пирена на базе Лабораторного центра «АтлантНИРО» показало следующие результаты: в головах кильки горячего копчения его 0,0063 мг/кг, а в БМК – 0,0159 мг/кг. Таким образом, данные, полученные расчетным путем, подтвердились экспериментально. При содержании бенз(а)пирена в используемой добавке в пределах 0,016 мг/кг обогащенный паштет будет соответствовать установленным нормам безопасности по данному показателю (не более 0,001 мг/кг).

При проверке микробиологических показателей мясного сырья установлено превышение в отдельных образцах КМАФАнМ: в коже куриной $1,0 \cdot 10^7$ КОЕ/г против нормативного $1,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г, в мясе цыпленка-бройлера $1,0 \cdot 10^5$ КОЕ/г против $1,0 \cdot 10^4$ КОЕ/г. Обнаружены также БГКП в 0,1 г мяса цыпленка-бройлера. От мясного сырья, не соответствующего требованиям микробиологической безопасности, в дальнейшей работе пришлось отказаться. Для эксперимента использовалось мясное сырье другого производителя, прошедшее тщательное исследование и благополучное по микробиологическим показателям безопасности.

Микробиологические показатели БМК и мясных компонентов, задействованных при подготовке контрольных и экспериментальных образцов паштета, оказались следующими (табл. 4).

Таблица 4. Микробиологические показатели безопасности мясного сырья и БМК
Table 4. Microbiological indicators of the safety of meat raw material and PMC

Объект исследования	Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г		Бактерии группы кишечной палочки
	Фактическое значение	Нормативное значение	
Кожа куриная	$2,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$	Не нормируется
Мясо цыпленка-бройлера	$6,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^4$	Не обнаружены в 0,1 г
Белково-минеральный комплекс	$2,0 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^5$	Не обнаружены в 1 г

Микробиологические нормативы безопасности паштетов, установленные техническими регламентами Таможенного союза ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции», представлены в табл. 5.

Таблица 5. Микробиологические нормативы безопасности паштета
Table 5. Microbiological safety standards for pate

Показатели	Допустимые уровни
Salmonella	Не допускается в 25 г
Listeria monocytogenes	Не допускается в 25 г
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1 \cdot 10^3$
БГКП	Не допускается в 1 г
Staphylococcus aureus	Не допускается в 1 г
Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускается в 0,1 г

С учетом этих нормативов и оценивали микробиологические показатели паштетов при оптимальных условиях в течение предполагаемого и установленно-го производителем срока годности (табл. 6).

Таблица 6. Изменение микробиологических показателей безопасности паштетов в процессе хранения в оптимальных условиях

Table 6. Changes in the microbiological indicators of the safety of pates during storage under optimal conditions

Показатели	Объекты исследования	Продолжительность хранения, сут				
		0	5	10	15	20
КМА-ФанМ, КОЕ/г	Мясной паштет (контроль)	$2,0 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$	$9,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$
	Обогащенный мясной паштет	$4,0 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^3$
	Паштет промышленного производства	$4,0 \cdot 10^2$	Исследования не проводились		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$
БГКП, не допускается в 1 г	Мясной паштет (контроль)	Не обнаружены в 1 г	Дальнейшие исследования не проводились			
	Обогащенный мясной паштет					
	Паштет промышленного производства					
Staphylococcus aureus, не допускается в 1 г	Мясной паштет (контроль)	Не обнаружены в 1 г				
	Обогащенный мясной паштет					
	Паштет промышленного производства					

В начале хранения по показателям БГКП и *Staphylococcus aureus* образцы паштетов соответствовали микробиологическим нормативам – микроорганизмы не обнаружены в 1 г образцов, поэтому на дальнейших этапах исследование по этим показателям не проводилось.

Для наглядности результаты определения общей микробной обсемененности паштетов в процессе хранения представлены в виде графика (рисунок).

Микробиологическая стабильность обогащенного мясного паштета наблюдалась в течение 15 сут. После этого значения микробиологических показателей возрастают. Согласно МУК 4.2.1847-04 [10] коэффициент резерва для продукции со сроком годности до 30 сут составляет 1,3. Таким образом, срок годности обогащенного мясного паштета – 12 сут с учетом коэффициента резерва. Полученные в ходе эксперимента данные позволяют заключить, что введение БМК не оказывает существенного влияния на хранимоспособность обогащенных паштетов.

Производственный образец паштета в течение всего срока годности (30 сут) сохранял свою стабильность, уровень его обсемененности по показателю КМАФанМ не выходил за пределы норматива – $1,0 \cdot 10^3$.

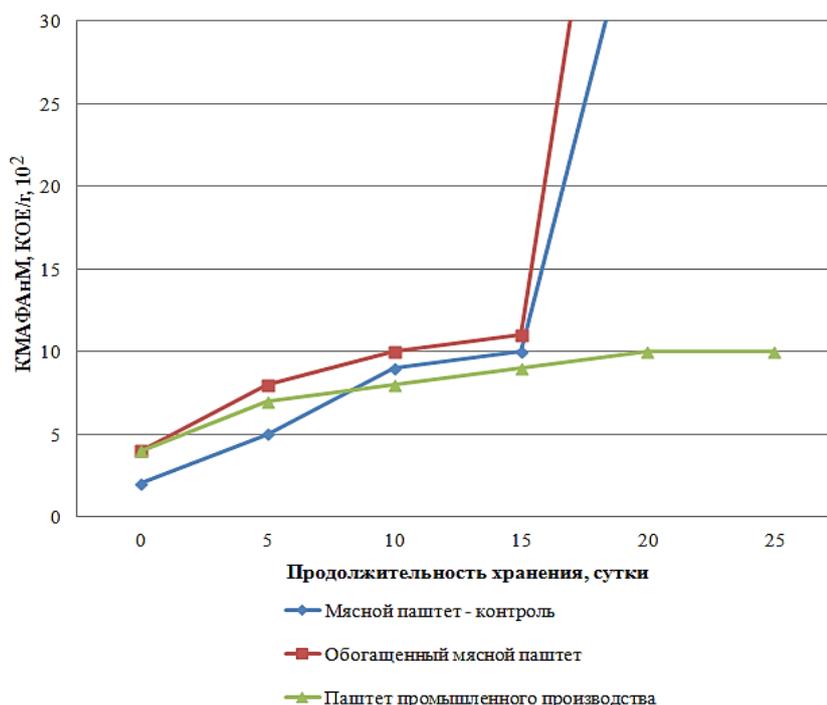


Рис. Изменение микробной обсемененности паштетов в течение срока хранения
 Fig. Changes in the microbial contamination of pates during the shelf life

