

ИЗВЕСТИЯ

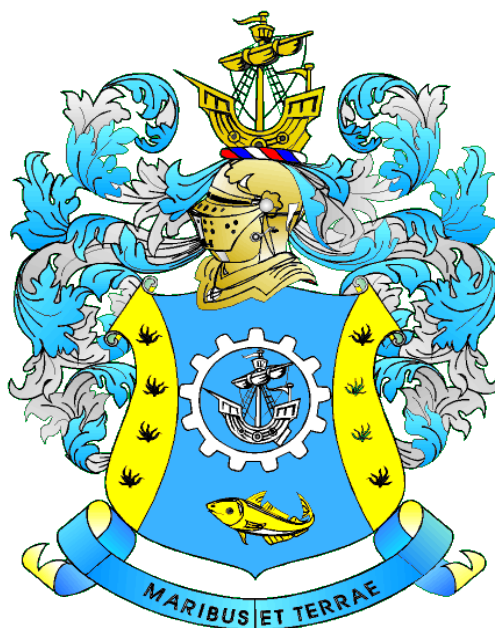
КГТУ

2020

№ 57

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;

О. М. Лапшин, д-р техн. наук, Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), г. Петропавловск-Камчатский, директор;

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.; *Ю. Н. Антипов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
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.; *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 ветеринар. 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.;
В. И. Панасин, д-р с.-х. 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.; *А. В. Соколов*, канд. биол. наук, доц.;
Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф.; *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. Шибаев*, 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»,
2020



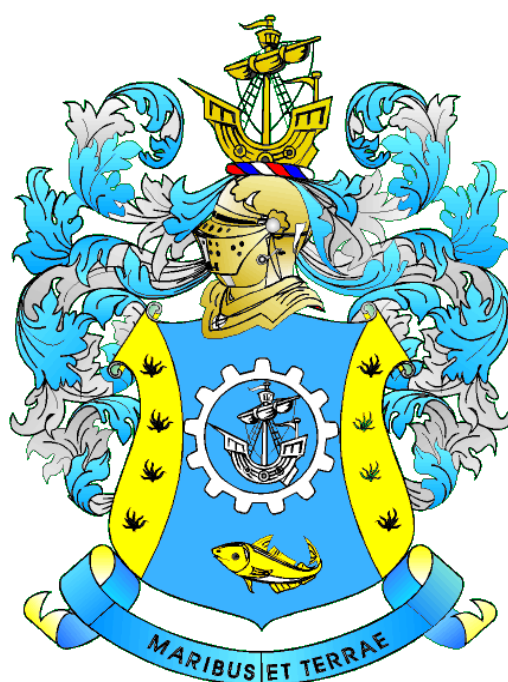
KSTU NEWS

2020

№ 57

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>Авдеева Е. В., Мажуга Е. В., Новожилов О. А.</i> Обсемененность корюшки (<i>Osmerus eperlanus</i>) бактериями различных таксономических групп.....	11
<i>Анциферова О. А., Чиянова О. Ю.</i> Экологическая оценка химических свойств почв приморской рекреационной зоны в поселке городского типа Янтарный.....	19
<i>Мальцева И. С., Авдеева Е. В.</i> Паразитоценоз судака (<i>Sander lucioperca</i>) Куршского залива.....	30
<i>Недоступ А. А., Ражнев А. О., Хрусталеv Е. И., Бедарева О. М.</i> К теории термодинамического подобия установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов.....	40
<i>Новикова С. И., Бедарева О. М., Горшинина Г. В., Троян Т. Н.</i> Оценка жизнеспособности и устойчивости озимых культур кондуктометрическим методом.....	54
<i>Скуратов Н. А., Суконнов А. В., Суконнова Т. Е.</i> Экспериментальные исследования по оценке влияния скорости подъема траловых мешков с уловом по различным формам слипов судов на усилие в вытяжном конце промысловой лебедки.....	67

Техника и технология пищевых производств

<i>Агеев О. В.</i> Подход к математическому описанию профилей ножей для рыбо- перерабатывающего оборудования.....	79
<i>Андреев М. П., Морозов И. О.</i> Влияние структурообразователей различной природы на реологические свойства жележных пищевых продуктов на основе вторичного рыбного сырья.....	89
<i>Воробьев В. И.</i> Использование рыбной чешуи в пищевых целях.....	99
<i>Казмирова Е. А., Мезенова О. Я., Шендерюк В. И.</i> Исследование по получению и применению белкового гидролизата из остаточных пивных дрожжей в технологии злаковых батончиков.....	107
<i>Рыков А. И., Агафонова С. В.</i> Использование семян белого люпина (<i>Lupinus albus</i> L.) в технологии мучных кондитерских изделий.....	118
<i>Соклаков В. В., Рачкова Н. А.</i> Применение потенциметрического титрования при определении перекисного числа жира гидробионтов.....	128
<i>Фатыхов Ю. А., Наумов В. А., Агеев О. В., Эрлихман В. Н., Шашков В. С.</i> Математическое моделирование процесса виброориентирования рыбы.....	141

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Зыонг Ван Тхань, Иванов В. П.</i> Математическая модель и результаты оптимизационных исследований характеристик наливных рыболовных судов способом постоянных размерений.....	155
<i>Сластухин Ю. Н., Чернега А. Н.</i> Экспериментальное исследование влияния попадания воды в судовую фреоновую холодильную установку.....	167

Естественные и математические науки

<i>Пахнутов И. А.</i> Численная MinMax-оптимизация.....	179
---	-----

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Avdeeva E. V., Mazhuga E. V., Novozhilov O. A.</i> Smelt (<i>Osmerus eperlanus</i>) bacteria of various taxonomic groups.....	11
<i>Antsiferova O. A., Chiyanova O. Yu.</i> Ecological assessment of chemical properties of soils of the seaside recreational zone in the urban village Yantarny.....	19
<i>Maltseva I. S., Avdeeva E. V.</i> Parasite cenosis of pike-perch (<i>Sander lucioperca</i>) of the Curonian lagoon.....	30
<i>Nedostup A. A., Razhev A. O., Khrustalyov E. I., Bedareva O. M.</i> Revisiting the theory of thermodynamic similarity of recirculating aquaculture systems for growing aquatic organisms.....	40
<i>Novikova S. I., Bedareva O. M., Gorshinina G. V., Troyan T. N.</i> Assessment of viability and stability of winter crops by conductometric method.....	54
<i>Skuratov N. A., Sukonnov A. V., Sukonnova T. E.</i> Experimental research on the assessment of the influence of the ascending speed of the codends with a catch for various forms of slipways on the effort in the drawing end of the fishing winch.....	67

Food Production Techniques and Technology

<i>Ageev O. V.</i> The approach to mathematical description of the profiles of the knives for fish processing equipment.....	79
<i>Andreev M. P., Morozov I. O.</i> Influence of stabilizers of different nature on the rheological properties of the jelly products based on secondary raw materials.....	89
<i>Vorobyov V. I.</i> Use of fish scales for food purposes.....	99
<i>Kazimirova E. A., Mezenova O. Ya., Shenderyuk V. I.</i> Research on the preparation and application of protein hydrolysate from residual brewer's yeast in cereal bar technology.....	107
<i>Rykov A. I., Agafonova S. V.</i> The use of seeds of white lupine (<i>Lupinus albus</i> L.) in the flour confectionery technology.....	118
<i>Soklakov V. V., Rachkova N. A.</i> Application of potentiometric titration in determination of peroxide value of the fat of aquatic organisms.....	128
<i>Fatykhov Ju. A., Naumov V. A., Ageev O. V., Erlikhman V. N., Shashkov V. S.</i> Mathematical simulation of fish vibroorientation process.....	141

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Duong Van Thanh, Ivanov V. P.</i> Mathematical model and results of optimization research for the characteristics of rsw-type fishing vessels by permanent dimension method.....	155
<i>Slastikhin Yu. N., Chernega A. N.</i> Experimental study of the effect of water ingress into the ship's freon refrigeration units.....	167

Earth and Mathematical Sciences

<i>Pakhnutov I. A.</i> Numerical MinMax-optimization.....	179
---	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 621.039(06)

ОБСЕМЕНЕННОСТЬ КОРЮШКИ (*OSMERUS EPERLANUS*) БАКТЕРИЯМИ
РАЗЛИЧНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ГРУПП

Е. В. Авдеева, Е. В. Мажуга, О. А. Новожилов

SMELT (*OSMERUS EPERLANUS*) BACTERIA
OF VARIOUS TAXONOMIC GROUPS

E. V. Avdeeva, E. V. Mazhuga, O. A. Novozhilov

Исследование микрофлоры корюшки проводилось впервые, ранее изучалась только паразитофауна этого вида рыбы. Корюшка – массовый объект питания населения Калининградской области, изучение микрофлоры позволит предотвратить возможные инфекционные заболевания человека. Необходимо осуществлять дальнейший мониторинг по обсемененности бактериями корюшки для своевременного выявления условно-патогенных бактерий, способных вызывать бактериальные заболевания.

Нами были проведены исследования микрофлоры корюшки *Osmerus eperlanus* (Linneus, 1758) за пятилетний период (2014-2019 гг.).

Материалом послужили 92 экземпляра рыбы из устья р. Неман и р. Матросовки.

Изучали культуральные, морфологические и физиолого-биохимические признаки бактерий по общепринятой в ихтиопатологии методике. Определяли бактерии до рода и вида с помощью Определителя бактерий Берджи по культуральным, морфологическим и физиолого-биохимическим признакам, исследование проводили по 16 тестам.

В микрофлоре корюшки обнаружили 41 вид бактерий, принадлежащих к следующим родам: *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Kurthia*, *Micrococcus*, *Escherichia*, *Plesiomonas*, *Pseudomonas*, *Renibacterium*, *Staphylococcus* и *Streptococcus*. Выявили 13 видов условно-патогенных бактерий, которые могут в стрессовых условиях вызвать заболевания исследуемого объекта. Также корюшка была обсеменена тринадцатью видами сапрофитных бактерий, являющихся характерной для нее микрофлорой, и пятнадцатью видами санитарно-значимых бактерий, из них два вида – бактерии группы кишечной палочки, наличие которых свидетельствует о загрязнении воды хозяйственно-бытовыми сточными водами в исследуемом нами водоеме.

Микрофлора корюшки из устья р. Неман была не такой разнообразной, как у рыбы из р. Матросовки. Наиболее обсемененные внутренние органы – сердце, печень и селезенка.

Работа актуальна, так как микрофлора корюшки из водоемов Калининградской области исследовалась впервые.

корюшка, р. Матросовка, р. Неман, бактерия, условно-патогенные бактерии, микрофлора, рыба, посев, обсемененность, среды, сапрофитные бактерии

Smelt is a mass food object of the Kaliningrad region population. The studies of the microflora help to prevent infectious diseases of humans. It is necessary to control bacterization of smelt.

We have studied the microflora of smelt *Osmerus eperlanus* (Linneus, 1758) over a five-year period (2014-2019).

Totally 92 specimen of smelt from the river Neman and the river Matrosovka have been studied.

Microbiological investigations have been performed by a standard method. We have studied the cultural, morphological and physiological and biochemical characteristics of bacteria. Determination of bacteria has been carried out in 16 tests. Based on the totality of cultural, morphological and physiological and biochemical characteristics, bacteria have been determined to the genus and species using the Bergey Bacteria Detector.

In the results, 41 species of bacteria, which belong to the genus *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Kurthia*, *Micrococcus*, *Escherichia*, *Plesiomonas*, *Pseudomonas*, *Renibacterium*, *Staphylococcus* and *Streptococcus*, *Escherichia*, *Plesiomonas*, *Pseudomonas*, *Renibacterium*, *Staphylococcus* and *Streptococcus* have been found in the smelt microflora. 13 species of opportunistic pathogenic bacteria have been identified that can cause diseases of the studied object under stress conditions. Smelt are also bacterized with 13 saprophytic bacteria. They are characteristic microflora for fish. We have found 15 species of sanitary bacteria. They have 2 types of bacteria of the *Escherichia coli* group. They testify to water pollution by household wastewater in the reservoir under study.

The microflora of smelt from the mouth of the Neman River was not as diverse as the microflora of smelt from the Matrosovka River. The most bacterized organs of smelt are the heart, liver and spleen.

The aim of this work is important, because smelt microflora has been studied for the first time.

smelt, Osmerus eperlanus, river Matrosovka, river Neman, bacteria, pathogenic bacteria, microflora, fish, sowing, contamination, environment, saprophytic bacteria

ВВЕДЕНИЕ

Корюшка – любимый объект питания населения Калининградской области. В состав мяса этой рыбы входит много витаминов, необходимых человеку, макро- и микроэлементов, среди которых особенно важны железо, калий, магний, натрий, фосфор, сера, хлор, фтор и молибден. По содержанию связанного натрия корюшка в числе рекордсменов. Поэтому ее рекомендуется включать в рацион людей с ослабленным здоровьем, а также детей.

Но, к сожалению, корюшка входит в число рыб, к которым врачи и экологи рекомендуют относиться с большой остороженностью, так как велика вероятность наличия в ней различных бактерий и паразитов [1, 2].

Исследование микрофлоры корюшки европейской (*Osmerus eperlanus eperlanus*) проводилось впервые. Ранее кафедрой ихтиологии и экологии изучались нерестовый ход корюшки и ее воспроизводительная способность в реках бассейна Куршского залива [3].

Цель работы – изучение микрофлоры корюшки и выявление условно-патогенных бактерий, которые могут вызвать бактериальные заболевания у данного вида рыб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования в 2014-2015 гг. стали 30 экземпляров корюшки из устья р. Неман, в 2016 г. – 23 из р. Матросовки, в 2018 г. – 20 из устья р. Неман и в 2019 г. – 19 экземпляров из р. Матросовки. Рыба имела размеры от 9,0 до 20,3 см.

Первичный бактериологический посев осуществляли по общепринятой в ихтиопатологии методике [4].

По совокупности культуральных, морфологических и физиолого-биохимических признаков определяли бактерии до рода и вида с помощью Определителя бактерий Берджи [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В микрофлоре корюшки обнаружили 41 вид бактерий, в том числе 13 видов сапрофитных (табл. 1).

Таблица 1. Сапрофитные бактерии, обнаруженные в микрофлоре корюшки
Table 1. Saprophytic bacteria found in smelt microflora

Вид бактерии	Локализация в органах
<i>Alcaligenes faecalis</i>	Желчный пузырь, жабры, кожа, сердце, селезенка, почки, желудочно-кишечный тракт, печень, икра, семенники
<i>Alcaligenes latus</i>	Жабры, сердце, желчный пузырь
<i>Paenibacillus (Bacillus) alvei</i>	Желудочно-кишечный тракт
<i>Brevibacillus (Bacillus) brevis</i>	Кожа, сердце, почки, желудочно-кишечный тракт, печень
<i>Bacillus coagulans</i>	Селезенка
<i>Bacillus circulans</i>	Почки
<i>Bacillus firmus</i>	Кожа, желчный пузырь, печень, почки, желудочно-кишечный тракт
<i>Bacillus megaterium</i>	Жабры, селезенка, желудочно-кишечный тракт
<i>Lysinibacillus (Bacillus) sphaericus</i>	Жабры, почки, печень, икра, семенники
<i>Kurthia zopfii</i>	Жабры
<i>Plesiomonas acidovorans</i>	Желудочно-кишечный тракт
<i>Brevundimonas (Plesiomonas) diminuta</i>	Сердце
<i>Plesiomonas sp.</i>	Почки

Наличие бактерий *Alcaligenes faecalis* указывает на загрязнение воды в заливе хозяйственно-бытовыми сточными водами.

Бациллы, которых обнаружили семь видов, встречаются в воде и грунте и характерны для микрофлоры корюшки, также как и бактерии *Kurthia zophii*.

При изучении микрофлоры корюшки выявили 15 санитарно-значимых видов бактерий, в частности два вида группы кишечной палочки, присутствие которых свидетельствует о загрязнении исследуемых нами водоемов хозяйственно-бытовыми сточными водами в (табл. 2).

Таблица 2. Санитарно-значимые бактерии в микрофлоре корюшки
Table 2. Sanitary bacteria in smelt microflora

Вид бактерии	Локализация в органах
<i>Acinetobacter baumannii</i>	Печень
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	Кожа, жабры, сердце, селезенка, желчный пузырь, печень
<i>Acinetobacter junii</i>	Желудочно-кишечный тракт, почки
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	Кожа, желудочно-кишечный тракт
<i>Citrobacter freundii</i>	Жабры, сердце, селезенка
<i>Pantoea (Enterobacter) agglomerans</i>	Сердце, селезенка, желчный пузырь, желудочно-кишечный тракт
<i>Enterobacter asburiae</i>	Сердце, селезенка
<i>Enterobacter aerogenes</i>	Жабры, сердце, желчный пузырь
<i>Enterobacter cloacae</i>	Желудочно-кишечный тракт, печень
<i>Kluyvera intermedia (Enterobacter intermedius)</i>	Кожа, жабры, сердце, желчный пузырь, селезенка, почки, желудочно-кишечный тракт, печень
<i>Escherichia coli</i>	Кожа, селезенка, желчный пузырь, почки, желудочно-кишечный тракт, печень
<i>Arthrobacter (Micrococcus) agilis</i>	Желчный пузырь
<i>Kocuria (Micrococcus) kristinae</i>	Кожа
<i>Kocuria rosea (Micrococcus roseus)</i>	Селезенка, желчный пузырь, почки, желудочно-кишечный тракт, печень
<i>Staphylococcus capitis</i>	Селезенка

Наличие бактерий рода *Acinetobacter* свидетельствует о загрязнении хозяйственно-бытовыми сточными водами, бактерий группы кишечной палочки – о свежем фекальном загрязнении Куршского залива.

Микрококки характерны для микрофлоры корюшки.

У корюшки обнаружили 13 видов условно-патогенных бактерий (табл. 3).

Таблица 3. Условно-патогенные бактерии в микрофлоре корюшки
Table 3. Conditionally pathogenic bacteria in smelt microflora

Вид бактерии	Локализация на органах
1	2
<i>Aeromonas caviae</i>	Сердце, селезенка, икра
<i>Aeromonas eucrenophila</i>	Сердце
<i>Aeromonas veronii</i>	Печень
<i>Renibacterium salmoninarum</i>	Жабры
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	Сердце
<i>Burkholderia (Pseudomonas) cepacia</i>	Желчный пузырь, кожа, жабры, сердце, желчный пузырь, печень
<i>Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta</i>	Сердце, селезенка, икра

Окончание табл. 3

1	2
<i>Pseudomonas putida</i>	Сердце, селезенка
<i>Shewanella</i> (<i>Pseudomonas</i>) <i>putrefaciens</i>	Печень, семенники
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	Селезенка
<i>Streptococcus bovis</i>	Почки, жабры, печень, икра, семенники
<i>Streptococcus canis</i>	Печень, желудочно-кишечный тракт
<i>Peptostreptococcus</i> (<i>Streptococcus</i>) <i>parvulus</i>	Кожа, почки

Бактерии *Renibacterium salmoninarum* вызывают бактериальную почечную болезнь у лососевых, также они встречаются у многих видов морских и пресноводных рыб. Локализуются обычно в паренхиматозных органах, нами эти бактерии были обнаружены на жабрах. Как известно, жабры и кожа рыб являются путями проникновения бактериальных инфекций.

Aeromonas caviae, *Aeromonas eucrenophila*, *Aeromonas veronii*, *Burkholderia* (*Pseudomonas*) *cepacia*, *Brevundimonas* (*Pseudomonas*) *diminuta*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas alcaligenes*, *Pseudomonas stutzeri*, *Shewanella* (*Pseudomonas*) *putrefaciens* являются условно-патогенными бактериями для рыб и могут вызвать у них различные септические процессы.

Бактерии рода *Aeromonas* являются возбудителями аэромоноза. Он встречается во всех водоемах, заболеванию подвергаются все виды морских рыб.

В микрофлоре корюшки было обнаружено шесть видов псевдомонад, которые могут вызывать псевдомоноз. Это общее название заболевания тепловодных, холодноводных и аквариумных рыб, возбудителями которого являются микроорганизмы – обитатели почвы, пресной и морской воды.

К псевдомонадам чувствительны почти все виды пресноводных и морских рыб. Болезнь появляется при понижении температуры воды в осенне-летний период, но чаще всего во второй половине зимовки (с января по март) и протекает одновременно с массовой гибелью заболевших рыб.

Также изучали обсемененность кожи, жабр и внутренних органов корюшки.

На протяжении всего периода исследования нами была обнаружена обсемененность:

кожи – тремя видами сапрофитных, пятью видами санитарно-значимых и двумя видами условно-патогенных бактерий;

жабр – пятью видами сапрофитных, четырьмя видами санитарно-значимых и тремя видами условно-патогенных бактерий;

сердца – четырьмя видами сапрофитных, шестью видами санитарно-значимых и четырьмя видами условно-патогенных бактерий;

селезенки – тремя видами сапрофитных, восемью видами санитарно-значимых и тремя видами условно-патогенных бактерий;

печени – четырьмя видами сапрофитных, шестью видами санитарно-значимых и пятью видами условно-патогенных бактерий;

почек – шестью видами сапрофитных, четырьмя видами санитарно-значимых и двумя видами условно-патогенных бактерий;

желудочно-кишечного тракта – шестью видами сапрофитных, семью видами санитарно-значимых и одним видом условно-патогенных бактерий;

желчного пузыря – тремя видами сапрофитных, семью видами санитарно-значимых и двумя видами условно-патогенных бактерий;

семенников – двумя видами сапрофитных и двумя видами условно-патогенных бактерий;

икры – двумя видами сапрофитных и двумя видами условно-патогенных бактерий.

Среди условно-патогенных бактерий были обнаружены *Renibacterium salmoninarum*, вызывающие бактериальную почечную болезнь у лососевых. Они выявлены у многих видов морских и пресноводных рыб, локализуются, как правило, в паренхиматозных органах. Нами эти бактерии были обнаружены на жабрах. Как известно, жабры и кожа рыб являются путями проникновения бактериальных инфекций.

Таким образом, наиболее обсемененными были сердце, печень и селезенка. Микрофлора корюшки из р. Матросовки более разнообразна по сравнению с микрофлорой рыбы из устья р. Неман. Самая высокая обсемененность бактериями отмечена у корюшки в 2016 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сапрофитные бактерии характерны для микробиоценоза корюшки.

Наличие санитарно-значимых бактерий свидетельствует о загрязнении водоема хозяйственно-бытовыми сточными водами. В микрофлоре корюшки было обнаружено большее количество именно таких бактерий, следовательно, идет увеличение антропогенного воздействия на залив, что приводит к его эвтрофикации.

Корюшка была обсеменена тринадцатью видами условно-патогенных бактерий, патогенность которых определяли по наличию протеолитических ферментов [6], все выявленные условно-патогенные бактерии обладали такими ферментами.

Условно-патогенные бактерии, обсеменяющие корюшку, не представляют для нее опасности в естественных условиях обитания. Необходимо осуществлять дальнейший мониторинг по бактериальной обсемененности корюшки и сетка для своевременного выявления условно-патогенных бактерий, способных вызывать у них эпизоотии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Евдокимова, Е. Б. Фауна паразитов корюшки и сетка Куршского залива в устье реки Неман / Е. Б. Евдокимова, Е. В. Авдеева, С. К. Заостровцева // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 50. – С. 74-80.

2. Гаевская, А. В. Справочник основных болезней и паразитов промысловых рыб Атлантического океана / А. В. Гаевская, А. А. Ковалева. – Калининград: Кн. изд-во, 1991. – 208 с.

3. Шibaев, С. В. Нерестовый ход корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реках бассейна Куршского залива / С. В. Шibaев, А. В. Соколов, К. В. Тылик // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2012. – № 7. – С. 91-96.

4. Общая и санитарная микробиология с техникой микробиологических исследований / под ред. А. С. Лабинской, Л. П. Блинковой, А. С. Ещиной. – Москва: Медицина, 2004. – 576 с.

5. Определитель бактерий Берджи: в 2 т.: пер. с англ. / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса. – Москва: Мир, 1997. – 780 с.

6. Авдеева, Е. В. Методы диагностики болезней рыб: учеб. пособие / Е. В. Авдеева, О. В. Казимирченко, М. Ю. Котлярчук. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО "КГТУ", 2010. – 101 с.

REFERENCES

1. Evdokimova E. B., Avdeeva E. V., Zaostrovvtseva S. K. *Fauna parazitov koryushki i snetka Kurshskogo zaliva v ust'e reki Neman* [Fauna of smelt parasites and smelt of the Curonian lagoon at the mouth of the Neman River]. *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 50, pp. 74-80.

2. Gaevskaya A. V., Kovaleva A. A. *Spravochnik osnovnykh bolezney i parazitov promyslovykh ryb Atlanticheskogo okeana* [Reference book of the main diseases and parasites of commercial fish in the Atlantic Ocean]. Kaliningrad, Kn. izd-vo, 1991, 208 p.

3. Shibaev S. V., Sokolov A. V., Tylik K. V. *Nerestovyy khod koryushki (Osmerus eperlanus eparlanus L.) v rekakh basseyna Kurshskogo zaliva* [Spawning run of smelt (*Osmerus eperlanus eparlanus L.*) in the rivers of the Curonian lagoon basin]. *Vestnik BFU im. Kanta*, 2012, no. 7, pp. 91-96.

4. *Obshchaya i sanitarnaya mikrobiologiya s tekhnikoy mikrobiologicheskikh issledovaniy* [General and sanitary microbiology with the technique of microbiological research]. Moscow, Meditsina, 2004, 576 p.

5. Holt J., Krieg N., Sneath P., Staley J., Williams S. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. USA, Williams & Wilkins, 1994. 780 p. (Russ. Ed. Holt J., Krieg N., Sneath P., Staley J., Williams S. *Opredelitel' bakteriy Berdzhii*. Moscow, Mir, 1997, 780 p.)

6. Avdeeva E. V., Kazimirchenko O. V., Kotlyarchuk M. Yu. *Metody diagnostiki bolezney ryb: uchebnoe posobie* [Methods of diagnosis of fish diseases: textbook]. Kaliningrad, FGBOU VO "KGTU", 2010, 101 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Авдеева Елена Витальевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, профессор кафедры ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: elavd@mail.ru

Avdeeva Elena Vitalievna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: elavd@mail.ru

Мажуга Елизавета Владимировна – Калининградский государственный технический университет; магистр водных биоресурсов и аквакультуры; E-mail: mazhuga.eliz@yandex.ru

Mazhuga Elizaveta Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University;
holder of a master degree in Aquatic Bioresources and Aquaculture;
E-mail: mazhuga.eliz@yandex.ru

Новожилов Олег Анатольевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук; доцент кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: ecology@klgtu.ru

Novozhilov Oleg Anatolievich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences; Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: ecology@klgtu.ru

УДК 631.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ
ПРИМОРСКОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ В
ПОСЕЛКЕ ГОРОДСКОГО ТИПА ЯНТАРНЫЙ

О. А. Анциферова, О. Ю. Чиянова

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS
OF THE SEASIDE RECREATIONAL ZONE IN THE URBAN VILLAGE
YANTARNY

O. A. Antsiferova, O. Yu. Chiyanova

Исследования проводились в парковой рекреационной зоне, которая расположена вдоль абразионного побережья Балтийского моря в поселке городского типа (пгт) Янтарный Калининградской области. Для диагностики почв были заложены разрезы глубиной 150–250 см. Пробы почв отбирались из каждого горизонта. В образцах почв определялись рН, содержание органического углерода (с последующим пересчетом на гумус), подвижных соединений фосфора, калия, тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr(3+)) и валовое количество ртути. Реакция среды в профиле почв находилась в интервале от слабокислой до нейтральной. В почвах северо-западной части парка им. М. Беккера обнаружены карбонатные горизонты на глубине свыше 80-100 см. Максимальное количество гумуса в почвах сосредоточено в слое 0 – 10 см. В среднем оно равно $3,30 \pm 0,10$ % (пределы варьирования 3,00–4,45 %). Эти величины являются типичными для лесных почв на супесчаных и песчаных породах в автоморфных условиях региона. Распределение гумуса по профилю зависит от генезиса и варьирует от резко убывающего до равномерно убывающего. В четырех из восьми почвах обнаружены погребенные профили разной сохранности. Содержание органического вещества в гумусовых горизонтах погребенных почв варьирует в пределах от 1,19 до 3,99 %. Почвы рекреационной зоны содержат очень высокое количество подвижного фосфора (более 250 мг/кг) как в гумусовых горизонтах, так и в почвообразующих породах. Это объясняется примесью фосфоритов и является геохимической особенностью пород Замландского п-ова. Количество подвижного калия максимально в гумусовых горизонтах (100 – 278 мг/кг). Распределение калия по профилю резко убывающее. Почвообразующие песчаные породы имеют очень низкое содержание подвижного калия. Количество тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr(3+)) и валовой ртути ниже предельно-допустимых концентраций.

рекреационная зона, почвы, рН, гумус, распределение по профилю, подвижные формы фосфора, калия, тяжелых металлов, экологическая оценка

The research has been carried out in a park recreation area, which is located along the abrasion coast of the Baltic sea in the urban village Yantarny of the Kaliningrad region. For soil diagnostics, sections with a depth of 150 – 250 cm have been laid.

Soil samples have been taken from each horizon. pH, organic carbon content (with subsequent conversion to humus), mobile compounds of phosphorus, potassium, heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr(3+)), and the total amount of mercury have been defined in soil samples. The reaction of the medium in the soil profile is in the range from slightly acidic to neutral. In the soils of the North-Western part of M. Becker Park carbonate horizons at a depth of more than 80-100 cm have been discovered. The maximum amount of humus in soils is concentrated in a layer of 0-10 cm. On average, it is equal to 3.30 ± 0.10 % (the range of variation is 3.00 – 4.45 %). These values are typical for forest soils on sandy loam and sand rocks in automorphic conditions of the region. Distribution of humus in the profile depends on the genesis and varies from sharply decreasing to evenly decreasing. Buried profiles of different preservation were found in four of the eight soils. The content of organic matter in humus horizons of buried soils varies from 1.19 to 3.99 %. The soils of the recreational zone contain a very high amount of mobile phosphorus (more than 250 mg/kg), both in humus horizons and in soil-forming rocks. This is due to the admixture of phosphorites and is a geochemical feature of the rocks of the Samland Peninsula. The maximum number of mobile potassium is contained in the humus horizon (100 – 278 mg/kg). The distribution of potassium in the profile is sharply decreasing. Soil-forming sand rocks have a very low content of mobile potassium. The amount of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr (3+)) and gross mercury is below the maximum permissible concentrations.

recreational zone, soils, pH, humus, distribution by profile, mobile forms of phosphorus, potassium, heavy metals, ecological assessment

ВВЕДЕНИЕ

Исследование парковых зон как компонентов урбанизированных экосистем - важная задача оценки качества окружающей среды [1-4]. Устойчивое функционирование рекреационных парковых зон зависит не только от степени антропогенной нагрузки, но и от свойств почв, которые обеспечивают растительность необходимыми элементами питания и являются центром биогеохимического круговорота веществ. Поэтому необходимо изучать состав и свойства почв, а также проводить их эколого-токсикологическое обследование. Эти данные - важная составляющая экологического паспорта рекреационной зоны.

Цель исследования: провести экологическую оценку основных химических свойств почв рекреационной парковой зоны в пгт Янтарный. Задачи: 1) изучить основные химические свойства, влияющие на плодородие почв (pH, содержание органического вещества (гумуса), подвижные соединения фосфора и калия); 2) оценить эколого-токсикологическое состояние гумусового горизонта почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в парковой зоне, которая вытянута вдоль абразионного побережья Балтийского моря в пгт Янтарный Калининградской области. Для диагностики почв были заложены разрезы глубиной 150 – 250 см. Генезис и строение почв описаны нами ранее [5]. Названия почв даны по классификации 2004 г. [6]. Образцы для анализа отбирались из каждого горизонта. Анализы проводились по следующим методикам: pH_{H_2O} , pH_{KCl} – потенциметрически, содер-

жание органического вещества по Тюрину в модификации Симакова, подвижный фосфор и калий по Кирсанову (ГОСТ Р 54650-2011), валовой азот по Кьельдалю (ГОСТ 26107-84). Подвижные формы тяжелых металлов (ТМ) (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr(3+)) анализировались в соответствии с РД 52.18.289 [7]. Содержание ртути определено по ПНД Ф 16.2.2:2.3:3. 25-02 [8]. Анализ ТМ проведен в ФГБУ «Центр агрохимической службы «Калининградский». Для оценки уровня показателей использованы стандартные и рекомендованные шкалы с учетом природной зоны [9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обследование показало, что в рекреационной парковой зоне около 80 % почв являются в той или иной степени антропогенно преобразованными (в результате эрозии, искусственной аккумуляции и перемешивания почвогрунтов). Преобладает легкий гранулометрический состав почв и техногенных почвенных образований (супеси, пески). Реакция среды в профиле почв варьирует от слабокислой до близкой к нейтральной в верхних горизонтах (табл. 1). Слабая выщелоченность на фоне промывного типа водного режима объясняется наличием дополнительного эолового привноса солей с акватории Балтийского моря. В целом рН гумусовых горизонтов является благоприятным для роста и развития большинства древесных и травянистых видов растений в парковой зоне. На глубине свыше полутора метров реакция среды становится нейтральной, а в карбонатных горизонтах – слабо- и среднещелочной. Из восьми контрольных разрезов карбонаты встречались в пяти [5]. При этом гранулометрический состав карбонатных слоев разнообразный: от плотных неогеновых глин до водно-ледниковых слоистых песков с гравием. В пространстве карбонатные слои приурочены к территории парка им. М. Беккера, к северо-западной его части. Плотные карбонатные неогеновые глины можно наблюдать в обнажениях на стенках оврага и на абразионном берегу.

Мощность гумусовых горизонтов сильно варьирует в зависимости от генезиса почв. В ржавоземах на песках она не превышает 20 см, чаще всего 10–15. Распределение гумуса резко убывающее. В стратоземах и урбиквазиземах (урбаноземах) мощность гумусированной толщи достигает 60–80 см. Содержание гумуса постепенно убывает с глубиной. Бимодальное распределение выражено в профилях с наличием хорошо сохранившейся погребенной почвы (разрезы 448 и 451). Максимальное содержание гумуса во всех почвах приурочено к верхнему слою мощностью 5–10 см. Злаковый покров в парковой зоне способствует формированию дернины. В этом слое и происходит активное накопление гумуса, которое не превышает 5 %. По классификации и диагностике почв России это соответствует серогумусовым горизонтам [6]. Однако в реальности цвет гумусовых горизонтов варьирует от буро-серого до бурого разных оттенков в зависимости от содержания и качественного состава гумуса.

Таблица 1. Химические свойства почв рекреационной парковой зоны в пгт Янтарный
Table 1. Chemical properties of the soils of the recreational park zone in the urban village Yantarny

Разрез и почва	Горизонт и глубина, см	pH _{H2O}	Гумус, %	C _{орг} , %	Подвижные соединения, мг/кг	
					P ₂ O ₅	K ₂ O
Разрез 447. ТПО* Урбиквазизем серогумусовый супесчаный на слоистых карбонатных водно-ледниковых отложениях	AYur 1 – 15	6,3	3,21	1,86	264	267
	RYtur 15 - 30	5,8	1,76	1,02	205	127
	RYtur 30 - 50	5,9	1,45	0,84	183	95
	R(B)tur 50 - 60	6,4	1,09	0,63	224	51
	R(B)tur 60 – 100	7,1	0,28	0,16	594	47
	D1gca 100 – 130	8,0	-	-**	-***	-***
	D1gca 130 – 147	8,4	-	-	-	-
	D2ca 147 - 160	8,5	-	-	-	-
	D2ca 160 - 180	8,4	-	-	-	-
D2ca 180 – 190	8,4	-	-	-	-	
Разрез 448. ТПО. Урбиквазизем серогумусовый супесчаный на погребенной почве (буроземе супесчаном)	AYur1 - 10	5,9	3,76	2,18	293	278
	AYur 10 – 20	5,5	3,03	1,76	300	141
	AYur 20 - 40	5,5	2,51	1,45	321	68
	AYur 40 - 60	5,5	1,66	0,96	343	55
	AYur 60 - 80	6,5	1,89	1,10	336	47
	[A] 80 - 100	6,6	3,99	2,31	179	31
	[B1] 100 – 116	6,7	0,91	0,53	358	44
	[B2] 116 – 130	6,7	0,29	0,17	446	44
	[BC] 130 – 150	7,3	0,19	0,11	-	-
Cca 150 – 170	7,5	-	-	-	-	

*ТПО – техногенное поверхностное образование ** - содержание органического углерода менее или равно 0,1 %; *** - подвижный фосфор и калий в карбонатных горизонтах не определялись

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Разрез 451. Ржавозем супесчаный на песках с погребенной почвой	AY 1 – 10	6,9	3,57	2,07	669	145
	BFM1 10 - 40	5,2	0,98	0,57	642	41
	BFM1 40 – 60	5,6	0,47	0,27	627	38
	C 60 - 80	6,3	0,43	0,25	654	33
	C 80 - 110	6,8	0,22	0,13	708	31
	C 110 - 120	6,7	0,31	0,18	694	31
	C 120 - 150	7,0	0,31	0,18	690	31
	C 150 – 180	6,9	0,24	0,14	688	31
	[A] 180 - 190	6,8	1,19	0,69	264	31
	[A] 190 - 210	6,7	0,60	0,35	569	18
	[B] 210 - 235	Не опр.	0,50	0,29	855	13
C 235 – 250	Не опр.	0,19	0,11	1250	13	
Разрез 452. Стратозем серогумусовый супесчаный на погребенном ржавоземе	AY (RY) 1 – 20	5,9	3,19	1,85	350	100
	AY (RY) 20 – 40	6,0	1,27	0,74	227	38
	AY (RY) 40 - 55	6,1	1,17	0,68	264	40
	[BFM1] 55 – 75	6,5	0,65	0,38	588	41
	[BFM2] 75 – 96	6,7	0,31	0,18	875	31
	BCf 96 – 105	6,7	0,21	0,12	940	34
	C 105 – 130	6,7	-	-	940	31
	Cf (C ₂) 130 – 143	7,1	-	-	-	-
	C _{3ca} 143 – 154	8,0	-	-	-	-
C _{3ca} 154 – 160	8,2	-	-	-	-	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Разрез 462. Ржавозем супесчаный на водно-ледниковых песках	AY 0 – 5	5,9	4,45	2,58	241	118
	AY 5 – 22	5,9	1,04	0,60	250	31
	BFM1 22 – 56	6,1	0,52	0,30	490	28
	BFM2 56 – 95	6,5	0,24	0,14	681	22
	BC 95 – 122	6,5	-	-	1070	22
	C 130 – 180	7,0	-	-	454	25
Разрез 463. Стратозем серогумусовый супесчано-песчаный на погребенной почве (ржавоземе супесчаном)	AY 0 – 4	6,3	3,16	1,83	564	175
	AY 4 – 14	5,7	2,33	1,35	329	50
	R 20 – 40	6,5	0,69	0,40	514	34
	R 40 – 72	6,8	0,31	0,18	681	38
	R 72 – 76	7,0	-	-	464	25
	R 76 – 106	7,2	-	-	471	25
	[A] 106 - 120	7,0	Не опр.	Не опр.	123	22
	[BF] 120 - 146	6,8	Не опр.	Не опр.	576	13
	[BC] 148 – 170	6,9	Не опр.	Не опр.	588	16
	C 170 – 184	7,1	Не опр.	Не опр.	579	15
Разрез 469. ТПО. Квазизем серогумусовый супесчаный (урбиквазизем)	AY 1 – 15	6,1	3,00	1,74	322	105
	RY 15 – 30	6,5	2,59	1,50	259	46
	RY 30 – 48	6,9	1,76	1,02	368	36
	R1 48 – 75	7,1	0,72	0,42	445	17
	R2g 75 - 91	7,5	0,46	0,27	-	-
	TURg 91 – 130	7,5	0,22	0,13	-	-
	Cca 130 - 200	7,5	-	-	-	-

Усредненное содержание гумуса в слое 0 – 10 см составляет $3,30 \pm 0,10$ %, а в слое 0 – 20 см соответственно $2,82 \pm 0,25$ %. Для техногенно-преобразованных почв количественная оценка содержания гумуса (органического вещества) практически не разработана. Можно сравнить содержание гумуса в изученной парковой зоне с таковым в лесных экосистемах Калининградской области с преобладанием лиственных пород. Гумусированность почв парковой зоны пгт Янтарный имеет значения в интервале 3 – 4 %, типичные и для лесных экосистем региона на легких почвообразующих породах в условиях нормального увлажнения [12].

Содержание фосфора в гумусовых горизонтах всех изученных почв на уровне или выше 250 мг/кг, что оценивается как очень высокое. С глубиной количество подвижных фосфатов может немного снижаться (оставаясь в границах высокого содержания), но в большинстве случаев оно значительно увеличивается. При этом надо отметить, что пробы из карбонатных горизонтов в анализ не включались, потому что метод Кирсанова для них не пригоден.

Высокий фосфатный фон почв парковой зоны пгт Янтарный объясняется наличием фосфоритов в почвообразующих породах. Это явление было описано нами раньше [11], является типичным для западной части Калининградской области и подтверждается минералогическим составом проб в работе А. А. Завалишина и Б. В. Надеждина [12, с. 19, 32].

Распределение подвижного фосфора по профилю почв неоднозначное. Часто оно более или менее равномерное или увеличивающееся книзу в насыпных или аккумулярованных слоях. Местами встречаются резкие скачки свыше 1000 мг/кг фосфатов (разрез 541, горизонт С 235–250 см; разрез 462, горизонт ВС 95–122 см). Обращает на себя внимание также факт резкого снижения количества подвижного фосфора в гумусовых горизонтах погребенных почв (разрезы 448, 451, 463). Это объясняется биологическим поглощением под пологом древесных экосистем прошлого. В последующем, после погребения этих почв, горизонты были законсервированы. В условиях близкой к нейтральной реакции среды подвижность фосфатов мала, поэтому факт биогенного выноса фосфора сохранился.

Содержание подвижного калия в гумусовых горизонтах почв варьирует от очень высокого (в разрезах 447, 448) до повышенного (в разрезах 451, 463) и среднего (в разрезах 462, 469). Максимальное содержание калия в почвах приурочено к горизонту дернины, что указывает на биогенную аккумуляцию элемента и его накопление из разлагающегося растительного опада. Распределение подвижного калия по профилю почв резко убывающее. В большинстве случаев на глубинах свыше 40 см содержание калия очень низкое (менее 40 мг/кг). Это связано с преобладанием в рекреационной зоне песков и супесей, которые бедны илистыми частицами и содержат малое количество (менее 5 – 7 %) физической глины (сумма частиц $< 0,01$ мм).

Таким образом, оптимальным плодородием в парковой экосистеме обладают только горизонты дернины. В иллювиальных горизонтах, почвообразующей породе и стратифицированных слоях выражен дисбаланс элементов: при очень высоком содержании подвижных фосфатов крайне низкое количество подвижного калия.

Для решения задачи эколого-токсикологической оценки почв мы определили содержание подвижных форм тяжелых металлов и валовой ртути в гумусовых горизонтах почв (табл. 2). Согласно действующим нормам предельно допустимая концентрация (ПДК) подвижных форм ТМ в почвах составляет (мг/кг):

для Cu 3,0, для Zn – 23, для Pb – 6,0, для Ni - 4,0, для Cr(3+) - 6,0 [9]. ПДК для подвижного кадмия не определено. ПДК для валового содержания ртути 2,1 мг/кг. Из результатов анализа следует, что нормативы для всех ТМ в изученных почвах не превышены. По степени загрязнения почвы относятся к 1-й группе (содержание ТМ менее 0,5 ПДК) [10] и являются экологически безопасными по данным показателям.

Таблица 2. Содержание подвижных форм тяжелых металлов и валовой Hg в гумусовом горизонте почв

Table 2. Content of mobile forms of heavy metals and gross Hg in the humus horizon of soils

Раз-рез	Горизонт, глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг						
		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr(3+)	Hg
447	AУ _{ur} 1 – 10	0,18	1,8	0,57	0,066	1,00	0,15	0,022
448	AУ _{ur} 1 - 10	0,15	2,3	1,05	0,080	1,80	0,19	0,025
451	AУ 1 – 10	0,15	4,8	1,35	0,050	0,80	0,17	0,015
452	AУ1 - 20	0,18	1,9	1,22	0,070	0,71	0,17	0,012
453	AУ 1 – 6	0,21	1,2	1,00	0,070	0,80	0,17	0,034
	AУ 6 – 30	0,19	0,5	0,61	0,035	0,49	0,15	0,030
462	AУ 0 - 5	0,27	3,9	0,92	0,050	0,47	0,17	0,012
463	AУ 0 – 4	0,26	4,3	0,87	0,080	0,42	0,15	0,012
	AУ 4 – 14	0,23	2,3	1,40	0,060	0,28	0,18	0,011
469	AУ 1 – 15	0,19	1,8	1,48	0,040	0,20	0,20	0,012

ВЫВОДЫ

1. Реакция среды в почвах парковой рекреационной зоны находится в интервале от слабокислой до нейтральной. Это оптимальные значения для большинства древесных, кустарниковых и травянистых видов растительного покрова. В пяти из восьми изученных почв обнаружены карбонатные горизонты с щелочным рН на глубине свыше 100 см.

2. Несмотря на разнообразный генезис почв, максимальное количество гумуса приурочено к слою 0 – 10 см и составляет $3,30 \pm 0,10$ % (выявленный интервал 3,00 – 4,45 % по гумусу или 1,74 – 2,58 % по органическому углероду). Эти величины являются типичными для лесных почв на супесчаных и песчаных породах в автоморфных условиях региона.

3. Распределение гумуса по профилю зависит от генезиса и варьирует от резко убывающего до равномерно убывающего. Примерно половина изученных почв и почвогрунтов имеет погребенные профили разной сохранности. Содержание органического вещества в гумусовых горизонтах погребенных почв варьирует в пределах от 1,19 до 3,99 %. Профили с погребенными почвами имеют бимодальное распределение гумуса.

4. Почти для всех почв характерно очень высокое содержание подвижного фосфора (более 250 мг/кг) как в гумусовых горизонтах, так и в почвообразующих породах. Это объясняется примесью фосфоритов и является геохимической особенностью пород Замландского п-ова.

5. Количество подвижного калия максимально в гумусовых горизонтах (100–278 мг/кг). Распределение калия по профилю резко убывающее. Почвообразующие песчаные породы имеют очень низкое содержание подвижного калия.

6. Анализ подвижных форм тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr(3+)) и валовой ртути показал, что содержание этих элементов находится в количествах ниже 0,5 ПДК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Soils in the Urban Environment. Edited by P. Bullock and P.J. Gregory. Blackwell Scientific Publications. 1991. 174 p.
2. Fu W., Dao L. Heavy Metals Pollution in Urban Soils. Scholars' Press. 2017. 228 p.
3. Urban Soils. Edited by Rattan Lal, B. A. Stewart. CRC Press Published. 2017. 55 p.
4. Станченко, Л. Ю. Типология и эколого-геохимическая оценка урбоэкосистем Калининградской области: автореф. дис... канд. геогр. наук: 25.00.36 – Геоэкология / Л. Ю. Станченко. – Калининград, 2009. – 24 с.
5. Анциферова, О. А. Морфологическое строение и классификационная принадлежность почв морского побережья в окрестностях пгт Янтарный / О. А. Анциферова, О. Ю. Чиянова // Известия Калининградского государственного технического университета. - 2019. - № 55. – С. 22 - 35.
6. Классификация и диагностика почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. - 342 с.
7. Руководящий документ. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом в лабораториях Общегосударственной службы наблюдения и контроля загрязнения природной среды. РД 52.18.289-90. – Москва, 1991. – 35 с.
8. ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.25-02. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания ртути общей в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях атомно-абсорбционным методом (с Изменением N 1). – Москва, 2017. – 18 с.
9. ГН 2.1.7.2041-06. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – Москва, 2006. - 5 с.
10. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. - 240 с.
11. Анциферова, О. А. Валовой фосфор в почвообразующих породах и почвах западной части Калининградской области / О. А. Анциферова // Агрохимический вестник. - 2014. - № 2. - С. 11-13.
12. Завалишин, А. А. Почвенный покров Калининградской области / А. А. Завалишин, Б. В. Надеждин // Почвы Калининградской области. - Москва: Изд-во АН СССР, 1961. - С. 5-130.