Сравнение обогащенного паштета с паштетом производственной выработки показало, что значительное влияние на хранимоспособность пищевого продукта оказывает упаковка, которая должна защищать его от внешних воздействий. На сегодняшний день имеется широкое разнообразие упаковочных материалов. Так, исследуемый паштет промышленного производства со сроком годности 30 сут был упакован в многослойную термоусадочную полиамидную оболочку в виде батончика, с двух сторон зажатого алюминиевыми скобами. Такая упаковка обладает высокими барьерными свойствами и предохраняет продукт от повторного обсеменения микроорганизмами и преждевременного окисления липидов. Уступают термоусадочной полиамидной оболочке полипропиленовые контейнеры, к корпусу которых в производственных условиях дополнительно припаивается алюминиевая фольга. В условиях эксперимента осуществить такое припаивание фольгированного перекрытия было невозможно, в связи с чем не удалось достичь достаточной герметичности, что повлекло снижение возможного срока годности продукта.

Дополнительное увеличение сроков годности паштетов может быть обеспечено подбором оптимальных режимов пастеризации упакованного продукта, а также введением в состав паштета консервирующих добавок, которые используются практически во всех образцах паштетов промышленного производства.

ВЫВОДЫ

Исследование обогащенных мясных паштетов по показателям безопасности (содержание бенз(а)пирена и микробиологические характеристики) выявило, что мясные паштеты, обогащенные БМК из голов кильки горячего копчения, отходов при производстве консервов «Шпроты в масле», соответствуют требовани-

ям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Использование БМК в количестве 5 % от массы паштетов повышает содержание кальция в них и обеспечивает соотношение кальция и фосфора на уровне 1,0:1,1, что приближено к рекомендуемым нормам [4], в то время как в аналогичном паштете без БМК соотношение кальция и фосфора равно 1,0:4,2. Введение в мясной паштет БМК в количестве 5 % к его массе позволяет по органолептическим, физико-химическим, микробиологическим показателям и содержанию бенз(а)пирена производить продукцию, соответствующую нормативным требованиям безопасности. Употребление паштета в количестве 50 г в сутки обеспечивает не менее 15 % от суточного норматива потребления кальция. Сроки годности обогащенного мясного паштета и аналогичного паштета без БМК не отличаются и составляют 12 сут при рекомендуемой температуре хранения (4±2) °С с учетом коэффициента резерва 1,3. Стабильность продукта может быть увеличена при использовании потребительской упаковки с высокими барьерными свойствами, а также посредством введения консервирующих добавок. Существенное влияние на хранимоспособность также оказывают условия пастеризации, микробиологическое благополучие мясного сырья и санитарное состояние производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каспийская килька станет сырьем для производства шпрот / Пресс-служба ВНИРО. – 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <http://vniro.ru/novosti/kaspijskaya-kil-ka-stanet-syr-em-dlya-proizvodstva-shprot> (дата обращения: 16.02.2021).
2. Единые нормы отходов, потерь, выхода готовой продукции и расхода сырья при производстве пищевой продукции из морских гидробионтов. – Москва: Госкомрыболовство России, 2002. – 105 с.
3. Мезенова, О. Я. Перспективы получения и использования протеинов из вторичного рыбного сырья / О. Я. Мезенова // Вестник Международной академии холода. – 2018. – № 1. – С. 5–10.
4. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. – Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 38 с.
5. Бигалиев, А. Б. К вопросу о патогенном действии бензапирена как загрязнителя окружающей среды (обзор) / А. Б. Бигалиев, А. В. Синтюрина, З. М. Бияшева // Вестник КазНУ. – 2009. – № 1(24). – С. 14–21.
6. Степанова, К. А. Обогащение мясо-печеночных паштетов белково-минеральным комплексом из вторичного рыбного сырья / К. А. Степанова, Л. С. Байдалинова // Вестник молодежной науки: электронный научный журнал. – 2019. – № 5(22) [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2020/01/Stepanova-522.pdf> (дата обращения 04.03.2021).
7. Методика выполнения измерений массовой доли бензапирена в пищевых продуктах, продовольственном сырье, пищевых добавках методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. ФР.1.31.2008.01033: Свидетельство № 30-08 от 04.03.2008.

8. Стеле, Р. Срок годности пищевых продуктов: расчет и испытание / Р. Стеле. – Санкт-Петербург: Профессия, 2006. – 480 с.
9. Брежнева, А. В. Сравнительная ветеринарно-санитарная оценка мяса различных рыб семейства сельдевых по показателям качества / А. В. Брежнева // Инновационная наука. – 2018. – № 7–8. – С. 174–176.
10. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. – Москва: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 31 с.

REFERENCES

1. Kaspiyskaya kil'ka stanet syr'em dlya proizvodstva shprot [Caspian sprat will become raw material for sprat production]. *Press-sluzhba VNIRO*, 2021, available at: <http://vniro.ru/ru/novosti/kaspijskaya-kilka-stanet-syrem-dlya-proizvodstva-shprot> (Accessed 16 February 2021).
2. *Edinye normy otkhodov, poter', vykhoda gotovoy produktsii i raskhoda syr'ya pri proizvodstve pishchevoy produktsii iz morskikh gidrobiontov* [Uniform rates of waste, losses, finished product yield and raw material consumption in the production of food products from marine aquatic organisms]. Moscow, Goskomrybolovstvo Rossii, 2002, 105 p.
3. Mezenova O.Ya. Perspektivy polucheniya i ispol'zovaniya proteinov iz vtorichnogo rybnogo syr'ya [Prospects for obtaining and using proteins from secondary fish raw materials]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2018, no. 1, pp. 5–10.
4. *Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii. Metodicheskie rekomendatsii* [Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines]. Moscow, Federal'nyy tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2009, 38 p.
5. Bigaliev A. B., Sintyurina A.V., Biyasheva Z. M. K voprosu o patogennom deystvii benzapirena kak zagryaznitelya okruzhayushchey sredy (obzor) [On the pathogenic action of benzopyrene as an environmental pollutant (review)]. *Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya*, 2009, no. 1(24), pp. 14–21.
6. Stepanova K. A., Baydalinova L. S. Obogashchenie myaso-pechyonochnykh pashtetov belkovo-mineral'nym kompleksom iz vtorichnogo rybnogo syr'ya [Enrichment of meat and liver pates with a protein-mineral complex from secondary fish raw materials]. *Vestnik molodezhnoy nauki: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 2019, no. 5 (22). Available at: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2020/01/Stepanova-522.pdf> (Accessed 04 March 2021).
7. *Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli benzapirena v pishchevykh produktakh, prodovol'stvennom syr'e, pishchevykh dobavkakh metodom vysokoeffektivnoy zhidkostnoy khromatografii* [Technique for measuring the mass fraction of benzo(a)pyrene in food products, food raw materials, food additives by high-performance liquid chromatography]. FR.1.31.2008.01033: Svidetel'stvo № 30-08 ot 04.03.2008.
8. Stele R. *Srok godnosti pishchevykh produktov: raschet i ispytanie* [Shelf life of food: calculation and testing]. Saint-Petersburg, Professiya, 2006, 480 p.