REFERENCES

1. Soils in the Urban Environment. Edited by P. Bullock and P.J. Gregory. Blackwell Scientific Publications, 1991, 174 p.
2. Fu W., Dao L. Heavy Metals Pollution in Urban Soils. Scholars' Press, 2017, 228 p.
3. Urban Soils. Edited by Rattan Lal, B. A. Stewart. CRC Press Published. 2017, 55 p.
4. Stanchenko L. Yu. *Tipologiya i ekologo-geokhimicheskaya otsenka urboekosistem Kaliningradskoy oblasti. Avtoreferat diss. kand. geogr. nauk* [Typology and ecological-geochemical assessment of urban ecosystems of the Kaliningrad region. Abstract of dis. cand. Sci.]. Kaliningrad, 2009, 24 p.
5. Antsiferova O. A., Chiyanova O. Yu. *Morfologicheskoye stroyeniye i klassifikatsionnaya prinadlezhnost' pochv morskogo poberezh'ya v okrestnostyakh pgt. Yantarnyy* [Morphological structure and classification of soils belonging to the sea coast in the vicinity of the village Yantarny]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 55, pp. 22 - 35.
6. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk, Oykumena, 2004, 342 p.
7. *Rukovodyashchiy dokument. Metodicheskiye ukazaniya. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli podvizhnykh form metallov (medi, svintsa, tsinka, nikelya, kadmiya, kobal'ta, khroma, margantsa) v probakh pochvy atomno-absorbtsionnym analizom v laboratoriyakh Obshchegosudarstvennoy sluzhby nablyudeniya i kontrolya zagryazneniya prirodnoy sredy*. RD 52.18.289-90 [Guidance document. Methodical instructions. Method of performing measurements of the mass fraction of mobile forms of metals (copper, lead, zinc, nickel, cadmium, cobalt, chromium, manganese) in soil samples by atomic absorption analysis in laboratories of the National service for monitoring and control of environmental pollution. RD 52.18.289-90]. Moscow, 1991, 35p.
8. *PND F 16.2.2:2.3:3.25-02. Kolichestvennyy khimicheskyy analiz pochv. Metodika vypolneniya izmereniy sodержaniya rtuti obshchey v tverdykh i zhidkikh otkhodakh proizvodstva i potrebleniya, osadkakh, shlamakh, aktivnom ile, donnykh otlozheniyakh atomno-absorbtsionnym metodom (s Izmeneniyem N 1)* [PND F 16.2.2: 2.3: 3.25-02. Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring the total mercury content in solid and liquid wastes of production and consumption, sediments, sludge, activated sludge, bottom sediments by atomic absorption method (with Change N 1)]. Moscow, 2017, 18 p.
9. *GN 2.1.7.2041-06. Gigiyenicheskiye normativy. Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve* [GN 2.1.7.2041-06. Hygienic standards. Maximum allowable concentration (MPC) of chemicals in the soil]. Moscow, 2006, 5 p.
10. *Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Guidelines for the comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands]. Moscow, FGNU "Rosinformagrotekh", 2003, 240 p.
11. Antsiferova O. A. *Valovoy fosfor v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh zapadnoy chasti Kaliningradskoy oblasti* [Gross phosphorus in parent rocks and soils of the western part of the Kaliningrad region]. *Agrokhimicheskyy vestnik*, 2014, no. 2, pp. 1-13.

12. Zavalishin A. A., Nadezhdin B. V. Pochvennyy pokrov Kaliningradskoy oblasti [Soil cover of the Kaliningrad region]. *Pochvy Kaliningradskoy oblasti* [Soils of the Kaliningrad region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1961, pp. 5-130.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анциферова Ольга Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
E-mail: anciferova@inbox.ru

Antsiferova Olga Alekseevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; E-mail: anciferova@inbox.ru

Чиянова Ольга Юрьевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант факультета биоресурсов и природопользования

Chiyanova Olga Yurievna – Kaliningrad State Technical University; postgraduate students at the Faculty of bioresources and environmental management

УДК 576.89

ПАЗАРИТОЦЕНОЗ СУДАКА (*Sander lucioperca*) КУРШСКОГО ЗАЛИВА

И. С. Мальцева, Е. В. Авдеева

PARASITE CENOSIS OF PIKE-PERCH (*Sander lucioperca*) OF THE CURONIAN LAGOON

I. S. Maltseva, E. V. Avdeeva

Паразитофауна судака водоемов Калининградской области изучалась фрагментарно, и данные о ней носят устаревший характер. Для оценки ихтиопатологического состояния рыбы необходим постоянный мониторинг изменений в составе паразитофауны и показателей зараженности. Проведены четырехлетние исследования паразитофауны судака, обитающего в российской части Куршского залива (Балтийское море). У судака обнаружено 18 видов паразитических организмов: микроспоридии *Muxobolus dispar*; микроспоридии *Glugea luciopercae*; моногенеи *Ancyrocephalus paradoxus*; цестоды *Triaenophorus nodulosus*, *Diphyllobothrium latum*; трематоды *Bunocotyle cingulate*, *Diplostomum spathaceum*, *Tylodelphys clavata*, *Bunodera luciopercae*, *Azygia lucii*, *Ichthyocotylurus platycephalus*, *I. variegatus*, *Vucephalus polymorphus*; нематоды *Raphidascaris acus*, *Camallanus lacustris*; скребни *Acanthocephalus lucii*, *Corynosoma strumosum*; паразитические ракообразные *Achtheres percarum*. Полный паразитологический анализ проводился по методике, разработанной И. Е. Быховской-Павловской. В паразитоценозе судака преобладают паразиты со сложным жизненным циклом (со сменой промежуточных хозяев). Так, в 2016 г. их доля составила 76,5 % (13 видов); 2017 – 73,4 (11); 2018 – 71,4 (10); 2019 – 73,4% (11 видов), тогда как с прямым циклом развития в 2016 г. было 23,5%; 2017 – 26,6; 2018 – 28,6; 2019 – 26,6% (по четыре вида в каждом исследуемом году) паразитов. Повышение зараженности судака трематодами может указывать на процессы эвтрофикации в водоеме. За четыре года исследований наблюдались значительные различия в составе паразитофауны и экстенсивности заражения отдельных видов паразитических организмов. Основной путь заражения паразитами со сложным циклом развития – трофический. Представители класса трематод доминируют в паразитофауне судака Куршского залива (восемь видов). Наибольшая экстенсивность инвазии зарегистрирована у моногенеи *Ancyrocephalus paradoxus* (100% в 2019 г.), метацеркария трематоды *Ichthyocotylurus platycephalus* (100% в 2019 г.) и паразитического ракообразного *Achtheres percarum* (100% в 2016-2019 гг.).

паразитоценоз, ракообразные, микроспоридии, микроспоридии, трематоды, цестоды, нематоды, скребни, судак, экстенсивность инвазии

The parasitofauna of pike perch in the reservoirs of the Kaliningrad region has been studied fragmentarily and the data are outdated. To assess the ichthyopathological state of fish, constant monitoring of changes in the composition of the parasitofauna and infection rates is necessary. Four-year studies of the pike-perch parasitofauna living in

the Russian part of the Curonian lagoon (Baltic sea) have been carried out. 18 species of parasitic organisms have been found in pike perch: myxosporidia *Myxobolus dispar*, microsporidia *Glugea luciopercae*, monogenea *Ancyrocephalus paradoxus*, cestodes *Tri-aenophorus nodulosus*, *Diphyllobothrium latum*, trematodes *Bunocotyle cingulate cortex*, *Diplostomum spathaceum*, *Tylodelphys clavata*, *Bunodera luciopercae*, *Azygia lucii*, *Ichthyocotylurus platycephalus*, *I. variegatus*, *Bucephalus polymorphus*, nematodes *Raphidascaris acus*, *Camallanus lacustris*, acanthocephala *Acanthocephalus lucii*, *Corynosoma strumosum*, parasitic crustaceans *Achtheres percarum*. Full parasitological analysis has been carried out according to the methodology developed by I.E.Bykhovskaya-Pavlovskaya. Parasites with a complex life cycle predominate in the pike-perch parasitocenosis. Number of parasite species with direct development cycle: 2016 (23,5%), 2017 (26,6 %), 2018 (28,6%), 2019 (26,6%) – 4 species each year under study. Number of species with change of intermediate hosts: 2016-13 species (76.5 %); 2017 – 11 species (73.4 %); 2018 – 10 species (71.4%); 2019 – 11 species (73.4%). The increase in the infestation of pike-perch with the flukes may indicate the eutrophication process in the reservoir. During the four years of the study, there were significant differences in the composition of the parasitofauna and the extent of infection of certain species of parasitic organisms. The main path of infection – trophic. Representatives of the trematode class dominate in the pike perch parasitofauna of the Curonian lagoon (8 species). The highest extensity of invasion observed in monogenea *Ancyrocephalus paradoxus* (100% in 2019), metacercariae trematodes *Ichthyocotylurus platycephalus* (100% in 2019) and parasitic crustacea *Achtheres percarum* (100% in 2016-2019).

parasite cenosis, crustaceans, myxosporidia, trematodes, cestodes, nematodes, scrapers, pike perch, extensiveness of invasion

ВВЕДЕНИЕ

Куршский залив – важный рыбопромысловый водоем Калининградской области и Литвы. Судак относится к основным промысловым объектам в заливе, в последние годы его выловлено около 300 т [1, 2]. Исследование видового состава и изменения в составе паразитофауны судака представляет научный и практический интерес.

Изучением паразитофауны промысловых видов рыб Куршского залива занимались российские и литовские ученые – Пашкявичуте, 1981; Рауцкис, 1988; Старовойтов В. К.; Шухгалтер, 2003 и др. [3-6].

Постоянный мониторинг состояния паразитоценоза судака в Куршском заливе поможет предотвратить возникновение очагов эпизоотий в данном водоеме, передачу возбудителей местному населению и теплокровным животным. Данные о паразитофауне судака позволяют определить характер его питания, изменения в среде обитания и экологию водоема.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Полный паразитологический анализ судака из российской части Куршского залива проведен в период с 2016 по 2019 г., были исследованы 120 экземпляров. Рыбу отбирали из промысловых уловов. Вскрытие проводили по методике, разработанной И. Е. Быховской-Павловской [7]. Определяя видовую принадлежность паразитов, использовали «Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР» [8]. При обработке полученных данных вычисляли экстенсивность и интенсивность инвазии (таблица).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

За четыре года исследования в паразитозе судака Куршского залива было обнаружено 18 видов паразитических организмов: по одному виду микроспоридий, микроспоридий, моногеней, ракообразных, по два вида цестод, нематод, скребней, восемь видов трематод (рис. 1).

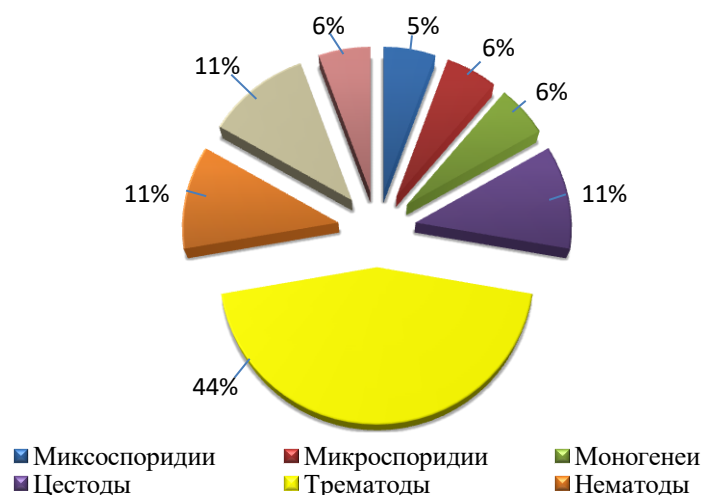


Рис. 1. Состав паразитофауны судака Куршского залива
Fig. 1. Composition of pike-perch parasitofauna of the Curonian lagoon

Тринадцать видов паразитов встречались нам в каждый год исследования: *Muxobolus dispar*, *Glugea luciopercae*, *Ancyrocephalus paradoxus*, *Triaenophorus nodulosus*, *Diplostomum spathaceum*, *Bunocotyle cingulata*, *Bunodera luciopercae*, *Azygia lucii*, *Ichthyocotylurus platycephalus*, *I. variegatus*, *Acanthocephalus lucii*, *Corynosoma strumosum*, *Achtheres percarum*. Данные виды можно считать основным ядром паразитофауны судака в Куршском заливе.

В составе паразитофауны судака обнаружены виды с прямым и сложным циклами развития. Доля паразитов с прямым циклом развития в 2016 г. составила 23,5%; 2017 – 26,6; 2018 – 28,6; 2019 – 26,6% (по четыре вида в каждом исследуемом году), а со сменой промежуточных хозяев – 2016 г. – 76,5 % (13 видов); 2017 – 73,4 (11); 2018 – 71,4 (10); 2019 – 73,4% (11 видов).

При изучении паразитофауны судака Куршского залива были исследованы пути заражения паразитами (рис. 2).

Из паразитов с прямым жизненным циклом у судака в Куршском заливе зарегистрированы: микроспоридии *Muxobolus dispar*; микроспоридии *Glugea luciopercae*; моногеней *Ancyrocephalus paradoxus*; паразитические ракообразные *Achtheres percarum*.

Паразиты, которые используют промежуточных хозяев в своем жизненном цикле, представлены следующими видами: цестоды *Triaenophorus nodulosus*, *Diphyllobothrium latum*; трематоды *Bunocotyle cingulate*, *Diplostomum spathaceum*, *Tylodelphys clavata*, *Bunodera luciopercae*, *Azygia lucii*, *Ichthyocotylurus platycephalus*, *I. variegatus*, *Vucephalus polymorphus*; нематоды *Camallanus lacustris*, *Raphidascaris acus*; скребни *Acanthocephalus lucii*, *Corynosoma strumosum*.

Таблица. Паразитофауна судака Куршского залива в 2016-2019 гг.
Table. Parasitofauna of pike-perch of the Curonian Lagoon in 2016-2019

№ п/п	Паразит	Год исследования											
		2016			2017			2018			2019		
		Экст., %	Интенс., экз.		Экст., %	Интенс., экз.		Экст., %	Интенс., экз.		Экст., %	Интенс., экз.	
			min	max		min	max		min	max		min	max
1	<i>Myxobolus dispar</i>	40	-	-	20	-	-	20	-	-	33,3	-	-
2	<i>Glugea luciopercae</i>	13,3	-	-	40	-	-	33,3	-	-	20	-	-
3	<i>Ancyrocephalus paradoxus</i>	80	4	21	86,6	6	32	80	6	24	100	5	22
4	<i>Triaenophorus nodulosus</i>	33,3	1	9	20	2	3	20	2	5	6,6	2	2
5	<i>Diphyllobothrium latum</i>	6,6	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Bunocotyle cingulata</i>	6,6	9	9	20	11	16	20	20	36	33,3	10	23
7	<i>Diplostomum spathaceum</i>	20	16	19	13,3	7	8	30	12	32	33,3	8	21
8	<i>Tylodelphys clavata</i>	-	-	-	6,6	12	12	30	17	28	40	14	19
9	<i>Bunodera luciopercae</i>	33,3	5	>100	20	21	36	20	12	15	20	11	26
10	<i>Azygia lucii</i>	13,3	>50	>100	40	10	>50	60	22	>50	50	15	>50
11	<i>Ichthyocotylurus platycephalus</i>	40	32	>50	80	29	>50	90	48	>50	100	42	>50
12	<i>I. variegatus</i>	26,6	36	58	66,6	10	>50	60	12	>50	80	20	>50
13	<i>Bucephalus polymorphus</i>	13,3	1	13	26,6	3	40	-	-	-	6,6	6	18
14	<i>Raphidascaris acus</i>	6,6	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>Camallanus lacustris</i>	6,6	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>Acanthocephalus lucii</i>	6,6	2	2	13,3	3	5	10	2	2	6,6	2	2
17	<i>Corynosoma strumosum</i>	20	2	3	26,6	3	18	20	3	4	13,3	2	3
18	<i>Achtheres percarum</i>	100	1	12	100	3	19	100	3	16	100	3	15
Итого		17			15			14			15		

Mухоболус dispar – это тканевые паразиты с вегетативными стадиями в виде «цист». Заражение происходило при заглатывании спор. Судак заражался, находясь у дна водоема. В исследуемые годы частота встречаемости не превышала 40 %.

Интенсивность инвазии *Glugea luciopercae* может достигать нескольких тысяч ксеном на рыбу. В большей степени были поражены пилорические придатки и кишечник, в меньшей – желудок.

Выделение ксеном во внешнюю среду происходит вместе с экскрементами. Особенно восприимчива к заражению микроспоридией молодь судака. Зараженность судака *G. luciopercae* резко падает с возрастом, что говорит о возрастании резистентности рыб старших поколений к этому паразиту. Рыба заражалась, находясь у дна, заглатывая споры. Наибольшая экстенсивность инвазии наблюдалась в 2017 г. – 40%. Паразит был обнаружен у судака только в зимний период (с декабря по февраль).

Моногенея *A. paradoxus* локализовалась на жабрах. Экстенсивность инвазии *A. paradoxus* в 2016 г. составила 80%; в 2017 – 86,6; в 2018 – 80, а в 2019 г. – 100%.

Achtheres percarum – паразитический веслоногий ракообразный. После оплодотворения, которое происходит в воде, самка отыскивает рыбу и переходит к паразитическому образу жизни. У судака был обнаружен на жабрах и в ротовой полости. Отмечено 100%-ное заражение во все исследуемые годы и сезоны. Такое количество заражённой рыбы может быть связано с изменением температурного и гидрохимического режимов в заливе, так как мы наблюдали увеличение экстенсивности инвазии не только *A. percarum*, но и моногенеи *A. paradoxus*.

Класс цестод представлен двумя видами – *Triaenophorus nodulosus* и *Diphyllbothrium latum*. Следует отметить, что *D. latum* относится к санитарно-значимым паразитам и опасен для человека, но был обнаружен в паразитофауне судака только в 2016 г. у одного исследуемого экземпляра. Жизненный цикл *T. nodulosus* и *D. latum* протекает со сменой промежуточных хозяев: веслоногие рачки, мирная рыба; окончательный хозяин в первом случае – хищная рыба (щука), во втором – млекопитающие и человек. У судака паразитировали на стадии плероцеркоида, локализовались в печени и мускулатуре. Заражение происходит трофическим путем.

Класс трематод преобладает в паразитофауне судака и представлен восемью видами, четыре из них были зарегистрированы на стадии метацеркария (*Diplostomum spathaceum*, *Ichthyocotylurus platycephalus*, *I. variegatus*, *Tylodelphys clavata*) и четыре – на стадии мариты (*Bunodera luciopercae*, *Azygia lucii*, *Bunocotyle cingulata*, *Vucephalus polymorphus*).

Половозрелые гельминты *Diplostomum spathaceum* и *Tylodelphys clavata* паразитируют в кишечнике рыбоядных птиц, преимущественно чайковых, – окончательных хозяев. В судака проникают на стадии церкария через кожу, жабры и пищеварительный тракт. Достигая хрусталика глаза или стекловидного тела, превращаются в метацеркария.

Экстенсивность инвазии *Diplostomum spathaceum* в 2019 г. составила 33,3 %, *Tylodelphys clavata* – 40 %.

Судак заражался церкариями, находясь в пространственной близости к первым промежуточным хозяевам – моллюскам сем. *Lymnaeidae*.

Метацеркарии трематод *Ichthyocotylurus platycephalus* и *I. variegatus* паразитировали на поверхности внутренних органов и в плавательном пузыре. Первым промежуточным хозяином служат брюхоногие моллюски *Valvata piscinalis*, вторым – рыбы, также возможен еще один промежуточный хозяин – хищная рыба. Окончательный хозяин – чайки.

Процент зараженности судака трематодами данных видов увеличивался каждый год и в 2019 г. достиг 100% для *I. platycephalus*, 80% для *I. variegatus*.

В развитии трематоды *B. luciopercae* участвуют промежуточные хозяева – моллюски *Sphaerium rivicola* и *S. corneum*, дополнительные хозяева – пресноводные рачки *Daphnia pulex*, *Simonocephalus expenosus* и др., мирная рыба, которая заглатывает зараженных рачков. Судак заражается в результате хищничества. Экстенсивность инвазии не превышала 33,3 %.

Трематода *Azygia lucii* паразитировала у судака в желудке, кишечнике и пилорических придатках. Половой зрелости и крупных размеров *A. lucii* достигает только в своем окончательном хозяине – щуке. В жизненном цикле данной трематоды принимают участие первый промежуточный хозяин – моллюски, второй промежуточный хозяин – планктонные ракообразные из отряда *Copepoda*. Наибольшая экстенсивность инвазии наблюдалась в 2018 г., составив 60%, и в 2019 г. – 50%.

Первый промежуточный хозяин трематоды *Bunocotyle cingulata* – моллюски, второй – ракообразные, резервуарный – мирная рыба, окончательный хозяин – хищная рыба.

У судака трематода паразитировала в желудке и кишечнике. Заражение происходило трофическим путем. Процент заражения увеличивался каждый год: с 6,6 в 2016 г. до 33,3 в 2019.

Развитие трематоды *Vucephalus polymorphus* протекает с участием двух хозяев. Первый промежуточный хозяин – моллюски родов *Unio* и *Anodonta*. Метацеркарии локализуются на жабрах, плавниках, мышцах более чем у 20 видов карповых и у снетка, который служит основным объектом питания. *V. polymorphus* нами был обнаружен в кишечнике судака. Экстенсивность инвазии не превышала 26,6 %, в 2018 г. данный вид трематод не был обнаружен в паразитофауне судака, а в 2019 г. заражение носило единичный характер.

В паразитофауне судака были зарегистрированы два представителя класса нематод – *Camallanus lacustris* и *Raphidascaris acus*.

Жизненный цикл *C. lacustris* и *R. acus* включает в себя веслоногих рачков в качестве первого промежуточного хозяина. У судака паразитирует в кишечнике. Судак заражается, поедая мирную рыбу.

Данные нематоды обнаружены у судака в Куршском заливе только в 2016 г. с экстенсивностью инвазии 6,6 %.

Класс скребней представлен двумя видами – *Acanthocephalus lucii* и *Corynosoma strumosum*.

Развитие *Ac. lucii* происходит с участием промежуточного хозяина – водяного ослика. У судака скребень паразитировал в кишечнике. Заражение происходит трофическим путем. Экстенсивность инвазии не превышала 13,3%.

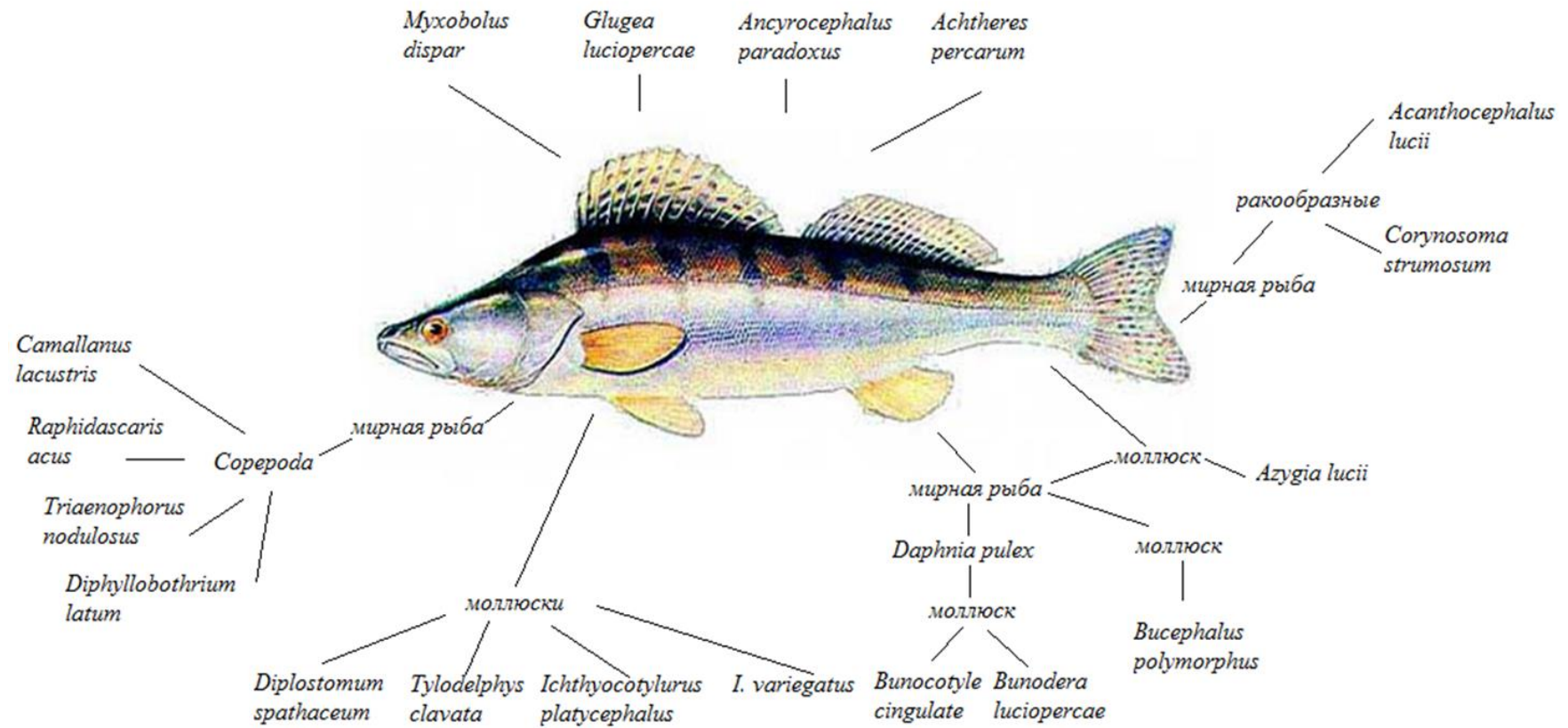


Рис. 2. Схема путей заражения паразитами судака Куршского залива
 Fig. 2. The scheme of pathways of parasite infection of the pike-perch of the Curonian lagoon

У судака найдены личиночные формы *Corynosoma strumosum*, половозрелые паразиты встречаются в кишечнике морских млекопитающих. Первый промежуточный хозяин – бокоплавья рода *Pontoporeia*. Второй промежуточный хозяин – различные морские, проходные, а также пресноводные рыбы, обитающие в нижнем течении рек. Судак заражается, питаясь мирной рыбой (корюшкой).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Паразитофауна судака Куршского залива представлена восемнадцатью видами паразитических организмов. Из них четыре вида – паразиты с прямым циклом развития, что составляет 22,2 % от всей паразитофауны; 14 видов развиваются с участием промежуточных хозяев, т. е. имеют сложный цикл развития, – 77,8 % от всей паразитофауны. Преобладает в паразитофауне судака класс трематод (восемь видов).

Эколого-фаунистический анализ паразитофауны судака в Куршском заливе показывает, что 50 % паразитических организмов рыба получает путем хищничества.

Наибольшая экстенсивность инвазии зарегистрирована у моногенеи *Ancyrocephalus paradoxus* (100% в 2019 г.), метацеркария трематоды *Ichthyocotylurus platycephalus* (100% в 2019 г.) и паразитического ракообразного *Achtheres percarum* (100% в 2016-2019 гг.).

Четырехлетние исследования подтверждают, что состав паразитофауны и показатели зараженности отдельных видов имеют значительные отличия экстенсивности по годам исследования. Увеличение степени инвазии судака личинками трематод служит индикатором, свидетельствующим о развитии в водоеме процессов эвтрофикации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Освоение общих допустимых уловов и квот / Федеральное агентство по рыболовству [Электронный ресурс]. URL:<http://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/organizatsiya-rybolovstva/osvoenie-obshchikh-dopustimyykh-ulovov-i-kvot> (дата обращения: 20.12.2019).
2. Тылик, К. В. Рыбы трансграничных водоемов России и Литвы / К. В. Тылик. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2007. – 100 с.
3. Старовойтов, В. К. Распределение *Ancyrocephalus paradoxus* (Monogenea, Ancyrocephalidae) на жабрах судака: в 53 т. / В. К. Старовойтов // Паразитология. – 1989. – Т. 23. – N 1. – С. 40–47.
4. Пашкявичюте, А. С. Структура паразитоценоза леща залива Куршю ма-рес в 1976-1978 гг. / А. С. Пашкявичюте // Труды академии наук Литовской ССР: сборник научных трудов / Академия наук Литовской ССР. – Вильнюс, 1981. – Серия В. – Вып. 2 (74). – С. 127–134.
5. Рауцкис, Э. Паразиты рыб водоемов Литвы / Э. Рауцкис. – Вильнюс: Моксклас, 1988. – 205 с.
6. Шухгалтер, О. А. О зараженности мускулатуры рыб Куршского залива (юго-восточная часть Балтийского моря) / О. А. Шухгалтер, А. А. Елисеев // Проблемы современной паразитологии: I Международная конференция и III съезд

Паразитологического общества при РАН: в 2 т. – материалы. – Петрозаводск (6-12 окт. 2003). – Санкт-Петербург, 2003. – Т. 2. – С. 196–197.

7. Быховская-Павловская, И. Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению / И. Е. Быховская-Павловская. – Ленинград: Наука, 1985. –121 с.

8. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР / под ред. О. К. Бауера, С. С. Шульмана: в 3 т. – Ленинград, 1984. – Т. 3. –588 с.

REFERENCES

1. *Osvoenie obshchikh dopustimyykh ulovov i kvot* [Mastering General Allowable Catches and Quotas]. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu, available at: <http://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/organizatsiya-rybolovstva/osvoenie-obshchikh-dopustimyykh-ulovov-i-kvot> (Accessed 20 December 2019).

2. Tylik K. V. *Ryby transgranichnykh vodoyomov Rossii i Litvy* [Fishes of transboundary reservoirs of Russia and Lithuania]. Kaliningrad, Izd-vo FGOU VPO «Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet», 2007, 100 p.

3. Starovoytov V. K. Raspredelenie *Ancyrocephalus paradoxus* (Monogenea, Ancyrocephalidae) na zhabrakh sudaka [Distribution of *Ancyrocephalus paradoxus* (Monogenea, Ancyrocephalidae) on zander gills]. *Parazitologiya*, 1989, vol. 23, iss. 1, pp. 40-47.

4. Pashkyavichyute A. S. Struktura parazitotsenoza leshcha zaliva Kurshyu mares v 1976-1978 gg. [The structure of the Curonian lagoon bream parasitocenosis in 1976-1978]. *Trudy akademii nauk Lit. SSR: Sb. nauch. tr.*, 1981, no. 2 (74), pp. 127-134.

5. Rautskis E. *Parazity ryb vodoyomov Litvy* [Parasites fish reservoirs Lithuania]. Vil'nyus, Moksklas, 1988, 205 p.

6. Shuhgalter O. A., Eliseev A. A. O zarazhennosti muskulatury ryb Kurshskogo zaliva (yugo-vostochnaya chast' Baltiyskogo morya) [Infestation of fish musculature in the Curonian lagoon (South-Eastern part of the Baltic sea)]. *Problemy sovremennoy parazitologii: materialy konferentsii i III s'ezda Parazitologicheskogo obshchestva pri RAN, Petrozavodsk, 6-12 oktyabrya 2003* [Issues of modern parasitology: proceedings of the conference and III congress of the Parasitological Society of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 6-12 October 2003]. Saint-Petersburg, 2003, no. 2, pp. 196-197.

7. Bykhovskaya-Pavlovskaya I. E. *Parazity ryb* [Parasites of fish]. Leningrad, Nauka, 1985, 121 p.

8. *Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb fauny SSSR* [Determinant of parasites of freshwater fish fauna of the USSR]. Pod red. O. K. Bauera, S. S. Shul'mana. Leningrad, 1984, vol. 3, 588 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мальцева Ирина Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Ихтиопатология и гидробиология»;

E-mail: irina.maltseva@klgtu.ru

Maltseva Irina Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; PhD student of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology;

E-mail: irina.maltseva@klgtu.ru

Авдеева Елена Витальевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, профессор кафедры «Ихтиопатология и гидробиология»;
E-mail: elena.avdeeva@klgtu.ru,
elavd@mail.ru

Avdeeva Elena Vitalievna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences, Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: elena.avdeeva@klgtu.ru, elavd@mail.ru

УДК 639.2.081.1; 639.3; 536.4

К ТЕОРИИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ УСТАНОВОК
ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

А. А. Недоступ, А. О. Ражев, Е. И. Хрусталева, О. М. Бедарева

REVISITING THE THEORY OF THERMODYNAMIC SIMILARITY OF
RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS FOR GROWING AQUATIC
ORGANISMS

A. A. Nedostup, A. O. Razhev, E. I. Khrustalyov, O. M. Bedareva

Использование установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) требует схожести в них условия выращивания, приближенные к обстановке в естественном ареале обитания гидробионтов, в том числе и температурный режим. Применение для расчета поля температуры имитационного и физического моделирования позволит оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ, повысить производительность и сократить расходы. Основной задачей термодинамического подобия установок замкнутого водоснабжения является определение силовых и объемных параметров элементов их конструкции, имеющих различные технические характеристики, что существенно усложняет теоретический анализ при проектировании УЗВ. Важная составляющая термодинамического подобия заключается в сохранении у модели, выполненной в отличных от натуры размерах, физической природы явлений оригинала. В термодинамических задачах требуется обеспечить совпадение механических и тепловых процессов. Следует привести такие зависимые от размерных признаков объекта термодинамические величины, как температура, теплота, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, плотность теплового потока и другие, к их независимому безразмерному виду. При проектировании УЗВ масштабов физических характеристик гидродинамических процессов, протекающих в УЗВ при динамическом подобии, недостаточно, так как они не учитывают термодинамические процессы, протекающие в УЗВ. В статье авторами предлагаются дополнительные масштабы подобия для термодинамических характеристик, приводятся методы их вычисления и графики зависимостей от геометрического масштаба C_l . Однако необходимо понимать, что достижение полного подобия принципиально невозможно, сколь бы ни был велик перечень критериев подобия. Зная масштаб C_l , возможно определить масштабный эффект.

термодинамическое подобие, установка замкнутого водоснабжения, УЗВ

The use of recirculating aquaculture systems (RAS) requires that they observe growing conditions close to the natural habitat of hydrobionts, including the temperature regime. The use of simulation and physical modeling for the calculation of the temperature field will allow optimization of technological processes, increase the productivity of RAS basins, increase productivity and reduce costs. The main task of the

thermodynamic similarity of recirculating aquaculture systems is to determine the power and volumetric parameters of their structural elements having different technical characteristics, which significantly complicates theoretical analysis in the design of RAS. An important component of thermodynamic similarity is preservation of the physical nature of the original phenomena in a model, executed in dimensions other than nature. In thermodynamic problems, it is required to ensure the coincidence of mechanical and thermal processes. It is necessary to characterize the interaction of the object and the medium with dimensionless quantities that would not depend on the absolute size of the object, temperature, its speed, density of the medium, viscosity of the liquid and other dimensional quantities. When designing RAS, the scale of the physical characteristics of the hydrodynamic processes occurring in the recirculating aquaculture system with dynamic similarity is not enough, as they do not take into account the thermodynamic processes occurring in the recirculating aquaculture system. In the article, the authors propose additional similarity scales for thermodynamic characteristic, give methods for their calculation and graphs of their dependences on the geometric scale C_l . It should be borne in mind that no matter how complete the list of similarity criteria is, ensuring complete similarity is fundamentally impossible, just as it is impossible to study any phenomena or processes in their entirety. Knowing the scale of C_l , it is possible to determine the scale effect.

thermodynamic similarity, recirculating aquaculture system, RAS

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно рыбоводные фермы по всему миру производят около 50 млн т рыбы. Уменьшение объемов добычи её в открытом море заставляет хозяйства переходить на более технологичные методы разведения, которые должны повысить производительность и сократить расходы [1]. Использование установок замкнутого водоснабжения требует соблюдения в них условия выращивания, приближенные к обстановке в естественном ареале обитания гидробионтов, в том числе и температурный режим. Применение для расчета поля температуры имитационного и физического моделирования позволит оптимизировать технологические процессы, увеличить продуктивность бассейнов УЗВ, повысить производительность и сократить расходы. УЗВ – это механизмы, состоящие из теплообменника, насоса, ультрафиолетовой лампы и других подсистем, которые имеют различные технические характеристики (см. рис. 1) [2]. Данный фактор существенно усложняет теоретический анализ при проектировании установок замкнутого водоснабжения, и их расчет становится невозможным. Применение УЗВ (рециркуляции воды) имеет большое значение для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. Установки замкнутого водоснабжения относятся непосредственно к рыбоводству, в том числе к техническим системам аквакультуры, поскольку хорошо приспособлены для выращивания гидробионтов. В процессе кормления в воде падает содержание кислорода, что частично компенсируется пассивным насыщением им из воздуха на поверхности воды, а частично активным процессом – оксигенацией. Выдыхаемый гидробионтами CO_2 , взаимодействуя с водой, уменьшает показатель рН, увеличивая ее кислотность. Для регулирования показателя рН в УЗВ применяется аэрация, а концентрации азота в воде – частичное ее обновление посредством замкнутой системы циркуляции, которая мо-

жет быть с биологической очисткой воды и без ее биологической очистки. Последняя менее эффективная (до 80 %), но и менее дорогая в эксплуатации. Первая же позволяет достичь 99 %-ной очистки.

Эксплуатация современных установок замкнутого водоснабжения невозможна без энергозатрат. Количество потребляемой УЗВ энергии зависит как от ее производительности, так и вида выращиваемой рыбы, определяющих, в свою очередь, необходимые полезный объем и плотность посадки. В среднем суммарная энергия (тепловая и электрическая) составляет около 7 кВт·ч при плотности посадки 20-60 кг/м³ и полезном объеме 900 м³. На рис. 1 изображены основные подсистемы установки замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов: бассейн; механические фильтры; оборудование или технология для денитрификации; биофильтры; насосы; обеззараживание; подогрев воды; оксигенатор.

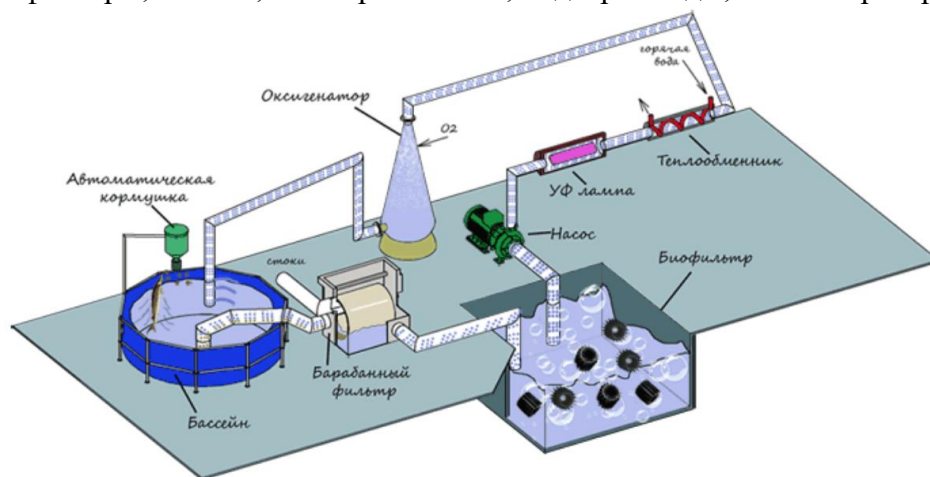


Рис. 1. Установка замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов
Fig. 1. Recirculating aquaculture system for cultivation of aquatic organisms

Все указанные подсистемы крайне важны для нормальной работы УЗВ. Термодинамическое подобие как метод исследования проблем потребления воды, энергии, кислорода позволяет подобрать необходимые параметры установки замкнутого водоснабжения. Условием задачи определения термодинамического подобия применительно к модели УЗВ является сохранение физической природы явлений натурной установки замкнутого водоснабжения для основных ее подсистем, показанных на рис. 1, выполненных в отличных от натуральных размерах.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной задачей термодинамического подобия установок замкнутого водоснабжения для выращивания гидробионтов является определение таких параметров УЗВ, как давление, температура и объем воды, размеры бассейнов, характеристики силовой установки [1]. Теория физического моделирования динамических процессов в данном случае имеет большое значение [3,4]. Необходимо, чтобы параметры модели установки замкнутого водоснабжения были геометрически подобны габаритам натурной УЗВ, применяемой в рыбоводстве. Однако модель обычно имеет отличные от натурального объекта размеры. В табл. 1 приведены основные масштабы физических характеристик гидродинамических процессов, протекающих с орудиями рыболовства при динамическом подобии.

Таблица 1. Основные масштабы физических характеристик гидродинамических процессов, протекающих с орудиями рыболовства при динамическом подобии
 Table 1. The main scale of the physical characteristics of hydrodynamic processes occurring with fishing gear with dynamic similarity

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Геометрический параметр (длина, высота, ширина и др.)	C_l	C_l
Геометрический параметр (площадь)	C_F	C_l^2
Геометрический параметр (объем)	C_V	C_l^3
Масса	C_m	C_l^3
Время	C_t	$C_l^{5/4}$
Скорость	C_v	$C_l^{-1/4}$
Сила	C_R	$C_l^{3/2}$
Ускорение	C_w	$C_l^{-3/2}$
Объемный вес	C_γ	$C_l^{-3/2}$
Момент	$C_{Mб}$	$C_l^{5/2}$
Плотность	C_ρ	1
Динамическая вязкость воды	C_μ	$C_l^{3/4}$
Кинематическая вязкость воды	C_ν	$C_l^{3/4}$
Давление	C_p	$C_l^{-1/2}$
Частота оборотов	$C_{об}$	$C_l^{-5/4}$
Касательное напряжение	C_σ	$C_l^{-1/2}$
Потенциальная энергия	C_{Un}	$C_l^{5/2}$
Кинематическая энергия	C_{Tn}	$C_l^{5/2}$
Поверхностное натяжение	$C_{\sigma n}$	$C_l^{1/2}$
Мощность	C_N	$C_l^{5/4}$
Угол	$C_{\alpha\beta}$	1

При проектировании установки замкнутого водоснабжения данных масштабов недостаточно, так как они не учитывают тепловые и другие процессы, протекающие в УЗВ. Возникает необходимость получить их.

МЕТОДЫ

Рассмотрим классификацию термодинамических величин [5] (см. рис. 2) и размерности основных физических характеристик термодинамики (см. табл. 2).

Найдем критерии термодинамического подобия.

Выразим масштаб количества теплоты или энтальпии, или термодинамического потенциала L^2MT^2 через масштаб C_l

$$C_H = C_Q = C_l^2 C_l^3 C_l^{-10/4} = C_l^5. \quad (1)$$

Это справедливо, так как $C_{Un}=C_{Tn}=C_\sigma=C_A=C_Q$, где C_A – масштаб работы; C_Q – масштаб количества теплоты.



Рис. 2. Классификация термодинамических величин
 Fig. 2. Classification of thermodynamic quantities

Таблица 2. Размерности основных величин термодинамики
 Table 2. Dimensions of the main quantities of thermodynamics

Наименование величины	Размерность
<i>I</i>	<i>2</i>
Количество теплоты (энтальпия), термодинамический потенциал, энергия, теплота фазового превращения, теплота сгорания топлива	L^2MT^2
Удельное количество теплоты, удельный термодинамический потенциал, удельная теплота химической реакции	L^2T^2
Тепловой поток	L^2MT^3
Поверхностная плотность теплового потока, излучательная способность	MT^3
Объемная плотность теплового потока	$L^{-1}MT^3$
Температуропроводность	L^2T^{-1}
Удельный расход топлива	$L^{-2}T^2$
Температура	K
Температурный коэффициент	K^{-1}
Температурный градиент	$L^{-1}K$

Окончание табл. 2

1	2
Теплоемкость системы, энтропия системы	$L^2MT^{-2}K^{-1}$
Удельная теплоемкость, удельная энтропия, удельная газовая постоянная	$L^2T^{-2}K^{-1}$
Объемная теплоемкость	$L^{-1}MT^{-2}K^{-1}$
Коэффициент лучеиспускания	$MT^{-3}K^{-4}$
Коэффициент теплообмена (теплоотдачи), коэффициент теплопередачи	$MT^{-3}K^{-1}$
Теплопроводность	$LMT^{-3}K^{-1}$
Молярная внутренняя энергия, молярная энтальпия, химический потенциал, химическое сродство	$L^2MT^{-2}N^{-1}$
Удельная молярная энтальпия	$L^2T^{-2}N^{-1}$
Молярная теплоемкость, молярная энтропия	$L^2MT^{-2}K^{-1}N^{-1}$

Примечание. K – кельвин; N – количество вещества, моль.

Масштаб удельного количества теплоты

$$C_h = C_l^2 C_l^{-\frac{10}{4}} = C_l^{-\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Соответственно, тепловой поток в масштабном виде

$$C_{\Pi} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{\frac{5}{4}}. \quad (3)$$

Масштаб поверхностной плотности теплового потока

$$C_q = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{3}{4}}. \quad (4)$$

Выразим масштаб температуропроводности L^2T^{-1} через масштаб C_l :

$$C_{\alpha} = C_l^2 C_l^{-\frac{5}{4}} = C_l^{\frac{3}{4}}. \quad (5)$$

Масштаб объемной плотности теплового потока

$$C_{qv} = C_l^{-1} C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} = C_l^{-\frac{7}{4}}. \quad (6)$$

Удельный расход топлива в масштабном виде

$$C_{qfu} = C_l^{-2} C_l^{\frac{10}{4}} = C_l^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Рассмотрим формулу расчёта удельной теплоёмкости [6 – 8]:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}, \quad (8)$$

где c – удельная теплоёмкость; Q – количество теплоты, полученное веществом при нагреве (или выделившееся при охлаждении); m – масса нагреваемого (охлаждающегося) вещества; ΔT – разность конечной и начальной температур вещества.

Запишем выражение (8) в масштабном виде

$$C_c = \frac{C_Q}{C_m C_K} = \frac{1}{C_l^{\frac{1}{2}} C_K}, \quad (9)$$

где C_c – масштаб удельной теплоёмкости и энтропии системы; C_K – масштаб разности конечной и начальной температур вещества.

Представим выражение (9) в виде

$$C_c C_K = C_l^{-\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Рассмотрим формулу расчёта полной мощности тепловых потерь [6-8]:

$$P = -\chi \frac{S \Delta T}{l}, \quad (11)$$

где P – полная мощность тепловых потерь; χ – коэффициент теплопроводности (удельная теплопроводность); S – площадь сечения параллелепипеда; ΔT – перепад температур граней; l – длина параллелепипеда, т. е. расстояние между гранями.

Запишем выражение (11) в масштабном виде

$$C_{qv} = C_\chi C_l C_K, \quad (12)$$

где C_χ – масштаб коэффициентов теплопроводности (удельной теплопроводности), который равен масштабу теплопроводности.

Представим выражение (12) в виде

$$C_\chi C_K = C_l^{-\frac{1}{4}}. \quad (13)$$

А из выражения для определения температуропроводности

$$\alpha = \frac{\chi}{c\rho}, \quad (14)$$

где ρ – плотность, получим масштаб температуропроводности в соответствии с выражением (9)

$$\frac{C_\chi C_K}{C_\rho} = C_l^{-\frac{1}{4}}, \quad (15)$$

и тогда с учетом (13) масштаб плотности $C_\rho=1$, что справедливо (см. табл.1).

Выражение (15) представим в виде

$$C_\chi C_K = C_l^{-\frac{1}{4}}. \quad (16)$$

Если рассмотреть неравновесную термодинамику – раздел термодинамики, изучающий системы вне состояния термодинамического равновесия и необратимые процессы, то термодинамическая сила является разницей температур в скалярном виде $T_1 - T_2 = \Delta T$ (термодинамические силы порождают термодинамические потоки, как градиент температуры порождает поток теплоты). Тогда масштаб температуры представим в виде

$$C_K = C_R = C_l^{-\frac{3}{2}}. \quad (17)$$

Масштаб коэффициента теплопроводности (удельной теплопроводности) в соответствии с (16)

$$C_\chi = C_l^{-\frac{1}{4}} C_l^{-\frac{3}{2}} = C_l^{-\frac{5}{4}}. \quad (18)$$

Масштаб удельной теплоёмкости из (9)

$$C_c = \frac{1}{C_l^{-\frac{1}{2}} C_l^{-\frac{3}{2}}} = C_l^{-2}, \quad (19)$$

Масштаб температуропроводности из (14)

$$C_{\alpha} = \frac{C_{\lambda}}{C_c C_{\rho}} = C_l^{-\frac{5}{4}} C_l^2 = C_l^{\frac{3}{4}}, \quad (20)$$

так как $C_{\rho}=1$.

Масштаб температурного коэффициента (см. табл. 2)

$$C_{\alpha\gamma} = \frac{1}{C_K} = C_l^{-\frac{3}{2}}. \quad (21)$$

Масштаб температурного градиента (см. табл. 2)

$$C_{gradK} = \frac{C_K}{C_l} = C_l^{\frac{3}{4}} C_l^{-1} = C_l^{-\frac{1}{4}}. \quad (22)$$

На основании размерности (см. табл. 2) теплоемкости системы или энтропии системы получим их масштаб из выражения

$$C = \frac{\delta Q}{dT}. \quad (23)$$

Теплоёмкость – физическая величина, определяемая как отношение количества теплоты δQ , поглощаемой/выделяемой термодинамической системой при бесконечно малом изменении её температуры T , к величине этого изменения dT :

$$C_C = \frac{C_Q}{C_K} = \frac{C_l^{\frac{5}{2}}}{C_l^{\frac{3}{2}}} = C_l. \quad (24)$$

Объемная теплоемкость

$$c' = \frac{C}{V}. \quad (25)$$

Масштаб объемной теплоемкости (см. табл. 2)

$$C_{c'} = C_l C_l^{-3} = C_l^{-2}. \quad (26)$$

Масштаб коэффициента лучеиспускания (см. табл. 2)

$$C_{Ck} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} C_l^{-\frac{12}{2}} = C_l^{-\frac{27}{4}}. \quad (27)$$

Коэффициент теплообмена (теплоотдачи), коэффициент теплопередачи определяются по выражению [6-8]

$$C_{\alpha} = \frac{Q}{F \Delta T}, \quad (28)$$

где F – поверхность теплообмена, m^2 , тогда масштаб коэффициента теплообмена (теплоотдачи) и коэффициента теплопередачи определяется как

$$C_{C\alpha} = \frac{C_Q}{C_F C_K} = C_l^{\frac{5}{4}} C_l^{-2} C_l^{-\frac{3}{2}} = C_l^{-\frac{9}{4}}, \quad (29)$$

На основании размерностей (см. табл. 2) также можно получить масштаб коэффициента теплообмена (теплоотдачи) и коэффициента теплопередачи:

$$C_{C\alpha} = C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} C_l^{-\frac{3}{2}} = C_l^{-\frac{9}{4}}. \quad (30)$$

Теплопроводность характеризуется значением коэффициента теплопроводности (удельной теплопроводности) (18), и на основании табл. 2

$$C_x = C_l C_l^3 C_l^{-\frac{15}{4}} C_l^{-\frac{3}{2}} = C_l^{-\frac{5}{4}}.$$

Для определения масштабов молярной внутренней энергии, молярной энтальпии, химического потенциала, химического сродства, а также масштаба дельной молярной энтальпии и масштаба молярной теплоемкости, молярной энтропии найдем соотношения масштабов из уравнения состояния идеального газа Клапейрона и уравнения Клапейрона – Менделеева.