9. Brezhneva A. V. Sravnitel'naya veterinarno-sanitarnaya otsenka myasa razlichnykh ryb semeystva sel'devykh po pokazatelyam kachestva [Comparative veterinary and sanitary assessment of meat of various fish of the herring family in terms of quality indicators]. *Innovatsionnaya nauka*, 2018, no. 7–8, pp. 174–176.

10. *Sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka obosnovaniya srokov godnosti i usloviy khraneniya pishchevykh produktov* [Sanitary and Epidemiological Assessment of the Justification of the Shelf Life and Storage Conditions of Food Products]. Moscow, Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004, 31 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Байдалинова Лариса Степановна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; профессор кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: larisa.baydalina@klgtu.ru

Baydalina Larisa Stepanovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor; Department of Food Biotechnology; E-mail: larisa.baydalina@klgtu.ru

Степанова Ксения Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: stepanova_kld@mail.ru

Stepanova Ksenia Alekseevna – Kaliningrad State Technical University; Master student of the Department of Food Biotechnology; E-mail: stepanova_kld@mail.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 629.064.5

DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-135-145

ОЦЕНКА РЕЖИМОВ РАБОТЫ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ РАСПОЛАГАЕМЫХ МОЩНОСТЕЙ

В. Ф. Белей, К. В. Коротких

ASSESSMENT OF THE OPERATING MODES OF A SHIP SERVICE DIESEL GENERATOR BASED ON CAPABILITY DIAGRAM

V. F. Beley, K. V. Korotkikh

Анализ эксплуатационных режимов судовых электростанций показал, что зачастую они работают с большими реактивными нагрузками. Это приводит к снижению активной мощности синхронных генераторов и работе вспомогательных судовых дизелей на долевых нагрузках, что характеризуется повышенным удельным расходом топлива. Качественная оценка режимов работы судовых дизель-генераторов основывается на рассмотрении диаграммы мощностей, представляющей зависимость располагаемой активной мощности от реактивной. На примере дизель-генератора учебно-парусного барка «Крузенштерн» показан расчет располагаемой мощности синхронного генератора для различных режимов работы. Построение диаграммы располагаемых мощностей выполнено на основе анализа характеристик и технических данных синхронного генератора и вспомогательного дизеля с учетом ряда зон ограничения мощности: ограничение по нагреву обмотки возбуждения и обмотки статора судового синхронного генератора; ограничение мощности по техническим возможностям вспомогательного дизеля; по условиям обеспечения статической устойчивости при работе в режиме недовозбуждения и ограничение по минимально допустимому току возбуждения. На основе анализа построенной диаграммы мощностей определен рабочий диапазон по активной и реактивной мощностям судового синхронного генератора, для каждой из ограничительных точек диаграммы располагаемых мощностей построены угловые и синхронизирующие характеристики. В итоге на основе изучения комплекса взаимосвязанных решений – диаграммы располагаемых мощностей, векторных диаграмм, угловых и синхронизирующих характеристик синхронного генератора и технических параметров вспомогательного дизеля – дана оценка режимов работы судовых дизель-генераторов, что может быть использовано на стадиях проектирования и эксплуатации судовых энергетических установок.

судовая электростанция, дизель-генератор, активная и реактивная мощности, напряжение, ток, диаграмма располагаемых мощностей

An analysis of the operating modes of ship's electric power plants shows that they often operate with large reactive loads, which leads to a decrease in the active power of synchronous generators, and operation of auxiliary marine diesel engines at fractional loads, which is characterized by increased specific fuel consumption. A quali-

tative assessment of the operating modes of ship service diesel generators is based on an examination of the capability diagram, which represents the dependence of the available active power on the reactive power. On the example of the diesel electric-power generator of the sail training barque "Kruzenshtern", calculation of the available power of the synchronous generator for various operating modes is shown. Construction of the capability diagram is based on the analysis of the characteristics and technical data of the synchronous generator and auxiliary diesel, taking into account a number of power limitation zones: limitation on the heating of the field winding and stator winding of the marine synchronous generator; power limitation according to the technical capabilities of the auxiliary diesel; under the conditions of ensuring static stability when operating in under-excitation mode and limitation on the minimum permissible excitation current. Based on the analysis of the constructed capability diagram, the operating range for the active and reactive power of the ship's synchronous generator is shown; angular and synchronizing characteristics are plotted for each of the limiting points of the capability diagram. As a result, based on the study of a complex of interrelated solutions: the capability diagrams, vector diagrams, angular and synchronizing characteristics of the synchronous generator and the technical parameters of the auxiliary diesel engine, an assessment of the operating modes of marine diesel generators is given, which can be used at the design and operation stages of ship's electric power plant.

ship's electric power plant, diesel-generator, active and reactive power, voltage, current, capability diagram

ВВЕДЕНИЕ

На стадии проектирования, а в дальнейшем при эксплуатации судовых электростанций важно иметь качественную оценку режимов работы судовых дизель-генераторов при различных значениях активных и реактивных нагрузок. Следует отметить, реактивные нагрузки судовых электростанций зачастую превышают активные [1]. Такая оценка может быть получена на основе анализа комплекса взаимосвязанных решений: диаграммы располагаемых мощностей, векторных диаграмм, угловых и синхронизирующих характеристик генератора и технических параметров вспомогательного дизеля.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Диаграмма располагаемых мощностей дизель-генераторов представляет собой зависимость активной мощности от реактивной при различных значениях коэффициента мощности и выполняется на основе анализа характеристик и технических показателей синхронного генератора (СГ) и вспомогательного дизеля, векторных диаграмм СГ и ряда ограничительных условий [2].

Характеристика холостого хода СГ (табл. 1, рис. 1) позволяет оценить насыщение магнитной цепи судового СГ, с ее помощью можно построить векторную диаграмму.

Таблица 1. Нормальная характеристика холостого хода судового синхронного генератора в относительных единицах [3]

Table 1. Normal idling characteristic of a marine synchronous generator in relative units [3]

I_f^*	0	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
E_0^*	0,025	0,41	0,545	0,664	0,84	0,96	1	1,067	1,093	1,109	1,135	1,19

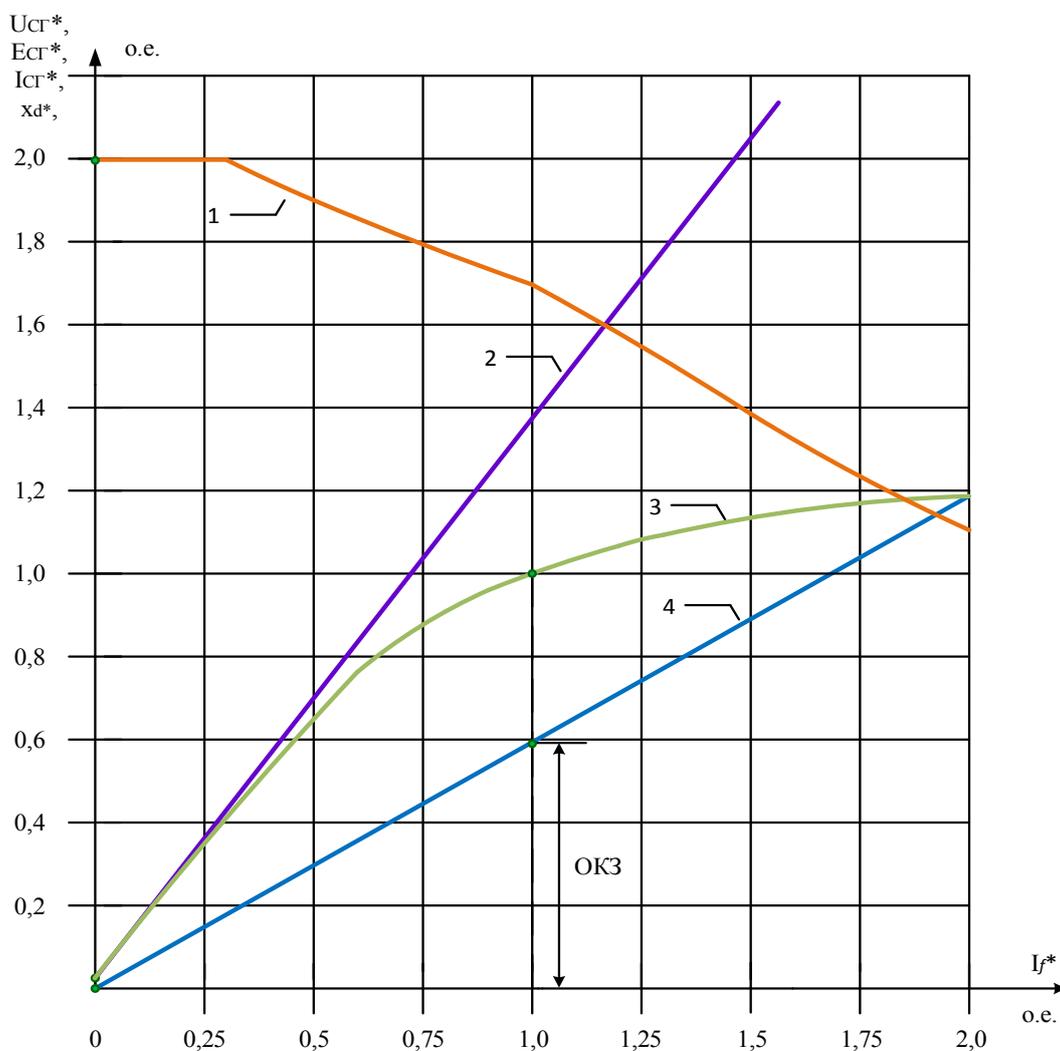


Рис. 1. Характеристики судового дизель-генератора: 1 – зависимость синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора по продольной оси от тока возбуждения ($x_d^* = f(I_f^*)$); 2 – зависимость ЭДС СГ от тока возбуждения для ненасыщенной машины; 3 – нормальная характеристика холостого хода; 4 – характеристика трехфазного короткого замыкания

Fig. 1. Characteristics of a ship service diesel generator: 1 – dependence of the synchronous inductive resistance of the stator winding along the longitudinal axis on the excitation current ($x_d^* = f(I_f^*)$); 2 – dependence of the SG EMF on the excitation current for an unsaturated machine; 3 – normal idling characteristic; 4 – characteristic of a three-phase short circuit

На судах РФ используются синхронные генераторы серий МСК, МСС, 2СН и типов ТК2-2, ГСС, ГМС мощностью от 30 до 2000 кВт, напряжением 230, 400 В, с частотой вращения 500, 750, 1500, 3000 об/мин [3].

Построение диаграммы располагаемых мощностей выполнено на основе судового дизель-генератора, эксплуатируемого на УПС «Крузенштерн» (табл. 2), близкого по характеристикам к СГ МСК-102-4 (табл. 3).

Таблица 2. Технические данные судового генератора LSAM 46.2 L6 [4]

Table 2. Technical characteristics of the LSAM 46.2 L6 ship generator [4]

Тип СГ и заводской номер	U _н , В	P _н , кВт	Частота вращения, об/мин	I _н , А	I _{fн} , А	Cos φ _{ном}
LSAM 46.2 L6 116394/4	390	150	1500	271	152	0,8

Продолжение табл. 2
Continuation of table 2

Индуктивные сопротивления, о. е.			r _a , Ом	ОКЗ, о. е.
X _{d(∞)} *	X _q *	X _σ *		
1,996	0,98	0,077	0,02	0,59

Таблица 3. Технические характеристики судового СГ МСК-102-4 [3]

Table 3. Technical characteristics of the ship SG MSK-102-4 [3]

Тип СГ	U _н , В	P _н , кВт	Частота вращения, об/мин	r _a , Ом	Cos φ	Индуктивные сопротивления, о. е.		
						X _{d(∞)} *	X _q *	X _σ *
МСК-102-4	400	150	1500	0,02	0,8	1,92	0,98	0,076

Характеристика короткого замыкания (рис. 1, кривая 4) строится с учетом выражения:

$$OKZ = \frac{I_{кз}^*}{I_{ном}^*} \quad (1)$$

где I_{кз}^{*} – установившийся ток трехфазного короткого замыкания при токе возбуждения, равном номинальному напряжению по характеристике холостого хода (рис. 1) [5].