Уравнение состояния идеального газа Клапейрона при постоянстве массы [6-8]

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = const, \quad (31)$$

где p_1, p_2 – давление; V_1, V_2 – объем; T_1, T_2 – температура.

В масштабном виде уравнение (31) представим в виде

$$\frac{C_p C_V}{C_K} = \frac{C_l^{-\frac{1}{2}} C_l^3}{C_l^{\frac{3}{2}}} = C_l. \quad (32)$$

Уравнение Клапейрона – Менделеева [9]

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R, \quad (33)$$

где m – масса; V_1, V_2 – объем; M – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная, зависящая от природы газа; количество вещества

$$\nu = \frac{m}{M}. \quad (34)$$

В масштабном виде уравнение (33) представим в виде

$$\frac{C_p C_V}{C_K} = \frac{C_l^{-\frac{1}{2}} C_l^3}{C_l^{\frac{3}{2}}} = \frac{C_l^3}{C_M} C_k, \quad (35)$$

где C_M – масштаб молярной массы; C_k – масштаб универсальной газовой постоянной, причем $C_k \neq 1$ при $C_l \neq 1$.

Преобразуем выражение (35) в вид

$$C_l^{-2} = \frac{C_k}{C_M}. \quad (36)$$

Уравнение Клапейрона – Менделеева (33) перепишем в виде

$$p = \rho RT, \quad (37)$$

тогда в масштабном виде

$$C_k = C_l^{-2}. \quad (38)$$

Из (36) и (38) видно, что масштаб молярной массы

$$C_M = 1. \quad (39)$$

Из (34) определим масштаб количество вещества

$$C_\nu = C_l^3. \quad (40)$$

Таким образом, справедлива формула, объединяющая основные расчёты с количеством вещества [6-9]:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} = \frac{V}{V_m}, \quad (41)$$

где N – число частиц вещества; N_A – постоянная Авогадро; V_m – молярный объем.

При (39) и (40) величины в (41) представим в масштабном виде

$$C_v = C_N = C_l^3, \quad (42)$$

$$C_M = C_{N_A} = C_{V_m} = 1. \quad (43)$$

Тогда масштаб молярной внутренней энергии, молярной энтальпии, химического потенциала, химического сродства $L^2MT^2N^{-1}$

$$C_{U_m} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} C_l^{-3} = C_l^{-\frac{1}{2}}, \quad (44)$$

масштаб удельной молярной энтальпии

$$C_i = C_l^2 C_l^{-\frac{10}{4}} C_l^{-3} = C_l^{-4}, \quad (45)$$

масштаб молярной теплоемкости, молярной энтропии

$$C_{C_m} = C_l^2 C_l^3 C_l^{-\frac{10}{4}} C_l^{-\frac{3}{2}} C_l^{-3} = C_l^{-2}. \quad (46)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом масштабов термодинамики (1) – (46) отобразим основные масштабы физических характеристик термодинамического подобия в табл. 3.

Таблица 3. Основные масштабы физических характеристик термодинамического подобия

Table 3. The main scale of the physical characteristics of the thermodynamic similarity

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
l	2	3
Количество теплоты	C_Q	$C_l^{5/2}$
Удельное количество теплоты	C_h	$C_l^{-1/2}$
Тепловой поток	C_{Π}	$C_l^{5/4}$
Поверхностная плотность теплового потока	C_q	$C_l^{-3/4}$
Температуропроводность	C_a	$C_l^{3/4}$
Объемная плотность теплового потока	C_{qv}	$C_l^{-7/4}$
Удельный расход топлива	C_{qfu}	$C_l^{1/2}$
Масштаб разности конечной и начальной температур	C_K	$C_l^{3/2}$
Удельная теплопроводность	C_γ	$C_l^{-5/4}$
Удельная теплоёмкость	C_c	C_l^{-2}
Температурный коэффициент	$C_{\alpha\gamma}$	$C_l^{-3/2}$
Температурный градиент	C_{gradK}	$C_l^{-1/4}$

Окончание табл. 3

1	2	3
Теплоёмкость	C_C	C_l
Объемная теплоемкость	$C_{c'}$	C_l^{-2}
Коэффициент лучеиспускания	C_{Ck}	$C_l^{-27/4}$
Коэффициент теплообмена	C_{Ca}	$C_l^{-9/4}$
Универсальная газовая постоянная	C_k	C_l^{-2}
Молярная масса	C_M	1
Количество вещества	C_v	C_l^3
Молярная внутренняя энергия	C_{Um}	$C_l^{-1/2}$
Удельная молярная энтальпия	C_i	C_l^{-4}
Молярная теплоемкость	C_{Cm}	C_l^{-2}

На графиках рис. 3 и 4 покажем зависимости $C_Q=f(C_l)$ и $C_{II}=f(C_l)$.

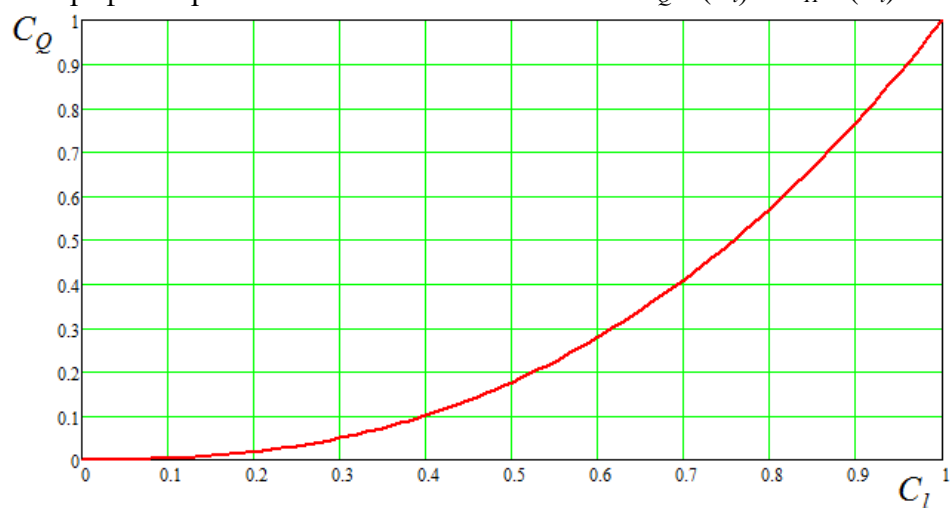


Рис. 3. График зависимости $C_Q=f(C_l)$

Fig. 3. Dependence graph $C_Q=f(C_l)$

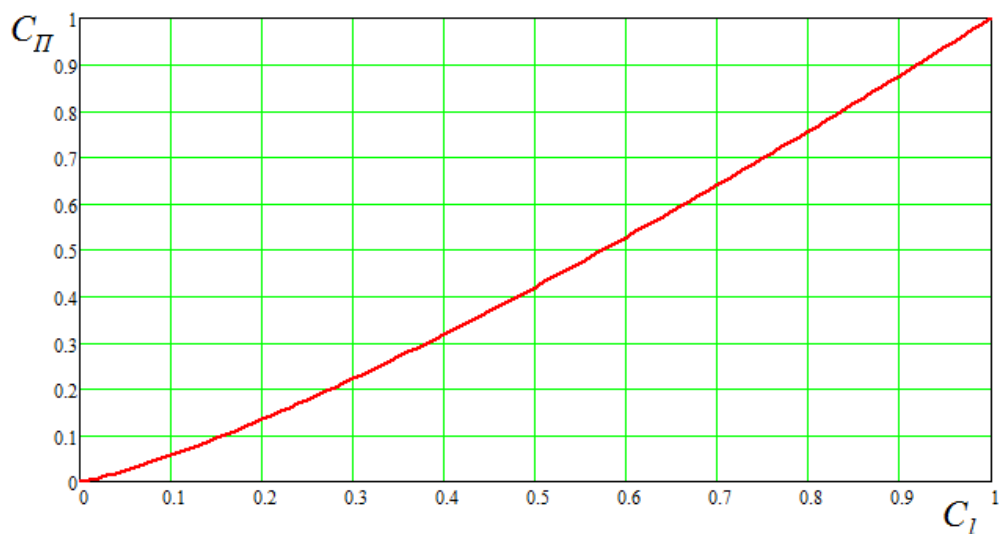


Рис. 4. График зависимости $C_{II}=f(C_l)$

Fig. 4. Dependence graph $C_{II}=f(C_l)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В термодинамических задачах требуется обеспечить совпадение механических и тепловых процессов. Следует привести такие зависимые от размерных признаков объекта термодинамические величины, как температура, теплота, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, плотность теплового потока и другие, к их независимому безразмерному виду. При проектировании установки замкнутого водоснабжения масштабов физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических и трибологических процессов, протекающих с орудиями рыболовства при динамическом подобии, недостаточно, так как они не учитывают термодинамические процессы, протекающие в УЗВ. В статье авторами предлагаются дополнительные масштабы подобия для термодинамических характеристик, приводятся методы их вычисления и графики зависимостей от геометрического масштаба C_l .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы индустриальной аквакультуры: учебник / Е. И. Хрусталева, К. Б. Хайновский, О. Е. Гончаренок [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Лань-Пресс, 2019. – 280 с.
2. Разведение рыбы в УЗВ. [Электронный ресурс]. – URL: http://fish-agro.ru/fish-agro/what_about/337-razvedenie-ryby-v-uzv.html (дата обращения: 02.12.2019).
3. Недоступ, А. А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства / А. А. Недоступ // Вестник Томского государственного университета. Сер. Математика и механика. – Томск. – №. 3 (19). – 2012. – С. 55-67.
4. Недоступ, А. А. Критерии и масштабы динамического подобия физических процессов рыболовства / А. А. Недоступ // Известия КГТУ. – № 28. – 2013. – С. 227-235.
5. Термодинамика // Википедия. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0> (дата обращения: 02.12.2019).
6. Кириченко, П. А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика: учеб. пособие / П. А. Кириченко. – 3-е изд. – Москва: Физматкнига, 2005. – 176 с.
7. Основные принципы и понятия термодинамики. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.hvac-school.ru/upload/files/folder_48/physical-units.htm (дата обращения: 02.12.2019).
8. Базаров, И. П. Термодинамика: учебник / И. П. Базаров. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 384 с.
9. Haynie, Donald, T. (2001). Biological Thermodynamics. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-79549-4. OCLC 43993556.

REFERENCES

1. Khrustalev E. I., KHaynovskiy K. B., Goncharenok O. E., Molchanova K. A. *Osnovy industrial'noy akvakul'tury: uchebnik* [Fundamentals of industrial aquaculture: textbook]. SPb, Lan'-Press, 2019, vol. 2, 280 p.
2. *Razvedenie ryby v UZV* [Fish breeding in RAS], available at: http://fish-agro.ru/fish-agro/what_about/337-razvedenie-ryby-v-uzv.html (Accessed 03 December 2019).
3. Nedostup A. A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniya orudiy rybolovstva [Physical modeling of the hydrodynamic processes of the movement of fishing tools]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*. 2012, no. 3 (19), pp. 55-67.
4. Nedostup A. A. Kriterii i masshtaby dinamicheskogo podobiya fizicheskikh protsessov rybolovstva [Criteria and extent of dynamic similarity of the physical processes of fishing]. *Izvestiya KGTU*, 2013, no. 28, pp. 227-235.
5. Termodinamika [Thermodynamics]. *Vikipediya*, available at: <https://ru.wikipedia.org> (Accessed 03 December 2019).
6. Kirichenko P. A. *Termodinamika, statisticheskaya i molekulyarnaya fizika: uchebnoe posobie* [Thermodynamics, statistical and molecular physics: textbook]. Moscow, Fizmatkniga, 2005, vol. 3, 176 p.
7. *Osnovnye printsipy i ponyatiya termodinamiki* [Basic principles and concepts of thermodynamics], available at: https://www.hvac-school.ru/upload/files/folder_48/physical-units.htm (Accessed 03 December 2019).
8. Bazarov I. P. *Termodinamika: uchebnik* [Thermodynamics: textbook]. Saint-Petersburg, Lan', 2010, vol. 5, 384 p.
9. Haynie, Donald, T. (2001). *Biological Thermodynamics*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-79549-4. OCLC 43993556.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Ражев Алексей Олегович – Калининградский государственный технический университет; младший научный сотрудник; E-mail: progacpp@live.ru

Razhev Alexey Olegovich – Kaliningrad State Technical University; Junior Researcher; E-mail: progacpp@live.ru

Хрусталеv Евгений Иванович – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент;
E-mail: chrustaqua@rambler.ru

Khrustalyov Evgeniy Ivanovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: chrustaqua@rambler.ru

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

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

УДК 631.524.85

ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР
КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

С. И. Новикова, О. М. Бедарева, Г. В. Горшнина, Т. Н. Троян

ASSESSMENT OF VIABILITY AND STABILITY OF WINTER CROPS
BY CONDUCTOMETRIC METHOD

S. I. Novikova, O. M. Bedareva, G. V. Gorshinina, T. N. Troyan

Проанализирована возможность использования кондуктометрического метода для оценки зимостойкости озимых культур (озимая пшеница, озимый рапс). Величина относительной электропроводности показывает степень повреждения клеток и может служить критерием определения состояния и жизнеспособности озимых. Она определяется в любую фазу развития как соотношение величины выхода электролита до кипячения к его выходу после кипячения и выражается в процентах. Высокая удельная электропроводность является свидетельством отмирания тканей растений, электролиты покидают отмершие клетки. Показана зависимость величины выхода электролитов из высечек узлов кушения озимой пшеницы, озимого рапса и корневых шеек озимого рапса с целью прогнозирования их перезимовки. Судить о сохранности озимой пшеницы можно по фактически накопленному в растениях количеству сахаров и данным расчета возможного уровня переносимых ею отрицательных температур, исходя из того, что накопление в растениях 1,0% сахаров (на абсолютно сухое вещество) позволяет выдержать 1°C заморозков. Согласно многолетним исследованиям ЦАС «Калининградский», наличие снежного покрова более 10 см без переувлажнения почвы, отсутствие чередования оттепелей и заморозков при содержании сахаров в узлах кушения 20-25%, в листьях 17-18% определяют благополучную перезимовку озимой пшеницы. По результатам обследования 67% от изученных образцов озимой пшеницы характеризовались высоким содержанием сахаров в узлах кушения и могли выдержать температуру воздуха минус 31°C, а 33% растений – минус 20° С. Сев озимого рапса проходит в условиях повышенного температурного режима и недостатка влаги. Озимая пшеница в отдельные периоды развития также испытывала недостаток влаги (сентябрь, октябрь, май, июнь, июль).

Triticum durum L. (озимая пшеница), *Brassica napus oleifera* Metzг (озимый рапс), удельная электропроводность, электролиты, содержание сахаров, заморозки

The possibility of using the conductometric method to assess the winter hardiness of winter crops (winter wheat, winter rape) has been analyzed. The value of relative electrical conductivity shows the degree of cell damage and can serve as a criterion for the condition and viability of winter crops. It is defined in any phase of development

as the ratio of the electrolyte output before boiling to its output after boiling and is expressed as a percentage. High electrical conductivity bears evidence of dying plant tissues, electrolytes leave dead cells. The dependence of the electrolyte yield from the die-cut tillering nodes of winter wheat and winter rapeseed and the root necks of winter rapeseed is shown in order to predict their overwintering. Prediction of the preservation of winter wheat is possible by the fact of accumulation in quantities of sugars and the calculation of a possible tolerance level at which negative temperature indicators can be obtained from the following data: the accumulation of 1.0% sugar in plants (on absolutely dry matter) allows 1 ° C of frosts to be transferred. According to the long-term studies of the Kaliningrad CAS, the presence of snow cover of more than 10 cm without waterlogging of the soil, the absence of alternating thaws and frosts with sugar content in tillering nodes - 20-25%, in leaves - 17-18% determines successful wintering of winter wheat. According to the results, 67% of the examined samples of winter wheat were characterized by a high sugar content in tillering nodes and under the same weather conditions that are listed above for winter rape, they could withstand the air temperature of -31 ° C, and 33% of plants minus 20 ° C. Sowing of winter rape passes under conditions of high temperature and lack of moisture. Winter wheat during certain periods of development also lacked moisture (September, October, May, June, July).

Triticum durum L (winter wheat), Brassica napus oleifera Metzg (winter rape), electrical conductivity, electrolytes, sugar content, frost

ВВЕДЕНИЕ

В условиях региона при грамотном размещении и хорошей агротехнике озимые зерновые дают высокие и устойчивые урожаи. Судьба будущего урожая во многом зависит от состояния культуры в наиболее ответственный, отличающийся неблагоприятными погодными условиями осенне-зимний период. В Калининградской области для поздней поры характерны переувлажнение почвы, пасмурная погода с небольшими суточными колебаниями температуры, зимой – отсутствие снежного покрова, чередование оттепелей и заморозков. Озимые часто уходят в зиму плохо подготовленными, с небольшим запасом сахаров, что снижает их устойчивость к неблагоприятным условиям зимовки (вымерзанию, выпреванию, вымоканию, повреждению ледяной коркой и микологическими инфекциями). Особенно подвержены риску гибели от низких температур озимые позднего срока сева и переросшие посевы. В связи с вышесказанным оценка жизнеспособности озимых культур и прогноз их перезимовки весьма актуальны.

Цель статьи: выявить жизнеспособность озимых культур (рапса и пшеницы) по величине относительной электропроводности для прогноза их перезимовки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Озимая пшеница относится к отделу *Angiospermae*, классу *Monocotyledones*, подклассу *Liliidae*, порядку *Poales*, семейству *Poaceae*, роду *Triticum*, виду *Triticum durum L*. Это однолетнее самоопыляющееся злаковое растение. Стебель – полая соломина, дифференцированная на узлы и междоузлия (5-7 узлов). Лист простой, двурядно расположенный, состоит из листовой пластинки и влагалища, на границе которых находится вырост – лигула, препятствующий проникновению бактерий. Озимая пшеница относится к корневищным

злакам с узлом кущения, расположенным под землёй, корневая система мочковатая. Соцветие пшеницы – колос, плод – зерновка. Продолжительность вегетации составляет до 150 дней, от посева до уборки проходит 358 дней [1, 2]. За вегетационный период у пшеницы отмечены несколько фаз развития и роста: прорастание – всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение и созревание, включающее молочную, восковую и полную спелость.

Рапс (*Brassica napus oleifera* Metzg) относится к однолетним растениям семейства капустных (*Brassicaceae*). Представлен двумя формами: озимый рапс (*bienis*) и яровой рапс (*B. annua*). Имеет стержневой, веретеновидный корень, который проникает в почву на глубину 160 – 180 см и более. Основная часть корней находится на глубине 25-45 см. Такое строение корневой системы требует глубокой тщательной вспашки. В зонах с умеренными климатическими условиями выращивают озимую форму как более продуктивную. Стебель прямостоячий высотой от 90 до 140, иногда от 200 до 300 см, обычно имеет 5-10 ветвей первого порядка. Очень важным признаком, которым в значительной степени обусловлена зимостойкость рапса, является высота точки роста розетки. В зависимости от агротехники и сорта она достигает 5-6 см над уровнем почвы. Такие посевы плохо переносят зиму. Они сохраняются лучше, когда точка роста розетки находится на высоте 2-3 см. Различают прикорневые и стеблевые листья рапса.

Соцветие рапса рыхлое, кистевидное, состоящее из 20-40 цветков. Лепестки золотисто-желтые. Рапс – факультативный самоопылитель, иногда наблюдается перекрестное самоопыление (у 20-25% цветков). Плод – многосемянной стручок, в котором обычно содержится 10-25 семян. Семена округло-шаровидной формы. Окраска семян темно-коричневая, серовато-черная и черная. Масса 1000 семян – 3,5-4,5 г. Рапс – холодостойкая культура.

Метод определения жизнеспособности озимых культур по содержанию в них сахаров, а также метод монолитов, которые часто используются в практике, затратны по времени и трудоемки. Поэтому, наряду с определением запаса сахаров в растениях озимых культур, с 2010 г. в области на базе ЦАС «Калининградский» отработывается новый, ускоренный кондуктометрический метод прогнозирования жизнеспособности озимых по уровню электропроводности тканей узлов кущения у озимой пшеницы и озимого рапса. Этот метод позволяет быстро оценить состояние и жизнеспособность растений в любую фазу развития. Авторами разработана шкала оценки состояния озимых культур [3].

Электропроводность определяли в односантиметровых отрезках корневых шеек озимого рапса или узлов кущения озимой пшеницы: 0,5 г тканей растений заливали 50 мл дистиллированной воды и через четыре часа в вытяжке из растительных тканей определяли количество вышедших электролитов. Затем вытяжку с частями растений кипятили до полного выхода электролитов и рассчитывали относительную электропроводность.

Величина относительной электропроводности показывает степень повреждения клеток и может служить критерием состояния и жизнеспособности озимых [4]. Она определяется в любую фазу развития как соотношение величины выхода электролита до кипячения к его выходу после кипячения и выражается в процентах. Высокая удельная электропроводность является свидетельством отмирания тканей растений, электролиты покидают отмершие клетки. Измеряется удельная электропроводность в мксм/см на 1 см – мксм/см.

По установленной градации степень повреждения растений озимых культур оценивается следующим образом:

- относительная электропроводность до 10% – хорошее состояние, растения практически не повреждены (нарушается проницаемость клеточных стенок, из клеток в межтканевое пространство выходит незначительное количество электролитов) или отмечается незначительное повреждение листовых пластинок, возможно красновато-фиолетовое окрашивание листьев у озимой пшеницы. При возвращении заморозков весной в минус 7-8°C растения останутся живыми;

- 10,1-30% – среднее (удовлетворительное) состояние, растения имеют начальную стадию разрушения тканей и находятся в группе риска (клетки растений разрушены на 30%, что свидетельствует о неполной гибели растений, возможности отрастания отдельных побегов). При возвращении заморозков в минус 7-8° С растения могут погибнуть;

- более 30% – неудовлетворительное состояние, растения имеют сильное разрушение тканей, возможна их полная гибель. Поля подлежат пересеву.

Согласно проведенным наблюдениям, для оценки содержания сахаров в надземной части и корне растений озимого рапса можно использовать следующие ориентировочные критерии (табл. 1).

Таблица 1. Степень закалки и критерии оценки содержания сахаров в надземной части и корнях озимых культур

Table 1. The degree of hardening and criteria for assessing the sugar content of the aerial parts and roots of winter crops

Степень закалки	Содержание сахаров, % на абсолютно сухое вещество			
	озимый рапс		озимая пшеница	
	надземная часть растений	корни растений	надземная часть растений	корни растений
Низкая	До 20	До 25	До 18,0	До 20
Средняя	20-25	25-30	18-20	20-25
Высокая	Более 25	Более 30	Более 20	Более 25

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Теплые дождливые ноябрь и декабрь 2016 г. не способствовали накоплению сахаров в надземной части растений озимого рапса и озимой пшеницы (надземная часть и узлы кущения). Из девяти отобранных образцов озимого рапса 68,7% характеризовалось средним и высоким содержанием сахаров, 31,3% – низким.

Прогнозировать сохранность озимого рапса можно по фактически накопленному в растениях количеству сахаров и данным расчета возможного уровня переносимых им отрицательных температур, учитывая, что увеличение содержания сахаров в растениях на 1,2% повышает их устойчивость к заморозкам на 1°C.

По результатам исследования критерием вымерзания хорошо развитых растений озимого рапса (от 6-8 до десяти листьев в розетке) в регионе при чередовании оттепелей и морозов, без снега на почве или со снежным покровом менее 10 см является температура воздуха минус 14°C.

Согласно данным литературных источников вымерзание озимого рапса зимой без оттепелей наблюдается при следующих критериях:

- хорошо развитые растения озимого рапса с 6-8; 8-10 листьями на сухой почве без снега выдерживают морозы до минус 15-16°C;

- хорошо развитые растения озимого рапса с 6-8; 8-10 листьями при наличии снежного покрова 10 см выдерживают морозы до минус 22-25°C;

- слаборазвитые растения озимого рапса (2-4 листа в розетке) могут погибнуть при температуре воздуха до минус 10-12°C.

Весной гибель озимого рапса может наступить вследствие возврата морозов после возобновления весенней вегетации, когда растения истощены и потеряли закалку – при температуре воздуха до минус 6-8°C.

При отсутствии переувлажнения почвы, чередования оттепелей и заморозков, наличии снежного покрова высотой более 10 см 68,7% от обследованных растений смогут перенести температуру воздуха минус 22,0°C (в соответствии с накопленным количеством сахаров), 31,3% из обследованных растений – минус 14,0°C.

При переувлажнении почвы или чередовании оттепелей и заморозков при температуре воздуха минус 14,0°C могут погибнуть не только растения с низким содержанием сахаров, но и часть растений из двух других групп (табл. 2).

Таблица 2. Содержание сахаров в надземной части озимого рапса за период с 29 ноября по 22 декабря 2016 г.

Table 2. Sugar content in the aerial part of winter rape for the period from November 29 to December 22, 2016

Район	Количество образцов, шт.	Содержание сахаров, % на абсолютно сухое вещество		
		степень закали растений		
		низкая	средняя	высокая
Гурьевский	9-24,5	<u>15,6-20,0</u> 4-17,4	1-24,5	<u>30,4-32,9</u> 4-31,7
Неманский	5-23,6	1-16,2	-	<u>21,5-27,8</u> 4-25,5
Полесский	2-28,0	-	-	<u>25,5-30,4</u> 2-28,0
Итого	<u>15,6-32,9</u> 16-24,6	<u>15,6-20,0</u> 5-17,1	1-24,5	<u>21,5-32,9</u> 10-28,4

Прогнозировать сохранность растений озимой пшеницы можно по фактически накопленному в них количеству сахаров и данным расчета возможного уровня переносимых ею отрицательных температур, принимая во внимание, что накопление в растениях 1,0% сахаров (на абсолютно сухое вещество) позволяет перенести 1°C заморозков.

Какова же предельная, критическая температура в зависимости от погодных условий, при которой может наступить гибель озимых зерновых культур?

Согласно данным С. Н. Немцева и др. [1, 2, 5, 6], посевы озимых зерновых культур существенно повреждаются при уменьшении температуры почвы до критических значений на глубине залегания узла кущения в течение одного дня, особенно после оттепели, снижающей устойчивость растений к морозу на 2-3° С.

Если температура почвы уменьшается до указанных значений в течение двух-трёх дней, то озимые зерновые гибнут полностью.

В зависимости от фазы развития и степени закалки критическая температура в зоне узла кущения для озимой пшеницы составляет: в фазу полного кущения - 2-4 побега (при оптимальных сроках посева) – минус 15-18 °С, в фазу трех листьев - начало кущения – минус 14-16 °С, в фазу одного-двух листьев – минус 13-14 °С, в фазу наклонувшиеся семена - всходы – минус 14-15 °С (от минус 14 до минус 18°С).

Осень и начало зимы (декабрь 2015 г.) были теплыми, причем декабрь – аномально теплым (среднемесячная температура воздуха 4,5°С при норме минус 0,3°С). В январе наступило резкое похолодание: фактическая среднесуточная температура месяца составила минус 4,0°С при норме минус 1,5°С. С 3 по 8 января в области начались морозы. При полном бесснежье температура воздуха снизилась до критических для озимого рапса значений – минус 14,1-17,0 °С, а в восточной части области – до минус 18,5-22,0 °С, что нанесло значительный урон посевам культуры. Морозы и резкий перепад температуры воздуха вызвали гибель части посевов озимой пшеницы (табл. 3, 4).

Таблица 3. Состояние посевов озимого рапса на 15 января 2016 г.

Table 3. Condition of winter rape on January 15, 2016

Хозяйство	Обследовано участков	% от обследованного по области	Состояние растений (относительная электропроводность, %) в среднем по градации			
			хорошее	удовлетворительное	гибель	В среднем
			до 10,0	10,1-30	>30	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Гвардейский район ООО «Малиновка»	1	4,3	-	25,7	-	25,7
Зеленоградский район ЗАО «Луговское»	6	26,1	-	<u>24,5-29,6</u> 27,1	<u>31,1-37,1</u> 33,6	30,4
Озерский район ООО «ЧКЗ Веедерн»	1	4,3	-	25,9	-	25,9
Полесский район ЗАО «Залесское молоко»	5	21,7	-	<u>20,5-28,0</u> 24,1	33,0	25,9
Правдинский район ООО «Новое поле»	7	30,4	-	<u>24,6-29,5</u> 26,9	30,6	27,4
Черняховский район КФХ «Калина»	2	8,6	-	<u>19,7-29,5</u> 24,6	-	24,6
Итого по области участков	22	100	-	17	5	-
Относительная электропроводность, % в среднем по области	-	-	-	25,8	32,9	27,4
% от обследованного по области	-	100	-	77,3	22,7	-

Таблица 4. Состояние посевов озимой пшеницы на 15 января 2016 г.
Table 4. Condition of winter wheat on January 15, 2016

Хозяйство	Обследовано участков	% от обследованного по области	Состояние растений (относительная электропроводность, %) в среднем по градации			
			хорошее	удовлетворительное	гибель	В среднем по району
			до 10,0	10,1-30	>30	
Гвардейский район ООО «Малиновка»	2	14	-	25,3	47,5	36,4
Озерский район ООО «ЧКЗ Веедерн»	1	7	-	-	37,3	37,3
Полесский район ЗАО «Залесское молоко»	8	58	-	<u>16,5-23,0</u> 19,8	<u>39,5-78,5</u> 52,3	44,2
Правдинский район ООО «Новое поле»	1	7	-	-	68,0	68,0
Черняховский район КФХ «Калина»	2	14	-	23,0	32,4	27,7
Итого по области участков	14	100	-	4	10	-
Относительная электропроводность, % в среднем по области	-	-	-	22,0	49,9	41,9
% от обследованного по области	-	100	-	-	-	-

В период с 12 по 15 января 2016 г. в районах области было обследовано 22 участка озимого рапса и 14 участков озимой пшеницы. На эту дату 77,3% озимого рапса (17 участков) и 28,6% озимой пшеницы (4 участка) находились в удовлетворительном состоянии; соответственно, на 22,7 и 71,4% участков растения погибли.

Больше других пострадали от заморозков растения озимой пшеницы в Полесском и Правдинском районах. В ЗАО «Залесское молоко» Полесского района шесть из восьми исследованных образцов озимой пшеницы погибли. Относительная электропроводность растений этих образцов изменялась от 39,5 до 78,5% и составляла в среднем 52,3%. Относительная электропроводность образца из Правдинского района достигла 68,0% (табл. 4).

Обследование посевов озимых культур, проведенное с 18 по 20 января, показало, что ситуация с перезимовкой по-прежнему очень тревожная: 40% посевов озимого рапса и 66,7% озимой пшеницы находились в удовлетворительном состоянии и, соответственно, 60,0% от обследованных посевов озимого рапса и 33,3% посевов озимой пшеницы погибли (табл. 5, 6).

Таблица 5. Состояние посевов озимого рапса на 20 января 2016 г.
Table 5. Condition of winter rapeseed on January 20, 2016

Хозяйство	Об- сле- дова- но участ- ков	% от об- следо- ванного по области	Состояние растений (относительная электропроводность, %) в среднем по градации			
			хоро- ро- шее	удовле- твори- тельное	гибель	В сред- нем по рай- ону
			до 10,0	10,1-30	>30	
Багратионовский район ООО «Интеграция-Агро»	2	10,0	-	-	<u>30,9-32,4</u> 31,7	31,7
Гурьевский район	11	55,0	-	23,8	40,7	30,0
в т. ч. ООО «Заречье»	5	25,0	-	<u>21,2-29,3</u> 24,8	<u>45,7-47,4</u> 46,6	33,5
ООО «Нива»	6	30,0	-	<u>20,1-28,8</u> 23,0	<u>31,7-37,6</u> 34,7	26,9
Неманский район ООО «Родина»	3	15,0	-	-	<u>30,7-53,9</u> 39,7	39,7
Полесский район ООО «Бекон Плюс»	4	20,0	-	27,9	<u>36,1-57,4</u> 46,5	41,9
Итого по области участков	20	100	-	8	12	-
Относительная элек- тропроводность, % в среднем по области	-	-	-	24,3	40,4	34,0
% от обследованного по области	-	100	-	40,0	60,0	-

Последнее обследование состояния озимых культур было проведено в период с 25 января по 2 февраля 2016 г. Установлено, что большая часть посевов озимых культур – 60,0 % озимого рапса и 72,7% озимой пшеницы – находились в удовлетворительном состоянии и, соответственно, 40,0% озимого рапса и 27,3% озимой пшеницы погибли (табл. 7, 8).

Обобщение результатов обследования посевов озимых культур на величину относительной электропроводности за весь период наблюдений – с 15 января по 2 февраля 2016 г. – показало, что 59, 6% посевов озимого рапса и 64,8% озимой пшеницы находились в удовлетворительном состоянии и, соответственно, 40,4 и 35,2% озимых культур погибли.

За весь период наблюдений было отработано 47 образцов озимого рапса и 54 образца озимой пшеницы, что составило, соответственно, 10,0% от общей площади посевов озимого рапса и около 7% – озимой пшеницы.

Таблица 6. Состояние посевов озимой пшеницы на 20 января 2016 г.

Table 6. Condition of winter wheat on January 20, 2016

Хозяйство	Обследовано участков	% от обследованного по области	Состояние растений (относительная электропроводность, %) в среднем по градации			
			хорошее	удовлетворительное	гибель	В среднем по району
			до 10,0	10,1-30	>30	
Гурьевский район, в т. ч.	1	16,7	-	-	33,1	33,1
ООО «Заречье»	1	16,7	-	-	33,1	33,1
Неманский район, в т. ч.	4	66,6	-	22,3	-	22,3
ООО «Родина»	4	66,6	-	<u>12,6-28,6</u> 22,3	-	22,3
Нестеровский район, в т. ч.	1	16,7	-	-	80,3	80,3
ООО «Фурмановское»	1	16,7	-	-	80,3	80,3
Итого по области участков	6	-	-	4	2	-
Относительная электропроводность, % в среднем по области	-	-	-	22,3	56,7	33,8
% от обследованного по области	-	100	-	66,7	33,3	-

Таблица 7. Состояние посевов озимого рапса на 2 февраля 2016 г.

Table 7. Condition of winter rape on February 2, 2016

Хозяйство	Обследовано участков	% от обследованного по области	Состояние растений (относительная электропроводность, %) в среднем по градации			
			хорошее	удовлетворительное	гибель	В среднем по району
			до 10,0	10,1-30	>30	
Неманский район, в т. ч.	3	100	-	20,2	31,7	27,9
ЗАО «Труд»	3	100	-	20,2	31,3; 32,0 Ср.: 31,7	27,9
Озерский район, в т. ч.	2	-	-	26,8	-	26,8
ООО «ЧКЗ Веедерн»	2	-	-	24,4; 29,1 Ср.: 26,8	-	26,8
Итого по области участков	5	-	-	3	2	-
Относительная электропроводность, % в среднем по области	-	-	-	24,6	31,7	27,4
% от обследованного по области	-	100	-	60,0	40,0	-

Таблица 8. Состояние посевов озимой пшеницы на 2 февраля 2016 г.
Table 8. Condition of winter wheat on February 2, 2016

Хозяйство	Обследовано участков	% от обследованного по области	Состояние растений (относительная электропроводность, %) в среднем по градации			
			хорошее	удовлетворительное	гибель	В среднем по району
			до 10,0	10,1-30	>30	
Гурьевский район, в т. ч.	10	29,4	-	24,6	49,5	29,6
ООО «Агростандарт»	5	14,7	-	24,3; 27,9; 29,5 Ср.: 27,2	44,0; 55,0 Ср.: 49,5	36,1
ООО «Нива»	5	14,7	-	14,4; 24,6; 24,8; 25,2; 25,9 Ср.: 23,0	-	23,0
Зеленоградский район, в т. ч.	3	8,8	-	27,6	44,1	33,1
ООО «Агроинком»	3	8,8	-	26,5; 28,7 Ср.: 27,6	44,1	33,1
Неманский район, в т. ч.	3	8,8	-	20,2	33,4	24,6
ЗАО «Труд»	3	8,8	-	17,5; 22,9 Ср.: 20,2	33,4	24,6
Озерский район, в т. ч.	12	35,3	-	21,2	38,4	22,7
ООО «ЧКЗ Веедерн»	12	35,3	-	<u>13,1-27,8</u> 21,2	38,4	22,7
Полесский район, в т. ч.	5	14,7	-	26,2	42,0	32,5
ООО «Бекон Плюс»	5	14,7	-	22,1; 27,7; 28,8 Ср.: 26,2	35,3; 48,6 Ср.: 42,0	32,5
Нестеровский район, в т. ч.	1	3,0	-	20,1	-	20,1
КФХ «Шполянский Н. А.»	1	3,0	-	20,1	-	20,1
Итого по области участков	34	-	-	27	7	-
Относительная электропроводность, % в среднем по области	-	-	-	23,1	42,7	27,1
% от обследованного по области	-	100	-	72,7	27,3	-

Анализ формы Государственной статистики 4СХ за 2016 г. и сводки МСХ Калининградской области от 24 декабря 2015 г. об озимом севе показал, что из посеянных 33,2 тыс. га озимого рапса к весне сохранилось 14,9 тыс. га, а из посе-

янных 74,0 тыс. га озимой пшеницы – 47,8 тыс. га. В результате неблагоприятной перезимовки погибло 18,4 тыс. га посевов озимого рапса и 27,1 тыс. га – озимой пшеницы, что составило 55,2 и 36,6% соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты определения гибели озимых культур, полученные на основании анализа относительной электропроводности и изучения статистических данных, приблизительно совпадают, что при небольшой выборке обследования говорит о достаточной достоверности оценки жизнеспособности озимых рапса и пшеницы методом измерения электропроводности.

Измерение удельной электропроводности является экспресс-методом определения состояния и жизнеспособности растений озимых культур в каждом агрофитоценозе и позволяет быстро решить вопрос о площадях проведения подкормки и потребности в азотных удобрениях, а также о территориях пересева погибших озимых яровым рапсом и яровой пшеницей, потребности необходимого количества семян.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Немцев, С. Н. Почвозащитные влаго- и ресурсосберегающие способы обработки почвы при возделывании яровой пшеницы в лесостепи Ульяновской области / С. Н. Немцев, Е. В. Кузина // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 4. – С. 42-44.
2. Немцев, С. Н. Внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Ульяновской области / С. Н. Немцев // Агромир Поволжья. – 2011. – № 4 (4). – С. 11.
3. Признаки недостатка элементов питания сельскохозяйственных культур / В. И. Панасин, С. И. Новикова, О. Сержант [и др.]. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2008. – 88 с.
4. Гришенкова, Н. Н. Определение устойчивости растительных тканей к абиотическим стрессам с использованием кондуктометрического метода / Н. Н. Гришенкова, А. С. Лукаткин // Поволжский экологический журнал. – 2005. – № 1. – С. 3–11.
5. Немцев, С. Н. Влияние органических удобрений на накопление пожнив-но-корневых остатков и урожайность озимой пшеницы / С. Н. Немцев, С. Н. Никитин, А. В. Орлов // Земледелие. – 2011. – № 4. – С. 38-39.
6. Немцев, С. Н. Тенденции изменений климата и их влияние на продуктивность зерновых культур в Ульяновской области / С. Н. Немцев, Р. Б. Шарипова // Земледелие. – 2012. – № 2. – С. 3-5.

REFERENCES

1. Nemtsev S. N., Kuzina E. V. Pochvozashchitnye vlago- i resursosberegayushchie sposoby obrabotki pochvy pri vozdeleyvanii yarovoy pshenitsy v lesostepi Ul'yanovskoy oblasti [Soil-protective moisture- and resource-saving methods of soil tillage during spring wheat cultivation in the forest-steppe of the Ulyanovsk region]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2011, no. 1, pp. 42-44.

2. Nemtsev S. N. Vnedreniya adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya v Ulyanovskoy oblasti [Implementation of adaptive landscape farming systems in the Ulyanovsk region]. *Agromir Povolzh'ya*, 2011, no. 4 (4), pp. 11.
3. Panasin V. I. *Priznaki nedostatka elementov pitaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Signs of crop nutritional deficiencies]. Kaliningrad, Izdatel'stvo RGU im. Immanuila Kanta, 2008, 88 p.
4. Grishenkova N. N., Lukatkin A. S. Opredelenie ustoychivosti rastitel'nykh tkaney k abioticheskim stressam s ispol'zovaniem konduktometricheskogo metoda [Determination of plant tissue resistance to abiotic stresses using the conductometric method]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2005, no. 1, pp. 3-11.
5. Nemtsev S. N., Nikitin S. N., Orlov A. V. Vliyanie organicheskikh udobreniy na nakoplenie pozhnivno-kornevykh ostatkov i urozhaynost' ozimoy pshenitsy [The effect of organic fertilizers on the accumulation of crop-root residues and the yield of winter wheat]. *Zemledelie*, 2011, no. 4, pp. 38-39.
6. Nemtsev S. N., Sharipova R. B. Tendentsii izmeneniy klimata i ikh vliyanie na produktivnost' zernovykh kul'tur v Ulyanovskoy oblasti [Climate change trends and their impact on cereal productivity in the Ulyanovsk region]. *Zemledelie*, 2012, no. 2, pp. 3-5.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новикова Светлана Ивановна – Центр агрохимической службы «Калининградский»; кандидат биологических наук; начальник отдела мониторинга плодородия почв и организации применения средств химизации; E-mail: novikova.kld.39@mail.ru

Novikova Svetlana Ivanovna – Center for Agrochemical Service “Kaliningrad”; PhD in Biological Sciences; Head of the Department for Monitoring Soil Fertility and Organization of the Use of Chemicals; E-mail: novikova.kld.39@mail.ru

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

Bedareva Olga Mikhajlovna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Assistant Professor; Head of the Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: olgabedareva@mail.ru

Горшинина Галина Владимировна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: gala8@bk.ru

Gorshinina Galina Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: gala8@bk.ru

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

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

УДК 639.2.081.19

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ
СКОРОСТИ ПОДЪЁМА ТРАЛОВЫХ МЕШКОВ С УЛОВОМ ПО РАЗЛИЧНЫМ
ФОРМАМ СЛИПОВ СУДОВ НА УСИЛИЕ В ВЫТЯЖНОМ КОНЦЕ
ПРОМЫСЛОВОЙ ЛЕБЁДКИ

Н. А. Скуратов, А. В. Суконнов, Т. Е. Суконнова

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE
OF THE ASCENDING SPEED OF THE CODENDS WITH A CATCH
FOR VARIOUS FORMS OF SLIPWAYS ON THE EFFORT IN THE DRAWING
END OF THE FISHING WINCH

N. A. Skuratov, A. V. Sukonnov, T. E. Sukonnova

Работа посвящена исследованию физического процесса выборки мешков с уловом по слипам судов. Это связано с выявлением причин появления пиковых нагрузок в вытяжном конце промысловой лебёдки при выборке траловых мешков с уловом, приводящих к повреждаемости промысловых механизмов, порывам орудий лова, ухудшению качества облавливаемых объектов. Для решения вышепоставленной задачи необходимо провести экспериментальные исследования по установлению влияния факторов, характеризующих систему судно-трал, на процесс выборки траловых мешков с уловом на палубу судна. Исследования проводились на установке, представляющей модель промысловой палубы РТМ-С, выполненной в масштабе 1:25 с различными формами поверхностей слипового настила. Объектом исследований являлась модель тралового мешка, соответствующая мешку натурального трала (пр. В-408). Степень наполнения модели тралового мешка составляла 50 %, что соответствует 30 т натурального мешка. В качестве влияющих факторов были отобраны: форма и угол наклона поверхности слипового настила (как факторы характеризующие корпусную часть судна), а также скорость выборки вытяжного конца (как фактор, характеризующий тягово-скоростные параметры промысловых вытяжных лебёдок). Эксперимент проводился с применением методов планирования экспериментов. Поэтому нами варьировались факторы, влияющие на усилие в вытяжной лебёдке при выборке траловых мешков с уловом и изучалось действие каждого фактора. По результатам проведенных исследований были получены математические зависимости, которые позволили сделать выводы о степени влияния исследуемых факторов на усилие выборки траловых мешков с уловом на палубу судна.

трал, улов, слип, модель, эксперимент, факторы, зависимость, снижение нагрузок

The work is devoted to the study of the physical process of drawing bags with catch using ship slipways. This is due to the identification of the reasons for the appearance of peak loads in the drawing end of the fishing winch when hauling codends with a

catch, leading to damage to fishing gear, rupture of fishing gear, and deterioration of the quality of fishing objects. To solve the above problem, it is necessary to conduct experimental studies to establish the influence of factors characterizing the ship-trawl system on the process of hauling codends with a catch on the ship deck. The studies have been carried out on the installation, representing the model of the RTM-S fishing deck, made on a scale of 1:25 with various forms of surfaces of the slipway deck. The object of research was the model of a codend corresponding to a bag of a full-scale trawl (pr. V-408). The degree of filling of the model of the codend was 50%, which corresponds to 30 tons of a real bag. The following factors have been selected as influencing factors: the shape and angle of inclination of the slipway deck surface (as factors characterizing the hull of the vessel), as well as the sampling speed of the drawing end (as a factor characterizing the traction and speed parameters of fishing exhaust winch). The experiment has been conducted using experimental design methods. Therefore, we have varied the factors affecting the force in the fishing winch when drawing codends with a catch, and we have studied the effect of each factor. Based on the results of the studies, mathematical dependencies have been obtained that allowed us to draw conclusions about the degree of influence of the studied factors on the effort of hauling codends with a catch on the deck of a vessel.

trawl, catch, slipway, model, experiment, factors, dependence, load reduction

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространённых видов лова является траловый промысел. Среди способов выливки и подъёма уловов, наибольшей популярностью пользуется метод подъёма по слиповому настилу, как наиболее простой по конструкции и не требующий дополнительных устройств и оборудования. В свою очередь он обладает серьёзным недостатком, таким как: резкое пикообразное увеличения нагрузок в вытяжных концах при подъёме траловых мешков с уловами на палубы судов, которое приводит зачастую к порыву сетных частей трала, поломкам промысловых механизмов и их преждевременному износу [1].

Решением данного вопроса по снижению нагрузок, возникающих при подъёме мешков с уловами, велись на протяжении многих лет, однако в силу различных обстоятельств, результаты работ не нашли своего применения на практике [2, 3]. Помимо научных исследований предлагались технические решения в виде всевозможных устройств, методов и способов, направленных на решение данной проблемы, которые также не имели результативности.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной проблемой повышения пиковых нагрузок является повышение силы трения между поверхностью слипового устройства и палубы судна и траловым мешком. До настоящего времени не установлена зависимость усилия в вытяжном конце от параметров системы судно-трал. Провести эксперименты и установить данную зависимость в морских условиях не представляется возможным из-за субъективных и объективных причин. Решение данной проблемы возможно проведением модельных экспериментальных исследований. В частности, нами были проведены экспериментальные работы на слиповом настиле с прямой формой поверхности [4, 5].

Была установлена зависимость усилия выборки от угла наклона слипового настила, наполнения тралового мешка и угла выхода вытяжного конца на прямой поверхности слипового настила. На основе ее анализа были сделаны следующие выводы, наибольшее влияние на усилие в вытяжном конце оказывает степень наполнения тралового мешка. Снижение наполнения мешка в 2 раза позволяет снизить нагрузки во время выборки в 2 раза, при этом сохраняя пиковые нагрузки во время выхода мешка на порог слипа. Следующим по значимости является угол наклона слипа. Незначительное влияние оказывает угол выхода вытяжного конца.

Полученные динамограммы процесса выборки показывают, что пиковые нагрузки остались и они присутствуют во время выхода мешка с уловом на порог слипа и при переходе слиповой канавки.

Обзор слиповых устройств [6] позволил определить основные формы и их углы наклона. Наиболее применяющиеся на рыболовных судах слиповые настилы с прямой и сферической формами поверхностей и углами наклона в интервал 30-45 град.

Как показывает практика, скорости выборки мешков с уловами регламентируются скоростными параметрами вытяжных лебёдок в диапазоне 30-90 м/мин.

Учитывая вышеизложенное, целью наших исследований является экспериментальное исследование оценки влияния скорости подъёма траловых мешков с уловом на палубу судна на усилие их выборки в сочетании с ранее исследуемыми факторами [4, 5], а именно, углом наклона и формой слипа с расширенным диапазоном изменений факторов.

ВЛИЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Отбор факторов проводился по критериям, характеризующим: корпусную часть судна (угол наклона слипа и форму слипа) и тягово-скоростные параметры промысловых вытяжных лебёдок.

Для проведения испытаний были приняты следующие формы поверхностей слипа: прямой и сферической.