В каталогах приведено ненасыщенное значение синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора по продольной оси (x_{d(∞)}^{*}), что соответствует части характеристики холостого хода СГ при токах возбуждения от нулевого значения до 0,35·I_f^{*} (рис. 1). Расчеты синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора по продольной оси проводятся по выражению 2 и приведены в табл. 4 и на рис. 1 (кривая 1):

$$x_d^* = \frac{E_{сг}^*}{I_{кз}^*} \quad (2)$$

Таблица 4. Значения синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора СГ по продольной оси

Table 4. Values of the synchronous inductive resistance of the SG stator winding along the longitudinal axis

I_f^*	0,125	0,25	0,35	0,4	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
x_d^*	1,996	1,996	1,996	1,944	1,898	1,791	1,694	1,545	1,381	1,232	1,103

Достоверность расчетов по формуле 2 обоснована тем, что при коротком замыкании (КЗ) на зажимах обмотки статора имеет место только продольно-размагничивающая реакция якоря и ЭДС ($E_{СГ}$), наводимая в обмотке статора:

$$\underline{E}_{СГ}^* = \underline{E}_{ад}^* + \underline{E}_{\sigma}^* = \underline{I}_d(x_{ад} + x_{\sigma})^* = \underline{I}_d^* \cdot x_d^*, \quad (3)$$

где x_{σ}^* – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора СГ; $x_{ад}^*$ – синхронное индуктивное сопротивление реакции якоря СГ по продольной оси.

Падением напряжения на активном сопротивлении обмотки статора СГ пренебрегаем ввиду его малых значений (табл. 3).

Как известно, синхронное индуктивное сопротивление обмотки статора СГ по поперечной оси (x_q^*) практически не зависит от насыщения [5].

Векторная диаграмма судового СГ LSAM 46.2 L6 116394/4 строится для номинального режима: $I_{Г.ном}^* = 1$, $U_{Г.ном}^* = 1$, $\cos\varphi_{ном} = 0,8$ с учетом выражения (4) (рис. 2).

$$\underline{U}_{Г.ном}^* = \underline{E}_f^* + j\underline{I}_q \cdot x_q^* + j\underline{I}_d \cdot x_d^* + \underline{I}_{Г.ном} \cdot r_a^* \quad (4)$$

где x_d^* – насыщенное значение синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора СГ по продольной оси (рис. 1, табл. 4).

Угловая характеристика (рис. 3) выражает зависимость электромагнитной мощности СГ ($P_{эм}$) от угла нагрузки (θ) [5]:

$$P_{эм} = \frac{m \cdot U \cdot E_0}{x_d} \cdot \sin\theta + \frac{m \cdot U^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot \sin 2\theta, \quad (5)$$

где E_0 – Э.Д.С, индуцируемая в обмотке статора полем возбуждения [2,5].

С учетом ее построения в относительных единицах (о. е.) при номинальном напряжении ($U_{Г.ном}^* = U_1^* = 1$) СГ и постоянстве ($E_f^* = \text{const}$) выражение (5) принимает вид:

$$P_{эм}^* = \frac{E_f^*}{x_d^*} \cdot \sin\theta + 0,5 \left(\frac{1}{x_q^*} - \frac{1}{x_d^*} \right) \cdot \sin 2\theta. \quad (6)$$

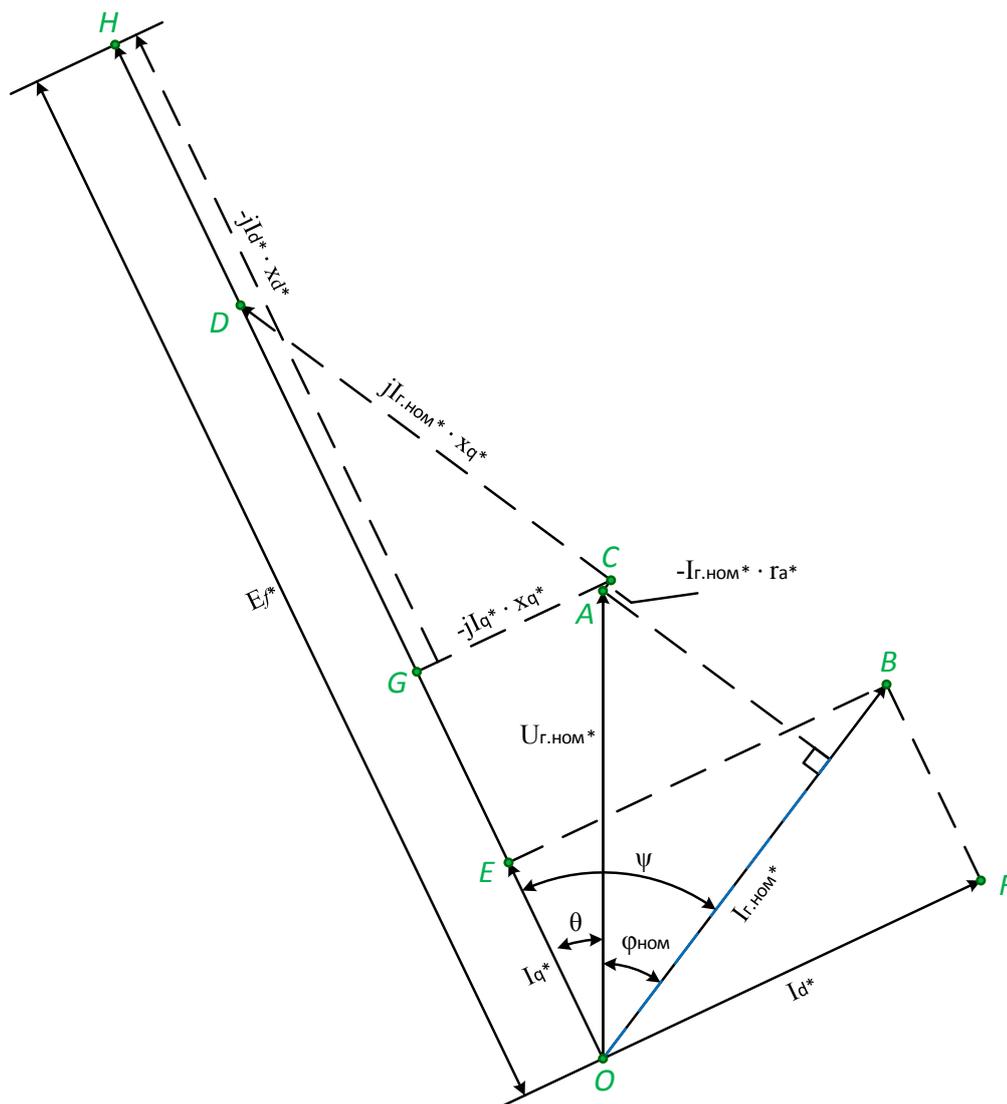


Рис. 2. Векторная диаграмма судового дизель-генератора с явнополюсной конструкцией ротора с учетом насыщения магнитной цепи и работой при номинальном коэффициенте мощности ($\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,8$)