Диапазон изменения углов наклона слипа принимаем 30, 45 град.

Диапазон изменения скорости выборки модели мешка составляет (0,031 – 0,064) м/с, что объясняется возможностями оборудования, установленного на экспериментальной установке.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Экспериментальная установка оснащена измерительной аппаратурой и вытяжной лебёдкой с частотомером, с помощью которого регулируется скорость выборки.
2. Разработана методика исследований.
3. Проведены экспериментальные работы.

Работа проводилась на установке (рис. 1), которая представляет из себя макет промысловой палубы РТМ-С со слиповым устройством, изготовленным в масштабе 1:25. Она состоит из: слипового устройства с возможностью смены угла наклона; ванны с водой, регулируемой по уровню; настила промысловой палубы; вытяжной лебёдки, с возможностью изменения скорости выборки.

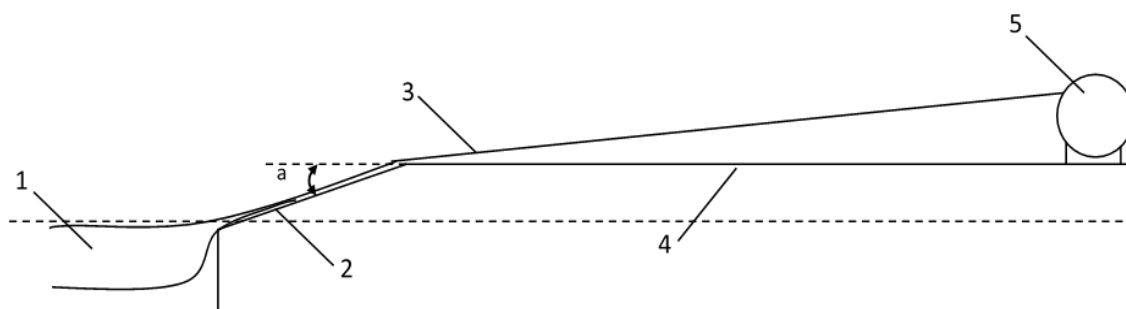


Рис. 1. Схема установки: 1 – мешок с уловом; 2 – слип; 3 – вытяжной конец и канатно-сетная часть; 4 – промысловая палуба; 5 – лебедка (кабельно-сетной барабан); а – угол наклона слипа

Fig. 1. Installation diagram: 1 – bag with a catch; 2 – slipway; 3 – drawing end and wire rope part; 4 – fishing deck; 5 – winch (cable-net drum); a – slipway angle

Для сокращения количества экспериментальных работ, их систематизации и получения математической зависимости нами был применён метод планирования эксперимента [7].

Порядок проведения экспериментальных работ следующий:

1. Устанавливаем сменный слиповый настил определённой формы
2. Устанавливаем заданный угол наклона слипа (α°) в интервале изменения. Для этого на установке имеются соответствующие отградуированные отверстия для стопоров, через каждые 5 град.
3. Устанавливаем скорость выборки с помощью регулятора частоты вращения вала электродвигателя в интервале изменения.
4. Заполняем ванну (8) водой, до уровня соответствующего порогу слипа (6).
5. Предварительно перед началом испытаний замачиваем модели траловых мешков в воде в течение суток.
6. Подключаем силоизмерительный датчик в линию вытяжного конца промысловой лебёдки, а затем подключаем его к станции МИС 200 (4).
7. Включаем лебёдку на выборку и одновременно подключаем силоизмерительную станцию МИС 200 (4), фиксируя при этом изменение усилия в датчике в процессе выборки модели тралового мешка по слипу.
8. Результаты записываются и отображаются в виде динамограмм на мониторе тензостанции (рис. 2).
9. Экспериментальные исследования проводили по 10 раз с учётом всех влияющих факторов для всех рассматриваемых форм слиповых настилов.
10. Рассчитывалась среднearифметическая величина усилия в вытяжном конце. Рассчитывался коэффициент вариации.
11. Проводили математическую обработку экспериментальных данных.

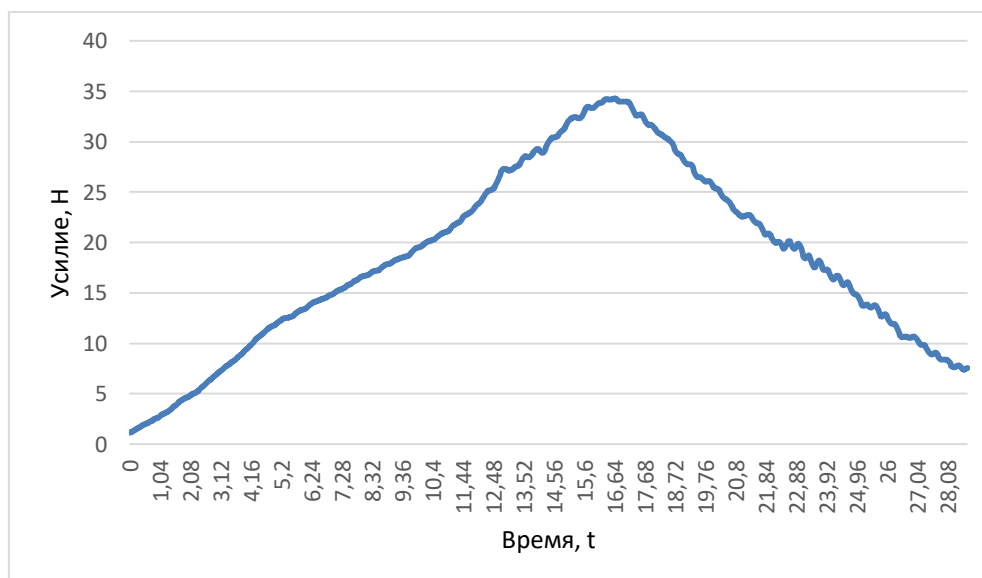


Рис. 2. Динамограмма усилия в вытяжном конце во время выборки модели тралового мешка по слиповому настилу (прямой) и промысловой палубы при скорости выборки равной 0,045 м/с

Fig. 2. Dynamometer chart of the force at the drawing end during hauling of the codend model along the slipway deck (straight) and the fishing deck at a hauling speed of 0.045 m/s

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

После математической обработки экспериментальных данных [8] были получены графические и аналитические зависимости усилия выборки траловых мешков с уловом от формы и угла наклона поверхности слипа и скорости выборки (рис. 3, 4) в диапазонах их изменения.

Для определения точности результатов исследований была проведена оценка погрешности измерений по формуле (1):

$$\delta x_{x,mbt} = t * s_{x,mbt} , \quad (1)$$

где $s_{x,mbt}$ – средняя квадратичная погрешность измерения; t – коэффициент, принимаемый по таблице.

Таблица. Таблица коэффициентов

Table. Coefficient table

Доверительные вероятности	Значения t при M , равном			
	20	10	8	6
0,95	2	2,3	2,4	2,6
0,99	2,5	3,2	3,5	4,0

Доверительную вероятность принимаем равной 0,95.

Среднюю квадратичную погрешность измерения при многократных наблюдениях параметра определяют по формуле (2):

$$S_{x,mbt} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2}{m(M-1)}}, \quad (2)$$

где x_j – результат наблюдения; \bar{x} – результат измерения, полученный по многократным наблюдениям параметра (среднее арифметическое); M – число равнозначных результатов наблюдений, выполняемых для предварительной оценки; m – число наблюдений параметра, выполняемых при контроле в данном сечении (месте).

Действительная погрешность при испытаниях не превышает 5 %.

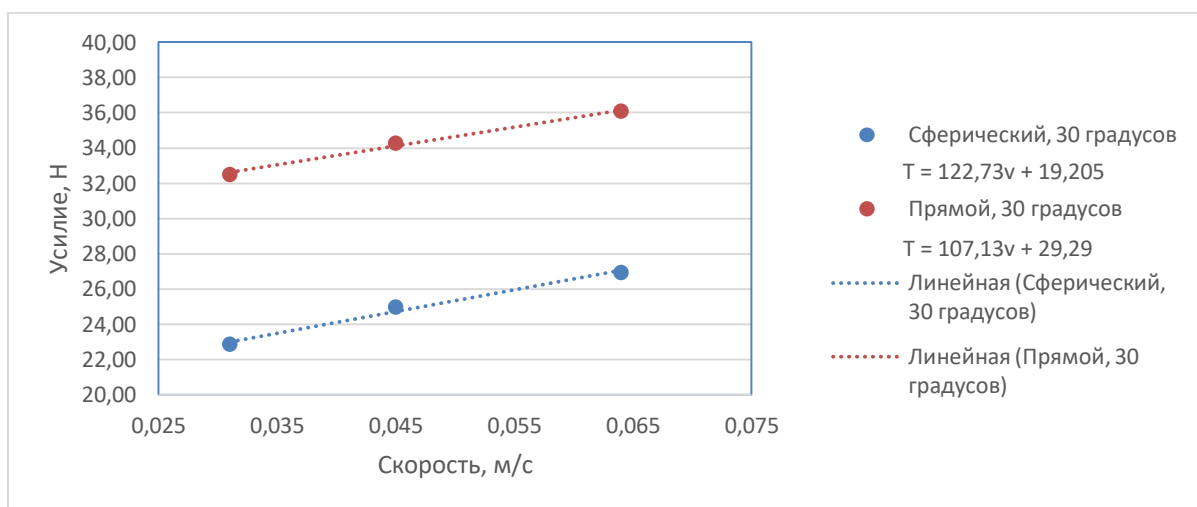


Рис. 3. Зависимости усилия в вытяжном конце при выборке мешков с уловом от скорости выборки при угле наклона 30 град для прямого и сферического слипов; T – усилие во время выборки; v – скорость выборки

Fig. 3. Dependences of the force at the drawing end when hauling codends with a catch on the hauling speed at a tilt angle of 30 degrees for direct and spherical slipways;

T – force during hauling; v – hauling speed

Анализ зависимостей, приведённых на рис. 3, позволил сделать следующие выводы:

- вид зависимости линейно-возрастающий;
- с увеличением скорости выборки в два раза усилие возрастает для прямого слипа на 10,9 %, а для сферического на 17,8 %.

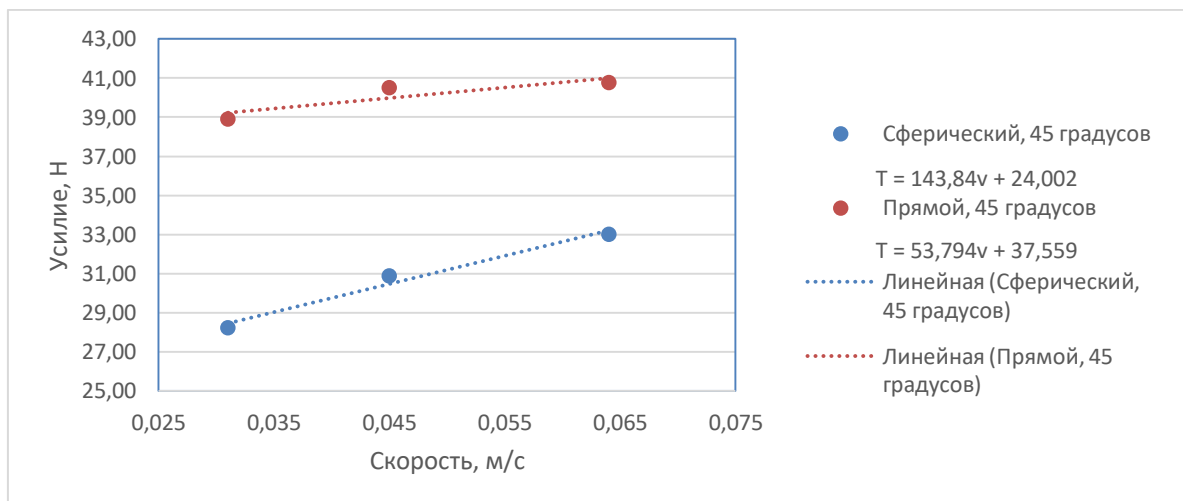


Рис. 4. Зависимости усилия в вытяжном конце при выборке мешков с уловом от скорости выборки, угле наклона 45 град для прямого и сферического слипов; T – усилие во время выборки; v – скорость выборки

Fig. 4. Dependences of the force at the drawing end when hauling codends with a catch on the hauling speed, at an inclination angle of 45 degrees for direct and spherical slipways; T – force during hauling; v – hauling speed

Анализ зависимостей (рис. 4) позволил сделать следующие выводы:

- вид зависимости является также линейно-возрастающим;
- с увеличением скорости выборки в два раза усилие возрастает для прямого слипа на 4,7 %, а для сферического на 17 %.

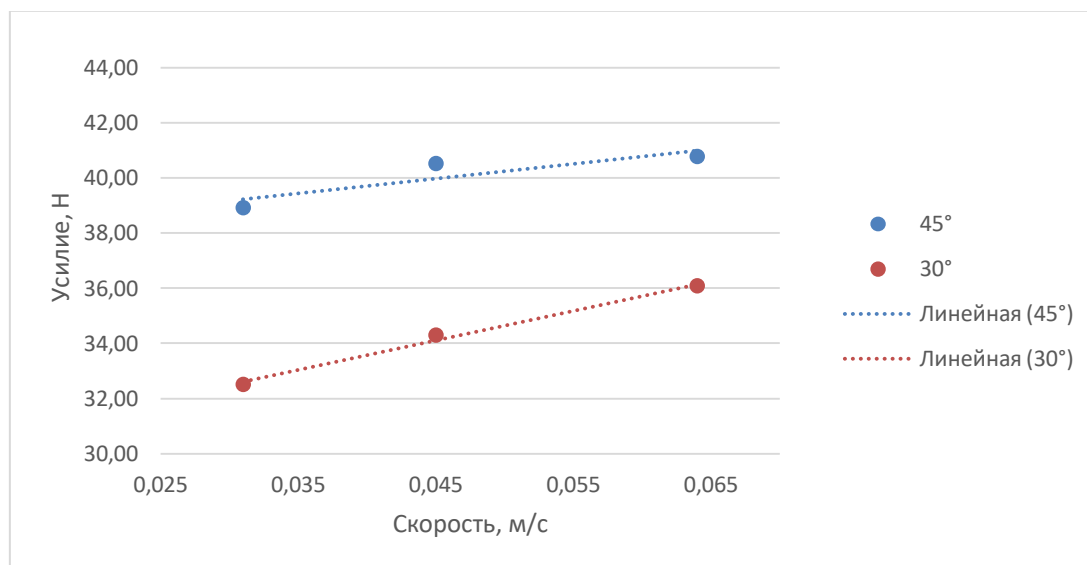


Рис. 5. Зависимость усилия в вытяжном конце от скорости выборки для прямого слипа при углах наклона слипа 30, 45 град.

Fig. 5. Dependence of the force at the drawing end on the hauling speed for a direct slipway at slipway angles of 30, 45 degrees

Анализ результатов экспериментов (приведённых на рис. 5) позволяет сделать следующие выводы:

- увеличение угла наклона слипа от 30 до 45 град. с увеличением скорости выборки в два раза приводит к увеличению усилия выборки в среднем на 18 %.

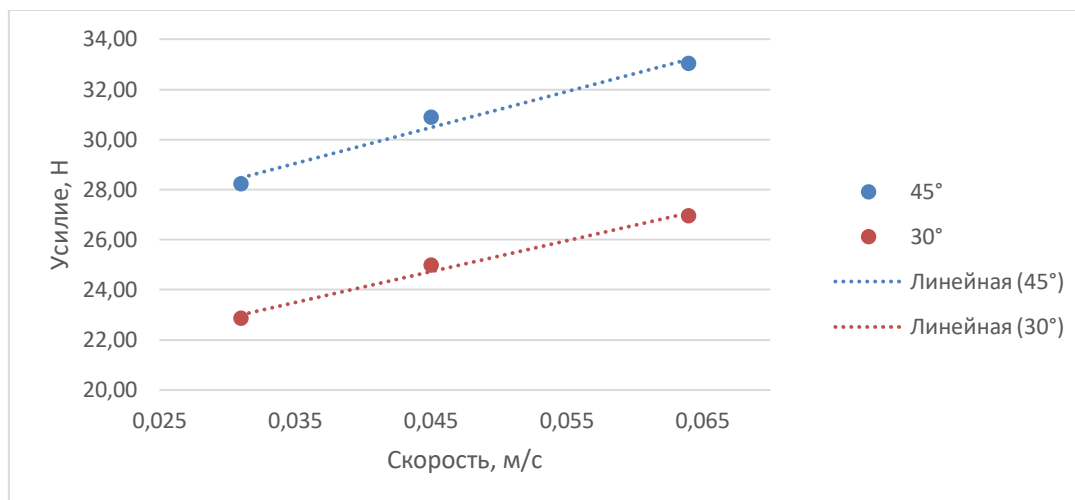


Рис. 6. Зависимость усилия в вытяжном конце от скорости выборки для сферического слипа при углах наклона слипа 30, 45 град.

Fig. 6. Dependence of the force at the drawing end on the hauling speed for a spherical slipway at slipway angles of 30, 45 degrees

Анализ результатов экспериментов (приведённых на рис. 6) позволяет сделать вывод:

- увеличение угла наклона слипа от 30 до 45 град. с увеличением скорости выборки в два раза приводит к увеличению усилия выборки в среднем на 23,6 %.

ВЫВОДЫ

Подводя итог выполненным исследованиям, можно сделать следующие выводы:

- с увеличением скорости подъёма мешка с уловом в два раза на слипе с прямой формой поверхности усилие возрастает в среднем на 7,8 %, а на слипе с сферической формой поверхности рост усилия составляет 17,4 %, для углов наклона слипов в диапазоне от 30 до 45 град.;

- усилие выборки на прямом слипе выше, чем на сферическом, в среднем на 1,36 раз, независимо от угла наклона и скорости выборки;

- с увеличением угла наклона слипового настила с 30 до 45 град. усилие выборки мешков с уловом возрастает в среднем на 18 % для прямого и на 23,6 % для сферического при скорости выборки модели тралового мешка в диапазоне исследований.

При выборке мешков с уловом по слипу со сферической поверхностью распределение усилия в вытяжном конце более равномерные и пиковые нагрузки практически отсутствуют.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Суконнов, А. В. К вопросу сохранения качества выливаемых уловов из траловых мешков / А. В. Суконнов, Н. А. Скуратов // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности российской федерации: материалы I Национальной заочной науч.-техн. конф. (Владивосток, 22 декабря 2017 года). – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. – С. 261-265.
2. Фридман, С. Л. Взаимодействие трала и судна при подъеме улова на кормовом траулере: дис. ... канд. техн. наук / Фридман С. Л. – Мурманск: Мурман. высш. мореход. училище, 1960. – 242 с.
3. Фридман, А.Л. Исследование взаимодействия системы «судовая слиповая установка» / А.Л. Фридман – Калининград: КТИРПиХ, 1985. – 135 с.
4. Скуратов, Н. А. Экспериментальное определение зависимости тягового усилия выборки трала с уловом на палубу судна от параметров системы «судно-трал» на модели промысловой палубы судов типа РТМ-С / А. В. Суконнов, Н. А. Скуратов // Известия КГТУ. – Калининград, 2018. – № 48 – С. 39-46.
5. Скуратов, Н. А. Экспериментальное исследование процесса подъёма траловых мешков с уловом по слипу судна / Н. А. Скуратов, А. В. Суконнов // Известия КГТУ. – Калининград, 2019. – № 54. – С. 187-195.
6. Зайчик, К. С. Промысловые устройства морских рыболовных судов / К. С. Зайчик. – Ленинград: Судостроение, 1972. – 232 с.
7. Планирование экспериментов в промышленном рыболовстве: учеб. пособие / Г. М. Долин. – Калининград: Изд-во КГТУ, 1996. – 119 с.
8. Прикладная математика: учеб. пособие по решению проф. задач в среде MathCad / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2014. – 144 с.

REFERENCES

1. Sukonnov A. V., Skuratov N. A. K voprosu sokhraneniya kachestva vyливаемых ulovov iz tralovykh meshkov [On the issue of preserving the quality of the poured catches from codends]. *Innovacionnoe razvitie rybnoy otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii. Materialy I Natsional'noy zaochnoy nauch.-tekhn. konf.* [Innovative development of the fish industry in the context of ensuring the food security of the Russian Federation. Materials of the I National Correspondence Scientific and Technical Conference]. Vladivostok, 2017, pp. 261-265.
2. Fridman S. L. *Vzaimodeystvie trala i sudna pri podyome ulova na kormovom traulere* [Interaction of the trawl and the vessel when raising the catch on the stern trawler]. Murmansk, Murmanskoe vysshee morekhodnoe uchilishche, 1960, 242 p.
3. Fridman A. L. *Issledovanie vzaimodeystviya sistemy "sudovaya slipovaya ustanovka"* [Study of system interaction "ship slipway installation"]. Kaliningrad, KTIРPiH, 1985, 135 p.
4. Sukonnov A. V., Skuratov N. A. Eksperimental'noe opredelenie zavisimosti tyagovogo usiliya vyborki trala s ulovom na palubu sudna ot parametrov sistemy "sudno – tral" na modeli promyslovy paluby sudov tipa RTM-S [Experimental determination of the dependence of the trawl hauling effort with a catch on the ship deck on the parameters of the ship-trawling system on the model deck of the RTM-S type vessels].

Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2018, no. 48, pp. 39-46.

5. Skuratov N. A., Sukonnov A. V. Eksperimental'noe issledovanie processa pod'yoma tralovykh meshkov s ulovom po slipu sudna [Experimental study of the process of lifting trawl bags with a catch along the slipway of a vessel]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 54, pp. 187-195.

6. Zaychik K. S. *Promyslovye ustroystva morskikh rybolovnykh sudov* [Fishing devices of sea fishing vessels]. Leningrad, Sudostroenie, 1972, 232 p.

7. Dolin G. M. *Planirovanie eksperimentov v promyshlennom rybolovstve: ucheb. posobie* [Planning experiments in industrial fisheries: a tutorial]. Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU», 1996, 119 p.

8. Naumov V. A. *Prikladnaya matematika: uchebnoe posobie po resheniyu professional'nykh zadach v srede MathCad* [Applied mathematics: a tutorial on solving professional problems in the environment of MathCad]. Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU», 2014, 144 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Скуратов Николай Александрович – Калининградский государственный технический университет; студент 1-го курса магистратуры факультета промышленного рыболовства; E-mail: snikal@tut.by

Skuratov Nikolay Alexandrovich – Kaliningrad State Technical University; 1st year student of the master's degree programme at the Faculty of Industrial Fisheries; E-mail: snikal@tut.by

Суконнов Анатолий Владимирович – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры промышленного рыболовства, заведующий лабораториями

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

Суконнова Татьяна Евгеньевна – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры промышленного рыболовства, заместитель декана по учебной работе

Sukonnova Tatyana Evgenievna – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries, Deputy Dean for Academic Works

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.9.022

ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ ПРОФИЛЕЙ НОЖЕЙ
ДЛЯ РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

О. В. Агеев

THE APPROACH TO MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROFILES
OF THE KNIVES FOR FISH PROCESSING EQUIPMENT

O. V. Ageev

Показана необходимость разработки математического описания профилей ножей для резания рыбы. Проанализированы методы интерполяции траекторий рабочих органов в современном оборудовании с ЧПУ. С учетом технологии изготовления ножей для аналитического моделирования их профилей предлагается использовать полином третьего порядка. Разработана математическая модель, задающая форму передней криволинейной грани. Геометрия ножа характеризуется половинным ножом заточки, углом сопряжения граней, высотой фаски и половинной толщиной лезвия. При изменении параметров модели получены формы ножей с вогнутыми, выпуклыми, вогнуто-выпуклыми и выпукло-вогнутыми фасками. Модельная функция является непрерывной до второй производной включительно, за счет чего обеспечивается отсутствие на профиле уступов, изломов и скачков в кривизне. На участке от режущей кромки до боковой грани ножа функция имеет не более одной точки перегиба, что обеспечивает отсутствие местной волнистости на фаске. Определены условия монотонности на участке от острия ножа до точки перехода в боковую грань. Получено выражение для расчета координат точки перегиба указанной функции. Разработанное математическое описание профиля ножа является основой для постановки оптимизационных задач с целью определения наилучшей геометрии ножа с точки зрения ресурсосбережения. Наличие математической модели фаски позволяет определить оптимальный половинный угол заточки по критерию минимальной силы сопротивления резанию. Создана возможность рассчитать оптимальный половинный угол заточки, а также оптимальную половинную толщину ножа по критерию минимальной деформационной силы трения. Предложенный подход используется при постановке и решении вариационных задач по определению вида аналитических функций, задающих оптимальные профили режущих органов с минимальными вредными сопротивлениями.

рыба, резание, профиль, фаска, форма, нож, грань, модель

The paper shows the necessity of developing a mathematical description of the profiles of knives for cutting fish. The methods of interpolation of the working tools trajectories in modern equipment with CNC have been analyzed. Taking into account the technology of manufacturing knives for analytical modeling of their profiles, it is proposed to use a third-order polynomial. A mathematical model defining the shape of the

front curvilinear edge has been developed. The knife geometry is characterized by a half angle, a mating angle of the edges, the height of the chamfer and half-thickness of the blade. By changing the model parameters, the shapes of knives with concave, convex, concave-convex and convex-concave chamfers have been obtained. The model function is continuous up to and including the second derivative, which ensures the absence of ledges, kinks, and jumps in the curvature on the profile. In the section from the cutting edge to the lateral edge of the knife, the function has no more than one inflection point, which ensures the absence of local waviness on the chamfer. The conditions of monotony in the section from the knife edge to the transition point to the lateral edge have been determined.

An expression for calculating the coordinates of the inflection point of the specified function has been obtained. The developed mathematical description of the knife profile is the basis for setting optimization problems in order to determine the best knife geometry from the point of view of resource conservation. The presence of a mathematical model of the chamfer allows you to determine the optimal half angle of grinding according to the criterion of the minimum force of resistance to cutting. The opportunity to calculate the optimal half angle of sharpening, as well as the optimal half thickness of the knife, according to the criterion of the minimum deformation friction force, has been created. The proposed approach is used in the formulation and solution of variational problems to determine the type of analytical functions that determine the optimal profiles of cutting tools with minimal harmful resistances.

fish, cutting, profile, chamfer, shape, knife, edge, model

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко применяется метод исследования оптимальных форм конструкций путем исследования функций, заданных полиномами, и ограничений на существующие классы решений. Численные данные, полученные по методу оптимизации с помощью полиномиальных функций, позволяют получать формы профилей, удовлетворяющих условию минимума сопротивления.

Геометрия ножей рыбоперерабатывающего оборудования определяется в процессе их проектирования. В дальнейшем информация по форме профиля используется при выполнении поверочных расчетов инструмента, а также в процессе конструкторско-технологической подготовки производства режущих органов. Внедрение в производство обрабатывающих центров с ЧПУ внесло существенные изменения в формы представления результатов проектирования изделий и привело к необходимости получения данных по аппроксимации формы ножа. Поскольку исходной информацией для работы программно-управляемого металлообрабатывающего оборудования являются результаты математического представления формируемой поверхности, необходимо рассматривать геометрию ножа на основе уравнений его профиля.

Исследованию геометрии режущих органов пищевого оборудования посвящен ряд работ в России и за рубежом. В работе [1] проанализировано влияние угла заточки ножа на процесс резания. В статье [2] исследован эффект внедрения лезвия в материал с учетом геометрии режущей кромки. Статьи [3, 4] посвящены определению оптимальных профилей рабочих органов для различных видов резания. В работах [5, 6] предложены подходы к численному определению сил со-

противления при обработке вязкоупругих материалов. В исследовании [7] рассмотрен процесс скоростного резания и проанализированы его режимные параметры. В работе [8] проанализированы различные формы режущих инструментов и приведены рекомендации по их параметрам с точки зрения минимизации сил сопротивления. В статьях [9, 10] даны обзоры по моделированию разрезания вязкоупругих тканей с разработкой расчетных методик. В работе [11] предлагается подход к определению оптимального профиля горизонтального ножа для резания пищевого материала.

Вместе с тем, с учетом ценности существующих работ, в настоящее время отсутствует математическое описание формы рабочих органов рыбоперерабатывающего оборудования, необходимое для постановки и решения оптимизационных задач. Целью данной работы является разработка аналитического описания геометрии ножа, на основе которого представляется возможным определение сил сопротивления, а также деформационных сил трения для дальнейшей оптимизации профиля и обеспечения ресурсосбережения.

МЕТОДЫ

Профиль режущих органов в общем случае может иметь сложную форму и традиционно представлялся на чертеже в виде лекальных кривых и таблицами ординат группы точек. Однако математическое представление кривых профиля обладает рядом несомненных преимуществ. Оно весьма точно, и такие характеристики, как наклон и радиус кривизны, могут быть определены аналитически. Кроме того, математическое описание профиля может храниться в памяти ЭВМ и использоваться для автоматизированного проектирования рабочих органов и их изготовления на оборудовании с программным управлением. Требуется применение такого метода аналитического задания профиля ножа, который был бы применим на всех этапах: от эскизных проработок до технологической подготовки производства. Это позволяет моделировать форму режущего органа непосредственно в САПР, изменять геометрию граней заданным образом и обеспечивать изготовление изделия на автоматическом оборудовании.

В токарных и фрезерных станках наибольшее распространение получили позиционно-контурные системы управления, обеспечивающие как режим функционального управления, так и режим точного позиционирования. В то же время в эксплуатации находится оборудование с позиционными системами ЧПУ. Первой задачей программирования контурной обработки профиля является задание аналитического уравнения требуемой траектории движения исполнительного органа в плоских или пространственных координатах или значений координат семейства ее точек. Движения резца между опорными точками эквидистантной траектории задаются при помощи программно-реализованного интерполятора, на вход которого кадр за кадром подается информация в виде цифровых кодов, а на выходе формируется информация для каждой координаты исполнительного привода в виде последовательности импульсов (унитарного кода). Принципиально любая траектория рабочего органа при точении профиля ножа может быть аппроксимирована кривой линией, задаваемой в виде полинома Лагранжа.

Несмотря на то, что существует большое количество методов приближения кривых, которые, в принципе, возможно использовать для аппроксимации профиля ножа, наиболее универсальными свойствами обладают методы кусочно-

гладкой аппроксимации сплайн-функциями. Наибольшее распространение в современных программно-управляемых станках получила интерполяция кривых кубическими сплайнами – функциями с непрерывной второй производной, являющихся на обрабатываемом участке кубическим полиномом. Такая кусочно-кубическая интерполяция обладает практической ценностью в связи с тем, что позволяет на заданном множестве точек построить линию наименьшей кривизны. Вместе с тем, построение интерполятора, способного обеспечивать воспроизведение кривых 4-го, 5-го и более высоких порядков, связано с усложнением аппаратного и алгоритмического обеспечения системы ЧПУ, включающих перемножители, интеграторы, дифференциаторы, эstimаторы и другие вычислительные блоки.

Вышеизложенное приводит к тому, что при разработке математического описания профиля ножа в виде аналитического уравнения целесообразно использовать полином не выше третьего порядка. Это объясняется тем, что при выборе модели более высокого порядка, интерполятором станка с ЧПУ заданная форма профиля будет кусочно-гладко аппроксимирована кривыми третьего порядка (кубическими сплайнами). Использование аналитического описания геометрии грани в виде полинома третьего порядка позволяет избежать аппроксимации профиля кусочно-гладким сплайном, составленным из различных кубических полиномов, что упрощает вычисления и понижает численную неустойчивость, которая возрастает в случае аппроксимации кривых высоких порядков. В то же время кубический полином является кривой самой низкой степени, которая может иметь точки перегиба, что является достаточным для описания геометрии фасок и кромок ножей, применяемых для резания рыбы.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Предъявим к математическому описанию профиля ножа следующие требования. Функция должна быть непрерывной до второй производной включительно, благодаря чему обеспечивается отсутствие на профиле уступов, изломов и скачков в кривизне. На участке от режущей кромки до боковой грани ножа функция должна иметь не более одной точки перегиба, что обеспечивает отсутствие местной волнистости на фаске. Также на данном участке функция должна быть положительной и монотонно возрастающей. Вторая производная функции должна быть положительной для тех участков, где фаска вогнута, и отрицательной для тех, где фаска выпуклая.

С учетом преимуществ использования рациональных многочленов при описании кривых линий применим рациональный многочлен 3-й степени, который запишем в виде:

$$y(x) = \delta \cdot (b_0 + b_1 \cdot (x/h_m) + b_2 \cdot (x/h_m)^2 + b_3 \cdot (x/h_m)^3); 0 \leq x \leq h_m, \quad (1)$$

где h_m – высота передней криволинейной грани (фигурной фаски) ножа;

δ – половинная толщина ножа; b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты многочлена.

На рисунке показан общий вид симметричного профиля ножа с передними криволинейными наклонными гранями и прямым обухом. Введем следующие обозначения: α – половинный угол заточки ножа; θ – угол сопряжения передней наклонной грани с боковой гранью; l – половинная толщина материала в состоянии равновесия.

Поставим задачу описать функцией (1) монотонно возрастающие кривые, проходящие через точки $O(0,0)$ и $B(h_m, \delta)$. Через точку O кривые должны проходить под заданным половинным углом заточки α , через точку B – под заданным углом сопряжения θ . Указанные углы должны удовлетворять условиям: $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$; $0 \leq \theta \leq 90^\circ$.

Из граничных условий на острие режущей кромки в точке O :

$$x = 0; y(0) = 0; y'(0) = tg\alpha. \quad (2)$$

Из граничных условий в точке сопряжения граней B :

$$x = h_m; y(h_m) = \delta; y'(h_m) = tg\theta. \quad (3)$$

Условие монотонности функции (1):

$$x \in (0, h_m); y'(x) \geq 0. \quad (4)$$

Определим первую и вторую производные функции (1):

$$y'(x) = \frac{\delta}{h_m^3} \cdot (b_1 \cdot h_m^2 + 2 \cdot b_2 \cdot h_m \cdot x + 3 \cdot b_3 \cdot x^2); \quad (5)$$

$$y''(x) = \frac{2 \cdot \delta}{h_m^3} \cdot (b_2 \cdot h_m + 3 \cdot b_3 \cdot x). \quad (6)$$

Из граничных условий (2), (3) имеем:

$$b_0 = 0; b_1 + b_2 + b_3 = 1; y'(0) = \frac{\delta}{h_m} \cdot b_1 = tg\alpha; \quad (7)$$

$$y'(h_m) = \frac{\delta}{h_m} \cdot (b_1 + 2 \cdot b_2 + 3 \cdot b_3) = tg\theta$$

Из (7) получим систему уравнений, на основе которой определим коэффициенты многочлена (1). В результате выражения (1), (5), (6) примут следующий вид:

$$y(x) = \delta \cdot \left(\frac{tg\alpha}{\delta} \cdot x + \left(3 - \frac{h_m}{\delta} \cdot (tg\theta + 2 \cdot tg\alpha) \right) \cdot \frac{x^2}{h_m^2} + \left(\frac{h_m}{\delta} \cdot (tg\theta + tg\alpha) - 2 \right) \cdot \frac{x^3}{h_m^3} \right); \quad (8)$$

$$y'(x) = tg\alpha + \frac{2}{h_m} \cdot \left(3 \cdot \frac{\delta}{h_m} - tg\theta - 2 \cdot tg\alpha \right) \cdot x + \frac{3}{h_m^2} \cdot \left(tg\theta + tg\alpha - 2 \cdot \frac{\delta}{h_m} \right) \cdot x^2; \quad (9)$$

$$y''(x) = \frac{2}{h_m} \cdot \left(3 \cdot \frac{\delta}{h_m} - tg\theta - 2 \cdot tg\alpha + \frac{3}{h_m} \cdot \left(tg\theta + tg\alpha - 2 \cdot \frac{\delta}{h_m} \right) \cdot x \right). \quad (10)$$

Определим условие монотонности функции (8). Указанная функция является монотонной, если ее первая производная (9) положительна: $y'(x) > 0$. Запишем следующее квадратное уравнение:

$$y'(x) = tg\alpha + \frac{2}{h_m} \cdot \left(3 \cdot \frac{\delta}{h_m} - tg\theta - 2 \cdot tg\alpha \right) \cdot x + \frac{3}{h_m^2} \cdot \left(tg\theta + tg\alpha - 2 \cdot \frac{\delta}{h_m} \right) \cdot x^2 = 0 \quad (11)$$

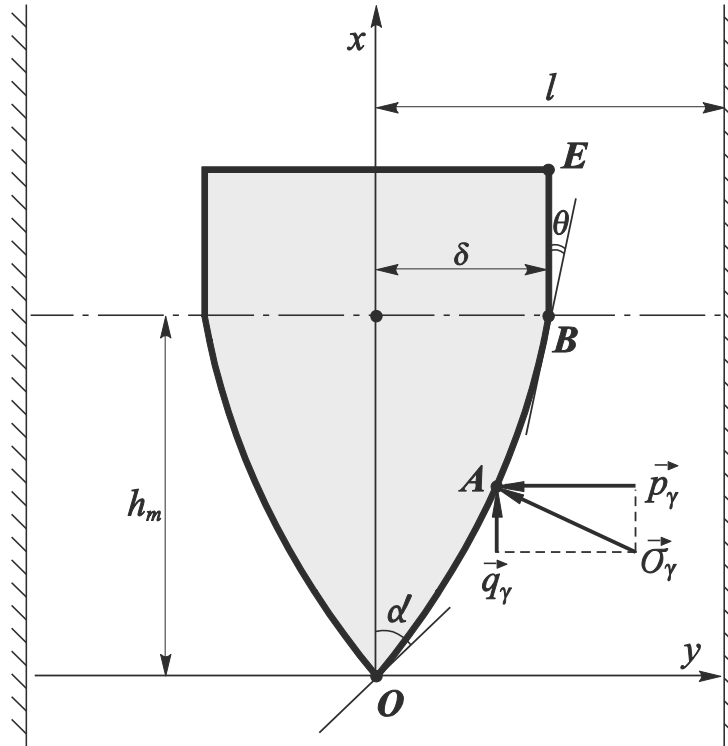


Рис. Вид криволинейного профиля ножа с прямым обухом
Fig. View to a curved profile of a flat-back knife

Определим дискриминант уравнения (11):

$$\begin{aligned}
 D_1 &= \frac{4}{h_m^2} \cdot \left(3 \cdot \frac{\delta}{h_m} - \operatorname{tg} \theta - 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)^2 - \frac{12}{h_m^2} \cdot \left(\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} \alpha - 2 \cdot \frac{\delta}{h_m} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha = \\
 &= \frac{4}{h_m^2} \cdot \left[\left(3 \cdot \frac{\delta}{h_m} - (\operatorname{tg} \theta + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha) \right)^2 - 3 \cdot \left(\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} \alpha - 2 \cdot \frac{\delta}{h_m} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha \right] = \\
 &= \frac{4}{h_m^2} \cdot \left[9 \cdot \frac{\delta^2}{h_m^2} + (\operatorname{tg} \theta + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 - 6 \cdot \frac{\delta}{h_m} \cdot (\operatorname{tg} \theta + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha) - 3 \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \alpha - 3 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{6 \cdot \delta}{h_m} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right] = \\
 &= \frac{4}{h_m^2} \cdot \left[\frac{9 \cdot \delta^2}{h_m^2} + \operatorname{tg}^2 \theta + 4 \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \alpha + 4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{6 \cdot \delta}{h_m} \cdot \operatorname{tg} \theta - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{12 \cdot \delta}{h_m} \cdot \operatorname{tg} \alpha - 3 \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \alpha - 3 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{6 \cdot \delta}{h_m} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right] = \\
 &= \frac{4}{h_m^2} \cdot \left[\frac{9 \cdot \delta^2}{h_m^2} + \operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{6 \cdot \delta}{h_m} \cdot \operatorname{tg} \theta - \frac{6 \cdot \delta}{h_m} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right].
 \end{aligned} \tag{12}$$

Функция (9) будет положительной, если дискриминант уравнения (11) меньше нуля: $D_1 < 0$. Определим, при каких значениях δ/h_m дискриминант D_1 будет меньше нуля. С учетом (12) запишем квадратное уравнение:

$$9 \cdot \frac{\delta^2}{h_m^2} - \frac{6 \cdot \delta}{h_m} \cdot (tg\theta + tg\alpha) + tg^2\theta + tg\theta \cdot tg\alpha + tg^2\alpha = 0 \quad (13)$$

Найдем дискриминант уравнения (13):

$$\begin{aligned} D_2 &= 36 \cdot (tg\theta + tg\alpha)^2 - 36 \cdot (tg^2\theta + tg\theta \cdot tg\alpha + tg^2\alpha) = \\ &= 36 \cdot (tg^2\theta + 2 \cdot tg\theta \cdot tg\alpha + tg^2\alpha) - 36 \cdot (tg^2\theta + tg\theta \cdot tg\alpha + tg^2\alpha) = \\ &= 36 \cdot (tg^2\theta + 2 \cdot tg\theta \cdot tg\alpha + tg^2\alpha - tg^2\theta - tg\theta \cdot tg\alpha - tg^2\alpha) = 36 \cdot tg\theta \cdot tg\alpha. \end{aligned} \quad (14)$$

Выражение (14) всегда положительно при $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$; $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, следовательно, уравнение (13) имеет два различных действительных корня:

$$\frac{\delta}{h_m} = \frac{6 \cdot (tg\theta + tg\alpha)}{18} \pm 6 \cdot \sqrt{tg\theta \cdot tg\alpha} = \frac{1}{3} \cdot (tg\theta + tg\alpha \pm \sqrt{tg\theta \cdot tg\alpha}) \quad (15)$$

Таким образом, условие монотонности функции (8) при любых x выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{3} \cdot (tg\alpha + tg\theta - \sqrt{tg\alpha \cdot tg\theta}) \leq \frac{\delta}{h_m} \leq \frac{1}{3} \cdot (tg\alpha + tg\theta + \sqrt{tg\alpha \cdot tg\theta}) \quad (16)$$

Условие монотонности функции (8) при $x \in (0; h_m)$:

$$\frac{\delta}{h_m} \geq \frac{1}{3} \cdot (tg\alpha + tg\theta - \sqrt{tg\alpha \cdot tg\theta}) \quad (17)$$

При выполнении условия (17) нарушение монотонности функции возможно только для x вне отрезка $(0; h_m)$. Из (17) видим, что условие монотонности при заданном отношении половинной толщины ножа к высоте его передней наклонной грани зависит от половинного угла заточки и угла сопряжения.

Координату точки перегиба функции (8) определим из условия $y''(x) = 0$:

$$\frac{2}{h_m} \cdot \left(3 \cdot \frac{\delta}{h_m} - tg\theta - 2 \cdot tg\alpha + \frac{3}{h_m} \cdot \left(tg\theta + tg\alpha - 2 \cdot \frac{\delta}{h_m} \right) \cdot x \right) = 0 \quad (18)$$

откуда абсциссу точки перегиба получим в следующем виде:

$$x_p = \frac{h_m \cdot (tg\theta + 2 \cdot tg\alpha - 3 \cdot \delta/h_m)}{3 \cdot (tg\theta + tg\alpha - 2 \cdot \delta/h_m)}$$

Таким образом, располагая разработанной моделью (8), описывающей форму фаски ножа, в условиях стесненного сжатия материала представляется возможным рассчитать деформационные силы трения [12-14], а также силы сопротивления формы ножа [15, 16], используя дифференциальное уравнение состояния материала [17].

ВЫВОДЫ

1. Разработка математического описания профиля ножа создает теоретическую основу для постановки и решения оптимизационных задач по определению оптимальной геометрии режущего органа с целью обеспечения ресурсосбережения.

2. Наличие математической модели, описывающей форму фаски, позволяет определить оптимальный половинный угол заточки по критерию минимальной

силы сопротивления резанию. Кроме того, существует возможность рассчитать оптимальный половинный угол заточки, а также половинную толщину ножа – по критерию минимальной деформационной силы трения.

3. Формализованное представление профиля в совокупности с математическими моделями для определения сил сопротивления формы ножа и деформационных сил трения позволяют выполнить постановку и решение вариационной задачи по определению вида функции, описывающей оптимальную форму профиля режущего органа с минимальным вредным сопротивлением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. 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.
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. Pagani M, Perego U. Explicit dynamics simulation of blade cutting of thin elastoplastic shells using «directional» cohesive elements in solid-shell finite element models. *Computer methods in applied Mechanics and Engineering*, 2015, no. 285, pp. 515-541.
6. Boisly M, Schuldt S, Kaestner M.G, Schneider Y, Rohm H. Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 191, pp. 1-9.
7. Schuldt S, Schneider Y, Rohm H. High-speed cutting of foods: Cutting behavior and initial cutting forces. *Journal of Food Engineering*, 2018, no. 230, pp. 55-62.
8. Han P, Che D, Pallav K, Ehmann K. Models of the cutting edge geometry of medical needles with applications to needle design. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2012, no. 65, pp. 157-167.
9. Wang H, Chang L, Mai Y.-W, Ye L, Williams J.G. An experimental study of orthogonal cutting mechanisms for epoxies with two different crosslink densities. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2018, no. 124, pp. 117-125.
10. Takabi B, Tai B. L. A review of cutting mechanics and modeling techniques for biological materials. *Medical Engineering & Physics*, 2017, no. 45, pp. 1-14.
11. Определение усилия со стороны ножа при резании с качением корнеклубнеплодов в измельчителе с горизонтальным вращающимся диском / П. А. Савиных [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2016. – № 3(23). – С. 62-75.
12. Ageev O, Naumov V, Fatykhov J. Mathematical modeling of the resistance force of the profile of a flat-back knife. *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, no. 6, pp. 580-587.

13. Агеев, О.В. Математическое моделирование силы сопротивления формы ножа с прямым обухом / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов // Трение и износ. – 2019. – Т. 40. – № 6. – С. 766-775.

14. Федоров, С.В. К исследованию совместимости трущихся поверхностей / С.В. Федоров // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – Т. 75. – № 5. – С. 283-288.

15. Агеев, О.В. Математическое моделирование деформационной силы трения ножа с различными параметрами шероховатости при резании рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов // Известия КГТУ. – 2019. – № 54. – С. 77-90.

16. Расчет деформационной составляющей коэффициента трения шероховатой поверхности ножа при резании рыбы / О.В. Агеев [и др.] // Известия КГТУ. – 2019. – № 55. – С. 177-189.

17. Агеев, О.В. Анализ соответствия реологических моделей структурно-механическим свойствам рыбы / О.В. Агеев [и др.] // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2018. – № 2(36). – С. 34-43.

REFERENCES

1. 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.

2. 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.

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. Pagani M., Perego U. Explicit dynamics simulation of blade cutting of thin elastoplastic shells using «directional» cohesive elements in solid-shell finite element models. *Computer methods in applied Mechanics and Engineering*, 2015, no. 285, pp. 515-541.

6. Boisly M., Schuldt S., Kaestner M. G, Schneider Y., Rohm H. Experimental characterisation and numerical modelling of cutting processes in viscoelastic solids. *Journal of Food Engineering*, 2016, no. 191, pp. 1-9.

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

8. Han P., Che D., Pallav K., Ehmann K. Models of the cutting edge geometry of medical needles with applications to needle design. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2012, no. 65, pp. 157-167.

9. Wang H., Chang L., Mai Y.-W., Ye L., Williams J. G. An experimental study of orthogonal cutting mechanisms for epoxies with two different crosslink densities. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2018, no. 124, pp. 117-125.

10. Takabi B., Tai B. L. A review of cutting mechanics and modeling techniques for biological materials. *Medical Engineering & Physics*, 2017, no. 45, pp. 1-14.

11. Savinykh P. A., Aleshkin A. V., Bulatov S. J., Smirnov R. A. Opredelenie usiliya so storony nozha pri rezanii s kacheniem korneklubneplodov v izmel'chitele s gorizontaln'ym vrashchayushchimsya diskom [Calculation of the knife force in cutting with a rolling blade in the chopper with a horizontal rotating disc]. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*, 2016, no. 3(23), pp. 62-75.

12. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Mathematical modeling of the resistance force of the profile of a flat-back knife. *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, no. 6, pp. 580-587.

13. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie sily soprotivleniya formy nozha s pryamym obukhom [Mathematical simulation of resistance force of a flat-back knife profile]. *Trenie i iznos*, 2019, vol. 40, no. 6, pp. 766-775.

14. Fedorov S. V. K issledovaniyu sovmestimosti trushchikhsya poverkhnostey [On the study of the compatibility of rubbing surfaces]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2016, vol. 75, no. 5, pp. 283-288.

15. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie deformatsionnoy sily treniya nozha s razlichnymi parametrami sherokhovatosti pri rezanii ryby [Mathematical simulation of deformation friction force of knife with different parameters of roughness during fish cutting]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 54, pp. 77-90.

16. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samoilo N. V. Raschet deformatsionnoy sostavlyayushchey koeffitsienta treniya sherokhovatoy poverkhnosti nozha pri rezanii ryby [Calculation of deformation friction coefficient of rough knife surface during fish cutting]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 55, pp. 177-189.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Агеев Олег Вячеславович – 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

УДК 664

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ
НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЙНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ
НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ

М. П. Андреев, И. О. Морозов

INFLUENCE OF STABILIZERS OF DIFFERENT NATURE
ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE JELLY PRODUCTS BASED
ON SECONDARY RAW MATERIALS

M. P. Andreev, I. O. Morozov

Обосновано применение структурообразователей для производства желейных продуктов из вторичного рыбного сырья. Целесообразность использования структурообразователей объясняется необходимостью повышения прочностных характеристик желейных пищевых продуктов на основе вторичного рыбного сырья ввиду недостаточного содержания коллагена в тканях рыбы, необходимого для получения продукта с заданными прочностными свойствами. Сырьем для получения желейных продуктов явились отвары, приготовленные из отходов от разделки балтийской трески и судака по предварительно разработанной технологии. Продолжительность варки составляла 60 мин при гидромодуле 2. Определены виды структурообразователей и их концентрации для улучшения консистенции готового желейного продукта на основе вторичного рыбного сырья. Установлено влияние и эффективность применения структурообразователей различной природы на реологические характеристики желейного продукта. В качестве структурообразователей при проведении эксперимента использовались комплексные пищевые добавки различной природы, относящиеся к группе загустителей, основными компонентами которых являются: альгинаты, камеди, стандартизированный каррагенан, желатин. Концентрация варьировалась в пределах 0,1-2,0 %. Определены и представлены значения реологических характеристик исследуемых образцов желейных продуктов из вторичного рыбного сырья, такие как число пенетрации, скорость деформирования и предельное напряжение сдвига. По результатам реологического исследования установлены оптимальные виды комплексных загустителей для применения их в технологии желейных продуктов из рыбного сырья. Обоснована рациональность применения комплексных загустителей для производства желейных продуктов из вторичного рыбного сырья в минимальных концентрациях, составляющих 0,1-0,5 % в зависимости от природы загустителей. Экспериментально установлена возможность повышения прочностных характеристик желейного продукта на основе рыбного сырья в пять раз при добавлении структурообразователей в минимальных концентрациях.

комплексный структурообразователь, желейный продукт, вторичное сырье, реологические характеристики, число пенетрации, скорость деформирования, предельное напряжение сдвига

The paper substantiates the use of stabilizers for the jelly production from secondary raw fish materials. The expediency of using stabilizers is explained by the necessity to increase the strength characteristics of jelly food products based on secondary raw materials of aquatic biological resources. This is due to the insufficient collagen content in fish tissues which is necessary to obtain a product with desired strength properties. Raw materials for the jelly production were broths from Baltic cod and pike perch. The boiling time was 60 minutes with a hydraulic module 2. Optimal type of stabilizers and their concentrations were determined to improve the consistency of the finished jelly product. The influence and efficiency of the use of stabilizers of various natures on the rheological characteristics of a jelly product based on secondary raw materials was established. The complex food additives of various natures were used as stabilizers. These are alginates, gums, standardized carrageenan, and gelatin. The concentration ranged from 0.1 to 2.0%. The rheological characteristics of the investigated samples of jelly products from secondary raw materials have been determined. According to the results of a rheological research, the optimal types and concentration of complex stabilizers have been established for their use in the technology of jelly products from fish. The possibility of increasing the strength characteristics of the product by five times by the addition of stabilizers in minimal concentrations (0.1 – 0.5 %) has been experimentally established.

complex stabilizer, jelly product, secondary raw materials, rheological characteristics, penetration number, deformation rate, yield value

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время комплексная переработка сырья водного биологического происхождения является одной из актуальных задач рыбоперерабатывающей отрасли. Вторичное сырье, образующееся при переработке водных биоресурсов (ВБР) на пищевые цели, обладает высокой биологической ценностью, что определяет актуальность его использования для получения продуктов различного назначения. Особый интерес представляет технология жележных пищевых продуктов на основе отваров, приготовленных из отходов от разделки рыбы, таких промысловых объектов бассейна Балтийского моря, как балтийская треска (*Gadus morhua callarias*) и судак (*Stizostedion lucioperca*), представляющих особый интерес для Калининградского региона.

Рыбное сырье является источником коллагена, обладающего хорошими эмульгирующими свойствами и способно придать жележному продукту необходимые структурные свойства. Известно, что в коже рыбы содержится до 85-90% коллагена (от общего содержания азотистых веществ) [1, 2]. Использование кожи, как компонента для производства жележных продуктов, будет способствовать развитию процесса студнеобразования [3]. Однако нужно отметить, что концентрация коллагена в тканях рыбы недостаточна для получения продукта с высокими прочностными характеристиками [4]. Поэтому для получения жележного продукта с устойчивой структурой, необходимо использовать структурообразователи, способные придать готовому продукту заданную устойчивую структуру [5, 6].

В связи с этим, целью работы явилась оценка влияния структурообразователей на реологические свойства жележного продукта из вторичного рыбного сы-

рья, в качестве которого использовалось сырье от разделки рыбы (головы, плавники, кости с прирезами мяса, кожа).

Одним из важных факторов при оценке качества жележных пищевых продуктов является их консистенция. Желейный продукт должен представлять собой студнеобразную массу и иметь упруго-эластичную и прочную консистенцию. По своей структуре жележный продукт представляет собой поликомпонентную систему, состоящую из высокомолекулярного соединения и низкомолекулярной жидкости с преобладающим содержанием последней и проявляющую способность к высокой обратимой деформации при практически полном отсутствии текучести [7].

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Подготовка отвара из отходов от разделки судака и трески производилась по ранее разработанным параметрам обработки. Варка вторичного рыбного сырья осуществлялась в три стадии (рис. 1). На первой стадии головы судака и головы трески подвергаются варке в воде в течение 60 мин при гидромодуле 2. На второй стадии, после удаления голов трески и судака, в тот же отвар помещали кости судака. После шестидесятиминутной варки кости судака заменяли на кости и кожу трески балтийской (соотношение 70:30). Продолжительность каждой варки составляла 60 мин. Соотношение вторичного рыбного сырья и воды составляло 1:2. Полученный конечный отвар содержал 5 % сухих веществ и имел рН, равный 6,6. Температура исследуемого продукта равнялась температуре холодильного хранения и составляла $4\pm 2^\circ\text{C}$.

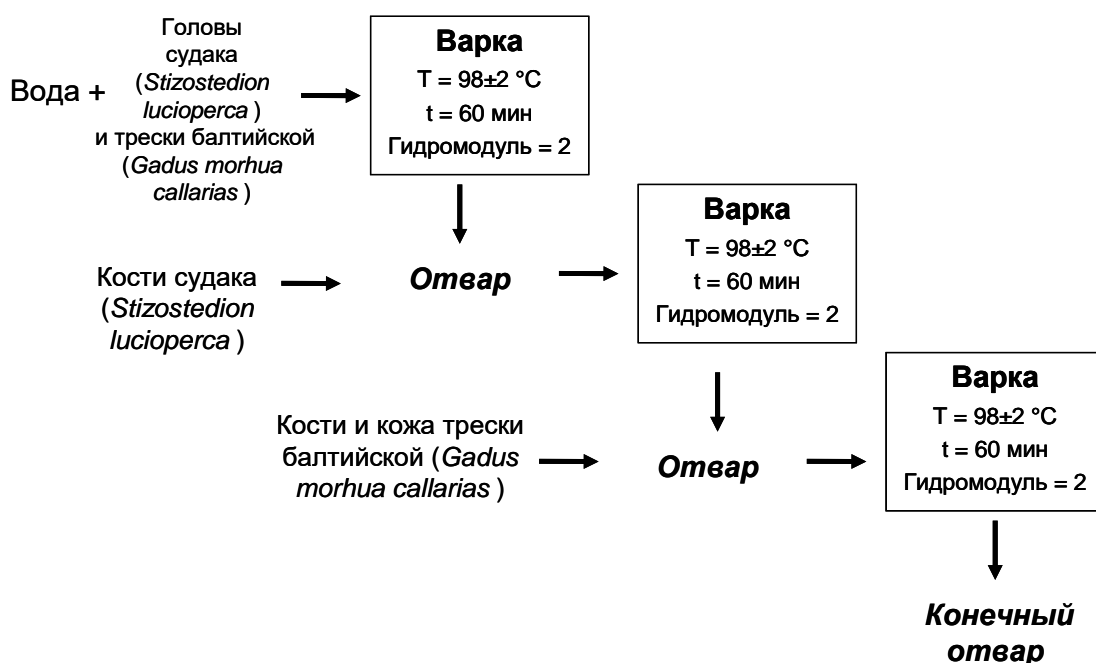


Рис. 1. Технология получения отвара для приготовления жележных продуктов на основе вторичного рыбного сырья
 Fig. 1. The broth technology for the jelly products manufacturing based on secondary fish raw materials

В полученные конечные отвары вносили следующие комплексные структурообразователи различной химической природы: КФ Стабипро ФЭТ, Майомил Е-06, Ерол М35, Рутагель. Все добавки относятся к группе комбинированных загустителей. КФ Стабипро ФЭТ в своем составе содержит альгинат натрия (Е401), сульфат кальция (Е516), пирофосфаты (Е450iii). Майомил Е-06 представляет собой смесь ксантановой и гуаровой камедей. Ерол М35 является стандартизированным каррагенаном (Е407). Рутагель представляет собой комплексную добавку, основным компонентом которого является желатин. Количество вносимых структурообразователей варьировалось от 0,1 % до 2,0 % в зависимости от рекомендаций использования каждого структурообразователя.

Известно, что желе, как и многие пищевые массы, обладают структурами, которые по физическим свойствам занимают промежуточное положение между твердым и жидким состоянием. Наличие внутренней структуры придает данному продукту определенные механические свойства — упругость, прочность, которые объективно характеризуют их консистенцию. Для выбора структурообразователя подходящего вида, учитывали следующие основные критерии: температуру; консистенцию, реакцию среды и реологические свойства продукта. Применение различных видов структурообразователей и варьирование их количества позволяет добиваться заданных структурномеханических свойств [4].

Поэтому полученные жележные продукты характеризовали по прочности — показателю, оценивающему свойства материалов не разрушаясь, воспринимать те или иные воздействия в определенных условиях и пределах, и упругость — способность тел мгновенно восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия внешних сил. Данные реологические характеристики оценивали по следующим показателям: число пенетрации, предельное напряжение сдвига и скорость деформирования. Число пенетрации — показатель, характеризующий реологические свойства веществ. Он равен глубине погружения рабочего тела пенетрометра в единицах десятых долей миллиметра. Скорость деформирования — линейная скорость перемещения рабочего инструмента в направлении основной деформации. Предельное напряжение сдвига (ПНС) — напряжение, по достижении которого материал начинает необратимо деформироваться [8]. Комплексная оценка консистенции продукта проводилась при определении комплекса реологических характеристик в корреляции с органолептической оценкой продукта.

В качестве реометра применялся пенетрометр ПМДП с константой конуса с углом при вершине $60^\circ K=2,14$ Н/кг. Методика определения числа пенетрации и ПНС основана на измерении погружения конуса при действии постоянной нагрузки в течение 180 с в специально подготовленный образец [9].

По полученным данным глубины погружения определяли величину предельного напряжения сдвига (ПНС) по формуле (1)

$$Q = \frac{k \cdot m}{h^2}, \quad (1)$$

где Q — предельное напряжение сдвига, Па; m — действительная величина нагрузки, кг; h — глубина погружения конуса, м; k — константа конуса с углом при вершине 60° , $k = 2,14$ Н / кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Одним из показателей, характеризующих реологические свойства пищевых систем является число пенетрации. Изучено изменение числа пенетрации образцов желейного продукта на основе вторичного рыбного сырья с добавлением структурообразователей в различных концентрациях в зависимости от продолжительности действия нагрузки, вызываемой рабочим телом пенетromетра (рис. 2).

Установлено, что основное изменение глубины погружения конуса в желейный продукт с добавлением комплексных структурообразователей наблюдается в начальные 60 с. Дальнейшие изменения чисел пенетрации на протяжении 120 с являются незначительными, за исключением образца, полученного без применения структурообразователей.

Все используемые добавки оказывают положительное влияние на прочность и, следовательно, консистенцию продукта. На величину числа пенетрации также оказывает влияние концентрация структурообразователя. При ее увеличении число пенетрации уменьшается, что свидетельствует о повышении прочности желейных продуктов.

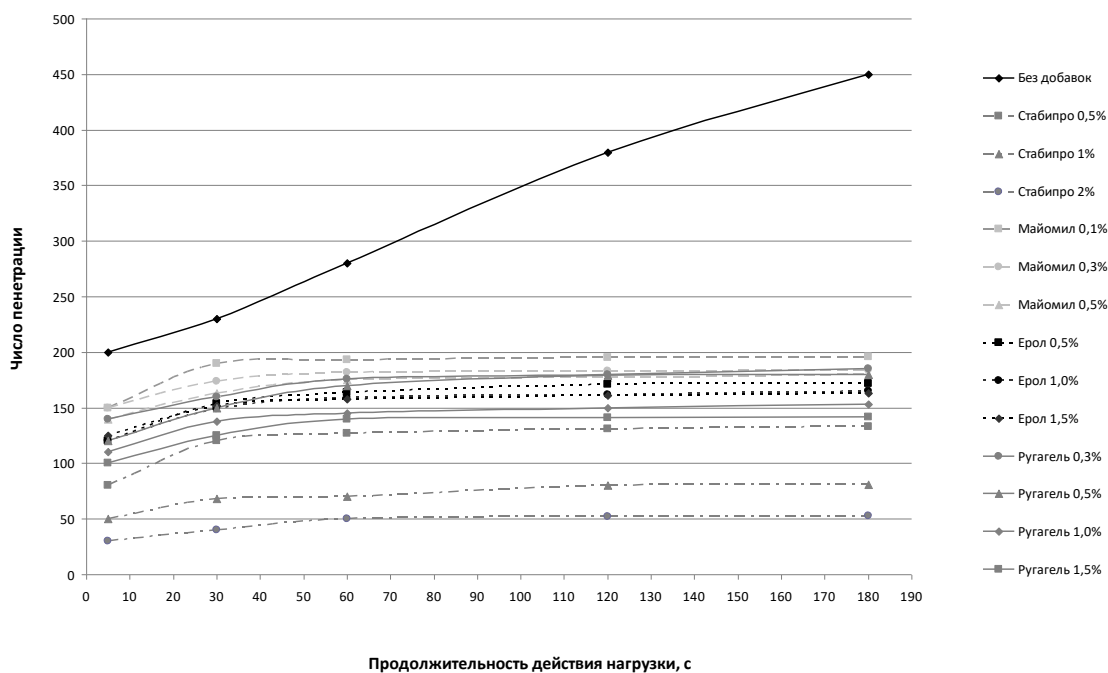


Рис. 2. Изменение числа пенетрации образцов желейного продукта с добавлением структурообразователей в различных концентрациях

Fig. 2. The penetration number change in jelly product samples with the addition of structure formers in various concentrations

Органолептическая оценка образцов желейного продукта из вторичного рыбного сырья показала, что увеличение концентрации структурообразователей благоприятно сказывалось на консистенции готового продукта, но негативно влияло на его внешний вид.

По графику скорости деформирования можно наглядно проследить влияние вносимых добавок на консистенцию и прочность желейного продукта. На

рис. 3 приведены графики скорости деформирования желейного продукта из вторичного рыбного сырья с добавлением комплексных структурообразователей в различных концентрациях.

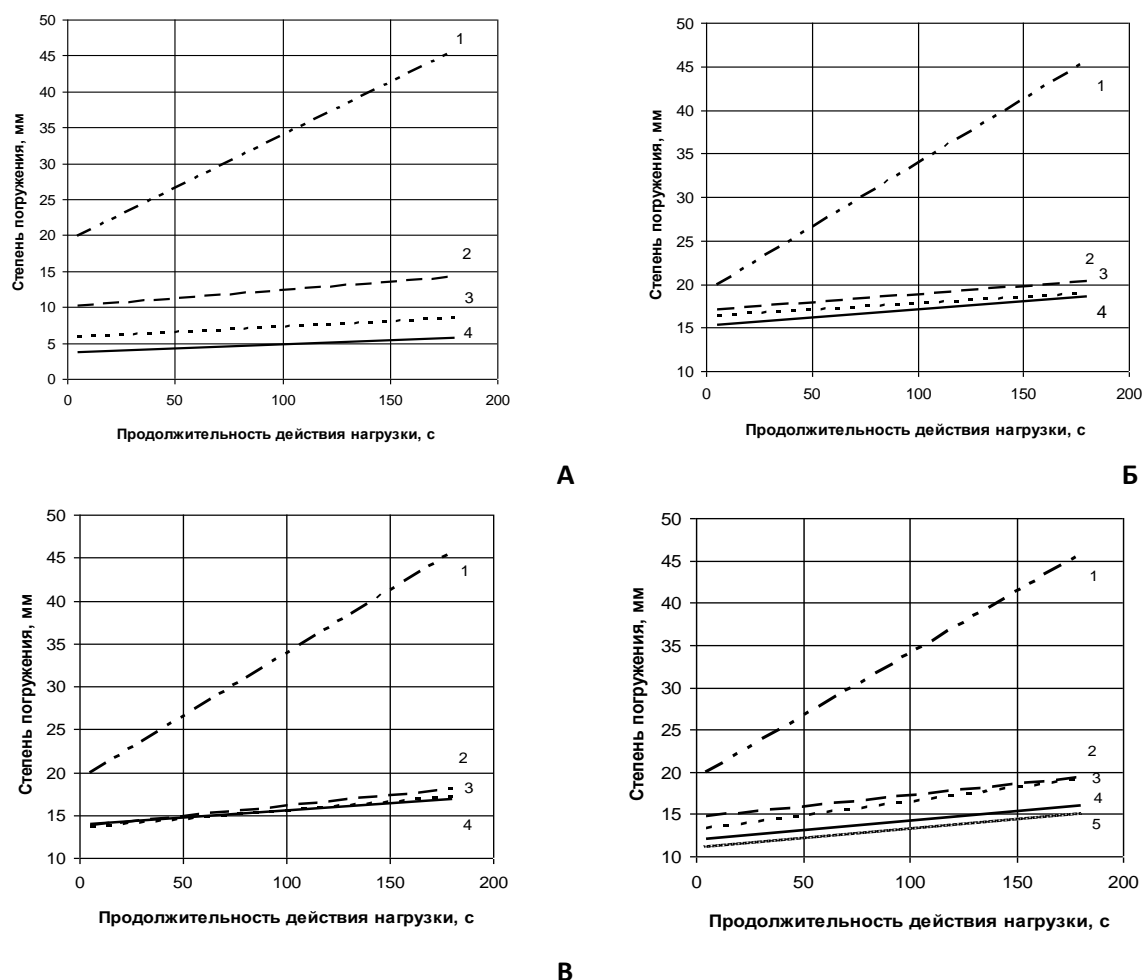


Рис. 3. Графики скорости деформирования желейного продукта с добавлением комплексных пищевых добавок: **А** – «КФ Стабипро ФЭТ» (1 – без добавок, 2 – КФ Стабипро ФЭТ 0,5 %, 3 – КФ Стабипро ФЭТ 1 %, 4 – КФ Стабипро ФЭТ 2 %); **Б** – «Майомил Е-06» (1 – без добавок, 2 – Майомил Е-06 0,1 %, 3 – Майомил Е-06 0,3 %, 4 – Майомил Е-06 0,5 %); **В** – «Ерол М-35» (1 – без добавок, 2 – Ерол М-35 0,5 %, 3 – Ерол М-35 1,0 %, 4 – Ерол М-35 1,5 %); **Г** – «Рутагель» (1 – без добавок, 2 – Рутагель 0,3 %, 3 – Рутагель 0,5 %, 4 – Рутагель 1,0 %, 5 – Рутагель 1,5 %)

Fig. 3. The strain rate graphs of a jelly product with the addition of complex nutritional supplements: **A** – “KF Stabipro FET” (1 – without additives, 2 – KF Stabipro FET 0.5 %, 3 – KF Stabipro FET 1 %, 4 – KF Stabipro FET 2 %), **Б** – “Mayomil E-06” (1 – without additives, 2 – Mayomil E-06 0.1 %, 3 – Mayomil E-06 0.3 %, 4 – Mayomil E-06 0.5 %), **В** – “Erol M-35” (1 – without additives, 2 – Erol M-35 0.5 %, 3 – Erol M-35 1.0 %, 4 – Erol M-35 1.5 %), **Г** – “Rutagel” (1 – without additives, 2 – Rutagel 0.3 %, 3 – Rutagel 0.5 %, 4 – Rutagel 1.0 %, 5 – Rutagel 1.5 %)

Исходя из угла наклона графика к оси времени видно, что скорости деформирования в образцах значительно снижаются после внесения комплексных пищевых структурообразователей, что свидетельствует о повышении прочности готового железного продукта из вторичного рыбного сырья. Концентрация вносимых добавок оказывает незначительное влияние на изменение скорости деформирования в образцах с применением комплексных структурообразователей, из чего следует, что применять структурообразователи рационально в минимальных дозах.

При анализе реологических характеристик исследуемого продукта рассмотрена зависимость предельного напряжения сдвига (ПНС) от концентрации используемого комплексного структурообразователя. Отмечено, что значение ПНС увеличивается с увеличением концентрации структурообразователей (рис. 4). С увеличением значения ПНС, увеличиваются прочностные характеристики исследуемого продукта.

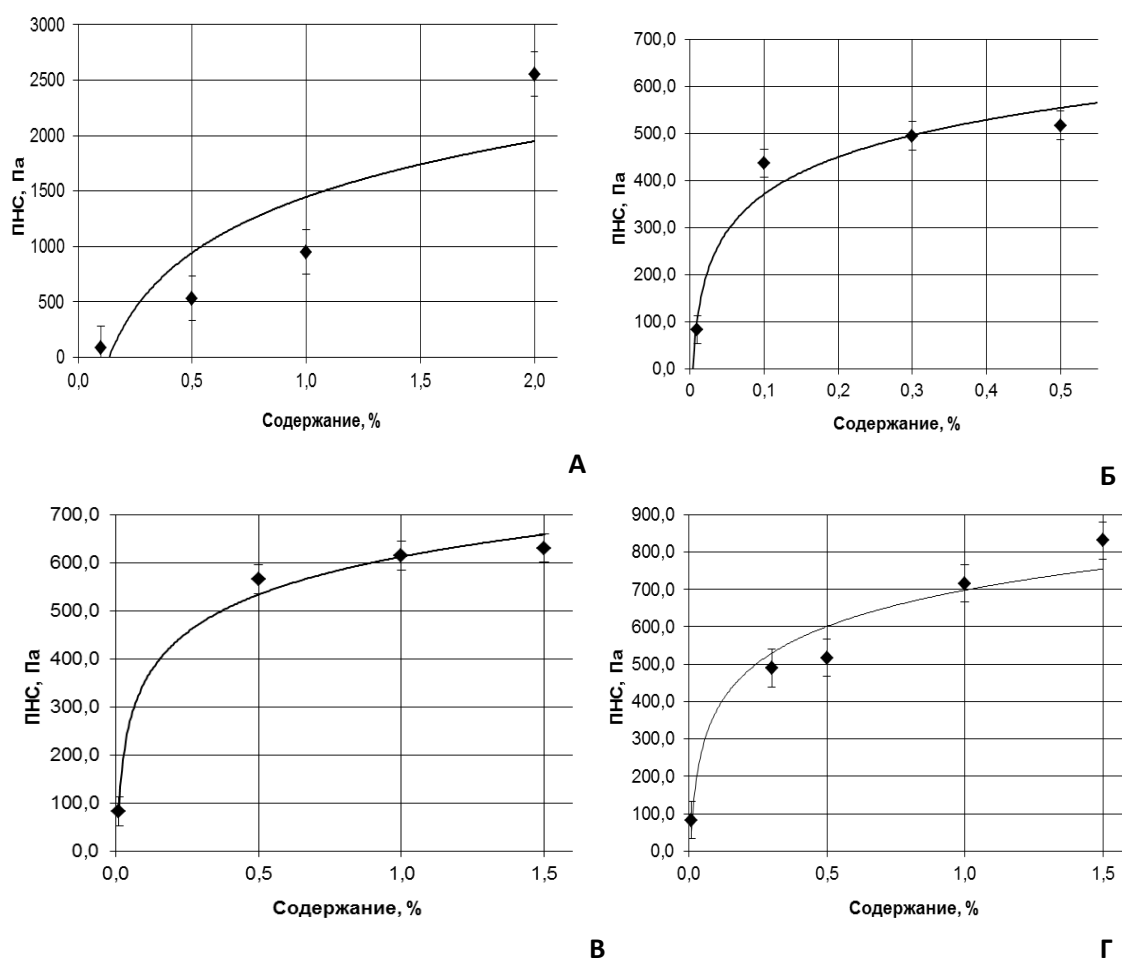


Рис. 4. Влияние концентрации комплексных пищевых добавок на ПНС жележного продукта из вторичного рыбного сырья (А – «КФ Стабипро ФЭТ», Б – «Майомил E-06», В – «Ерол M-35», Г – «Рутагель»)

Fig. 4. The effect of the complex food additives concentrations on the yield value of a jelly product from secondary fish raw materials (A – KF Stabipro FET, B – Mayomil E-06, B – Erol M-35, Г – Rutagel)

Наибольшее значение ПНС достигается с использованием «КФ Стабипро ФЭТ», однако при такой концентрации структурообразователя заметно ухудшается внешний вид готового продукта, что негативно отражается на органолептических свойствах продукции. При сравнении органолептических показателей продуктов, при концентрации структурообразователей в пределах 0,1-1,0 %, разница в органолептических характеристиках продукции была незначительной, и все комплексные структурообразователи могут быть использованы для получения жележных продуктов.

Анализируя данные рис. 4, установлено, что добавление структурообразователя «Майомил Е-06», в состав которого входит ксантановая и гуаровая камеди, в незначительных концентрациях – 0,1% увеличивает прочностные свойства продукта в 5 раз в сравнении с образцом без структурообразователя, о чем можно судить по значениям предельного напряжения сдвига. ПНС для образца без структурообразователя составляет 82,7 Па, при внесении структурообразователя «Майомил Е-06» в концентрации 0,1 % значение ПНС жележного продукта увеличилось до 436,2 Па. Остальные структурообразователи достигали подобного эффекта при более высоких концентрациях. Например, при внесении комплексного структурообразователя «КФ Стабипро ФЭТ», содержащего альгинат натрия (Е401), сульфат кальция (Е516) и пирофосфаты (Е450iii), в концентрации 0,5 % приводит к увеличению значения ПНС до 532,4 Па. Внесение структурообразователя «Ерол М35», являющегося стандартизированным каррагеноном (Е407), в концентрации 0,5 % повышает значение ПНС до 566,4 Па. Внесение комплексной добавки «Рутагель», основным компонентом которой является желатин, в концентрации 0,3% обеспечивает увеличение ПНС жележного продукта до 489,6 Па.

Зависимости, приведенные на рис. 4, также показывают, что наибольшее увеличение значений ПНС наблюдается при внесении структурообразователей в минимальных дозах. Последующее увеличение концентрации структурообразователя приводит к незначительному увеличению значений ПНС исследуемых жележных продуктов. Это объясняет рациональность применения комплексных структурообразователей в минимальных дозах, что также подтверждается данными графиков скоростей деформирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что добавление структурообразователя «Майомил Е-06» в незначительных концентрациях – 0,1 %, увеличивает значение ПНС продукта в пять раз по сравнению с образцом без добавок. Другие комплексные структурообразователи достигают подобного эффекта при более высоких концентрациях – 0,3 и 0,5 % соответственно. Следовательно, наиболее эффективным структурообразователем для производства жележных продуктов на основе вторичного сырья водных биоресурсов является Майомил Е-06, представляющий собой смесь ксантановой и гуаровой камедей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбы заливов и морских вод Балтийского региона: справочное пособие по технохимической, технологической и биологической характеристикам рыб. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1995. – 97 с.
2. Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов / под ред. В. П. Быкова. – Москва: Изд-во ВНИРО, 1999. – 207 с.
3. Abdelhedi O. Rheological and structural properties of Hemiramphus far skin gelatin: Potential use as an active fish coating agent / Ola Abdelhedia, Mourad Jridia, Rim Nasria, Leticia Morab, Fidel Toldrab, Moncef Nasria // *Food Hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 87. – 331-341 p.
4. Богданов, В. Д. Структурообразователи и рыбные композиции / В. Д. Богданов, Т. М. Сафронова. – Москва: ВНИРО, 1993. – 172 с.
5. Khawaja Muhammad Imran Bashir. Natural Food Additives and Preservatives for Fish-Paste Products: A Review of the Past, Present, and Future States of Research / Khawaja Muhammad Imran Bashir, Jin-Soo Kim, Jeong Hyeon An, Jae Hak Sohn, Jae-Suk Choi // *Journal of Food Quality* электронный научный журнал. – 2017 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2017/9675469/> (дата обращения: 15.05.2019).
6. Cando D. Different additives to enhance the gelation of surimi gel with reduced sodium content / Cando D., Herranz B., Borderas A.J., Moreno H.M. // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 196. – 791-799 p.
7. Муратова, Е. И. Реология кондитерских масс: моногр. / Е. И. Муратова, П. М. Смолихина. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 188 с.
8. Косой, В. Д. Инженерная реология биотехнологических сред / В. Д. Косой, Я. И. Виноградов, А. Д. Малышев. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005. – 648 с.
9. ГОСТ Р 50814-95 Мясопродукты. Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором. – Введ. 01.08.1996. – Москва: Стандартинформ, 2010.

REFERENCES

1. *Ryby zalivov i morskikh vod Baltiyskogo regiona: spravocnoe posobie po tekhnokhimicheskoj, tekhnologicheskoj i biologicheskoj kharakteristikam ryb* [Gulf and sea fish of the Baltic region: reference manual on the techno-chemical, technological and biological characteristics of fish]. Kaliningrad, AtlantNIRO Publ., 1995, 97 p.
2. Bykov V. P. *Spravochnik po khimicheskomu sostavu i tekhnologicheskim svoystvam ryb vnutrennikh vodoemov* [Handbook of the chemical composition and technological properties of inland fish]. Moscow, VNIRO Publ., 1999, 207 p.
3. Abdelhedi O. Rheological and structural properties of Hemiramphus far skin gelatin: Potential use as an active fish coating agent. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 331-341
4. Bogdanov V. D. *Strukturoobrazovateli i rybnye kompozitsii* [Structuring agents and fish compositions]. Moscow, VNIRO Publ., 1993, 172 p.
5. Khawaja Muhammad Imran Bashir. Natural Food Additives and Preservatives for Fish-Paste Products: A Review of the Past, Present, and Future States of Research

Journal of Food Quality, 2017, available at: <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2017/9675469/> (Accessed 15 May 2019).

6. Cando D. Different additives to enhance the gelation of surimi gel with reduced sodium content, *Food Chemistry*, 2017, vol. 196, pp. 791-799.

7. Muratova E. I. *Reologiya konditerskikh mass* [Rheology of confectionery mass]. Tambov, Tambovskiy Gos. Univ., 2013, 188 p.

8. Kosoy V. D. *Inzhenernaya reologiya biotekhnologicheskikh sred* [Engineering rheology of biotechnological environments]. Saint-Petersburg, GIORP Publ., 2005, 648 p.

9. GOST R 50814-95 Myasoprodukty. Metody opredeleniya penetratsii konusom i igol'chatym indentorom [Meat products. Methods for determining penetration by a cone and a needle indenter]. Moscow, Standartinform Publ., 2010

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреев Михаил Павлович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук; профессор кафедры технологии продуктов питания; E-mail: andreev@atlantniro.ru

Andreev Mikhail Pavlovich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of Technical Sciences, Professor; Department of food technology;
E-mail: andreev@atlantniro.ru

Морозов Илья Олегович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры технологии продуктов питания
E-mail: ilia.morozov2@mail.ru

Morozov Ilya Olegovich - Kaliningrad State Technical University;
Post-graduate student; Department of food technology;
E-mail: ilia.morozov2@mail.ru

УДК 639.385(06)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЫБНОЙ ЧЕШУИ В ПИЩЕВЫХ ЦЕЛЯХ

В. И. Воробьев

USE OF FISH SCALES FOR FOOD PURPOSES

V. I. Vorobyov

Разработан способ переработки рыбной чешуи, позволяющий получать функциональные питьевые напитки, а также пищевые добавки. Способ заключается в том, что рыбная чешуя после промывки водой подвергается термообработке в жидкостях (85 - 100 град С), содержащих, по меньшей мере, один вид органической кислоты (фруктовые, овощные, ягодные соки, молочная сыворотка и др.). Полученная смесь после термообработки фракционируется на жидкую часть, которая охлаждается (функциональный напиток), и твёрдую часть (чешуя после термообработки), которая высушивается и измельчается (пищевая добавка). Представлен химический анализ (общий, аминокислотный, токсичных элементов) образцов сырья (чешуя судака, яблочный сок прямого отжима) и готовой продукции (яблочный сок с продуктами термогидролиза чешуи и пищевая добавка). Определено, что при термической обработке чешуи в жидкости массовая доля белка в яблочном соке увеличилась с менее 0,3 до 4,51, общей золы с 0,2 до 0,4, глицина с менее 0,25 до 1,07, аланина с менее 0,25 до 0,47 %, при уменьшении углеводов с 11,6 до 8,1 %. Содержание токсичных элементов в пищевой добавке не превышало предельно допустимых концентраций для пищевой и кормовой продукции, при этом массовая доля белка по сравнению с исходной чешуёй уменьшилась с 40,99 до 30,87 %, а углеводов увеличилась до 13,4 %. Вовлечение недостаточно используемого рыбного коллагенсодержащего сырья (рыбная чешуя) в промышленное производство способствует расширению линейки новой пищевой коллагенсодержащей продукции, снижению дефицита белка и уменьшению загрязнения окружающей среды.

рыбная чешуя, рыбный коллаген, функциональный питьевой напиток, пищевая добавка, желатин

A method for processing fish scales has been developed allowing to obtain functional drinks, as well as food additives. The method consists in the fact that fish scales, after washing with water, are subjected to heat treatment in liquids (85-100 degrees C) containing at least one type of organic acid (fruit, vegetable, berry juices, milk whey, etc.). The resulting mixture after heat treatment is fractionated into a liquid part, which is cooled (functional drink) and a solid part (scales after heat treatment), which is dried and ground (food supplement). The chemical analysis (total, amino acid, toxic elements) of raw materials (pike perch scales, direct-pressed apple juice) and finished products (apple juice with scales thermo-hydrolysis products and food

supplement) is presented. It has been determined that during heat treatment of flakes in a liquid, the mass fraction of protein in apple juice increased from less than 0.3% to 4.51%, total ash from 0.2% to 0.4%, glycine from less than 0.25% to 1.07%, alanine from less than 0.25% to 0.47%, with a decrease in carbohydrates from 11.6% to 8.1%. The content of toxic elements in the food supplement did not exceed the maximum permissible concentrations for food and feed products, while the mass fraction of protein compared to the original scale decreased from 40.99% to 30.87%, and carbohydrates increased to 13.4%. The involvement of underutilized fish collagen-containing raw materials (fish scales) in industrial production contributes to the expansion of the range of new collagen-containing food products, reduction of protein deficiency and environmental pollution.

fish scales, fish collagen, functional drink, food additive, gelatin

ВВЕДЕНИЕ

Рыбная чешуя, образующаяся при разделке рыбы, в настоящее время мало востребована как сырьё в промышленном производстве (в основном используется при производстве рыбной муки). Некоторое распространение в странах Юго-Восточной Азии имеет непосредственное использование рыбной чешуи, обжаренной во фритюре с добавлением различных пищевых добавок, а также порошков рыбной чешуи, применяемых при приготовлении бульонов, супов, приправ, соусов, желе, формованных рыбных изделий, маринадов [1-3]. Весьма перспективным направлением переработки рыбной чешуи является производство рыбного коллагена (желатина) и их гидролизатов, имеющих повышенный спрос (функциональные продукты питания) ввиду пропаганды здорового образа жизни (основные поставщики Китай, Малайзия, Япония) [4, 5]. Однако, несмотря на значительное количество научных исследований, проводимых в последние 20 лет с целью получения рыбного коллагена (желатина) и их гидролизатов из рыбной чешуи, доля производимого рыбного коллагена (желатина) составляет менее 2 % процентов от общего количества коллагена, производимого в мире (основные источники - шкуры крупного рогатого скота и их кости, свиная кожа) [6, 7].

Основными проблемами переработки рыбной чешуи при получении коллагена (желатина) и их гидролизатов являются:

- значительное видовое разнообразие сырья (необходимость сертификации);
- сырьё является скоропортящимся и требует быстрой обработки;
- необходимость удаления значительного количества “балластных” компонентов сырья (минеральных веществ, неколлагеновых белков и др.);
- наличие рыбного запаха и цветность в готовой продукции;
- пониженные показатели качества и повышенная цена по сравнению с коллагеном животного происхождения.

Решение проблем переработки рыбной чешуи и применение простых экономически приемлемых способов получения коллагена (желатина) и их гидролизатов, а также продуктов на их основе, позволит вовлечь её в промышленное производство и получать конкурентную продукцию пищевого, косметического и иного назначения России на мировом рынке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись образцы чешуи судака (*Sander luciperca*), яблочный сок прямого отжима, опытные образцы пищевых продуктов (функциональный питьевой напиток, пищевая добавка), полученных в процессе термообработки чешуи в яблочном соке, согласно разработанному способу переработки. Местом проведения исследований являлись лаборатория органической химии КГТУ и лабораторный сертифицированный центр Атлантического филиала ФГБНУ "ВНИРО" ("АтлантНИРО"). Исследование аминокислотного состава образцов проводилось согласно методическим указаниям М-04-38-2009 Корма, комбикорма и сырье для их производства. Методика измерений массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель». Определение общего химического состава образцов сырья и готовой продукции, а также содержание токсичных элементов осуществлялось в соответствии с нормативной документацией, указанной в таблицах ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Коллаген из-за отсутствия и незначительного содержания некоторых аминокислот имеет довольно низкую пищевую ценность, тем не менее после его обработки (гидролиза) биодоступность получаемых продуктов увеличивается, кроме того, они приобретают улучшенные технологические характеристики, позволяющие применять их в качестве пищевых добавок, обладающих различными свойствами и используемых в различных направлениях [8].

Основные этапы процесса получения коллагена (желатина) из рыбной чешуи, как правило, включают: мойку сырья, его предварительную подготовку, экстракцию и очистку коллагена (желатина), их концентрирование и сушку [9, 10]. Полученный жидкий концентрат или порошок далее используют в качестве пищевой или косметической добавки при получении продукции различного назначения.

Технологическая операция предварительной подготовки чешуи (удаление минеральных веществ, неколагеновых белков и др.) сопровождается значительной потерей массы исходного сырья (50 % и более), длительна по времени (может быть несколько суток), требует использования значительных объёмов питьевой воды, что приводит к значительному удорожанию стоимости конечной продукции. Кроме того, в процессе обработки коллагенсодержащего рыбного сырья используются различные химические реагенты (кислоты, щёлочи, ферменты и т.д.), применение которых требует специального оборудования и необходимости их последующей нейтрализации.

Сотрудниками кафедры химии КГТУ разработан способ переработки рыбной чешуи (положительное решение о выдаче патента), исключающий использование сильных кислот и щелочей, дорогостоящих ферментов, значительных объёмов питьевой воды, длительных по времени и энергоёмких многочисленных технологических операций и способствующий сокращению потерь сырья в процессе его обработки.

Сущность способа заключается в том, что рыбная чешуя после мойки (удаление слизи, крови и других органических примесей) проходит кратковременную термообработку в жидкостях (85-100 град С), содержащих, по

меньшей мере, один вид органической кислоты (фруктовые, овощные, ягодные соки, молочная сыворотка и др.), после термообработки полученная смесь фракционируется на жидкую часть, которая охлаждается (функциональный напиток), и термообработанную рыбную чешую, которая высушивается и измельчается (пищевая добавка).

Особенностью способа переработки рыбной чешуи является отсутствие рыбного запаха и вкуса в получаемом функциональном напитке и высушенной пищевой добавке.

Химический анализ (общий, аминокислотный, токсичных элементов) образцов сырья (рыбная чешуя судака (*Sander lucioperca*), яблочного сока прямого отжима) и готовой продукции (термообработанного с чешуей яблочного сока и термообработанной в яблочном соке чешуи) представлен в табл. 1-4.

Анализ общего химического состава чешуи представлен в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав чешуи судака (очищенная и очищенная после термообработки в яблочном соке), %

Table 1. General chemical composition of zander scales (peeled and peeled after heat treatment in apple juice), %

Наименование определяемого показателя, %	Очищенная чешуя	Очищенная чешуя после термообработки в яблочном соке	НД на метод испытаний
Массовая доля влаги	11,30±0,20	8,10±0,10	ГОСТ 7636-85
Массовая доля жира	менее 0,1	менее 0,1	ГОСТ 7636-85
Массовая доля белка	40,99±0,70	30,87±0,11	ГОСТ 7636-85
Массовая доля углеводов	0	13,4	Массовая доля углеводов (%) = $100 - C_{\text{жира}} + C_{\text{белка}} + C_{\text{зола}} + C_{\text{воды}}$, где C – содержание
Массовая доля золы	47,70±6,10	47,60±6,10	ГОСТ 31727-2012
Массовая доля кальция	21,28±2,12	17,20±1,70	ГОСТ 31466-2012
Массовая доля фосфора	8,60±1,70	5,40±1,10	МУК 4.1.3217-14

Из табл. 1 видно, что в процессе термообработки в чешуе произошло снижение массовой доли белка, кальция и фосфора и увеличение углеводов, перешедших из яблочного сока.

Анализ содержания токсичных элементов очищенной чешуи судака после термообработки в яблочном соке представлен в табл. 2.

Таблица 2. Содержание токсичных элементов очищенной чешуи судака после термообработки в яблочном соке, мг/кг

Table 2. The content of toxic elements of peeled pike perch after heat treatment in apple juice, mg / kg

Наименование определяемого показателя	Результаты определения, мг/кг	Допустимые значения, не более	НД на метод испытаний
Свинец (Pb)	0,33±0,03	5,0	ГОСТ 30178-96
Мышьяк (As)	менее 0,01	2,0	ГОСТ 31707-2012
Кадмий (Cd)	0,020±0,002	0,3	ГОСТ 30178-96
Ртуть (Hg)	менее 0,001	0,5	МУК 4.1.1472-03
Медь (Cu)	0,15±0,54	80	ГОСТ 30178-96
Цинк (Zn)	58,4±11,7	100	ГОСТ 30178-96

Из табл. 2 видно, что содержание токсичных элементов в чешуе (конечный продукт) не превышает предельно допустимых концентраций.

Анализ аминокислотного состава очищенной чешуи судака, очищенной и термообработанной чешуи в яблочном соке, яблочного сока и термообработанного с чешуёй яблочного сока представлен в табл. 3.

Таблица 3. Аминокислотный состав очищенной чешуи судака, очищенной и термообработанной чешуи в яблочном соке, яблочного сока и термообработанного с чешуёй яблочного сока, %

Table 3. Amino acid composition of peeled pike perch, peeled and heat-treated scales in apple juice, apple juice and heat-treated apple juice scales, %

Наименование определяемого показателя	Чешуя очищенная	Сок яблочный	Сок яблочный после термообработки с чешуёй	Чешуя очищенная после термообработки в яблочном соке
1	2	3	4	5
Аргинин	2,90±1,16	Менее 0,5	Менее 0,5	1,97±0,79
Тирозин	0,80±0,08	Менее 0,25	Менее 0,25	Менее 0,25
Фенилаланин	0,72±0,22	Менее 0,25	Менее 0,25	0,53±0,16
Гистидин	0,45±0,22	Менее 0,5	Менее 0,5	Менее 0,5
Лейцин+Изолейцин	1,39±0,36	Менее 0,25	Менее 0,25	1,04±0,27
Метионин	0,39±0,13	Менее 0,25	Менее 0,25	Менее 0,25
Валин	3,49±1,40	Менее 0,5	Менее 0,5	2,48±0,99
Пролин	4,01±1,04	Менее 0,25	Менее 0,25	2,82±0,73
Треонин	0,94±0,37	Менее 0,5	0,70±0,28	0,64±0,26
Серин	1,34±0,35	Менее 0,25	Менее 0,25	0,92±0,24
Аланин	3,50±0,91	Менее 0,25	0,47±0,12	2,43±0,63
Глицин	7,47±1,94	Менее 0,25	1,07±0,36	5,30±1,38
Аспарагиновая кислота+Аспарагин	2,28±0,91	Менее 0,5	Менее 0,5	1,73±0,69

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Глутаминовая кислота+Глутамин	6,60±2,64	менее 0,5	менее 0,5	4,54±1,82
Триптофан	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1
Лизин	1,46±0,50	Менее 0,25	Менее 0,25	1,00±0,34
Цистин	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1

Из табл. 3 видно, что после термообработки чешуи в яблочном соке произошло снижение массовой доли глицина, пролина, глутаминовой кислоты, аланина, валина, аргинина, аспарагиновой кислоты и лизина, а в термообработанном яблочном соке увеличилась массовая доля глицина, аланина и треонина.

Анализ химического состава яблочного сока прямого отжима (без термообработки и термообработанного с добавлением чешуи), представлен в табл. 4.

Таблица 4. Химический состав яблочного сока прямого отжима (без термообработки и термообработанного с добавлением чешуи), %

Table 4. Chemical composition of direct-squeezed apple juice (without heat treatment and heat-treated with the addition of scales), %

Наименование определяемого показателя, %	Яблочный сок (без термообработки)	Термообработанный яблочный сок с добавлением чешуи	НД на метод испытаний
Массовая доля влаги	88,20±0,02	87,00±0,2	ГОСТ 7636-85
Массовая доля жира	Менее 0,1	Менее 0,1	ГОСТ 7636-85
Массовая доля белка	Менее 0,3	4,51±0,27	ГОСТ 34111-2017
Массовая доля углеводов	11,6	8,10	Массовая доля углеводов (%) = $100 - C_{\text{жира}} + C_{\text{белка}} + C_{\text{зола}} + C_{\text{воды}}$, где С – содержание
Массовая доля золы	0,20±0,04	0,40±0,05	Расчётный
Массовая доля кальция	0,012±0,001	0,029±0,003	Метод атомно-абсорбционной спектрометрии
Массовая доля фосфора	0,08±0,02	0,10±0,02	МУК 4.1.3217-14

Из табл. 4 видно, что в термообработанном яблочном соке (с добавлением рыбной чешуи) значительно увеличилась массовая доля белка, а также золы (кальция, фосфора), и снизилась массовая доля углеводов.

Термообработка рыбной чешуи в яблочном соке способствовала получению соковой продукции, обогащённой продуктами гидролиза коллагена и минеральными веществами (без рыбного запаха), и позволила получить добавку из рыбной чешуи с лёгким приятным яблочным ароматом пищевого назначения.

ВЫВОДЫ

1. Разработан эффективный способ переработки рыбной чешуи, позволяющий получить новые функциональные напитки и пищевые добавки.
2. Исследован химический состав (общий, аминокислотный, токсичных элементов) исходного сырья (рыбная чешуя, яблочный сок) и готовой продукции (функциональный сокодержательный напиток, пищевая добавка), не имеющей рыбного запаха и вкуса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Deep Fried Fish Scales Recipe, Crispy and Crunchy Snack ... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dentistvschef.wordpress.com> > 2013/09/25 > deep-fried-fish-scales-r... (дата обращения 28.12.2019).
2. Антипова, Л. В. Сухая основа из малоценных продуктов разделки прудовых рыб для приготовления первых блюд /Л. В. Антипова, О. П. Дворянинова, Ю. Н. Воронцова // Известия вузов. Пищевая технология.– 2012. – № 2-3.– С. 76 -79.
3. Пат. № 2241347 РФ, Способ получения пищевой добавки / Степанцова Г. Е., Воробьев В. И., заяв. 25.01. 2002, опубл. 10.04. 2004. Бюл. № 34. – 5 с.
4. Raman M., Gopakumar K. Fish Collagen and its Applications in Food and Pharmaceutical Industry: A Review //EC Nutrition. – 2018. – Т. 13. – С. 752-767.
5. Increased Demand For Marine Collagen - Market Global Forecast [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.valuewalk.com/2019/.../marine-collagen-market...> (дата обращения 22.07.2019).
6. Gómez-Guillén M.C., Giménez B., López-Caballero M.E., Montero M.P. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. Food Hydrocolloids v. 25, - p. 1813 – 1827 - 2011. .
7. Karayannakidis, P. D. Fish Processing By-Products as a Potential Source of Gelatin: A Review // P.D. Karayannakidis, A. Zotos // Journal of Aquatic Food Product Technology. – 2016. – Т. 25. – №. 1– 3. 65-92.
8. Silva T. H., Moreira-Silva J., Marques A. L. P., Domingues A., Bayon Y., Reis R. L. Marine Origin Collagens and Its Potential Applications, Marine Drugs, 2014 Vol. 12, Issue 12, pp. 5881-5901.
9. Milovanovic I., Hayes M. Marine Gelatine from Rest Raw Materials//Applied Sciences. – 2018. – Т. 8. – №.12. – С. 2407.
10. Некоторые аспекты технологии получения желатина из коллагенсодержащих вторичных рыбных ресурсов: обзор. / К. Т. Хуе, Н. Т. М. Ханг, Н. В. Хунг, В. П. Курченко [и др.] // Труды БГУ. – 2014, т. 9, ч. 1, С. 23-32.

REFERENCES

1. Deep Fried Fish Scales Recipe, Crispy and Crunchy Snack ... Available at: <https://dentistvschef.wordpress.com> > 2013/09/25 > deep-fried-fish-scales-r... (Accessed 28 December 2019).
2. Antipova L. V., Dvoryaninova O. P., Vorontsova Yu. N. Sukhaya osnova iz malotsennykh produktov razdelki prudovykh ryb dlya prigotovleniya pervykh blyud

[Dry base from low-value products of cutting pond fish for cooking first dishes]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2012, no. 2-3, pp. 76-79.