Fig. 2. Vector diagram of a ship service diesel generator with a salient-pole rotor design, taking into account saturation of the magnetic circuit and operating at the nominal power factor ($\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,8$)

Критерием статической устойчивости дизель-генератора является коэффициент синхронизирующей мощности ($P_{\text{см}}^*$), рассчитываемый по выражению (8) с учетом формулы (7) по аналогии с расчетом электромагнитной мощности [2, 5].

$$P_{\text{см}} = \frac{m \cdot U \cdot E_0}{x_d} \cdot \cos \theta + \frac{m \cdot U^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot \cos 2\theta; \quad (7)$$

$$P_{\text{см}}^* = \frac{E_f^*}{x_d^*} \cdot \cos \theta + 0,5 \left(\frac{1}{x_q^*} - \frac{1}{x_d^*} \right) \cdot \cos 2\theta. \quad (8)$$

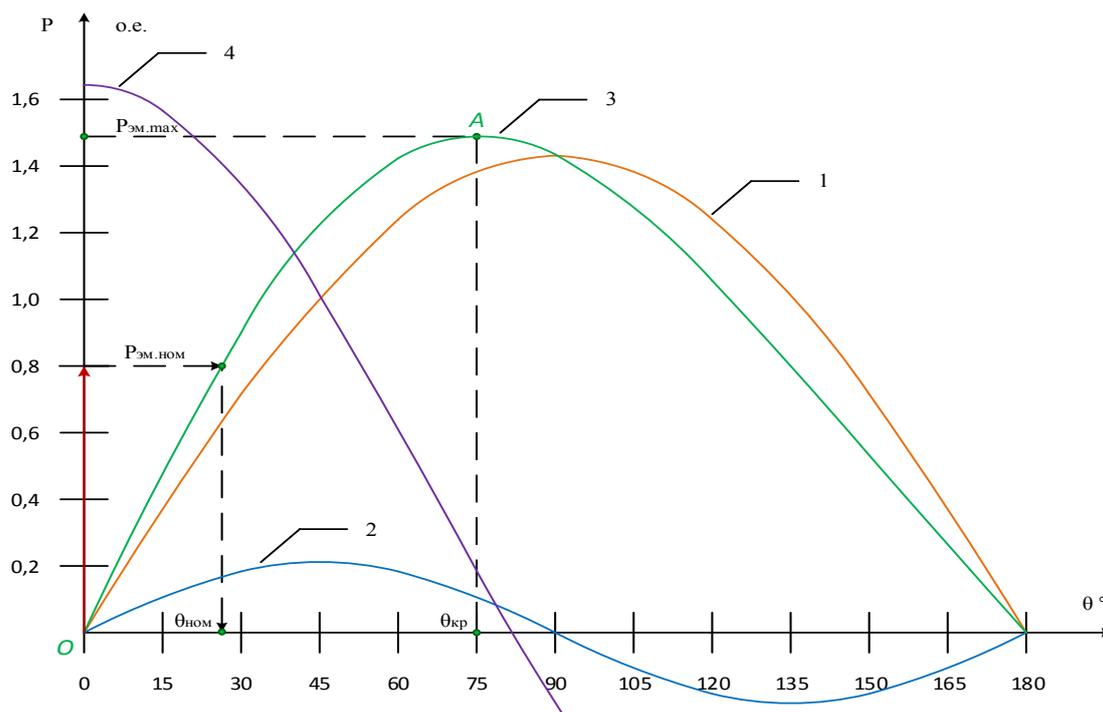


Рис. 3. Зависимость электромагнитной мощности ($P_{эм}^*$) от угла нагрузки (θ) (кривая 3); составляющие электромагнитной мощности (кривые 1 и 2); зависимость коэффициента синхронизирующей мощности ($P_{см}^*$) СГ, работающего с $\cos\varphi_{ном} = 0,8$, от угла нагрузки (θ) (кривая 4)
 Fig. 3. Dependence of the electromagnetic power (P_{ep}^*) on the load angle (θ) (curve 3); electromagnetic power components (curves 1 and 2); dependence of the synchronizing power factor (P_{sp}^*) of the SG operating with $\cos\varphi_{ном} = 0,8$ on the load angle (θ) (curve 4)

Выполненные расчеты и построенные характеристики позволяют перейти к построению диаграммы располагаемых мощностей судового генератора УПС «Крузенштерн» (рис. 4). Построение выполнено с учетом методики, приведенной в работе [2]. В связи с особенностями выхлопного тракта вспомогательный дизель-генератор MAN Nutzfahrzeuge AG, D 2866 LXE 30 имеет ограниченную на 10% мощность, диаграмму строим для $P_{СГ} = 135$ кВт [4].

Диаграмма состоит из ряда зон ограничения мощности [2]. Это зоны DY, YE, EF, FJ (рис. 4). Зона DY – ограничение по нагреву обмотки возбуждения, для определения которой из точки L строится ряд прямых ($K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8$), численно равных отрезку $K_1A = 1,426$ о. е. При эксплуатации в данной зоне СГ имеет более низкий $\cos\varphi$ по отношению к номинальному значению, пониженное значение полной мощности ($S_{г.ном}^*$) и тока статора вследствие размагничивающего действия реакции якоря. Зона ZA – ограничение по нагреву обмотки статора СГ, однако из-за возможностей дизеля данная зона не влияет на работу СГ. Зона YE – ограничение мощности вследствие возможностей дизеля. Мощность дизеля ограничена на уровне 90 % от номинальной СГ ($P_{дизеля} = 90\% \cdot P_{г.ном} = 0,72$ о. е.) и представлена в виде горизонтальной линии от точки Y до E. Зона EF – ограничение по условиям обеспечения статической устойчивости при работе СГ

в режиме недовозбуждения. Принимается, что предел мощности на 10 % превышает нагрузку при этом же токе возбуждения, ($UU' = 0,1$ о. е.). Допустимые нагрузки СГ в режиме недовозбуждения ограничиваются кривой EF, для определения которой из точки L строится ряд прямых (W_1W_1' , W_2W_2' , W_3W_3' , W_4W_4' , W_5W_5' , W_6W_6' , W_6W_6' , W_7W_7'), численно равных друг другу (0,25 о. е.). Зона FJ – ограничение по минимально допустимому току возбуждения. При учете возможных отклонений параметров от расчетных и исключении случая перемagnичивания СГ, работающего с недовозбуждением, учитывается ограничение по минимально допустимому току возбуждения на уровне 20 % от тока возбуждения при холостом ходе и номинальном напряжении.