3. Pat. (RU) 2241347, Sposob polucheniya pishchevoj dobavki [Patent (RU) 2241347, The method of obtaining food additives]. Stepancova G. E., Vorob'yov V. I.; zayav. 25.01.2002, opubl. 10.04.2004. Byul. No. 34, 5p.

4. Raman M., Gopakumar K. Fish Collagen and its Applications in Food and Pharmaceutical Industry: a review. *EC Nutrition*, 2018, vol. 13, pp. 752-767.

5. Increased Demand For Marine Collagen - Market Global Forecast. Available at: <https://www.valuewalk.com/2019/.../marine-collagen-market...> (Accessed 22 July 2019).

6. Gómez-Guillén M. C., Giménez B., López-Caballero M. E., Montero M. P. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review. *Food Hydrocolloids*, 2011, vol. 25, pp. 1813-1827.

7. Karayannakidis P. D., Zotos A. Fish Processing By-Products as a Potential Source of Gelatin: A Review. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 65-92.

8. Silva T. H., Moreira-Silva J., Marques A. L. P., Domingues A., Bayon Y., Reis R. L. *Marine Origin Collagens and Its Potential Applications, Marine Drugs*, 2014, vol. 12, issue 12, pp. 5881-5901.

9. Milovanovic I., Hayes M. Marine Gelatine from Rest Raw Materials. *Applied Sciences*, 2018, vol. 8, no. 12, pp. 2407.

10. Khue K. T., Khang N. T. M., Khung N. V., Kurchenko V. P., Rizevskiy S. V., Golovach T. N., Chubarova A. S. Nekotorye aspekty tekhnologii polucheniya zhelatina iz kollagensoderzhashchikh vtorichnykh rybnykh resursov: obzor [Some aspects of the technology of obtaining gelatin from collagen-containing secondary fish resources: overview]. *Trudy Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta* [Proc. of the Belarusian State University]. Minsk, 2014, vol. 9, no.1, pp. 23-32.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

УДК 636.087.24; 663.48

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПОЛУЧЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ БЕЛКОВОГО
ГИДРОЛИЗАТА ИЗ ОСТАТОЧНЫХ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ
ЗЛАКОВЫХ БАТОНЧИКОВ

Е. А. Казимилова, О. Я. Мезенова, В. И. Шендерюк

RESEARCH ON THE PREPARATION AND APPLICATION OF PROTEIN
HYDROLYSATE FROM RESIDUAL BREWER'S YEAST IN CEREAL BAR
TECHNOLOGY

E. A. Kazimirova, O. Ya. Mezenova, V. I. Shenderyuk

Изучен биопотенциал остаточных пивных дрожжей и пивной дробины (отходов пивоваренного производства), обосновано получение белковых гидролизатов из дрожжей и их применение в технологии злаковых батончиков. Проведен анализ научно-технической литературы по применению вторичного сырья пивоваренных производств. Изучен общий химический состав остаточных дрожжей и пивной дробины, предоставленных пивоварней «Редюит». Проанализирован аминокислотный состав белка и рассчитана биологическая ценность пивных дрожжей. Исследованы ферментативный и высокотемпературный термический способы гидролиза остаточных пивных дрожжей. Изучена природа горечей пивных дрожжей и степень ее вкусового проявления. Определено количество горечи в остаточных пивных дрожжах в зависимости от промывки их водой. Выявлены зависимости влияния хмелевой горечи пивных дрожжей на степень их гидролиза. Опытным путем установлена рациональная технология производства белкового гидролизата с применением высокотемпературного гидролиза. Остаточные пивные дрожжи являются источником многих биологически активных веществ, прежде всего, белка и незаменимых аминокислот, витаминов группы В и различных макро- и микронутриентов. Пивная дробина содержит высокое количество клетчатки, белка, витамина Е и витаминов группы В, минеральных веществ и других биологически активных веществ. Показана рациональность применения белкового гидролизата дрожжей в качестве белковой добавки в рецептуре злакового батончика на основе пивной дробины. Определен общий химический состав обогащенных злаковых батончиков. Разработанные злаковые батончики имеют повышенную пищевую ценность по содержанию белка и пищевых волокон и рекомендованы к употреблению всем группам населения, а также для профилактики заболеваний желудочно-кишечного тракта.

отходы пивоваренного производства, остаточные пивные дрожжи, пивная дробина, белковый гидролизат, злаковый батончик, БАВ

We have studied the biopotential of the residual brewer's yeast and brewer pellet (waste from the brewing industry) to produce protein hydrolysates and their applications in technologies for cereal bars. The analysis has been conducted of scientific and technical literature on the use of secondary raw materials of brewing industries. General

chemical composition of residual yeast and brewer pellets provided by the brewery "Redit" has been studied. The amino acid composition of protein has been analyzed and the biological value of brewer's yeast has been calculated. Enzymatic and high-temperature thermal methods of hydrolysis of residual brewer's yeast have been investigated. The nature of bitterness of brewer's yeast and the degree of its flavor release have been studied. The amount of bitterness in residual brewer's yeast has been determined depending on their washing with water. Dependences of influence of hop bitterness of brewer's yeast on the degree of their hydrolysis have been revealed. The rational technology of protein hydrolysate production using high-temperature hydrolysis has been experimentally established. Residual brewer's yeast is a source of many biologically active substances, primarily protein and essential amino acids, b vitamins and various macro - and micronutrients. Brewer pellets contain high amounts of fiber, protein, vitamin E and b vitamins, minerals and other biologically active substances. Rationality of the use of white yeast hydrolysate as a protein additive in the formulation of a cereal bar based on brewer pellets has been shown. General chemical composition of enriched cereal bars has been determined. The developed cereal bars have a higher nutritional value in terms of protein and dietary fiber and are recommended for use by all groups of the population, as well as for the prevention of diseases of the gastrointestinal tract.

brewing waste, residual brewer's yeast, brewer pellet, protein hydrolysate, cereal bar, BAS

ВВЕДЕНИЕ

Основой экономики Калининградской области является промышленность, в которой доминирующее положение занимает пищевая отрасль, в том числе пивоваренное производство. На территории области насчитывается около 35 пивоварен различной производительности. Главными отходами пивоваренных производств являются остаточные пивные дрожжи и пивная дробина, которые образуются в очень больших количествах и практически не перерабатываются. При выпуске 500 л пива образуется в качестве отходов 110-120 кг пивной дробины и около 40-45 кг пивных дрожжей, при этом только 30 % дрожжей используются для дальнейших циклов брожения пива. За счет высокой влажности данные отходы быстро портятся, поэтому в основном их утилизируют, и только некоторая часть пивной дробины идет на корм животным.

Остаточные пивные дрожжи представляют собой ценнейших источник белка со сбалансированным содержанием незаменимых аминокислот, витаминов группы В, нуклеиновых кислот, а также макро- и микронутриентов. Пивная дробина сочетает в себе ценные органические и неорганические биологически активные вещества, содержит большое количество клетчатки, белка, витамина Е, витаминов группы В и минеральных веществ [1].

Одним из актуальных вопросов настоящего дня являются недостаток полноценного белка в питании и связанный с этим рост различных заболеваний. В перечне обусловленных этим болезней лидируют заболевания желудочно-кишечного тракта, наблюдаемые практически у всех групп населения. Поэтому целесообразно разрабатывать новые виды белковой продукции с применением таких ценных источников белковых веществ, как пивная дробина и дрожжи.

Злаковые батончики в последние годы пользуются повышенной популярностью у всех групп населения, особенно у молодежи. Их употребляют в качестве перекуса и десерта в течение дня, используют как энергетический продукт. Однако в традиционном составе батончиков преобладают углеводы, представленные простыми сахарами, практически отсутствуют белки и сложные углеводы. Чтобы получить сбалансированный по составу и полезный калорийный продукт с высокими органолептическими свойствами предлагается заменить часть основного сырья (овсяной крупы) злакового батончика на пивную дробину и белковый гидролизат остаточных пивных дрожжей. Это позволит обогатить изделие клетчаткой, растительными белками, БАВ-ми зерновых культур и пивных дрожжей, что в итоге приведет к повышению содержания белка и аминокислотной сбалансированности готового батончика.

Анализ патентных и научно-технических источников показал, что за последние два десятилетия актуальны и перспективны разработки по рациональному использованию вторичного сырья, внедрению безотходных технологии переработки природных ресурсов, получению белковых добавок и их использованию для обогащения пищевых продуктов белком [2].

В России и других странах остаточные пивные дрожжи используют в основном при производстве белковых кормовых добавок. Также из остаточных пивных дрожжей выделяют фермент инвертазу (β -фруктофуранозидазу), который используют для гидролиза сахарозы. Но чаще всего остаточные дрожжи смывают в канализацию или утилизируют другими способами.

Пивная дробина также используется в основном в кормовом производстве, но все чаще ее рассматривают в качестве пищевой добавки к пище и функционального ингредиента в хлебопечении, кондитерской промышленности, в составе мясных колбас. Например, обосновано применение обогатителя из остаточных пивных дрожжей и пивной дробины в технологии получения ржано-пшеничного хлеба, показано повышение пищевой ценности хлеба [3]. Доказана актуальность введения остаточных пивных дрожжей в рецептуру хлеба в качестве ингибитора, замедляющего процесс его черствения [4]. Предложена технология получения и применения автолизата пивных дрожжей в производстве вареных колбас [5].

Таким образом, отходы пивоваренных производств являются перспективным сырьем для улучшения качественных характеристик многих продуктов. Поэтому разработка злаковых батончиков на основе вторичного сырья пивоваренных производств является актуальной и практически значимой.

Цель работы заключалась в установлении рационального способа получения белкового гидролизата остаточных пивных дрожжей и обоснование дальнейшего его применения при производстве злаковых батончиков на основе пивной дробины. Для этого изучали биопотенциал остаточных пивных дрожжей и дробины, исследовали различные способы их гидролиза и качество полученных белковых гидролизатов, изучали химический состав конечной продукции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись остаточные пивные дрожжи рода и вида *Saccharomyces carlsbergensis* (низового брожения) и пивная дробина, предоставленные для исследования малой пивоварней «Редюит» (г. Калининград). а также злаковые батончики на их основе. Остаточные пивные дрожжи исследовали после

первой, третьей и шестой варок пива. Пивная дробина представляла собой густую смесь дробленых зерен ячменя и пшеницы, оставшуюся после варки и отсасывания суслу, с частицами ядер и оболочек зерна. Злаковые батончики на основе пивной дробины готовились по авторской рецептуре на основе овсяных хлопьев.

Для получения белковой добавки пивные дрожжи предварительно гидролизвали, что позволило сконцентрировать белковую фракцию, удалить небелковую и вещества-горечи. Для этого использовали ферментативный ($T = 49-52^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4,5$ ч) способ гидролиза с применением протеаз, а также термический высокотемпературный гидролиз ($T = 130^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1$ ч), проводимый в специальном термореакторе при повышенном давлении (3-6 бар). Ферментативный гидролиз выполняли с применением двух ферментных препаратов: «Alcalase®» 2,5 L (активность 2,5 AU/г) и «Protomex» (производство фирмы «Novozymes», Дания, активность 2,5 AU/г). Химический состав сырья и готовой продукции определяли по ГОСТ 7636. Оценку степени гидролиза проводили методом формольного титрования по количеству накопленного аминного азота. Для определения белка использовали классический метод Кьельдаля, массовую долю жира оценивали экстракционным способом на приборе Сокслета, а содержание минеральных веществ устанавливали массовым методом на основе высокотемпературного способа минерализации.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Установлено, что белок пивных дрожжей сбалансирован по содержанию аминокислот, но плохо усваивается организмом человека за счет высокой устойчивости клеточных оболочек дрожжей к воздействию пищеварительных ферментов [6]. Гидролиз дрожжей позволяет разрушить клеточную стенку дрожжевой клетки и выделить легкоусвояемые белковые вещества. Общий химический состав остаточных пивных дрожжей приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав остаточных пивных дрожжей, %

Table 1. Chemical composition of residual brewer's yeast

Дата взятия образца с пивоварни «Редюит»	Белок	Жиры	Углеводы	Минеральные вещества
20.02.2019 (6-я варка)	62,0	2,7	27,1	8,2
22.04.2019 (1-я варка)	57,6	2,6	32,6	7,2
18.06.2019 (3-я варка)	59,3	3,2	29,8	7,7

Из данных табл. 1 видно, что химический состав пивных дрожжей зависит от их физиологического состояния, при этом содержание белка и минеральных веществ в сухом веществе остаточных пивных дрожжей довольно высокое и может достигать по белку 57,6-62,0 %, а по минеральным веществам 7,2-8,2 %. Существенно для оценки пищевой ценности, что дрожжи богаты углеводами (27,1-32,6 %), представленными в основном гликогеном, при этом в них относительно мало жира (2,6-3,2 %), что обуславливает их хранимоспособность.

Содержание незаменимых аминокислот в белках дрожжей, рассчитанное относительно «идеального» белка скоры, и показатель биологической ценности белка представлены в табл. 2. Лимитирующими аминокислотами являются трео-

нин (26,0 %) и лейцин (скор 33,4 %), но дрожжи богаты лизином (скор 114,9 %), фенилаланином и тирозином (скор 104,7 %), метионином и цистином (103,9 %).

Таблица 2. Содержание незаменимых аминокислот и биологическая ценность пивных дрожжей [6]

Table 2. Content of essential amino acids and biological value of brewer's yeast

Незаменимая аминокислота	Содержание аминокислоты г/100г белка	Содержание НАК в белке (ФАО/ВОЗ)	Аминокислотный скор, %	Биологическая ценность, %
Валин	3,56	5,0	72,0	82,2
Изолейцин	3,37	4,0	92,2	
Лейцин	2,63	7,0	33,4	
Лизин	6,43	5,5	114,9	
Метионин + цистин	3,96	3,5	103,9	
Фенилаланин + тирозин	6,74	6,0	104,7	
Треонин	1,40	4,0	26,0	
Триптофан	0,78	1,0	78,0	

Как видно из данных табл. 2, содержание большей части незаменимых аминокислот в остаточных пивных дрожжах приближено к содержанию, рекомендованному ФАО/ВОЗ, при этом показатели аминокислотного сора свидетельствуют о высокой биологической ценности белка дрожжей, равной 82,2 %.

В процессе брожения пивного сусла на поверхностях дрожжевых клеток сорбируются специфические вещества, переходящие в сусло из хмеля, которые придают выраженную горечь пивным дрожжам. Этот привкус – основная причина, которая препятствует широкому использованию данного вторичного продукта, ценного по химическому составу, в пищевой промышленности. По химической природе основные виды горечей являются полимерами и представляют собой сочетание кислых веществ и смол. Основная горечь обусловлена наличием в дрожжевой биомассе изо- α -кислот [7].

Для снижения выраженности горечи в остаточных пивных дрожжах были проведены промывания их водой в соотношении 1:2 (табл. 3).

Таблица 3. Количество горечи в остаточных пивных дрожжах

Table 3. Amount of bitterness in residual brewer's yeast

Исследуемый объект	Количество горечей, BU*
Остаточные пивные дрожжи (до отделения сусла)	45,1
Остаточные пивные дрожжи (после отделения сусла)	34,9
Остаточные пивные дрожжи (после 1 промывки)	28,8
Остаточные пивные дрожжи (после 2 промывки)	20,7
Остаточные пивные дрожжи (после 3 промывки)	18,1

1 BU* – международная единица измерения горечи, равная одной части изогуמוлона на миллион кислоты, получаемой из хмеля.

Данные, представленные в табл. 3, позволяют сделать вывод, что предварительное отделение дрожжевой биомассы от пивного сусла и последующая трехкратная промывка дрожжей водой позволяют уменьшить содержание горечей в 2,4 раза.

В процессе гидролиза под влиянием ферментов или высокой температуры происходит расщепление белков на более простые соединения с появлением низкомолекулярных водорастворимых продуктов деградации (три-, дипептиды и аминокислоты), которые определяются методом аминного азота (ГОСТ 7635) и свидетельствуют о степени гидролиза белков (табл. 4).

Таблица 4. Степень гидролиза остаточных пивных дрожжей (ферментативный гидролиз), определяемая по содержанию аминного азота
Table 4. Degree of hydrolysis of residual brewer's yeast (enzymatic hydrolysis), determined by the content of amine nitrogen

Количество промывок дрожжей	Ферментный препарат	Содержание аминного азота перед гидролизом, мг / 100 г	Содержание аминного азота после гидролиза, мг/ 100 г
0	Alcalase	19	59
0	Protomex		34
3	Alcalase		147,8
3	Protomex		121,4

Из данных табл. 4 видно, что ферментативный гидролиз промытых остаточных пивных дрожжей позволяет повысить степень гидролиза белка в 6,3-7,7 раза, что отражается в росте концентрации аминного азота в гидролизуемой суспензии. Низкую степень гидролиза в непромытых дрожжах можно объяснить присутствием горьких веществ хмеля на клеточных оболочках дрожжей, которые ингибируют ферментализацию, однако эти вещества вымываются при промывке и тем самым повышается степень деградации белков. Показатели степени гидролиза белка в остаточных промытых и непромытых дрожжах при использовании высокотемпературного способа гидролиза приведены в табл. 5.

Таблица 5. Степень гидролиза остаточных пивных дрожжей (термический гидролиз), определяемая по содержанию аминного азота
Table 5. Degree of hydrolysis of residual brewer's yeast (thermal hydrolysis), determined by the content of amine nitrogen

Исследуемый объект	Содержание аминного азота перед гидролизом, мг/ 100 г	Содержание аминного азота после гидролиза, мг / 100 г
Остаточные пивные дрожжи (до промывки)	19	357,2
Остаточные пивные дрожжи (после 3 промывки)		434,8

На основании данных табл. 4 и 5 можно сделать вывод о том, что термический гидролиз остаточных пивных дрожжей наиболее эффективен в сравнении с

ферментативным гидролизом дрожжей. При этом важно, что дрожжевой гидролизат в данном случае имел меньше горечей, чем при ферментативном способе получения, и горечи менее влияли на степень накопления аминного азота. Показатель аминного азота в 2,5-2,8 раз превышает его уровень в ферментированной дрожжевой суспензии. Этот факт подтверждается сравнительными данными по степени гидролиза белка, приведенными на рис. 1.

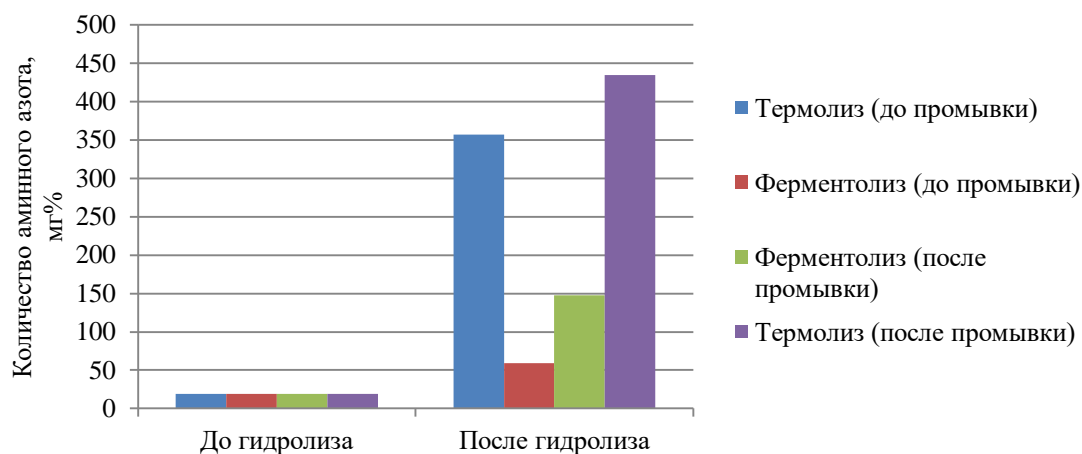


Рис. 1. Содержание аминного азота при различных способах гидролиза остаточных пивных дрожжей до и после промывки их водой

Fig. 1. Content of amine nitrogen in various methods of hydrolysis of residual brewer's yeast before and after washing them with water

Из данных рис. 1 можно сделать вывод, что вещества, отвечающие за горечи в остаточных пивных дрожжах, блокируют процесс автоферментализации, о чем свидетельствует низкое содержание аминного азота на начальном этапе гидролиза (19 мг/100 г). После 3-кратной промывки водой дрожжевой суспензии в ней активнее расщепляются белки. Видно, что термический гидролиз более эффективен, чем ферментативный, позволяя получать протеины более глубокой степени расщепления, легкоусвояемые пептидные концентраты, включающие свободные аминокислоты и полипептиды

Химический состав пивной дробины, богатой пищевыми волокнами (27 %), белками (22,2 %) и минеральными веществами (3,6 %), представлен в табл. 6

Таблица 6. Химический состав пивной дробины
Table 6. Chemical composition of brewer pellet

Показатель	Содержание, %
Влага	3,7
Белок	22,2
Жиры	2,8
Углеводы, в т.ч. клетчатка	67,7, в т.ч. 27
Минеральные вещества	3,6

В дальнейших экспериментах была изготовлена опытная партия злаковых батончиков на основе овсяных хлопьев и пивной дробины (соотношение 1:1), яблочного пюре, кураги, меда и белкового гидролизата из остаточных пивных дрожжей термогидролиза. Рецепт батончиков представлена в табл. 7.

Таблица 7. Рецепт батончиков «Дробинка»
Table 7. Recipe for cereal bars called «Drobinka»

Наименование ингредиентов	г на 100 г продукта
Овсяные хлопья	30,0
Пивная дробина	30,0
Курага	10,0
Яблочное пюре	14,5
Мед пчелиный	10,0
Белковый дрожжевой гидролизат	5,5

Технологическая схема изготовления злаковых батончиков, названных «Дробинка», представлена на рис. 2.

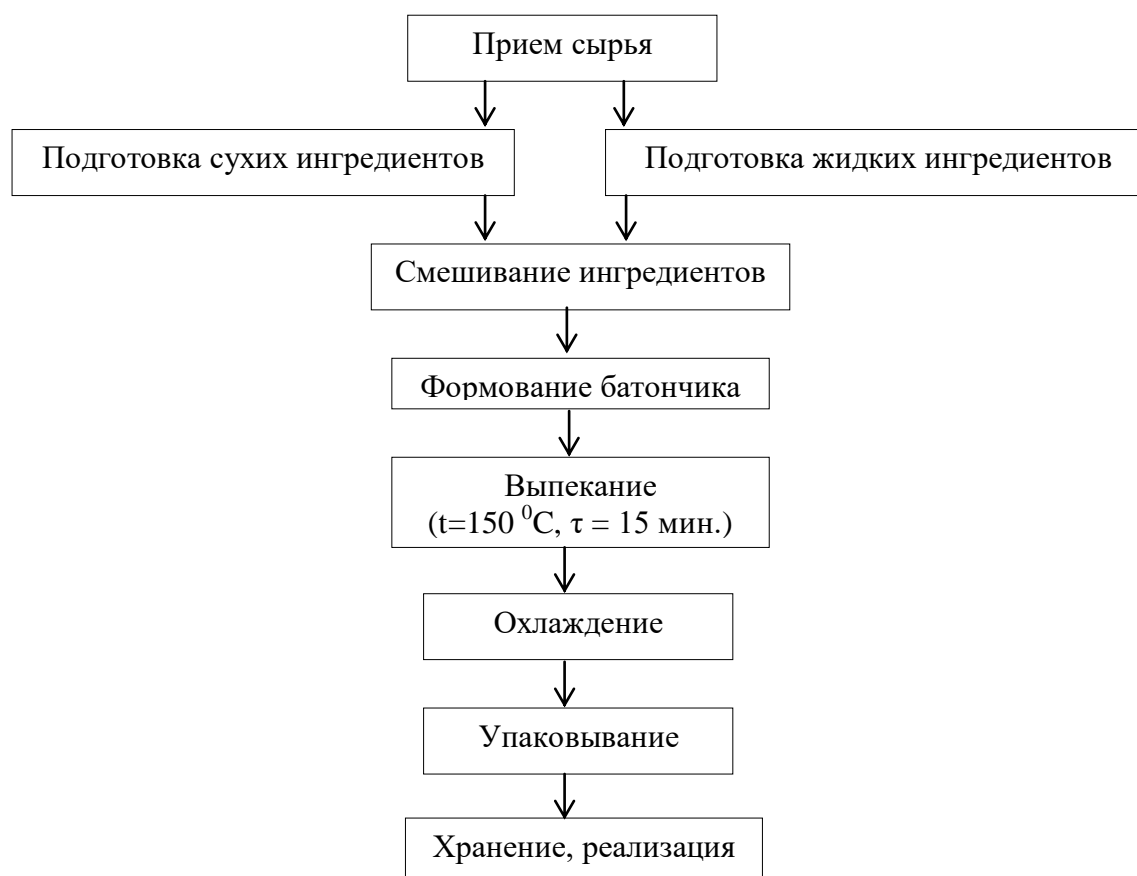


Рис. 2. Технологическая схема производства злаковых батончиков «Дробинка»
Fig. 2. Production scheme of «Drobinka» cereal bars

Химический состав нового батончика «Дробинка», разработанного с применением пивной дробины и дрожжевого гидролизата, представлен в табл. 8.

Таблица 8. Химический состав обогащенного злакового батончика «Дробинка»
Table 8. Chemical composition of «Drobinka» cereal bars

Показатель	Батончик без продуктов пивоварения, %	Батончик на основе пивной дробины и белкового гидролизата, %
Белок	14,6	26,7
Жиры	3,4	3,5
Углеводы, в т. ч. клетчатка	64,3 5,6	58,0 13,4

Из данных табл. 8 видно, что с внесением в состав батончика функциональных компонентов пивной дробины и белкового дрожжевого гидролизата почти в 2 раза увеличивается содержание белка (с 14,6 до 26,7 %) и клетчатки (с 5,6 до 13,4 %). Употребление 100 г такого батончика позволит удовлетворить суточную потребность человека в клетчатке на 67-89 %, т. е. более чем на 15 %. Таким образом, данный продукт можно считать функциональным по содержанию клетчатки, которая, согласно требованиям ГОСТ Р 54059 – 2010 «Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные», является биологически активным веществом, обладающим эффектом поддержания и стимулирования деятельности желудочно-кишечного тракта.

Таким образом, с применением вторичных ресурсов пивоваренных производств возможно и рационально изготавливать новый зерновой батончик, названный «Дробинка», который обладает повышенным содержанием пищевых волокон и сбалансирован по аминокислотам белка, в связи с чем его можно рекомендовать употреблять в качестве профилактического продукта при заболеваниях, связанных с нарушениями в желудочно-кишечном тракте.

ВЫВОДЫ

1. Белковый гидролизат на основе промытых остаточных пивных дрожжей, полученный с помощью высокотемпературного гидролиза, характеризуется высоким содержанием легкоусвояемого белка и низкомолекулярных пептидов, сбалансированных по содержанию незаменимых аминокислот, обладает повышенной биологической ценностью, показатель которой равен 82,2 %.

2. Белковый гидролизат остаточных пивных дрожжей, полученный после 3-кратного промывания высокотемпературным гидролизом, имеет пониженное содержание горечей, что позволяет использовать его в качестве белкового ингредиента для обогащения углеводных закусочных продуктов, типа злаковых батончиков. Использование предлагаемой технологии гидролиза может быть рекомендовано для решения проблемы утилизации отходов пивоваренных производств.

3. На основе пивной дробины и овсяных хлопьев при их соотношении 1:1 предложены рецептура и технология злаковых батончиков, обогащенных белковым гидролизатом остаточных пивных дрожжей; готовые изделия отличаются повышенным содержанием белка (26,7 %), а употребление 100 г батончиков позволят удовлетворить суточную потребность в клетчатке на 67-89 %. Новый батончик является функциональным по содержанию пищевых волокон и может быть рекомендован к употреблению широким слоям населения в качестве белково-углеводной закуски и для профилактики нарушений в пищеварительном тракте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дадашев, М. Н. Экологически безопасная технология переработки отходов пивоварения / М. Н. Дадашев [и др.] // Пиво и напитки. – 2011. – №. 5. – С. 18-21.
2. Юскина, О. Н. Разработка биотехнологического способа получения препаратов белка из биомассы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* на основе направленного ферментативного гидролиза клеточных стенок: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.23 / Юскина О. Н. – Москва, 2008. – 171 с.
3. Кораблин, Р. В. Разработка и применение обогатителя из пивной дробины и остаточных пивных дрожжей: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.07; 05.18.01 / Кораблин Р. В. – Воронеж, 2003. – 168 с.
4. Гонсалес, Р. Б. Применение остаточных пивных дрожжей на территории Кубы как добавки против очерствения хлеба: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.07; 05.18.01 / Гонсалес Р. Б. – Краснодар, 2003. – 187 с.
5. Доценко, О. Н. Разработка технологий получения автолизата и белковой добавки из пивных остаточных дрожжей и их использование при производстве вареных колбас: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.07 / Доценко О. Н. – Ставрополь, 2003. – 210 с.
6. Алехин, Ю. Н. Перспективы использования высушенных пивных дрожжей и кормов на их основе в животноводстве / Ю. Н. Алехин // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности. АПК – продукты здорового питания. – 2014. – № 2. – С. 7-12.
7. Куцакова, В. Е. Разработка технологии удаления горечи из отработанных пивных дрожжей / В. Е. Куцакова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – Т. 328. – № 4. – С. 67-69.

REFERENCES

1. Dadashev M. N. *Ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya pererabotki otkhodov pivovareniya* [Environmentally safe technology of brewing waste recycling]. *Pivo i napitki*, 2011, no. 5, pp. 18-21.
2. Yuskina O. N. *Razrabotka biotekhnologicheskogo sposoba polucheniya preparatov belka iz biomassy drozhzhey Saccharomyces cerevisiae na osnove napravlenogo fermentativnogo gidroliza kletochnykh stenok. Diss. kand. biol. nauk* [Development of a biotechnological method for obtaining protein preparations from *Saccharomyces cerevisiae* yeast biomass based on directed enzymatic hydrolysis of cell walls. Dis. cand. biol. sci.]. Moscow, 2008, 171 p.
3. Korablin R. V. *Razrabotka i primeneniye obogatitelya iz pivnoy drobinoy i ostatochnykh pivnykh drozhzhey. Diss. cand. biol. nauk* [Development and application of an enriching agent made of brewer pellet and residual brewer's yeast. Dis. cand. biol. sci.]. Voronezh, 2003, 168 p.
4. Gonsales R. B. *Primeneniye ostatochnykh pivnykh drozhzhey na territorii Kuby kak dobavki protiv ocherstveniya khleba. Diss. cand. tekhn. nauk* [The use of residual brewer's yeast in Cuba as an additive against bread hardening. Dis. cand. techn. sci.]. Krasnodar, 2003, 187 p.

5. Dotsenko O. N. *Razrabotka tekhnologiy polucheniya avtolizata i belkovoy dobavki iz pivnykh ostatochnykh drozhzhey i ikh ispol'zovanie pri proizvodstve varenykh kolbas. Diss. kand. tekhn. nauk* [Development of technologies for obtaining autolysate and protein additive from beer residual yeast and their use in the production of cooked sausages. Dis. cand. techn. sci.]. Stavropol', 2003, 210 p.

6. Alekhin Yu. N. *Perspektivy ispol'zovaniya vysushennykh pivnykh drozhzhey i kormov na ikh osnove v zhivotnovodstve* [Prospects for the use of dried brewer's yeast and feed based on them in animal husbandry]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti. APK – produkt zdorovogo pitaniya*. 2014, no. 2, pp. 7-12.

7. Kutsakova V. E. *Razrabotka tekhnologii udaleniya gorechi iz otrabotannykh pivnykh drozhzhey* [Development of technology for removing bitterness from used brewer's yeast]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya*. 2012, no. 4, pp. 67-69.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Казими́рова Екатерина Андреевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры пищевой биотехнологии;
E-mail: kazimirova_kat@mail.ru

Kazimirova Ekaterina Andreevna – Kaliningrad State Technical University;
Post-graduate student; Department of Food Biotechnology;
E-mail: kazimirova_kat@mail.ru

Мезенова Ольга Яковлевна – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук; профессор; зав. кафедрой пищевой биотехнологии; E-mail: mezenova@klgtu.ru

Mezenova Olga Yakovlevna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences; Professor; Head of the Department of Food Biotechnology;
E-mail: mezenova@klgtu.ru

Шендерюк Владимир Ильич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук; профессор кафедры технологии продуктов питания; E-mail: 12op@klgtu.ru

Shenderyuk Vladimir Il'ich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences; Professor at the Department of Food Products Technology;
E-mail: 12op@klgtu.ru

УДК 664.681.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМЯН БЕЛОГО ЛЮПИНА (*LUPINUS ALBUS L.*)
В ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А. И. Рыков, С. В. Агафонова

THE USE OF SEEDS OF WHITE LUPINE (*LUPINUS ALBUS L.*)
IN THE FLOUR CONFECTIONERY TECHNOLOGY

A. I. Rykov, S. V. Agafonova

Исследовано содержание белка и незаменимых аминокислот в ядрах белого люпина (*Lupinus albus L.*). Установлено высокое содержание белка на уровне 37,79 % и количество всех незаменимых аминокислот (г/100 г белка): валин (1,75), изолейцин + лейцин (2,36), лизин (1,85), метионин + цистин (0,82), треонин (1,75), триптофан (0,32), фенилаланин + тирозин (3,34). Рассчитана биологическая ценность люпинового белка, которая составила 76,12 %. Представлена рецептура вафель повышенной биологической ценности, которая включает в себя пшеничную муку, измельченные ядра люпина, маргарин, молоко коровье пастеризованное, яичный меланж, сахар. Обосновано количество люпиновой добавки, вносимой в сахарные вафли (15 %), и время выпечки изделий (1,5 мин). Приведена технологическая схема производства обогащенных вафель «Люпиновые», включающая такие операции, как приготовление люпиновой муки (замачивание, шелушение, сушка, измельчение люпина), просеивание муки, составление рецептурной смеси с последующим замесом теста, после чего идет выпечка вафель при температуре 200°C. Перед упаковыванием и маркированием продукция охлаждается и реализуется на конечный рынок. Исследован общий химический состав обогащенных вафель, содержащих 13,7 % белка с биологической ценностью 73,46, а также характеризующихся повышенным содержанием незаменимых аминокислот (г/100 г белка): валин (1,55), изолейцин + лейцин (2,36), лизин (2,03), метионин + цистин (1,43), треонин (1,35), триптофан (0,42), фенилаланин + тирозин (3,04). Разработаны проекты технических условий ТУ 10.72.12-XXX-00471544-2019 и технологической инструкции к ТУ 10.72.12-XXX-00471544-2019. Срок хранения вафель – 30 сут при относительной влажности воздуха не более 75 % и температуре (18±5)°С.

люпин, растительный белок, мучные кондитерские изделия, сахарные вафли, обогащенные продукты питания

The conten of protein and essential amino acids in the kernel of white Lupin (*Lupinus albus L.*) has been studied. The high protein content at the level of 37.79% and the number of all essential amino acids (g/100 g of protein) is the following: valine (1.75), isoleucine + leucine (2.36), lysine (1.85), methionine + cystine (0.82), threonine (1.75), tryptophan (0.32), phenylalanine + tyrosine (3.34). The biological value of lupine protein has been calculated, which amounted to 76.12 %. The formulation of waf-

file of increased biological value, including wheat flour, crushed lupine kernels, margarine, pasteurized cow's milk, egg melange, sugar, is presented. The amount of lupine additive introduced into sugar waffles (15 %) and the baking time of products (1.5 minutes) has been justified. The technological scheme of production of enriched waffles "Lupinovye", including such operations as preparation of lupine flour (soaking, peeling, drying, grinding lupine), flour bolting, formulation of a mixture followed by dough kneading, followed by baking waffles at a temperature of 200°C. Before packaging and labeling, products are cooled and sold to the final market. The total chemical composition of enriched proteins containing 13.7% protein with a biological value of 73.46 was studied, as well as the increased content of essential amino acids (g / 100 g of protein): valine (1.55), isoleucine + leucine (2.36), lysine (2.03), methionine + cystine (1.43), threonine (1.35), tryptophan (0.42), phenylalanine + tyrosine (3.04). Drafts of technical conditions of TU 10.72.12-XXX-00471544-2019 and technological instructions for TU 10.72.12-XXX-00471544-2019 have been developed. The shelf life of waffles is 30 days at relative humidity of not more than 75 % and temperature (18±5)°C.

lupine, vegetable protein, flour confectionery, sugar waffles, fortified food products

ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе проблема обеспечения рациона человека необходимыми нутриентами становится все более острой. Темп жизни зачастую вынуждает отказываться от сбалансированного питания, прибегать к потреблению высококалорийной продукции, которая содержит большое количество углеводов, жира и быстро утоляет чувство голода. Систематический дефицит белка, макро- и микроэлементов, пищевых волокон, витаминов приводит к развитию алиментарных заболеваний, избыточному весу, снижению иммунитета, повышенной утомляемости.

Среди так называемых «перекусов» особенное место занимают кондитерские изделия, которые за счет высокого содержания сахара утоляют голод и дают организму необходимую энергию. В 2018 г. потребление кондитерских изделий в России достигло рекордных 25,2 кг на душу населения. Рынок кондитерских изделий – второй по величине сегмент продовольственных товаров повседневного спроса и в России занимает пятую часть всего рынка потребительских в денежном выражении [1].

Мучные кондитерские изделия – важная составляющая кондитерского сегмента. В 2018 г. их производство в России достигло 1,96 млн т, что составляет порядка 36 % от общего объема рынка кондитерских изделий [2]. Среди различных видов мучных кондитерских изделий наибольшую долю рынка занимают продукты с длительным сроком хранения – печенье (43,3 %) и вафли (13,7 %) [3].

Основные компоненты в составе мучных кондитерских изделий – это углеводы и жиры растительного происхождения. Источниками пищевых волокон, минеральных веществ и витаминов могут являться различные растительные добавки: ягодные, фруктовые и овощные пюре и сиропы, семена масличных культур и т. д. Актуально повышение содержания в мучных кондитерских изделиях белка, которым бедна пшеничная мука. Для этих целей используются семена сои, нута, амаранта, люпина, жмых кедровый и подсолнечника.

Люпин – растение из семейства бобовых. Как и другие бобовые, семена люпина богаты белком, минералами и клетчаткой. Содержание белка в семенах люпина (от 32,0 до 56,0 %) выше, чем у других бобовых, и близко к содержанию белка сои [4]. На сегодняшний день на пищевые и кормовые цели выращиваются только четыре вида люпина (*L. albus*, *luteus*, *angustifolius* и *mutabilis*) из-за содержания в других алкалоидов и антипитательных веществ.

Люпин, культивируемый на пищевые цели, используется в качестве пищевых добавок в веганских блюдах, спортивном питании и аналогах молочной продукции. Белок люпина содержит все незаменимые аминокислоты, что отличает его от других бобовых растений, таких как соя, горох, чечевица, арахис. Кроме того, в люпине много каротиноидов, витамина Е, макро и микроэлементов, в том числе калия, кальция, магния и железа [5]. Кроме того, люпиновая мука имеет связывающий эффект, который является неотъемлемым фактором в разработке рецептуры мучных и других изделий без добавления яиц.

В [6] исследована возможность использования структурированной люпиновой муки в рецептурах выпеченных полуфабрикатов на основе бесклейковинного песочного теста, показано повышение биологической ценности белков продукции. Разработаны и оптимизированы рецептуры печенья с применением муки из смолотого зерна люпина, бисквитов с добавлением концентрата люпиновых белков [7].

В Калининградской области сырьем для обогащения мучных кондитерских изделий могут являться зерна белого люпина, содержащие ценный белок, богатые калием, магнием, железом, а также каротиноиды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для разработки рецептуры обогащенных мучных кондитерских изделий были выбраны семена белого люпина (*Lupinus albus* L.). Их освобождали от оболочки, составившей около 10 % от массы целого зерна.

В ядрах люпина и обогащенных вафлях определяли общее количество азота и содержание белка с помощью элементного анализатора EURO EA 3000 EURO Vector. Количество свободных аминокислот и аминокислотный состав белка устанавливали с помощью капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105» [8].

При расчете величины биологической ценности белка через коэффициент различия аминокислотного сора пользовались методом химического (аминокислотного) сора [8, 9].

Органолептическую оценку образцов вафель проводили по специально разработанной 15-балловой шкале, оцениваемыми показателями явились цвет, вкус и хрусткость.

В готовых вафлях содержание жира устанавливали экстракцией в аппарате Сокслета, минеральных веществ – озолением навески в муфельной печи, влаги и сухих веществ – термогравиметрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования позволили установить содержание белка в ядрах белого люпина на уровне 37,79 %. Были обнаружены все заменимые аминокислоты, за исключением гистидина, и все незаменимые. Особенно высоко содержание глутаминовой кислоты и глутамина (53,90 г/100 г белка), аспарагиновой кислоты и ас-

парагина (23,00 г/100 г белка) [8]. Содержание незаменимых аминокислот в люпиновом белке в сравнении с «идеальным» белком ФАО/ВОЗ [10] представлено на рис. 1.

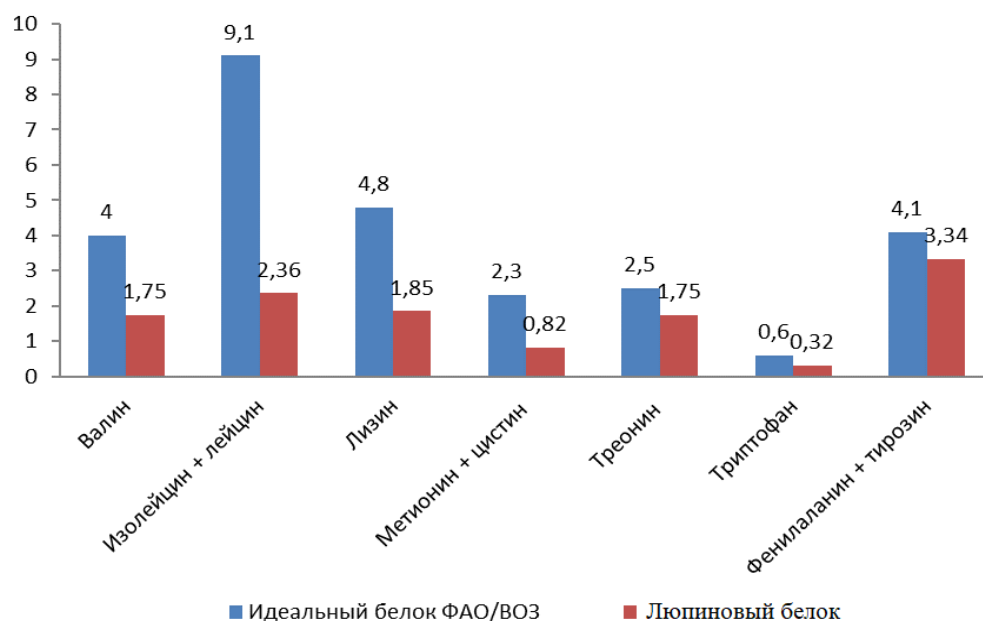


Рис. 1. Содержание незаменимых аминокислот в белке семян белого люпина и «идеальном» белке ФАО/ВОЗ, г/100 г белка

Fig. 1. The content of essential proteins in the protein of the seeds of white lupine and FAO / WHO «ideal» protein, g / 100 g protein

Расчет показателей аминокислотной сбалансированности люпинового белка позволил установить достаточно высокую его биологическую ценность – 76,12 %, что значительно превышает таковую белка пшеничной муки – 31,72 и соевого белка – 64,2 %.

Для разработки рецептуры обогащенных измельченными ядрами люпина вафель в качестве базовой использовалась рецептура сахарных вафель на основе пшеничной муки с добавлением маргарина, сахара и меланжа. В базовой рецептуре часть пшеничной муки заменяли на измельченные ядра люпина.

Для обоснования рецептуры и технологических режимов изготовления вафель были проанализированы органолептические характеристики девяти экспериментальных образцов, отличающихся количеством вносимых измельченных ядер люпина и временем выпечки (табл. 1).

При анализе экспериментальных образцов обогащенных вафель было выявлено: с увеличением количества вносимой люпиновой добавки увеличивалась влажность готового продукта, и требовалось больше времени для пропекания вафель, что негативно сказывалось на их хрусткости. Также при замене 22,5 % пшеничной муки в вафлях на люпиновые ядра отмечалось появление легкого постороннего привкуса, характерного для бобовых, а при замене 30 % этот привкус отмечен как выраженный посторонний. Было также отмечено, что при хорошей пропеченности изделий цвет вафель был более насыщенным в изделиях с большей дозировкой люпиновых ядер, что связано с присутствием каротиноидов в их составе.

Таблица 1. Органолептическая оценка качества вафель, обогащенных измельченными ядрами белого люпина

Table 1. Organoleptic quality assessment of waffles enriched with crushed kernels of white lupine

Но- мер опыта	Варьируемые параметры		Суммарная органолеп- тическая оценка, балл
	Масса люпина, % от массы пшеничной муки	Время выпечки вафель, мин	
1	15	1	13
2	15	1,5	15
3	15	2	13
4	22,5	1	10
5	22,5	1,5	13
6	22,5	2	14
7	30	1	7
8	30	1,5	10
9	30	2	13

На основе данных, представленных в табл. 1, была принята дозировка измельченных ядер люпина в количестве 15 % от массы пшеничной муки при продолжительности выпечки 1,5 мин.

Расход сырья и вспомогательных материалов при производстве вафель по базовой рецептуре и вафель «Люпиновые» повышенной биологической ценности представлен в табл. 2.

Таблица 2. Рецепт вафель

Table 2. Waffle recipe

Наименование сырья	Расход сырья, кг на 100 кг, муки при производстве	
	сахарных вафель	вафель «Люпиновые»
Мука пшеничная высшего сорта	100,00	85,0
Люпин продовольственный	-	15,0
Молоко коровье пастеризованное	109,1	109,1
Яичный меланж (сухие вещества не менее 22,5%)	43,8	43,8
Маргарин (жирность 75%)	31,9	31,9
Сахар белый	13,6	13,6
Ванилин	1,0	1,0
Натрия карбонаты E500	1,0	1,0
Итого	300,4	300,4
Выход	113,7	113,7

Схема технологического процесса изготовления сахарных вафель представлена на рис. 2.

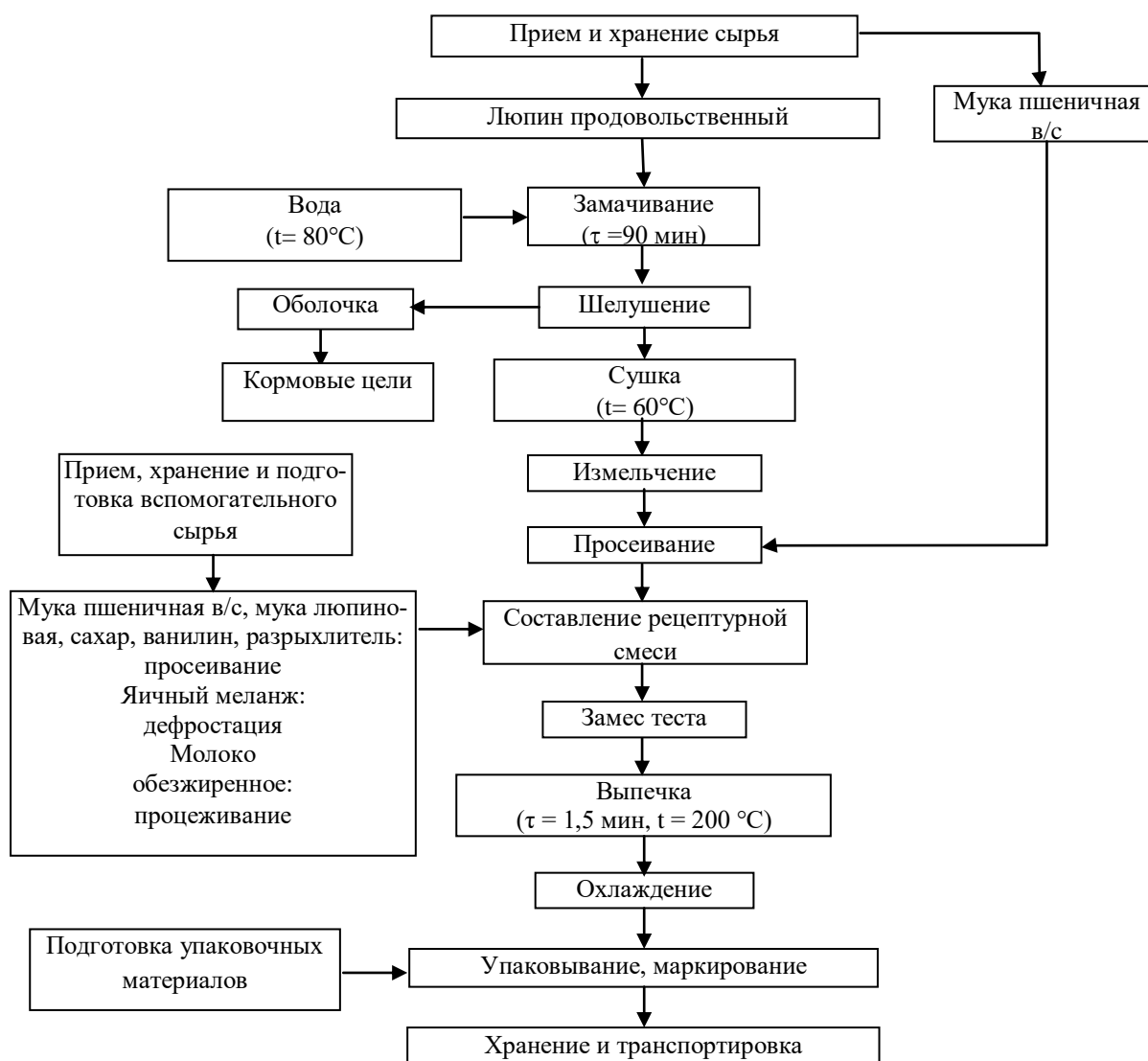


Рис. 2. Структурная технологическая схема процесса производства вафель повышенной биологической ценности «Люпиновые»

Fig. 2. Structural flow chart of the production process of «Lupinovyе» waffles of increased biological value

Люпин предварительно замачивается в воде с начальной температурой 80 °С в течение 90 мин. В дальнейшем ядро люпина освобождается от оболочки, сушится и измельчается до влажности не более 10 % в муку и пропускается через мучное сито с диаметром ячеек 1,00 мм. Тесто замешивают в соответствии с рецептурой. Влажность теста составляет 55-60 %. Выпечка вафель осуществляется при температуре 200 °С в течение 1,5 мин.