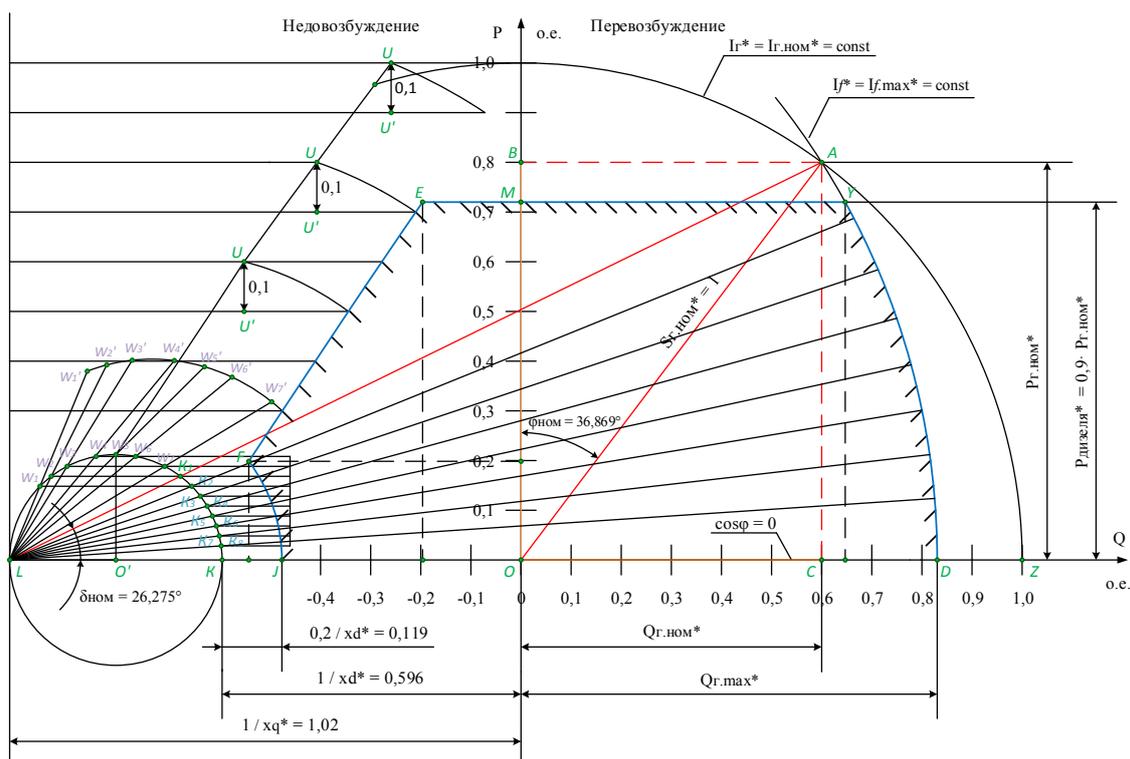


Рис. 4. Диаграмма располагаемых мощностей судового дизель-генератора

Fig. 4. Capability diagram of a ship service diesel generator

На рис. 5 приведены угловые и синхронизирующие характеристики для ограничительных точек (D, Y, M, E, F, J) (рис. 4).