Исследование химического состава (табл. 3) обогащенных вафель «Люпиновые» позволило установить высокое содержание белка – 13,70 %, что превышает таковое в большинстве мучных кондитерских изделий.

Содержание влаги в обогащенных вафлях (4,5 %) соответствует уровню, регламентированному в ГОСТ 14031-2014 «Вафли. Общие технические условия» (не более 5,0 %).

Таблица 3. Содержание основных пищевых веществ в вафлях «Люпиновые», %
Table 3. The content of basic nutrients in «Lupinovyе» waffles, %

Показатель	Значение
Содержание белка	13,70
Содержание жира	25,54
Содержание углеводов*	54,67
Содержание воды	4,5
Содержание золы	1,59

*Содержание углеводов установлено расчетным методом

На рис. 3 представлено содержание незаменимых аминокислот в вафлях «Люпиновые» в сравнении с «идеальным» белком ФАО/ВОЗ. Расчет биологической ценности белка позволил установить ее на уровне 73,46 %.

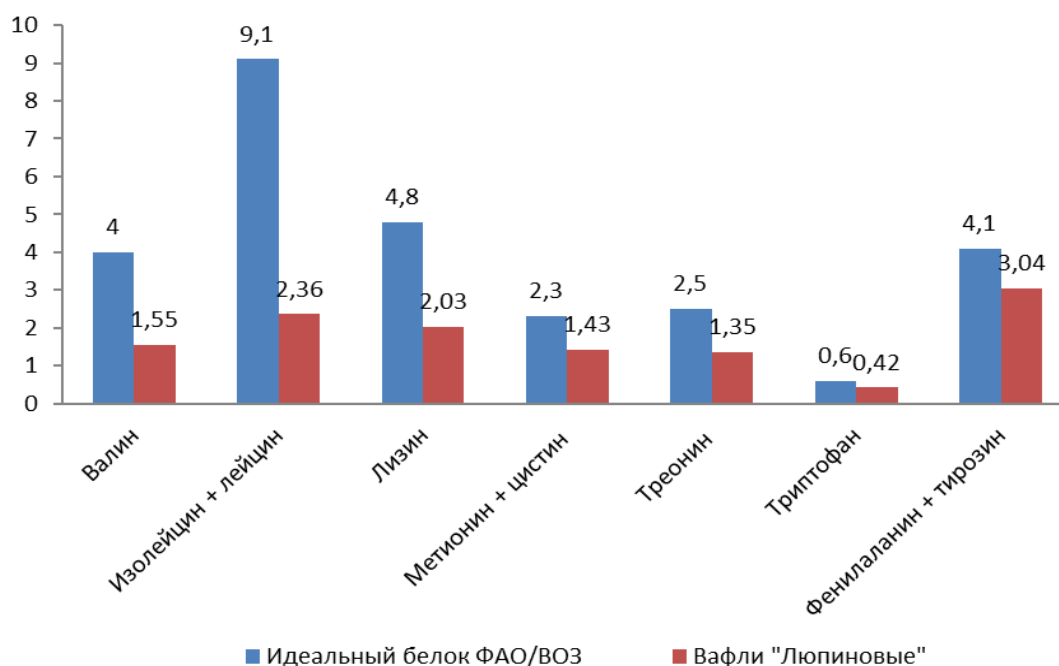


Рис. 3. Содержание незаменимых аминокислот в вафлях «Люпиновые» и «идеальном» белке ФАО/ВОЗ, г/100 г белка

Fig. 3. The content of essential amino acids in «Lupinovyе» waffles and FAO / WHO «ideal» protein, g / 100 g protein

Помимо ценного белка, вафли содержат пищевые волокна, железо (4,8 мг%), калий (618,9 мг%), фосфор (268,0 мг%) и различные витамины (тиамин, рибофлавин, пантотеновую и аскорбиновую кислоты, β-каротин) [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, белый люпин обладает большим потенциалом для использования в пищевой промышленности, так как является источником белка с содержанием всех незаменимых аминокислот. Кроме того, люпин представляет собой источник пищевых волокон, минеральных веществ и незаменимых жирных кислот. Обогащенные вафли «Люпиновые» являются источником полноценного белка, макро- и микроэлементов, эссенциальных веществ в ежедневном рационе человека. На вафли «Люпиновые» разработаны проекты технических условий ТУ ТУ 10.72.12-XXX-00471544-2019 и технологической инструкции к ТУ 10.72.12-XXX-00471544-2019.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ассоциация предприятий кондитерской промышленности (Асконд) [Электронный ресурс]. Официальный сайт. Режим доступа: <http://ascond.ru/> (дата обращения 08.12.2019).
2. BusinesStat. Готовые обзоры рынков. Официальный сайт. Режим доступа: <https://businesstat.ru/> (дата обращения 08.12.2019).
3. Intesco Research Group – Бизнес-планы, маркетинговые исследования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://i-plan.ru/> (дата обращения 08.12.2019).
4. Буянкин, Н. И. Люпин на корм и сидерат в Калининградской области: монография / Н. И. Буянкин, А. Г. Красноперов, З. Н. Федорова. – Калининград, 2018. – 148 с.
5. Тарасенко, Н. А. Порошок из семян люпина – перспективный белковый обогатитель / Н. А. Тарасенко, Ю. Н. Никонович, М. В. Михайленко // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 129 (05). – С. 236-247.
6. Хрулева, Л. К. Использование белковых добавок в производстве диетических мучных кондитерских изделий: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.18.16 / Хрулева Лола Кадировна. – Санкт-Петербург, 1993. – 21 с.
7. Матвеева, Т. В. Мучные кондитерские изделия функционального назначения. Научные основы, технологии, рецептуры / Т. В. Матвеева, С. Я. Корякина. – Орел, 2011. – 326 с.
8. Агафонова, С. В. Оценка биологической ценности белков люпина и перспектив его использования в пищевой промышленности / С. В. Агафонова, А. И. Рыков, О. Я. Мезенова // Вестник Международной академии холода. – 2019. – № 2. – С. 79-85.
9. Мезенова, О. Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов: учеб. пособие / О. Я. Мезенова. – Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2015. – 224 с.
10. Consultation FE. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper 2013:1-66.
11. Агафонова, С. В. Мука из люпина сорта «Дега» в технологии вафель повышенной биологической ценности / С. В. Агафонова, А. И. Рыков // материалы VII Международного Балтийского морского форума 7-12 октября 2019 года

[Электронный ресурс]: «Пищевая и морская биотехнология», VIII Международная научно-практическая конференция.– Калининград, 2019. – С. 8-12.

REFERENCES

1. *Assotsiatsiya predpriyatiy konditerskoy promyshlennosti* [Confectionery Industry Association], available at: <http://ascond.ru/> (Accessed 8 December 2019).
2. *BusinesStat. Gotovye obzory rynkov* [BusinesStat. Market ready reviews], available at: <https://businessstat.ru/> (Accessed 8 December 2019).
3. *Intesco Research Group – Biznes-plany, marketingovye issledovaniya* [Intesco Research Group – Business plans, marketing research], available at: <http://i-plan.ru/> (Accessed 8 December 2019).
4. Buyankin N. I., Krasnoperov A. G., Fedorova Z. N. *Lyupin na korm i siderat v Kaliningradskoy oblasti* [Lupine for feed and siderate in the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 2018, 148 p.
5. Tarasenko N. A., Nikonovich Yu. N., Mikhaylenko M. V. Poroshok iz semyan lyupina – perspektivnyy belkovyy obogatitel' [Lupine seed powder – a promising protein enricher]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2017, no. 129 (05), pp. 236-247.
6. Khruleva L. K. *Ispol'zovanie belkovykh dobavok v proizvodstve dieticheskikh muchnykh konditerskikh izdeliy. Avtoreferat diss. cand. tekhn. nauk* [The use of protein supplements in the production of dietetic pastry. Abstract of dis. cand. techn. sci.]. Saint-Petersburg, 1993, 21 p.
7. Matveeva T. V., Koryachkina S. Ya. *Muchnye konditerskie izdeliya funktsional'nogo naznacheniya. Nauchnye osnovy, tekhnologii, retseptury* [Functional flour confectionery. Scientific fundamentals, technologies, recipes]. Orel, 2011, 326 p.
8. Agafonova S. V., Rykov A. I., Mezenova O. Ya. Otsenka biologicheskoy tsennosti belkov lyupina i perspektiv ego ispol'zovaniya v pishchevoy promyshlennosti [Assessment of the biological value of lupine proteins and the prospects for its use in the food industry]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2019, no. 2, pp.79-85.
9. Mezenova O. Ya. *Proektirovanie polikomponentnykh pishchevykh produktov: uchebnoe posobie* [Multicomponent Food Design: tutorial]. Saint-Petersburg, Prospekt Nauki, 2015, 224 p.
10. Consultation FE. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper 2013:1-66.
11. Agafonova S. V., Rykov A. I. *Muka iz lyupina sorta "Dega" v tekhnologii vafel' povyshennoy biologicheskoy tsennosti* ["Dega" lupine flour in waffle technology of increased biological value]. *Materialy VII Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 7-12 oktyabrya 2019 goda: "Pishchevaya i morskaya biotekhnologiya"* [Proceedings of the VII International Baltic Maritime Forum 7-12 October 2019: "Food and marine biotechnology", VIII International scientific and practical conference]. Kaliningrad, 2019, pp. 8-12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рыков Артем Игоревич – Калининградский государственный технический университет; магистрант; E-mail: temuha111@gmail.com

Rykov Artyom Igorevich – Kaliningrad State Technical University;
holder of a Master degree; E-mail: temuha111@gmail.com

Агафонова Светлана Викторовна – Калининградский государственный
технический университет; кандидат технических наук,
доцент кафедры пищевой биотехнологии; E-mail: andronova_sv@bk.ru

Agafonova Svetlana Viktorovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology;
E-mail: andronova_sv@bk.ru

УДК 665.211

ПРИМЕНЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕКИСНОГО ЧИСЛА ЖИРА ГИДРОБИОНТОВ

В. В. Соклаков, Н. А. Рачкова

APPLICATION OF POTENTIOMETRIC TITRATION IN DETERMINATION
OF PEROXIDE VALUE OF THE FAT OF AQUATIC ORGANISMS

V. V. Soklakov, N. A. Rachkova

Визуальное определение окончания титриметрического анализа является одним из факторов, вносящих наибольший вклад в бюджет неопределённости данного метода измерений, что является причиной поиска иных способов установления точки эквивалентности. Перекисное число жира гидробионтов введено в качестве показателя безопасности, коррелирующего с содержанием цитотоксичных продуктов вторичного окисления, а также в качестве одного из критериев, позволяющих использовать жир для медицинских, пищевых, ветеринарных или технических целей. Проведённый анализ стандартизированных и предлагаемых в научной литературе методов измерения перекисного числа в пищевой промышленности и фармацевтике показал возможность использования наряду с титриметрией также УФ-, ИК-Фурье- и ИК-спектроскопии НПВО, фотометрии и потенциометрии. В качестве доступного максимально большему числу пользователей модифицированного в части приборного детектирования метода рутинного определения данного показателя была предложена потенциометрическая индикация при титровании. Так, в методе Вилара, стандартизированном в ГОСТ 7636, установление точки эквивалентности нами осуществлялось с помощью потенциометрической индикации по скачку окислительно-восстановительного потенциала или по дифференциальной кривой титрования. Для апробации предлагаемой методики использовались образцы жиров различных сроков хранения и степени окисленности из пресноводных и океанических рыб, включая выделенный жир из мороженого сырья, а также промышленные продукты. Результаты сравнительных определений перекисного числа с помощью стандартизированной методики и предлагаемой модификации показали отсутствие достоверных различий с учётом установленного в ГОСТ 7636 предела повторяемости, что может свидетельствовать о валидности потенциометрической индикации для обозначенной цели. При возникновении сложности определения точки эквивалентности с помощью кривой титрования предлагается использовать в качестве опорного значения E_h 238 мВ.

перекисное число, жиры гидробионтов, потенциометрический метод

Visual determination of the end of the titrimetric analysis is one of the factors that have contributed most of all to the uncertainty of this measurement method. That is the reason for searching other ways to determine the equivalence point. The peroxide

number of the fat of aquatic organisms has been introduced as a safety parameter correlating with the content of cytotoxic products resulted from secondary oxidation, as well as one of the criteria permitting the use of the fat for medical, food, veterinary or technical purposes. The analysis of standardized and proposed in the scientific literature methods for determining the peroxide number in the food industry and pharmaceuticals has shown the possibility of using UV-, IR-Fourier and IR-ATR-spectroscopy, photometry and potentiometry along with titrimetry. The using of potentiometric indication during titration has been proposed as a method for routine determination of this parameter, modified in terms of instrument detection and available to the maximum number of users. Thus, in the Vilar method, standardized in GOST 7636, determination of the equivalence point has been carried out using a potentiometric indication by the jump of the redox potential or by the differential titration curve. To approbate the proposed method, we have used samples of fats with different shelf life and oxidation state from freshwater and oceanic fish, including made out from frozen raw, as well as industrial products. The results of peroxide number comparative determination using a standardized technique and the proposed modified one showed no significant differences, taking into account the limit of repeatability established in GOST 7636. It may argue the validity of the potentiometric indication for the designated purpose. If it is difficult to determine the end point of titration on the titration curve, it is proposed to use a value of E_h 238 mV as a reference.

peroxide value, fat of aquatic organisms, potentiometric method

ВВЕДЕНИЕ

Степень окисления масел уже на ранних стадиях коррелирует с появлением характерного прогорклого запаха, вызываемого вторичными продуктами окисления, что делает крайне важным проведение органолептических испытаний. Однако подготовка испытателей-дегустаторов и обеспечение требуемых для анализа условий являются длительными, сложными и затратными процессами. Также дорогостоящим остаётся и парофазный анализ, который не всегда является показательным из-за низкой летучести токсичных альдегидов. Соответственно, оценка степени ранних стадий окисления масел с помощью доступных химических методов сохраняет своё актуальное значение.

Одним из направлений, позволяющих повысить достоверность и воспроизводимость результатов количественного химического анализа, представляется замена зависящего от индивидуальных особенностей аналитика и свойств реакционной смеси визуального способа установления точки эквивалентности в традиционных титриметрических методиках на приборный. Задачей данного исследования стала модернизация стандартизированной методики определения перекисного числа жира гидробионтов – показателя, отражающего накопление первичных продуктов окисления, протекающего на всех стадиях жизненного цикла продукции.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка задачи

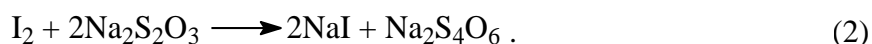
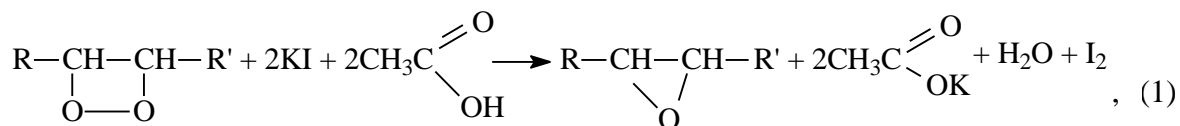
Работы Е. Szukalska и В. Drozdowska показали, что изменения перекисного числа масел коррелируют с изменением скорости абсорбции кислорода, экспериментально подтверждая радикальный цепной механизм реакции окисления [1].

Более того, согласно данным S. Shiozawa и сотр. уровень перекисного числа масел коррелирует с содержанием продуктов вторичного окисления – пяти ненасыщенных альдегидов: транс-2-гептеналя, транс-2-октеналя, транс-2-деценаля, транс-2-ундеценаля и транс,транс-2,4-декадиеналя, которые обладают сильной цитотоксичностью [2].

При этом вопрос способа определения перекисного числа остаётся широко обсуждаемым, поскольку различные применяемые методы, даже будучи стандартизированными, дают несопоставимые из-за отклонений в воспроизводимости результаты как между собой, так и в различных лабораториях [3, 4].

Проведённый анализ источников, описывающих существующие методики определения перекисного числа (как стандартизированные, так и носящие экспериментальный характер) показал разнообразие применяемых методов.

Традиционным является йодометрический метод Вилара, в основе которого лежит взаимодействие продуктов первичного окисления масел – перекисей и гидроперекисей – с йодидом калия в присутствии ледяной уксусной кислоты и хлороформа, а выделяющийся йод количественно титриметрически определяется с помощью раствора тиосульфата натрия:



Значительная часть проанализированных нами методик, распространяющихся на разнообразные матрицы [5–12], включая все виды животных жиров и непосредственно рыбный жир пищевого и медицинского назначения [13–15], предполагает именно его вариации, различающиеся одним или несколькими элементами:

- способом пробоподготовки;
- массой навески испытуемого жира либо использованием хлороформенного экстракта липидной фракции, выделенной из продукции;
- объёмом и/или соотношением частей бинарного растворителя – хлороформа и ледяной уксусной кислоты;
- концентрацией и объёмом раствора йодида калия;
- применением и длительностью выдерживания реакционной смеси в тёмном месте;
- объёмом добавляемой дистиллированной воды;
- объёмом и/или концентрацией и способом приготовления раствора крахмала, применяемого в качестве индикатора;
- концентрацией титранта – раствора тиосульфата натрия.

Более глубокой модификацией метода Вилара, применяемой для анализа любых растительных масел и животных жиров, является замена хлороформа на другой компонент бинарного растворителя:

- в ГОСТ ISO 3960 и ГОСТ Р 51487 – на изооктан [14, 16];
- в ОФС 1.2.3.007.15 – на триметилпентан [15].

Однако для получения воспроизводимых результатов методом Вилара в любых модификациях многими исследователями отмечается необходимость особенно тщательного контроля всех аспектов и условий осуществления сравнительно трудоёмкого измерения.

Применяющийся для анализа непосредственно жиров гидробионтов ГОСТ 7636 предполагает использование только данного метода в следующем варианте. Навеску 1 г жира растворяют в смеси, состоящей из 12 см³ хлороформа и 18 см³ ледяной уксусной кислоты, вносят 1 см³ насыщенного на холоде раствора йодистого калия, равномерно взбалтывают смесь в течение 2 мин, добавляют 100 см³ свежепрокипячённой дистиллированной воды, 1 см³ раствора крахмала 10 г/дм³ и титруют выделившейся йод раствором тиосульфата натрия 0,01 моль/дм³ до исчезновения синего окрашивания [13].

Среди спектрофотометрических методов следует отметить:

- спектроскопию в ближней инфракрасной области с преобразованием Фурье, основанную на регистрации спектров поглощения или трансфлексии [17, 18]. Этот метод не предлагался для исследований рыбных жиров [19, 20];

- инфракрасную спектроскопию нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с преобразованием Фурье, основанную на измерении характерной полосы поглощения трифенилфосфиноксида, образующегося в результате стехиометрического преобразования трифенилфосфина при взаимодействии с перекисями. Данный метод его авторами предложен для подсолнечного масла, птичьего и рыбного жиров [3];

- фотометрию при длине волны 500 нм, основанную на измерении коэффициента поглощения хлористого железа (II). Фотометрический метод распространяется на безводные молочные жиры [21];

- ультрафиолетовую спектроскопию, основанную на измерении удельного поглощения подсолнечного масла при длине волны 232 нм [22].

Стандартизированный метод потенциометрического определения перекисного числа в жирах и маслах по ГОСТ ISO 27107 отличается от метода по ГОСТ ISO 3960 исключительно использованием потенциометра для установления точки эквивалентности. В качестве измерительного электрода применяется платиновый [4].

Целью работы стала модификация стандартизированной методики определения перекисного числа рыбных жиров для возможности использования при рутинных определениях, включая производственный контроль. Модификация должна была предполагать переход от визуального установления точки эквивалентности при классической титриметрии к приборному, внося как можно меньшее количество изменений в стандартизированную методику для облегчения её последующей валидации.

Исходя из цели работы, нами не рассматривалось сохранение классического титриметрического анализа из-за наличия предпосылок для возникновения дополнительной несистематической погрешности и, как следствие, меньшей точности. Использование инфракрасной спектроскопии крайне трудоёмко в части осуществления калибровки, для которой необходимо значительное количество образцов с известным уровнем перекисного числа, а сам ИК-Фурье-спектрометр является дорогостоящим оборудованием. Метод инфракрасной спектроскопии НПВО с преобразованием Фурье, несомненно, лишён недостатка трудоёмкой калибровки, однако остаётся дорогостоящим с точки зрения стоимости оборудования. Метод фотомет-

рии требует полномасштабной валидации, поскольку его область распространения охватывала принципиально иные по жирнокислотному составу жиры; то же самое следует отметить и для метода ультрафиолетовой спектроскопии.

Выбор, сделанный нами в пользу потенциометрического метода, основывается на нескольких аргументах:

- существует стандартизированная методика для масел и жиров, в основе которой лежит модифицированный метод Вилара;

- поскольку метод Вилара базируется на окислительно-восстановительном типе химических реакций, то для определения перекисного числа применяется сравнительно распространённое измерительное оборудование;

- нет необходимости в изменениях используемых реактивов;

- метод доступен для применения большинству аналитиков с точки зрения требуемой квалификации;

- исследования О. А. Орловцевой и сотр. показали, что свыше 10 % результатов, полученных с помощью методик, в основе которых лежит традиционный титриметрический анализ, находятся за пределами допустимой погрешности. Теоретически такая ситуация может привести как к забраковке стандартной продукции, так и к выпуску в обращение продукции, не соответствующей предъявляемым требованиям безопасности. При этом потенциометрическое титрование позволило получить результаты, находящиеся исключительно в пределах допустимой погрешности [23];

- согласно данным S.-H. Kim и сотр. суммарная стандартная неопределённость потенциометрического метода определения перекисного числа более чем в два раза ниже по сравнению с неопределённостью титриметрического метода, что позволяет использовать потенциометрию для образцов, характеризующихся низкими значениями перекисных чисел [24].

Методы исследования

Для получения исследованных образцов тканевого жира как из речного, так и из морского сырья использовали мороженые атлантическую скумбрию *Scomber scombrus* Linnaeus, мойву *Mallotus villosus* Müller, форель *Salmo trutta* Linnaeus, воспроизводя условия получения жира-полуфабриката при выработке рыбной кормовой муки по прессово-сушильной схеме [25]. Рыбу филетировали, филе измельчали и вытапливали жир из мышечной ткани на кипящей водяной бане. После окончания вытапливания жидкую часть сливали в делительную воронку, добавляли туда же отжатую от твёрдой части жидкость, отбрасывали нижний слой разделившихся жидкостей, а верхний (жировой) фильтровали сквозь безводный сернокислый натрий.

В число образцов также был включён коммерческий рыбный жир различных производителей и сроков хранения:

- норвежский рыбий жир «Фьорд» из печени трески, обогащённый витамином А, ароматизированный, произведённый в мае 2018 г.;

- рыбий жир очищенный для внутреннего применения, произведённый в июле 2016 г. (срок хранения истёк за полгода до проведения исследований);

- жир рыбий, произведённый по Р.71.566.48 в ноябре 2006 г. (срок годности истёк за 10 лет до проведения исследований), образец характеризовался ярко выраженными органолептическими признаками глубокого окисления.

В качестве методологической основы в настоящей работе была принята методика по ГОСТ 7636 [13]. Отличия заключались в использовании для определения точки эквивалентности вместо раствора крахмала потенциметрической индикации, устанавливая точку окончания титрования по скачку потенциала.

Для измерений применяли рН-метр рН-150М РУП «Гомельский завод измерительных приборов»; электроды: вспомогательный – хлор-серебряный ЭВЛ-1М4, измерительный – платиновый ЭПЛ-02. Работоспособность платинового электрода проверяли при помощи смеси растворов и тригидрата гексацианоферрата (II) калия и гексацианоферрата (III) калия [26]. Измерения каждого образца проводили в двух параллелях в режиме термокомпенсации с использованием автоматического термокомпенсатора ТКА-8М.

Параллельно осуществляли титриметрическое определение по ГОСТ 7636. Пересчёт перекисного числа, выраженного в процентах йода, на перекисное число, выраженное в ммоль/кг $\frac{1}{2}$ O₂, осуществляли согласно [27]:

$$X_1 = 78,7X, \quad (3)$$

где X_1 – перекисное число, выраженное в ммоль/кг $\frac{1}{2}$ O; X – перекисное число, выраженное в процентах йода; 78,7 – коэффициент пересчёта результатов, полученных в процентах йода, в результаты, выраженные в ммоль/кг $\frac{1}{2}$ O₂.

Результаты исследования и их обсуждение

Образцы кривых титрования представлены на рисунке, где помимо интегральных кривых приведены дифференциальные кривые по первой производной. Средние значения потенциала точек эквивалентности указаны в таблице.

Согласно полученным результатам точки эквивалентности при определении перекисного числа во всех исследованных образцах лежат в диапазоне - 231 – -244 мВ. Это позволяет, на наш взгляд, рекомендовать величину минус 238 ± 7 мВ в качестве точки окончания титрования, если возникают затруднения при её графическом определении из-за невыраженности точки перегиба кривой титрования.

Разница между параллельными измерениями перекисного числа в одних и тех же образцах с помощью метода косвенной потенциометрии не превышала предел повторяемости, установленный в ГОСТ 7636 для метода титриметрии. Разница между результатами, полученными на одних и тех же образцах параллельно потенциметрическим и титриметрическим методами, не носила достоверного характера, что подтверждает принципиальную возможность использования потенциметрической индикации при определении перекисного числа жиров гидробионтов.

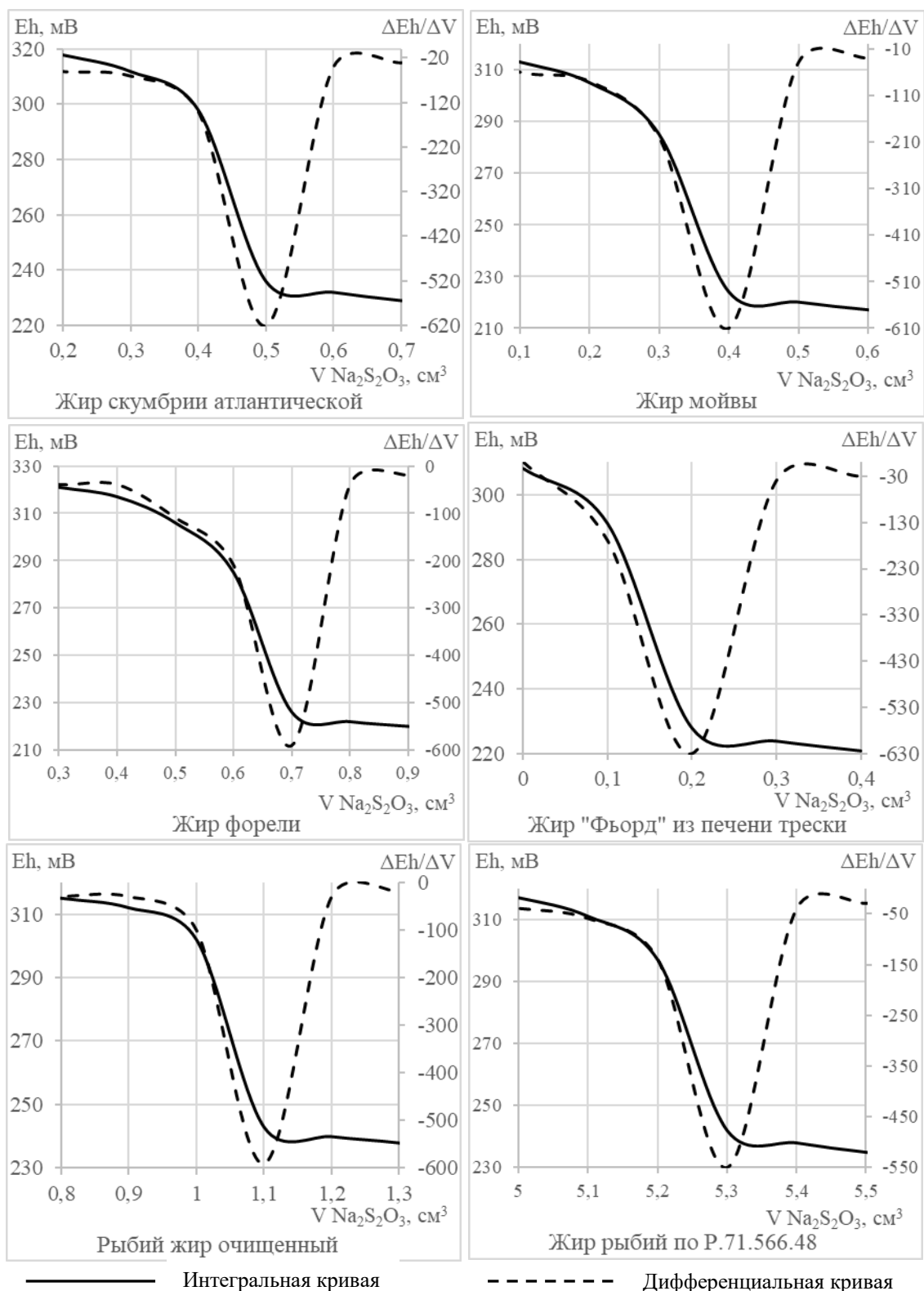


Рис. Кривые потенциметрического титрования образцов жира гидробионтов при определении перекисного числа
 Fig. The curves of potentiometric titration of hydrobiont fat samples when determining peroxide number

Таблица. Точки эквивалентности и значения перекисных чисел при анализе жиров гидробионтов

Table. Points of equivalence and peroxide values in the hydrobiont fats analysis

Образец	Eh, мВ	Перекисное число, ммоль/кг ½ O
Скумбрия атлантическая	236±4	2,36±0,79
Мойва	230±6	3,15±0,00
Форель	234±4	5,51±0,79
«Фьорд» из печени трески	232±4	0,79±0,00
Рыбий жир очищенный	241±3	10,23±0,79
Жир рыбий по Р.71.566.48	247±5	52,73±0,79

ВЫВОДЫ

Предложенный метод определения перекисного числа жира гидробионтов предполагает в отличие от стандартизированного по ГОСТ 7636 потенциометрическую индикацию. В качестве точки окончания титрования предлагается использовать $E_h=238\pm 7$ мВ в случае невозможности её графического определения.

Потенциометрический метод при проведённых исследованиях рыбных жиров различной природы и степени окисления показал отсутствие достоверных расхождений результатов с указанной стандартизированной методикой, что свидетельствует о целесообразности его применения при актуализации ГОСТ 7636 либо о возможности отказа от ГОСТ 7636 в пользу ГОСТ ISO 3960 и ГОСТ ISO 27107.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем сердечную признательность заведующей кафедрой технологии продуктов питания И. М. Титовой и заведующему кафедрой химии Б. Ю. Воронникову за содействие в организации работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Szukalska E., Drozdowska B. Manostatic method of the determination of oxidative stability of fats. – [Электронный ресурс]. URL: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PL9301074> (дата обращения: 03.04.2019).
2. Shiozawa S. et al. Re-evaluation of peroxide value as an indicator of the quality of edible oils / S. Shiozawa, M. Tanaka, K. Ohno, Y. Nagao, T. Yamada // Journal of the Food Hygienic Society of Japan. – 2007, vol. 48, No. 3. – P. 51 – 57.
3. Deyrieux C. et al. Measurement of peroxide values in oils by triphenylphosphine/triphenylphosphine oxide (TPP/TPPO) assay coupled with FTIR-ATR spectroscopy: Comparison with iodometric titration / C. Deyrieux, P. Villeneuve, B. Baréa, E. A. Decker, I. Guiller, F. M. Salaun, E. Durand // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2018, vol. 120. – # 1800109.
4. ГОСТ ISO 27107-2016 Жиры и масла животные и растительные. Определение перекисного числа потенциометрическим методом по конечной точке титрования. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 15 с.

5. ГОСТ 8285-91 Жиры животные топленые. Правила приёмки и методы испытания. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 12 с.
6. ГОСТ 26593-85 Масла растительные. Метод измерения перекисного числа. – Москва: Стандартинформ, 2000. – 5 с.
7. ГОСТ 31470-2012 Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы органолептических и физико-химических исследований. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 43 с.
8. ГОСТ 34118-2017 Мясо и мясные продукты. Метод определения перекисного числа. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 11 с.
9. Модифицированный йодометрический метод определения перекисного числа в жидких продуктах детского питания / З. Т. Бутько, В. А. Зайцев, А. А. Плешков [и др.] // Здоровье и окружающая среда. – 2011. - № 19. – С. 401-404.
10. Способ определения перекисного числа жировой фазы эмульсионного жирового продукта прямого типа: патент РФ 2337357 МПК G01N 33/03 / Т. Е. Косцова, Н. В. Владимиров (Россия); ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров» РАН (Россия). – Заявка № 2007113037/13, заявл. 10.04.2007, опубл. 27.10.2008, Бюл. № 30. – 6 с.
11. Способ определения перекисного числа маргарина: патент РФ 2267125 МПК G01N 33/03 / А. А. Петрик, Е. П. Корнена, И. В. Спильник, Т. Б. Брикота, Т. М. Багалий, И. М. Шиллинг, Е. Ю. Попова (Россия); Кубанский государственный технологический университет (Россия). – Заявка № 2004113878/13, заявл. 05.05.2004, опубл. 27.12.2005, Бюл. № 36. – 4 с.
12. Способ определения перекисного числа майонеза: патент РФ 2263909 МПК G01N 33/03 / А. А. Петрик, И. В. Спильник, Т. М. Багалий, С. А. Ильинова, Е. П. Корнена, Н. Б. Фёдорова, Т. Б. Брикота (Россия); Кубанский государственный технологический университет (Россия). – Заявка № 2004111233/13, заявл. 12.04.2004, опубл. 10.11.2005, Бюл. № 31. – 4 с.
13. ГОСТ 7636-85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 87 с.
14. ГОСТ Р 51487-99 Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
15. ОФС.1.2.3.0007.15 Перекисное число // Государственная фармакопея Российской Федерации: XIV издание: в 4 т. – Москва, 2018. – Т. 1. – С. 1008-1010.
16. ГОСТ ISO 3960-2013 Жиры и масла животные и растительные. Определение перекисного числа. Йодометрическое (визуальное) определение по конечной точке: С изменением № 1 и поправкой. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 17 с.
17. ГОСТ 33441-2015 Масла растительные. Определение показателей качества и безопасности методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 11 с.
18. Пилипенко, Т. В. Использование современных методов исследования для контроля качества растительных масел / Т. В. Пилипенко // Пища. Экология. Качество: Труды XIII международной научно-практической конференции (Красноярск, 18 – 19 марта 2016 г.). – Красноярск, 2016. – С. 45 – 49.
19. Boonchouy S. et al. Determination of peroxide value, acid value and anisidine value in fish oil using near-infrared spectroscopy / S. Boonchouy,

S. Kasemsumran, W. Thanapase, W. Worawattanamateekul, S. Boonbumrung, J. Mookdasanit. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TH2009000197> (дата обращения: 03.04.2019).

20. Fukumoto Y., Omori M., Iibuchi S. Measurement of peroxide value of fatty acids by near infrared reflection spectra and analysis of oxidation rates. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP2006008172> (дата обращения: 03.04.2019).

21. ГОСТ Р 51453-99 Жир молочный. Метод определения перекисного числа в безводном жире. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 6 с.

22. Экспресс-контроль показателей окислительной порчи масла подсолнечного методом УФ-спектроскопии / А. А. Родникова, Т. С. Куликовская, Ю. П. Голяк [и др.] // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2016. – № 5. – С. 177 – 188.

23. Выбор методов и средств измерения для управления качеством подсолнечного масла / О. А. Орловцева, Н. Л. Клейменова, Ю. В. Вакулина [и др.] // Актуальная биотехнология. – 2014. – № 1. – С. 24 – 27.

24. Kim S.-H. et al. Uncertainty of peroxide value determination in fat in follow up formula / S.-H. Kim, B.-M. Kwack, J.-H. Ahn, U.-Y. Kong // Korean Journal of Food Science and Technology. – 2004, vol. 36, No. 6. – P. 885 – 892.

25. Сборник технологических инструкций по обработке рыбы / ВНИРО: в 2 т. / Утв. Приказом Минрыбхоза СССР от 05.09.91 г. № 272. – Москва, 1994. – Т. 2. – 590 с.

26. рН-метр рН-150М. Руководство по эксплуатации: 1Е2.840.858РЭ. – Без года, Гомель. – 12 с.

27. ГОСТ 31485-2012 Комбикорма, белково-витаминно-минеральные концентраты. Метод определения перекисного числа (гидроперекисей и пероксидов). – Москва: Стандартинформ, 2014. – 10 с.

REFERENCES

1. Szukalska E., Drozdowska B. *Manostatic method of the determination of oxidative stability of fats*, available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PL9301074> (Accessed 03 April 2019).

2. Shiozawa S. et al. Re-evaluation of peroxide value as an indicator of the quality of edible oils. S. Shiozawa, M. Tanaka, K. Ohno, Y. Nagao, T. Yamada. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*. 2007, vol. 48, no. 3, pp. 51- 57.

3. Deyrieux C. et al. Measurement of peroxide values in oils by triphenylphosphine/triphenylphosphine oxide (TPP/TPPO) assay coupled with FTIR-ATR spectroscopy: Comparison with iodometric titration. C. Deyrieux, P. Villeneuve, B. Barréa, E. A. Decker, I. Guiller, F. M. Salaun, E. Durand. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2018, vol. 120, no. 1800109.

4. GOST ISO 27107-2016 *Zhiry i masla zhiivotnye i rastitel'nye. Opredelenie perekisnogo chisla potentsiometricheskim metodom po konechnoy tochke titrovaniya* [Animal and vegetable fats and oils. Determination of peroxide value by potentiometric end-point method]. Moscow, Standartinform, 2016. 15 p.

5. GOST 8285-91 *Zhiry zhivotnye toplyonye. Pravila priyomki i metody ispytaniya* [Rendered animal fats. Acceptance rules and test methods]. Moscow, Standartinform, 2005. 12 p.
6. GOST 26593-85 *Masla rastitel'nye. Metod izmereniya perekisnogo chisla* [Vegetable oils. Method for measurement of peroxide value]. Moscow, Standartinform, 2000. 5 p.
7. GOST 31470-2012 *Myaso ptitsy, subprodukty i polufabrikaty iz myasa ptitsy. Metody organolepticheskikh i fiziko-khimicheskikh issledovaniy* [Poultry meat, edible offal and semi-processed products. Methods for organoleptic and physico-chemical examinations]. Moscow, Standartinform, 2000. 43 p.
8. GOST 34118-2017 *Myaso i myasnye produkty. Metod opredeleniya perekisnogo chisla* [Meat and meat products. Method for determination of peroxide value]. Moscow, Standartinform, 2017. 11 p.
9. But'ko Z. T., Zaytsev V. A., Pleshkov A. A., Korseko M. N. Modifitsirovanny yodometricheskiiy metod opredeleniya perekisnogo chisla v zhidkikh produktakh detskogo pitaniya [Modified iodometric method for determination of peroxide number in liquid baby food products]. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2011, no. 19, pp. 401-404.
10. Sposob opredeleniya perekisnogo chisla zhirovoy fazy emul'sionnogo zhirovogo produkta pryamogo tipa: patent RF 2337357 [Method for determining the peroxide number of the fat phase of the direct type emulsion fat product: RF patent No. 2337357] T. E. Kostsova, N. V. Vladimirov (RU); All-Russian scientific institute of fats (RU). Appl. 10.04.2007, publish. 27.10.2008. Bull. No. 30. 6 p.
11. Sposob opredeleniya perekisnogo chisla margarina: patent RF 2267125 [Method for determining the peroxide number of margarine: RF patent 2267125]. A. A. Petrik, E. P. Kornena, I. V. Spil'nik, T. B. Brikota, T. M. Bagaliy, I. M. SHilling, E. Yu. Popova (RU); Kuban state technological university (RU). Appl. 05.05.2004, publish. 27.12.2005. Bull. No. 36. 4 p.
12. Sposob opredeleniya perekisnogo chisla mayoneza: patent RF 2263909 [Method for determining the peroxide number of mayonnaise: RF patent 2263909]. A. A. Petrik, I. V. Spil'nik, T. M. Bagaliy, S. A. Il'inova, E. P. Kornena, N. B. Fyodorova, T. B. Brikota (RU); Kuban state technological university (RU). Appl. 12.04.2004, publish. 10.11.2005. Bull. No. 31. 4 p.
13. GOST 7636-85 *Ryba, morskije mlekopitayushchie, morskije bespozvochnyye i produkty ikh pererabotki. Metody analiza* [Fish, marine mammals, invertebrates and products of their processing. Methods of analysis]. Moscow, Standartinform, 2010. 87 p.
14. GOST R 51487-99 *Masla rastitel'nye i zhiry zhivotnye. Metod opredeleniya perekisnogo chisla* [Vegetable oils and animal fats. Method for determination of peroxide value]. Moscow, Standartinform, 2008. 8 p.
15. OFS.1.2.3.0007.15 *Perekisnoe chislo* [Peroxide value]. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii*, XIV izdanie, v 4 tomakh. Moscow, 2018, vol. 1, pp. 1008-1010.
16. GOST ISO 3960-2013 *Zhiry i masla zhivotnye i rastitel'nye. Opredelenie perekisnogo chisla. Yodometricheskoe (vizual'noe) opredelenie po konechnoy tochke: s izmeneniyem № 1 i popravkoy* [Animal and vegetable fats and oils. Determination of

peroxide value. Iodometric (visual) endpoint determination: With amendment 1 and correction]. Moscow, Standartinform, 2014. 17 p.

17. GOST 33441-2015 *Masla rastitel'nye. Opredelenie pokazateley kachestva i bezopasnosti metodom spektroskopii v blizhney infrakrasnoy oblasti* [Vegetable oils. Determination of quality and safety by near infrared spectrometry]. Moscow, Standartinform, 2016. 11 p.

18. Pilipenko T. V. Ispol'zovanie sovremennykh metodov issledovaniya dlya kontrolya kachestva rastitel'nykh masel [Use of modern research methods for quality control of vegetable oils]. *Trudy XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Pishcha. Ekologiya. Kachestvo"* [Proceedings of the XIII th International scientific and practical conference "Food. Ecology. Quality"]. Krasnoyarsk, 2016, pp. 45-49.

19. Boonchouy S., Kasemsumran S., Thanapase W., Worawattanamatekul W., Boonbumrung S., Mookdasanit J. Determination of peroxide value, acid value and anisidine value in fish oil using near-infrared spectroscopy, available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TH2009000197> (Accessed 03 April 2019).

20. Fukumoto Y., Omori M., Iibuchi S. Measurement of peroxide value of fatty acids by near infrared reflection spectra and analysis of oxidation rates, available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP2006008172> (Accessed 03 April 2019).

21. GOST R 51453-99 *Zhir molochnyy. Metod opredeleniya perekisnogo chisla v bezvodnom zhire* [Milk fat. Method for determination of peroxide value in anhydrous fat]. Moscow, Standartinform, 2011. 6 p.

22. Rodnikova A. A., Kulikovskaya T. S., Golyak Yu. P., Sultanovich Yu. A. Ekspress-kontrol' pokazateley okislitel'noy porchi masla podsolnechnogo metodom UF-spektroskopii [Express control of sunflower oil oxidative spoilage indicators by UV spectroscopy]. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd*, 2016, no. 5, pp. 177-188.

23. Orlovtsseva O. A., Kleymenova N. L., Vakulina Yu. V., Portnov V. V. Vyb-
bor metodov i sredstv izmereniya dlya upravleniya kachestvom podsolnechnogo masla [Selection of measurement methods and tools for sunflower oil quality management]. *Aktual'naya biotekhnologiya*. 2014, no. 1, pp. 24-27.

24. Kim S.-H., Kwack B.-M., Ahn J.-H., Kong U.-Y. Uncertainty of peroxide value determination in fat in follow up formula. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 2004, vol. 36, no. 6, pp. 885-892.

25. *Sbornik tekhnologicheskikh instruktsiy po obrabotke ryby* [Collection of technological instructions for fish processing]. VNIRO: v 2 t. Utv. Prikazom Min-rybkhoza SSSR ot 05.09.91 г. № 272. Moscow, 1994. 590 p.

26. pH-metr pH-150M. Rukovodstvo po ekspluatatsii: 1E2.840.858RE. [pH-meter pH-150M. User's manual: 1E2.840.858RE]. Gomel'. 12 p.

27. GOST 31485-2012 *Kombikorma, belkovo-vitaminno-mineral'nye kontsen-
traty. Metod opredeleniya perekisnogo chisla (gidroperekisey i peroksidov)* [Mixed feeds, protein-vitamin-mineral concentrates. Method for determination of peroxide number (hydroperoxides and peroxides)]. Moscow, Standartinform, 2009, 10 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соклаков Владимир Владимирович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: vladimir.soklakov@klgtu.ru

Soklakov Vladimir Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Food Products Technology; E-mail: vladimir.soklakov@klgtu.ru

Рачкова Наталья Анатольевна – Калининградский государственный технический университет; специалист по учебно-методической работе 1 категории отдела практики; E-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

Rachkova Natalya Anatolievna – Kaliningrad State Technical University; 1 category teaching and learning specialist, Department of Practical Training; E-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

УДК 664.951.6.036

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ВИБРООРИЕНТИРОВАНИЯ РЫБЫ

Ю. А. Фатыхов, В. А. Наумов, О. В. Агеев, В. Н. Эрлихман, В. С. Шашков

MATHEMATICAL SIMULATION OF FISH VIBROORIENTATION PROCESS

Ju. A. Fatykhov, V. A. Naumov, O. V. Ageev, V. N. Erlikhman, V. S. Shashkov

Повышение производительности ряда рыбообрабатывающих машин возможно только за счет механизации процесса ориентированной загрузки рыбы. Из всех известных способов наибольшее распространение получил способ ориентирования рыбы на горизонтальной виброплоскости. Способ основан на физическом различии вследствие особенностей кожного и чешуйчатого покрова рыбы коэффициентов трения скольжения. При ориентировании рыбы головой вперед коэффициенты трения меньше их значений при движении хвостом вперед, что позволяет добиться устойчивого поступательного движения рыбы головой вперед. Целью исследования является установление методами математического моделирования динамики относительного движения рыбы на горизонтальной виброплоскости в зависимости от кинематических параметров вибрации и нелинейности коэффициентов трения скольжения рыбы при их различной ориентации. Объекты исследования – скумбрия атлантическая и ставрида. Решение дифференциального уравнения относительного движения по виброплоскости осуществлялось численным методом. Опорные точки, задающие функцию зависимости коэффициентов трения от скорости при различной ориентации рыбы, задавались по экспериментальным данным. Установлено, что при круговой скорости виброплоскости $\omega=25,0 \text{ с}^{-1}$ скорость относительного перемещения рыбы составляет $W_{\text{ср}}=0,07 \text{ м/с}$, что соответствует требуемой производительности грузочного устройства. При этом рыба совершает полный цикл с этапами движения головой и хвостом вперед с двумя кратковременными остановками. Амплитуда колебаний виброплоскости существенно влияет на интенсификацию процесса, но для рассматриваемых видов рыб ее рациональное значение составляет $A=10 \text{ мм}$. Определяющим фактором процесса является разница между коэффициентами трения при их ориентации головой и хвостом вперед, при этом скорости скольжения рыбы не должны превышать критического значения, равного $W_{\text{кр}}=0,5 \text{ м/с}$. Для других видов рыб рациональные значения параметров виброориентирования устанавливаются исходя из данных экспериментального массива фрикционных характеристик.