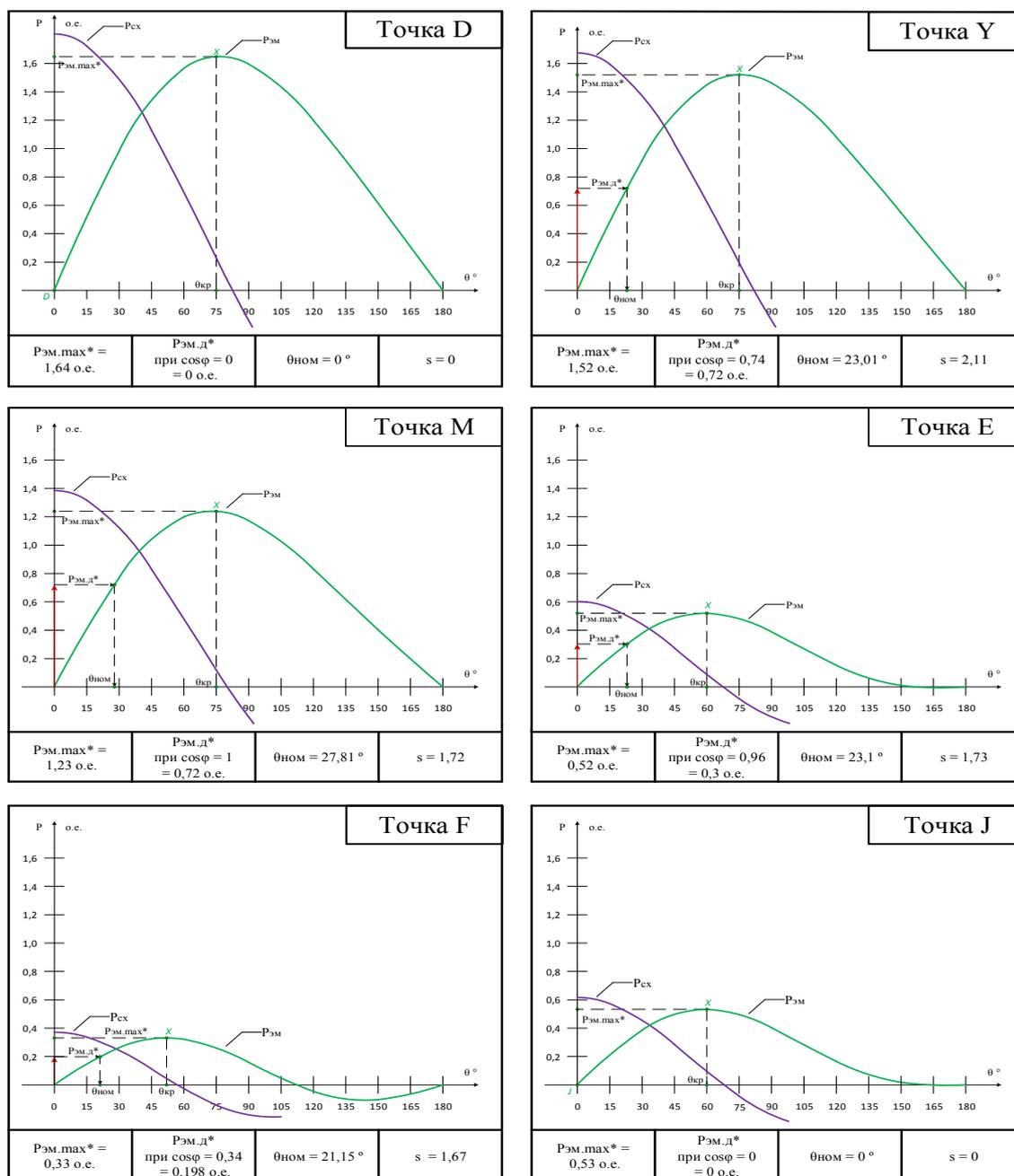


Рис. 5. Угловые и синхронизирующие характеристики дизель-генератора для точек зон ограничения в соответствии с диаграммой мощностей (рис. 4)
 Fig. 5. Angular and synchronizing characteristics of the diesel-generator for points of restricted zones in accordance with the capability diagram (fig. 4)

На рисунке $P_{эм.мах}^*$ – максимальная развиваемая мощность судового дизель-генератора; $P_{эм.д}^*$ – действительная мощность судового СГ; $\theta_{ном}$ – номинальный угол нагрузки СГ; s – величина статической перегружаемости судового дизель-генератора [5].

Анализ диаграммы располагаемых мощностей судового дизель-генератора позволил определить значения активной и реактивной мощностей в отдельных (базовых) точках и статическую устойчивость судового СГ (табл. 5).

Таблица 5. Значения активной и реактивной мощностей в ограничительных точках на диаграмме располагаемых мощностей судового дизель-генератора (рис. 4)
Table 5. Values of active and reactive power at limiting points on the capability diagram of a ship service diesel generator (fig. 4)

Точка на диаграмме располагаемых мощностей СГ	Активная мощность СГ, P, о. е.	Реактивная мощность СГ, Q, о. е.	Режим работы дизель-генератора	Значение статической перегружаемости судового СГ
D	0	0,831	перевозбуждение	0
Y	0,72	0,647	перевозбуждение	2,11
M	0,72	0	перевозбуждение	1,72
E	0,72	0,196	недовозбуждение	1,73
F	0,198	0,543	недовозбуждение	1,67
J	0	0,477	недовозбуждение	0

Полученные зависимости (рис. 4, 5 и табл. 5) чрезвычайно важно использовать на стадиях эксплуатации судна и при проектировании новых судов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье дана оценка режимов работы судовых дизель-генераторов, основанная на анализе комплекса взаимосвязанных решений: диаграммы располагаемых мощностей, векторных диаграмм, угловых и синхронизирующих характеристик генератора и технических параметров вспомогательного дизеля, что может быть использовано на стадиях проектирования и эксплуатации судовых энергетических установок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белей, В. Ф. Повышение эффективности судовых дизель-генераторов за счет использования централизованной системы компенсации реактивной мощности / В. Ф. Белей // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2019. – № 54. – С. 145–153.
2. Ветров, В. И. Режимы электрооборудования электрических станций: учеб. пособие / В. И. Ветров, Л. Б. Быкова, В. И. Ключенович. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2010. – 243 с.
3. Справочник судового электротехника: в 3-х томах. – Т. 2. Судовое электрооборудование / Под ред. Г. И. Китаенко, 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Судостроение, 1980. – 624 с.
4. Технические характеристики «Крузенштерна» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mktravelclub.ru/blogs/bark-kruzenshtern> (Дата обращения 11.06.2021).

5. Пиотровский, Л. М. Электрические машины: учебник для техникумов / Л. М. Пиотровский. – 7-е изд., стереотипное. – Ленинград: Энергия, 1974. – 504 с.

REFERENCES

1. Beley V. F. Povysheniye effektivnosti sudovykh dizel'-generatorov za schet ispol'zovaniya tsentralizovannoy sistemy kompensatsii reaktivnoy moshchnosti [Improving the efficiency of marine diesel-generators owing to the use of centralized reactive power compensation system]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 54, pp. 145–153.

2. Vetrov V. I., Bykova L. B., Klyuchenovich V. I. *Rezhimy elektrooborudovaniya elektricheskikh stantsiy: uchebnoe posobie* [Modes of electrical equipment of power plants: tutorial]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2010, 243 p.

3. *Spravochnik sudovogo elektrotehnika. Sudovoe elektrooborudovanie* [Handbook of a ship electrical engineer. Marine electrical equipment]. Kitaenko G. I. ed., Sudostroenie, 1980, vol. 2, 624 p.

4. *Tekhnicheskie kharakteristiki "Kruzenshterna"* [Technical characteristics of "Kruzenshtern"]. Available at: <https://mktravelclub.ru/blogs/bark-kruzenshtern> (Accessed 11 June 2021).

5. Piotrovsky L. M. *Elektricheskie mashiny: uchebnik dlya tekhnikumov* [Electric machines: textbook for technical schools]. Energiya, 1974, 504 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 Electrical power engineering; E-mail: vbeley@klgtu.ru

Коротких Кирилл Викторович – Калининградский государственный технический университет; магистрант факультета судостроения и энергетики;
E-mail: kirill-korotkikh@bk.ru

Korotkikh Kirill Viktorovich – Kaliningrad State Technical University; Master degree student at the Faculty of Shipbuilding and Power Engineering;
E-mail: kirill-korotkikh@bk.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, кегль 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. Биоразнообразии паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52–56.

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

Диссертация или автореферат диссертации

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

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

Переводная книга

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

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

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 resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Диссертация и автореферат

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

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskikh chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

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 \vec{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
Подписано в печать 30.07.2021. Выход в свет 01.08.2021. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 19,4. Уч.-изд. л. 12,4. Тираж 1000 экз. Заказ № 52.