виброплоскость, рыба, математическое моделирование, численный метод, коэффициент трения

Increasing the productivity of a number of fish processing machines is possible only by mechanizing the process of oriented fish loading. Of all known methods, the most widely used is the method of fish orientation in the horizontal vibration plane. The

method is based on the physical difference due to the characteristics of the skin and scaly cover of fish sliding friction coefficients. When orienting fish head-first, the friction coefficients are less than their values when moving the tail forward, which allows for a steady forward movement of the fish head-first. The aim of the study is to establish by mathematical modeling methods the dynamics of the relative movement of fish on a horizontal vibration plane depending on the kinematic parameters of vibration and the nonlinearity of the friction coefficients of the fish movement in their different orientations. The objects of the research are Atlantic mackerel and horse-mackerel. The solution of the differential equation of the relative motion on vibration plane has been done by the numerical method. Reference points that set the function of the dependence of the friction coefficients on the speed at different orientations of the fish have been set using experimental data. It has been found that at circular speed of vibration plane $\omega=25,0 \text{ s}^{-1}$, speed of the relative moving of fish makes $W_{cp}=0,07 \text{ m/s}$, that corresponds to the capacity requirement of a loading device. Thus fish accomplishes a complete cycle with the stages of motion a head and tail forward with two brief stops. Amplitude of vibrations of the vibration plane substantially influences intensification of the process, but for the examined types of fish its rational value makes $A=10 \text{ mm}$. The determinative of the process is a difference between the coefficients of friction during their orientation by a head and tail forward, but speeds of fish sliding must not exceed a critical value equal $W_{kp}=0,5 \text{ m/s}$. For other types of fish the rational values of parameters of vibroorientation are set coming from the data of experimental array of friction descriptions.

vibration plane, fish, mathematical modeling, numerical method, coefficient of friction

ВВЕДЕНИЕ

Появление класса грузочных машин и устройств связано с необходимостью механизации технологической операции ориентированной загрузки рыбного сырья в кассеты приемного конвейера разделочных, нанизочных и укладочных машин. Принцип работы рыбообрабатывающих машин и точность выполнения операций по разделке, нанизке и укладке сырья полностью определяются качественной поштучной подачей объекта обработки, ориентированного головой и спинкой в одну сторону. Известно, что при ручной загрузке рыбы в кассеты приемного конвейера рыбообрабатывающих машин тремя рабочими фактическая производительность составляет $80\div 120 \text{ рыб/мин}$. Эта операция становится лимитирующей, так как большинство современных обрабатывающих машин способны обеспечивать большую производительность.

Для механизированного ориентирования рыбы применяют следующие основные способы ориентирования рыбы [1]: на горизонтальной колеблющейся плоскости; на наклонной плоскости; на планках, движущихся в противофазе; за счет разделения потока тушек при помощи определения положения головы каждого экземпляра.

В основе способов ориентирования рыбы положены установленные ранее учеными КГТУ А. З. Уманцевым [2] и С. И. Брилем [3] физико-механические свойства рыбного сырья и закономерности их изменения. Так, морфологическими исследованиями выяснено, что все промысловые виды рыб веретенообразной

формы имеют центр тяжести, находящийся выше оси хребтовой кости и смещенный в сторону головы рыбы. Также констатировано, что максимальное сечение таких рыб имеет клинообразную форму. Эти свойства позволяют при сжатии тела рыбы двумя вертикальными стенками вследствие возникновения крутящего момента ориентировать ее спинкой вверх, а при движении рыбы в сужающемся желобе с профилем поперечного сечения, аналогичным профилю рыбы, занимать устойчивое положение при ориентации спинкой вниз. Фрикционными исследованиями установлено, что вследствие особенностей кожного и чешуйчатого покрова рыб коэффициенты трения скольжения различаются при их движении головой и хвостом вперед. При сопоставимых скоростях движения рыбы коэффициент трения скольжения рыбы головой вперед меньше его значения при ориентировании рыбы хвостом вперед, что позволяет при определении кинематических параметров виброплоскости обеспечить устойчивое движение рыбы головой вперед. Также известно, что спинка и брюшко рыбы имеют различную окраску, что дает возможность по разности отражения светового потока ориентировать рыбу в нужном направлении с помощью электронного блока управления.

Основной тенденцией совершенствования и конструирования рыбообрабатывающего технологического оборудования является использование методов и технологических средств мехатроники [4]. Современные системы технического зрения позволяют получить с высокой разрешающей способностью и скоростью видеокomпьютерное изображение объекта обработки, содержащее информацию о его форме и геометрических размерах. Этих данных достаточно для того, чтобы с помощью быстродействующих управляющих и исполнительных органов правильно позиционировать рыбу в нужном направлении. В работе [5] предлагается методика и алгоритм для автоматического анализа морфометрических параметров форели и определения наилучших точек резания с целью обеспечения ресурсосбережения. В статье [6] также проанализированы различные морфометрические параметры сырья с целью определения точек обработки для различных морских видов рыб. В работе [7] исследованы различные способы сортировки и ориентирования сырья, учитывающие профили тушек, а также показаны достоинства и недостатки различных методов. Разработаны алгоритм и устройство для быстрой сортировки и ориентирования морских рыб с учетом особенностей строения тела и широким применением математических методов. Статья [8] описывает подход к анализу физико-механических характеристик различных частей тела рыбы, используемых в пищевых целях. В работе [9] предложены методики для определения морфометрических параметров рыб, которые могут использоваться при машинной сортировке, ориентировании и загрузке сырья.

Из перечисленных выше способов ориентирования рыбы в конструкциях загрузочных устройств и машин наиболее широко применяется способ ориентирования на горизонтальной виброплоскости. Например, в конструкциях МНР-1, А8-ИРЗ-М/2, Н2-ИРМ; А8-ИСБ, МКРМ, Н2-ИГА-109 (Россия), Baader 478, 480, 482, 483, MFZ3 (Германия) и др. [4].

В них ориентируют кильку, салаку, мойву, сайку, хамсу, сельдь, скумбрию, ставриду, сардину, сардинеллу, полярную тресочку и другие виды мелких и средних рыб. Наибольшей производительностью отличается загрузочное устройство МНР-1: теоретическая производительность – 1200 рыб/мин; фактическая – 500...600 рыб/мин. В загрузочных устройствах рыбы, ориентированные головой в

одну сторону и движущиеся в желобах виброплоскости в противоположных направлениях, сводятся в единой поток с совпадающим вектором скорости рыбы разворотом на 180° или в вертикальной (МНР-1), или в горизонтальной (машины фирмы Аренко) плоскости [3].

Различие между теоретической и фактической производительностью загрузочных машин объясняется неравномерным распределением рыбы по желобам виброплоскости и наличием интервала между двигающимися друг за другом экземплярами. На практике этот недостаток машины частично устраняется рабочим-оператором вручную, что, даже в этом случае, делает работу машины эффективнее по сравнению с ручной загрузкой.

Теоретический анализ движения рыбы на виброплоскости осуществлялся для обоснования параметров, обеспечивающих наиболее эффективную работу загрузочных устройств [3, 10]. Для этого необходимо найти оптимальную скорость относительного движения рыбы по виброплоскости, ориентированной головой вперед, в зависимости от кинетических параметров поверхности: частоты и амплитуды колебаний. Авторами эта задача решалась графоаналитическим путем, дающим громоздкие и приближенные результаты.

Целью настоящего исследования является установление методами математического моделирования динамики относительного движения рыбы на горизонтальной плоскости в зависимости от кинематических параметров вибрации и нелинейности коэффициентов трения скольжения рыб при их различной ориентации.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения зависимости коэффициента трения рыбы f от скорости движения по технологической поверхности W принята физическая модель, изложенная в работе [3].

Она имеет вид гиперболической функции, в которой можно явно выделить две области: область, в которой зависимость коэффициента трения от скорости существенна, и область, в которой эта зависимость практически не наблюдается. Обозначим реперные (опорные) точки для примерного воспроизводства зависимости $f(W): f_0(O)$ – коэффициент трения рыбы в покое; $f_{\min}(W_{кр})$ – минимальное значение коэффициента трения скольжения рыбы, соответствующее критической скорости $W_{кр}$.

Обратим внимание, и это соответствует массиву экспериментальных данных, что при ориентировании рыбы хвостом вперед значения f_{02} могут быть больше f_{01} (ориентирование рыбы головой вперед) в два и более раза. Из-за нелинейной зависимости коэффициента трения от скорости вторая задача динамики относительного движения рыбы не может быть решена аналитически.

Вторая задача динамики тела на виброплоскости многократно решалась численными методами моделирования (например, [11]), но эти решения не учитывают вышеназванные особенности коэффициента трения рыбы, связанные с ее различной ориентацией.

На виброплоскости загрузочного устройства рыба разворачивается и перемещается прямолинейно. Рассмотрим, динамику рыбы, завершившей разворот. В зависимости от привода технологической поверхности плоскость совершает горизонтальные колебания или по синусоидальному закону, или по близкому к нему.

Примем, что плоскость совершает гармонические горизонтальные колебания, определяемые выражением:

$$\xi = A \cdot \sin(\omega t), \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний плоскости, ω – круговая частота колебаний.

Дифференциальное уравнение прямолинейного движения рыбы относительно плоскости (ее угол наклона $\alpha=0$) имеет следующий вид:

$$m \cdot \ddot{x} = F + m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t); \quad |F| = f \cdot mg, \quad (2)$$

где m – масса рыбы; F – сила трения.

Сложность постановки задачи заключается в задании зависимости коэффициента трения от скорости и направления движения. В среде Mathcad была разработана специальная подпрограмма – функция, реализующая эту зависимость. Опорные значения коэффициентов трения приняты для средних видов рыб (скумбрия атлантическая, ставрида) по нержавеющей стали: $f_{01}=0,25$; $f_{\min 1}=0,18$; $f_{02}=0,43$; $f_{\min 2}=0,23$; $W_{кр}=0,5$ м/с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчетная зависимость изменения относительной скорости рыбы при постоянной амплитуде колебаний виброплоскости A и различных значениях круговой частоты ω представлена на рис. 1.

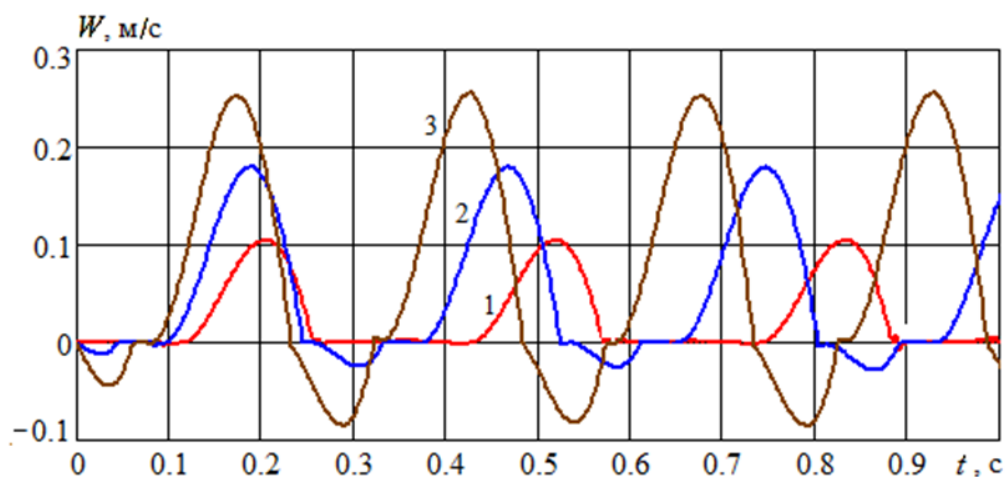


Рис. 1. Изменение относительной скорости рыбы при $A=10$ мм и $\omega=20$ с⁻¹ (кривая 1); $\omega=22,5$ с⁻¹ (кривая 2); $\omega=25,0$ с⁻¹ (кривая 3)

Fig. 1. Changing the relative speed of fish for $A=10$ mm and $\omega=20$ s⁻¹ (curve 1); $\omega=22.5$ s⁻¹ (curve 2); $\omega=25.0$ s⁻¹ (curve 3)

При параметрах виброплоскости, соответствующих кривой 1, видно, что функция движения рыбы по горизонтальной поверхности является прерывистой и осуществляется по циклу «движение головой вперед – остановка – движение головой вперед». Очевидно, что возникающей инерционной силы недостаточно, чтобы преодолеть силу трения при движении рыбы хвостом вперед. Отметим, что временное соотношение между этапами цикла «движение головой вперед» и «остановка» примерно одинаковое.

При условиях работы виброплоскости, соответствующих кривой 2, полный цикл движения рыбы описывается этапами «движение рыбы головой вперед – остановка на время τ_1 – движение рыбы хвостом вперед – остановка на время τ_2 ». Из характера описываемой зависимости видно, что $\tau_1 \rightarrow 0$, тогда как длительность второй остановки (τ_2) соизмерима с длительностью этапа движения рыбы хвостом вперед.

При параметрах виброплоскости, соответствующих кривой 3, полный цикл движения рыбы остается таким же, как и для кривой 2. Также $\tau_1 \rightarrow 0$, а длительность периода со временем τ_1 существенно сократилась. Участок, соответствующий движению рыбы хвостом вперед, более ярко выражен: при этом скорость скольжения значительно возрастает.

Влияние круговой скорости виброплоскости можно оценить по данным, представленным на рис. 2.

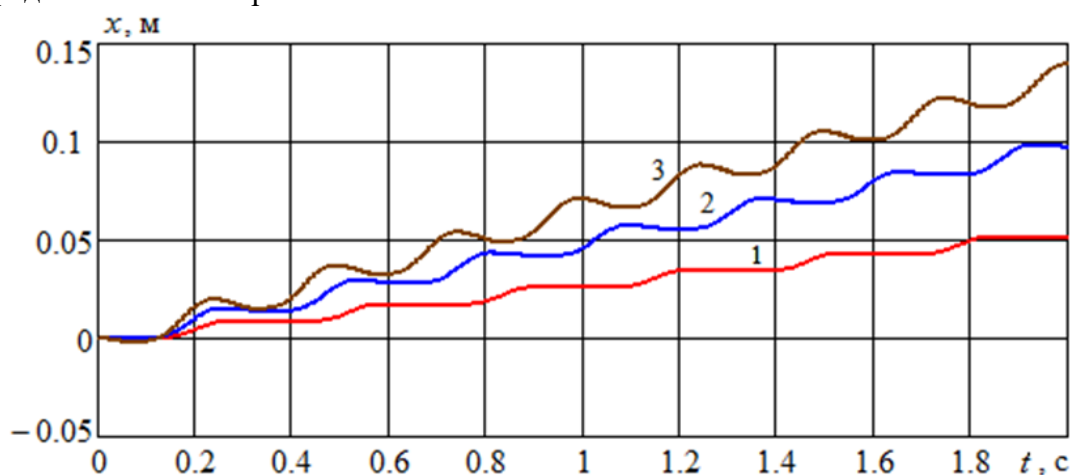


Рис. 2. Изменение координат рыбы при $A=10$ мм и $\omega=20$ с⁻¹ (кривая 1); $\omega=22,5$ с⁻¹ (кривая 2); $\omega=25,0$ с⁻¹ (кривая 3)
 Fig. 2. Changing fish coordinates for $A=10$ mm and $\omega=20$ s⁻¹ (curve 1); $\omega=22.5$ s⁻¹ (curve 2); $\omega=25.0$ s⁻¹ (curve 3)

Сопоставление трех представленных на рис. 2 кривых показывает, что, несмотря на более выраженное движение рыбы хвостом вперед, поступательное движение рыбы головой вперед по плоскости, описываемое зависимостью (3), является наибольшим. По данным рис. 2 можно оценить среднюю скорость поступательного перемещения рыбы по плоскости W_{cp} . Для условий, соответствующих кривой 1, она составляет 0,025 м/с. Для кривой 2 $W_{cp2}=0,05$ м/с, для кривой 3 $W_{cp3}=0,07$ м/с.

Определим производительность виброплоскости по формуле:

$$Q = \frac{2W_{cp} \cdot Z \cdot \xi \cdot 60}{L_p}, \text{ шт./мин}, \quad (3)$$

где Z – количество ручьев на ориентирующей поверхности; ξ – коэффициент наполнения ручьев рыбой; L_p – полная длина рыбы.

Теоретическая производительность одного ручья вибролотка ($\xi=1,0$) для рыб среднего размера ($L_p=0,25$ м), для которых нами были приняты исходные данные, составляет 33,6 рыб/мин. Очевидно, что лоток с четырьмя ручьями обес-

печит фактическую производительность ($\xi=0,9$) 120 рыб/мин, что вполне достаточно для обеспечения бесперебойной работы большинства рыбообрабатывающих машин.

Для мелких видов рыб теоретическая производительность вибротка ($\xi=0,9$; $Z=11$; $L_p=0,07$ м) составит 1320 рыб/мин, а фактическая ($\xi=0,5$) – 660 рыб/мин. Эти данные соответствуют технической характеристике наиболее производительной машины – МНР-1.

Таким образом, наиболее рациональным следует признать режим работы виброплоскости ($A=10$ мм, $\omega=25,0$ с⁻¹), осуществляемый в соответствии с закономерностями, отраженными зависимостями 3 на рис. 1, 2. Отсюда следует вывод, что ранее общепризнанное положение о правильном подборе параметров виброплоскости, при котором можно избежать этапа скольжения рыбы хвостом вперед, является неверным.

Влияние амплитуды колебаний виброплоскости A на характер относительного перемещения рыбы можно оценить по данным, представленным на рис. 3, 4.

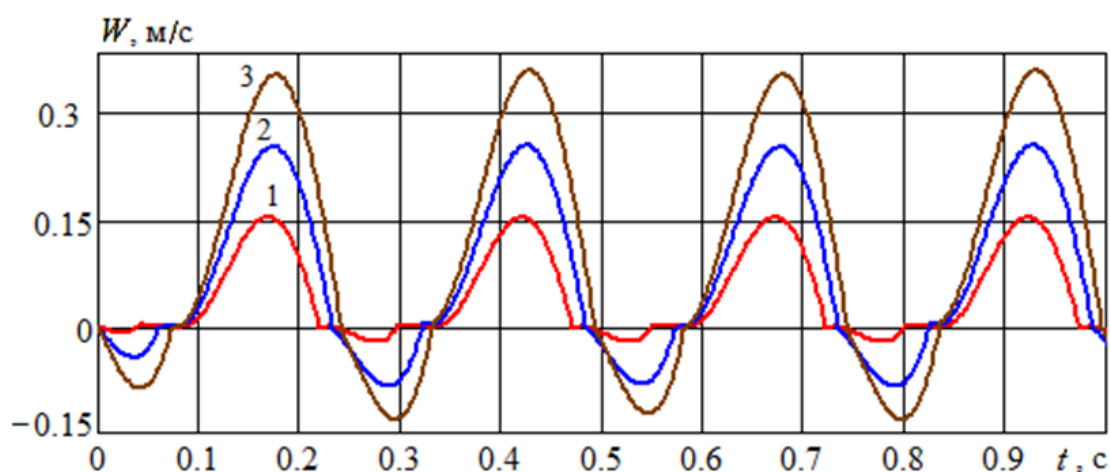


Рис. 3. Изменение относительной скорости рыбы при $\omega=25$ с⁻¹ и амплитудах $A=8$ мм (кривая 1); $A=10$ мм (кривая 2); $A=12$ мм (кривая 3)
 Fig. 3. Changing the relative speed of fish at $\omega=25$ s⁻¹ and amplitudes $A=8$ mm and (curve 1); $A=10$ mm (curve 2); $A=12$ mm (curve 3)

Отметим, что на рис. 3, 4 кривая 2 соответствует рациональным параметрам виброплоскости, как и кривая 3 на рис. 1, 2.

Уменьшение амплитуды колебаний виброплоскости до $A=0,08$ мм приводит к значительному, почти вдвое, снижению производительности. При этом цикл движения рыбы (кривая 1 на рис. 3) характеризуется длительными остановками.

Увеличение амплитуды колебаний виброплоскости до $A=12$ мм может существенно повысить ее производительность (кривая 3 на рис. 3, 4), однако эксплуатационная надежность узлов привода при этом значительно снижается. Все же следует признать, что увеличение амплитуды колебаний виброплоскости является резервом для повышения ее производительности.

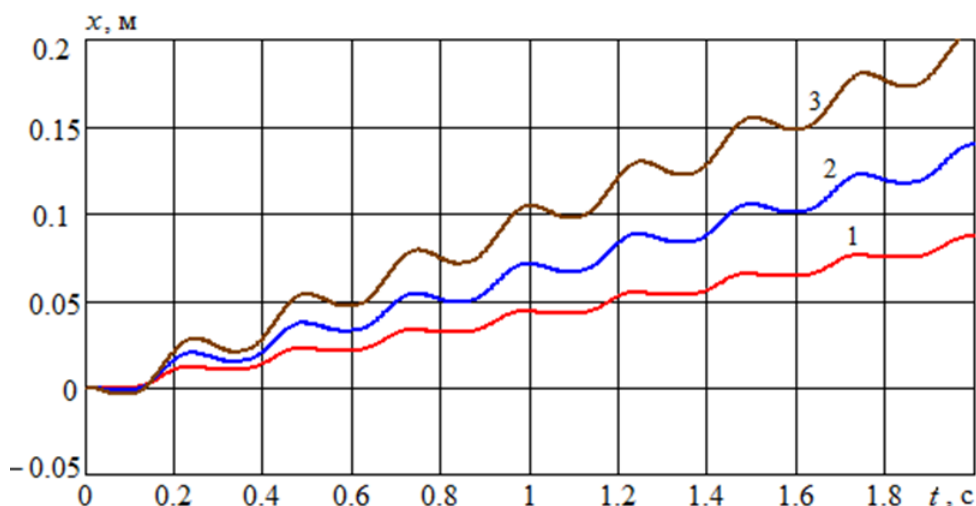


Рис. 4. Изменение координат рыбы при $\omega=25 \text{ c}^{-1}$ и амплитудах $A=8 \text{ мм}$ (кривая 1); $A=10 \text{ мм}$ (кривая 2); $A=12 \text{ мм}$ (кривая 3)

Fig. 4. Changing fish coordinates at $\omega=25 \text{ s}^{-1}$ and amplitudes $A=8 \text{ mm}$ and (curve 1); $A=10 \text{ mm}$ (curve 2); $A=12 \text{ mm}$ (curve 3)

Для оценки влияния коэффициентов трения скольжения рыбы на рис. 5, 6 представлены теоретические зависимости относительной скорости и перемещения рыбы при постоянных круговой частоте $\omega=22,5 \text{ c}^{-1}$ и амплитуде $A=10 \text{ мм}$.

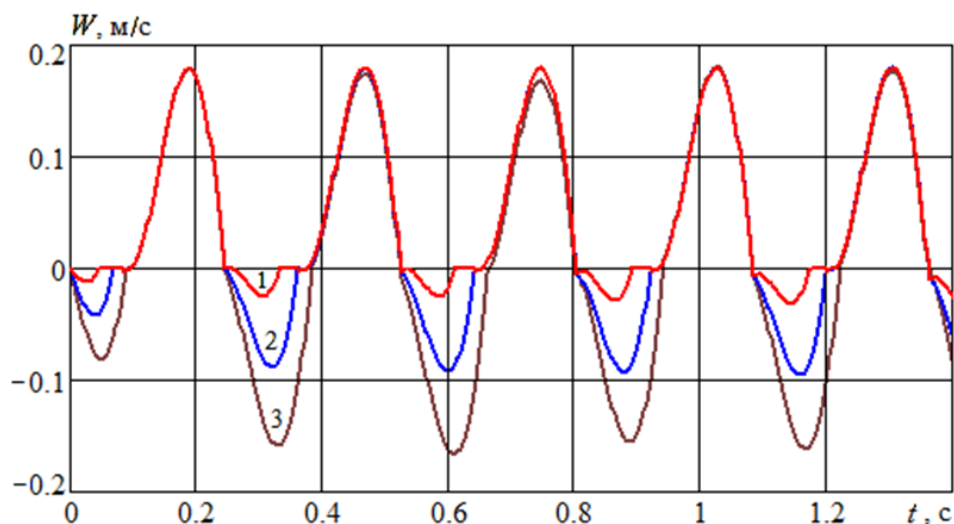


Рис. 5. Изменение относительной скорости рыбы при постоянных значениях $f_{01}=0,25$; $f_{\text{min}1}=0,18$ и переменных: $f_{02}=0,43$; $f_{\text{min}2}=0,23$ (кривая 1); $f_{02}=0,34$; $f_{\text{min}2}=0,20$ (кривая 2); $f_{02}=0,25$; $f_{\text{min}2}=0,18$ (кривая 3)

Fig. 5. Changing the relative speed of fish for constant values $f_{01}=0.25$; $f_{\text{min}1}=0.18$ and variables: $f_{02}=0.43$; $f_{\text{min}2}=0.23$ (curve 1); $f_{02}=0.34$; $f_{\text{min}2}=0.20$ (curve 2); $f_{02}=0.25$; $f_{\text{min}2}=0.18$ (curve 3)

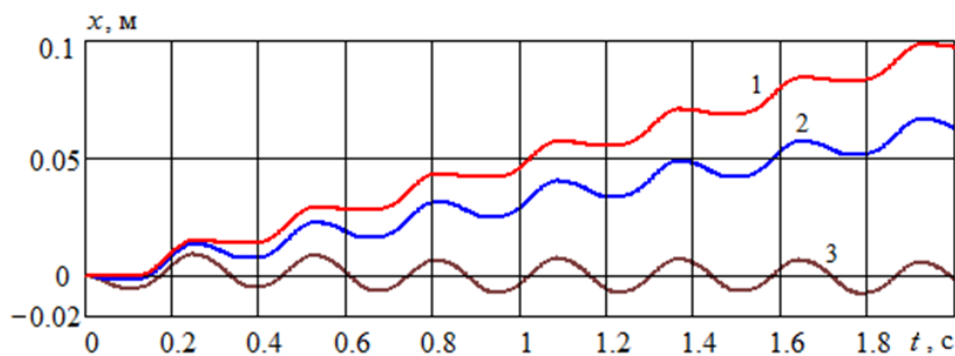


Рис. 6. Изменение координат рыбы при исходных данных, соответствующих данным на рис. 5

Fig. 6. Changing fish coordinates with the original data corresponding to the data in fig. 5

Как видно из данных рис. 5, 6, нами варьировались только коэффициенты трения, связанные со скольжением рыбы «хвостом вперед». Причем зависимости, определяемые кривой 1 на рис. 5, 6, соответствуют зависимостям, изображенным кривой 2 на рис. 1, 2. Снижение значения коэффициентов трения приводит к увеличению в цикле ориентирования интенсивности и длительности этапа поступательного движения рыбы «хвостом вперед» (кривая 2 на рис. 5). В результате, скорость относительного перемещения рыбы снижается (кривая 2 на рис. 6) и падает производительность виброплоскости.

При виртуальной ситуации, когда коэффициенты трения покоя и скольжения при разной ориентации рыбы равны, процесс поступательного движения рыбы физически невозможен (кривые 3 на рис. 5, 6).

В реальных условиях процесса ориентирования рыбы изменить коэффициенты трения покоя и скольжения можно за счет выбора материала технологической поверхности. Однако ранее существующее утверждение, что для увеличения значений коэффициентов трения нужно выбирать материал, обладающий повышенной шероховатостью или сопротивлением, представляется неверным. Как показал анализ массива экспериментальных данных по фрикционным характеристикам рыбы [2, 3, 10] количественное увеличение коэффициентов трения при скольжении на более шероховатой поверхности не приводит к существенному изменению разницы между значениями для рыб, ориентированных в двух противоположных направлениях. Именно разница между коэффициентами трения при одной и той же скорости определяет физическую сущность процесса ориентирования. По экспериментальным данным также известно, что разница между коэффициентами трения различной ориентации с ростом скорости скольжения уменьшается: поэтому интенсификация процесса за счет увеличения скорости, большей $W_{кр}$, нецелесообразна.

Отметим, что полученные нами рациональные параметры виброплоскости справедливы для принятых объектов исследования (скумбрия атлантическая, ставрида). Для других видов рыб такие параметры могут быть получены, даваясь значениями коэффициентов трения, соответствующих опорным точкам, по массиву существующих экспериментальных данных. При этом качественные выводы по динамике виброориентирования на горизонтальной плоскости сохраняются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Составлена математическая модель динамики относительно движения рыб на горизонтальной виброплоскости, учитывающая нелинейность зависимости коэффициента трения от скорости.
2. Для принятых объектов исследования вторая задача динамики рыбы на виброплоскости решалась численным методом.
3. Установлено, что наиболее рациональная скорость относительного перемещения рыбы, определяющая производительность виброплоскости, соответствует полному циклу ее движения – в двух противоположных направлениях с двумя кратковременными остановками.
4. Установлены рациональные параметры виброплоскости для ориентированного относительного движения рыбы (скумбрии атлантической, ставриды) головой вперед: $\omega=25 \text{ с}^{-1}$; $A=10 \text{ мм}$; $A=10 \text{ мм}$; $W_{\text{ср}}=0,07 \text{ м/с}$.
5. Установлено, что виброориентирование должно осуществляться при относительных скоростях рыбы, не превышающих критического значения $W_{\text{кр}}$, так как в этой области разница между коэффициентами трения рыбы, ориентированной в двух противоположных направлениях, максимальна.
6. Для других видов рыб рациональные параметры виброориентирования могут быть получены по заданным опорным точкам фрикционных характеристик.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агеев, О. В. Подход к разработке мехатронного устройства для поштучной загрузки рыбы / О. В. Агеев, А. Е. Ерыванов, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Самойлова // Научные труды КубГТУ. – 2017. – № 5. – С.10-22.
2. Уманцев, А. З. Физико-механические характеристики рыб. Методика и результаты исследований / А. З. Уманцев. – Москва: Пищ. пром-сть, 1980. – 152 с.
3. Бриль, С. И. Загрузочные устройства рыбообрабатывающих машин / С. И. Бриль. – Москва: Пищ. пром-сть, 1980. – 184 с.
4. Агеев, О. В. Совершенствование технологического оборудования для первичной обработки рыбы: опыт, проблематика, системный подход: моногр. / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 261 с.
5. Azarndel H., Inzunza-González E., Mohtasebi S. S, Jafari A., Muñoz A. R. Developing an orientation and cutting point determination algorithm for a trout fish processing system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, vol. 162, pp. 613-629.
6. Hernández-Ontiveros J.M, Inzunza-González E, Garsia-Guerrero E.E, López-Bonilla O.R, Infante-Prieto S.O, Cárdenas-Valdez J.R, Tlelo-Cuautle E. Developing an orientation and cutting point determination algorithm for a trout fish processing system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, vol. 145, pp. 53-62.
7. Costa C, Antonucci F, Boglione C, Menesatti P, Chatain B. Automated shape analysis. *Aquacultural Engineering*, 2013, vol.52, pp. 58-64.
8. Vilgis T.A. The physics of the mouthfeel of caviar and other fish roe. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2020, vol.19. pp. 92-100.

9. Yu C, Fan X, Hu Z, Xia X, Zhao Y, Li R, Bai Y. Segmentation and measurement scheme for fish morphological features based on Mask R-CNN. *Information Processing in Agriculture*, 2020, vol. 1, pp. 1-12.
10. Поспелов, Ю. В. Механизированные разделочные линии рыбообработывающих производств / Ю. В. Поспелов. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 188 с.
11. Федоренко, И. Я. Численное моделирование процесса безотрывного виброперемещения частицы / И. Я. Федоренко, А. С. Федоренко // Вестник Алтайского государственного аграрного ун-та. – 2014. – № 7. – С. 131-135.

REFERENCES

1. Ageev O. V., Eryvanov A. E., Fatykhov Yu. A., Samoylova N. V. Podkhod k razrabotke mekhatronnogo ustroystva dlya poshtuchoy zagruzki ryby [An approach to the development of mechatronic equipment for piece-by-piece loading of fish]. *Nauchnye Trudy KubGTU*, 2017, no. 5, pp. 10-22.
2. Umantsev A. Z. *Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki ryb. Metodika i rezul'taty issledovaniy* [Stress-related properties of fish. Research methods and results]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1980, 152 p.
3. Bril' S. I. *Zagruzochnye ustroystva ryboobrabatyvayushchikh mashin* [Loading equipment for fish processing machines]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1980, 184 p.
4. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya obrabotki ryby: opyt, problematika, sistemnyy podkhod* [Perfection of technological equipment for primary fish processing: experience, problems, system approach]. Kaliningrad, Izdatel'stvo FGBOU VPO "KGTU", 2015, 261 p.
5. Azarmdel H., Inzunza-González E., Mohtasebi S. S, Jafari A., Muñoz A. R. Developing an orientation and cutting point determination algorithm for a trout fish processing system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, vol. 162, pp. 613-629.
6. Hernández-Ontiveros J. M, Inzunza-González E., Garsia-Guerrero E. E., López-Bonilla O. R, Infante-Prieto S. O, Cárdenas-Valdez J. R., Tlelo-Cuautle E. Developing an orientation and cutting point determination algorithm for a trout fish processing system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, vol. 145, pp. 53-62.
7. Costa C., Antonucci F., Boglione C., Menesatti P., Chatain B. Automated shape analysis. *Aquacultural Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 58-64.
8. Vilgis T. A. The physics of the mouthfeel of caviar and other fish roe. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2020, vol. 19, pp. 92-100.
9. Yu C., Fan X., Hu Z., Xia X., Zhao Y., Li R., Bai Y. Segmentation and measurement scheme for fish morphological features based on Mask R-CNN. *Information Processing in Agriculture*, 2020, vol. 1, pp. 1-12.
10. Pospelov Yu. V. *Mekhanizirovannye razdelochnye linii ryboobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Mechanized cutting lines for fish processing plants]. Moscow, Agropromizdat, 1987, 188p.
11. Fedorenko I. Ja., Fedorenko A. S. Chislennoe modelirovanie bezotryvnogo vibroperemeshcheniya chastitsy [Numerical simulation of continuous vibrational

movement of a particle]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no.7, pp. 131-135.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

Агеев Олег Вячеславович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

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

Эрлихман Владимир Наумович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; консультант-наставник механико-технологического факультета; E-mail: elina@klgtu.ru

Erlikhman Vladimir Naumovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Consultant-mentor at the Faculty of Mechanics and Technology; E-mail: elina@klgtu.ru

Шашков Владимир Сергеевич – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; магистр; E-mail: gummy39@gmail.ru

Shashkov Vladimir Sergeevich – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; holder of a Master degree; E-mail: gummy39@gmail.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 629.12.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК НАЛИВНЫХ РЫБОЛОВНЫХ
СУДОВ СПОСОБОМ ПОСТОЯННЫХ РАЗМЕРЕНИЙ

Зыонг Ван Тхань, В. П. Иванов

MATHEMATICAL MODEL AND RESULTS OF OPTIMIZATION RESEARCH
FOR THE CHARACTERISTICS OF RSW -TYPE FISHING
VESSELS BY PERMANENT DIMENSION METHOD

Duong Van Thanh, V. P. Ivanov

Основным направлением проводимых исследований является оптимизационный выбор характеристик среднетоннажных рыболовных судов наливного типа (НРС), осуществляемый в рамках формируемой методики для задач пополнения рыболовного флота судами, эффективными для заданных технико-экономических условий (ТЭУ) их эксплуатации. В данной статье показана экономическая эффективность совмещения преимуществ наливного способа сохранения улова с его переработкой. Важным дополнительным условием является также обеспечение оптимизированного баланса технических характеристик судов (их мощности, производительности рыбообрабатывающего оборудования, автономности судна по запасам топлива) и ТЭУ их эксплуатации (состояния сырьевой базы района промысла, сроков хранения охлажденной продукции, а также индекса цен и затрат). В работе приведена постановка оптимизационной задачи, показаны особенности разработанной математической модели судна с ее программным обеспечением, выполнен значительный объем оптимизационных исследований, представлены их результаты. Аргументированная интерпретация результатов выполненного анализа и обобщений показала работоспособность разработанного аппарата оптимизации характеристик НРС, который доступен в его освоении и удобен в пользовании, и показала его возможности. Выполненный цикл исследований завершает формирование методики оптимизационного выбора характеристик для относительно новой и развивающейся концепции универсальных среднетоннажных НРС, совмещающих преимущества наливного способа сохранения улова и его обработки (разделки и/или заморозки) с последующим складированием рыбной продукции в осушенных наливных танках. Методика предназначена для решения задач развития морского рыболовства СРВ и может быть использована для других регионов рыбного промысла.

среднетоннажные рыболовные суда наливного типа, эффективность эксплуатации, методика технико-экономического анализа, математическое моделирование судна, оптимизация характеристик, результаты оптимизационных исследований

The main direction of the conducted research is optimization choice of the characteristics of RWS type fishing vessels which has been carried out as part of formed

methodology for the tasks of replenishing the fishing fleet with the purpose of subsequent effective use in the specified technical-economic conditions (TEC) of operation. In this article, the operational efficiency is shown of combining the advantages of the RSW method of fish storage and processing on board. An important additional condition for achieving that efficiency is to ensure an optimized balance of the technical characteristics of vessels (capacity, productivity of fish processing equipment, the sea endurance by fuel) and the TEC of their operation (the state of fishing area, limit storage time for refrigerated products, as well as a price and cost index). The statement of the optimization problem is given, the features of the developed mathematical model of the vessel with its software are shown, a significant amount of optimization studies is performed, their results are presented. A well-reasoned interpretation of the results of analysis and generalizations have confirmed the operability of the developed apparatus for optimizing the characteristics of RSW fishing vessel, which is available and convenient to use, and has showed its capabilities. The performed research cycle completes the formation of a methodology for optimizing the characteristics for a relatively new and developing concept of universal medium-tonnage RSW fishing vessel, combining the advantages of the RSW method of fish storage and processing (cutting and/or freezing) with subsequent storage in dried tanks. The methodology is intended to solve the problems of the development of marine fisheries for Vietnam, and may be for number countries of other regions as well.

medium-tonnage RSW type fishing vessels, operational efficiency, methodology of technical and economic analysis, mathematical modeling of the vessel, optimization of vessel characteristics, results of optimization research

ВВЕДЕНИЕ

Концепция современных наливных рыболовных судов относительно нова и определилась как характерная и развивающаяся категория судов лишь в течение последних двух-трех десятилетий. До настоящего времени ряд особенностей этих судов и их комплектующего оборудования остаются коммерческой тайной их производителей и в открытой печати не освещаются. Вместе с тем наливной способ освоения улова уже широко используется как на малых, так и на более крупных рыболовных судах (водоизмещением D до 3600т). Значительно возросшая (в сравнении с подобными по водоизмещению рыболовными судами сухогрузного типа) мощность главных двигателей НРС (N_{gd} до 4000 кВт) наряду с использованием современных тралов и других орудий лова и при соответствующей сырьевой базе обеспечивает высокие уловы, которые за одно траление порой исчисляются сотнями тонн. Наличие на судне мощных рефрижераторных установок (с их удельной производительностью \sim в 1кВт на тонну рыбы брутто) и охлаждаемых ею рыбных танков позволяет оперативно осваивать эти уловы при механизации их приема (с использованием рыбонасосов) и передачи рыбы на берег. При этом резко сокращаются время выполнения этих операций и повреждаемость выловленной рыбы. К недостаткам такого промысла, снижающим его экономическую эффективность, относятся дешевизна поставляемой на берег охлажденной необработанной рыбы и ограниченный срок ее хранения (по разным данным от 2-3 до 7 сут). По истечении допустимого срока хранения рыбы и/или при недостаточных запасах топлива НРС вынуждено возвращаться в порт недогруженным, что ощутимо сказывается

на его эффективности, которая снижается и при неоправданном избытке запасов топлива.

Повышение эффективности рыболовных судов прежде всего связывают с необходимостью обработки улова, т.е. с выработкой более дорогой разделанной продукции, а также с использованием морозильных установок. На современных НРС разделка рыбы отмечается в первую очередь на малых прибрежных судах, оборудованных не только наливными танками для охлаждаемого улова, но «сухими» свежьювыми трюмами с охлажденной обработанной рыбой. Реже на малых судах применяют заморозку улова. Более крупные морские НРС применяются, в основном, как суда узкоспециализированные наливные. Для развивающейся концепции этих судов представляет безусловный и теоретический, и практический интерес возможность повышения экономической эффективности НРС путем совмещения преимуществ наливного способа сохранения улова с его переработкой. Такая универсализация наливных судов рассмотрена в рамках изучения возможности и целесообразности использования среднетоннажных НРС для морского рыболовства СРВ (см. [1]). Выполненные затем исследования [2, 3] позволили конкретизировать задачу оптимизационного выбора характеристик этих судов и требования к математической модели НРС (МоНРС) как рабочего аппарата ее решения.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК НРС И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Исходным материалом для решения этой задачи принимаются данные современного НРС, для которого технические и эксплуатационные характеристики, опубликованные в открытой печати, дополнены проектными параметрами, полученными в результате статистического анализа и реконструирования характеристик этих судов. Эти данные, наряду с задаваемыми ТЭУ эксплуатации НРС, формируют блок входных данных МоНРС.

Блок-схема МоНРС представлена на рис. 1 в виде двух укрупненных блоков. Первый из них отводится для расчета характеристик исходного судна, а второй – проекта. Расчеты технических характеристик (п.п. 1.1 и 2.1 блок-схемы) осуществляются с использованием как традиционных проектных зависимостей [4], так и полученных по результатам реконструирования [2, 5]. Расчеты эффективности судна (п.п. 1.2 и 2.2) выполняются в соответствии с принятой в данной работе схемой технологического процесса освоения улова (см. рис. 8 в [1]) и своими результатами представляют сопоставительную экономическую экспертизу исходного судна и проекта.

Для обеспечения сопоставимости расчетов параметры блока входных данных проекта принимаются по исходному судну. Исходными данными для проектных расчетов являются суммарная грузопместимость исходного судна W_{grS} , m^3 и значения оптимизируемых характеристик.

Выполнение проектных расчетов (блок 2 рис. 1), результаты которых являются исходными данными в задаче оптимизации характеристик судна, осуществляется способом постоянных размерений судна (его длины, ширины и высоты борта). Этот выбор обусловлен стремлением минимизировать объем, а следовательно и стоимость проектно-конструкторских работ по результатам выполненной оптимизации.

В рамках проектной задачи основными видами переработки улова приняты его разделка и заморозка. При этом очевидно, что размещение на борту исходного НРС технологического оборудования приведет к изменениям нагрузки судна, его стоимости, ресурсообеспечения (в части электроэнергии, топлива, экипажа), потребует перераспределения его помещений с соответствующим снижением его грузовместимости по рыбной продукции. В модели эти изменения последовательно учитываются в расчетах потребной мощности его рефрижераторной установки и судовой электростанции, автономности судна и запасов топлива, вместимости, дедвейта и водоизмещения судна порожнем, а также в расчетах его производительности, эксплуатационных затрат, строительной стоимости и экономических показателей эксплуатации.

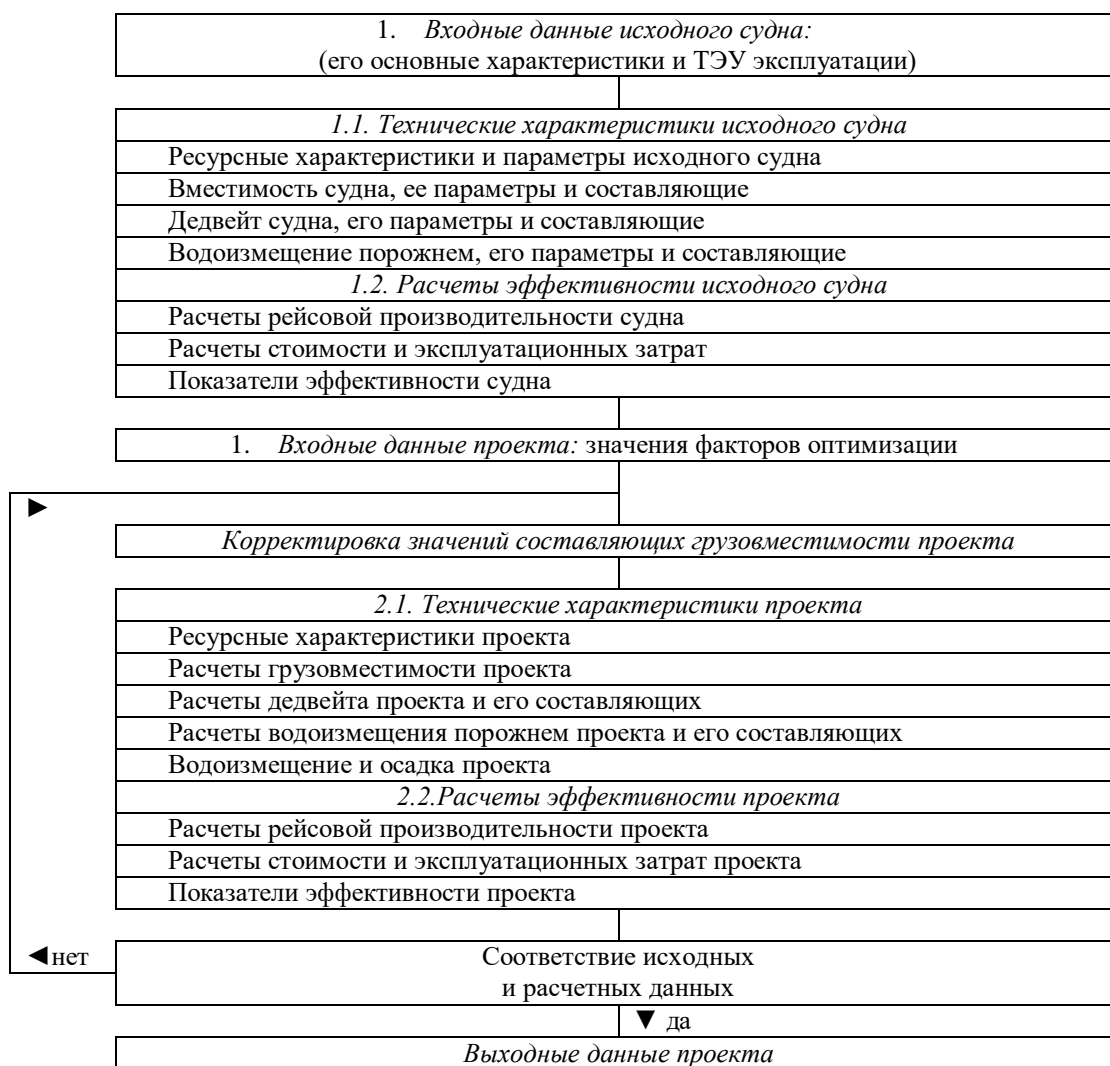


Рис. 1. Укрупненная блок-схема проектных расчетов
Fig. 1. Macroflowchart of design calculations

Расчетное значение автономности судна в МоНРС складывается из времени на его переходы из порта базирования до района промысла и обратно, времени на лов (для полной загрузки судна рыбной продукцией и с учетом времени на штормование судна) и на морской запас (принятое время $T_{mz}=0,1Avt$). Учтено также тре-

бование Морского Регистра [6] о 10% -ом запасе топлива при возвращении судна в порт. Таким образом, излишние запасы по топливу и автономности судна в целом не предусматриваются.

Для основной серии выполненных далее расчетов срок хранения охлажденной рыбной продукции принят равным $T_{хртз} = 3$ при значении коэффициента сырьевой базы промысла $K_{sb} = 0,05$ и удаленности района промысла $R_{pr} = 250$ миль. По отношению к отходам обработки улова в модели предусмотрено два варианта: их сохранение на борту судна для последующей передачи на берег (основной) и удаление их за борт.

Выполняемые проектные расчеты имеют итерационный характер. В компьютерной программе, разработанной в редакторе MathCad, они автоматизированы.

В задаче оптимизации характеристик НРС ее факторами приняты мощность главного двигателя N_{gd} , кВт, и относительные значения производительности (т/сут.) рыбообработывающего (Q_{obr}) и морозильного (Q_{mor}) оборудования: $K_{qo} = Q_{obr}/U_1$ и $K_{qm} = Q_{mor}/U_1$, где U_1 – оценка среднесуточной промысловой производительности судна, т, определяемая значениями N_{gd} и K_{sb} .

В качестве критериальной характеристики выступает эффективность капиталовложений $F_{kap} = (Q_{gr} - C_{sr})/S_{kr}$, где Q_{gr} и C_{sr} – значения производительности и эксплуатационных затрат судна за рейс в их денежном исчислении (\$), а S_{kr} – его стоимость (\$), отнесенная ко времени рейса.

Оптимизация осуществляется с использованием методов градиентов и по координатной релаксации. Для формирования плана математического эксперимента в ходе градиентных расчетов используется сервисная программа, выполненная в редакторе MathCad.

Объектами выполненных оптимизационных исследований стали (в разной степени) 11 современных НРС, означенных в табл. 1 и характерных значительным разбросом значений их энерговооруженности $N_{kD} = N_{gd}/D = 1,0 \dots 1,7$ и коэффициента утилизации по грузоподъемности $\eta_{gr} = P_{gr}/D = 0,31 \dots 0,52$.

Таблица 1. Характеристики НРС

Table 1. Characteristics of RSW type fishing vessels

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Sildaskaer	Solvaerskaer	Jullian3	Silva Nova	Norafjell	Clipperton	Veronica	Paula	Libas	Svanaug	Hargun
L_p	23,6	28,7	33,3	36,0	38,4	46,3	49,8	51,6	55,0	56,4	60,0
Di	626	966	1745	1456	1510	2052	3010	3001	2441	3308	3582
N_{gdi}	1050	1319	3000	2460	2400	2031	3975	3460	2640	3460	3840
η_{gri}	0.312	0.381	0.335	0.367	0.377	0.499	0.525	0.477	0.492	0.469	0.475
N_{kDi}	1.677	1.365	1.719	1.690	1.589	0.990	1.321	1.153	1.082	1.046	1.072

С учетом отмеченных особенностей судов, числа факторов оптимизации, а также характеристик ТЭУ, в значительной степени определяющих показатели эффективности судов (прежде всего – $T_{хртз}$ и K_{sb}), ход расчетов и их сопоставительного анализа разделен на несколько циклов (серий расчетов). В первую очередь для заданных ТЭУ представляются и анализируются оценки показателей эффективности F_{kap} :

- 1) исходных НРС;
- 2) судов по результатам оптимизации технологического оборудования;
- 3) судов по результатам оптимизации всех факторов, принятых к рассмотрению.

Далее (п. 4) рассматривается влияние на величину $F_{кар}$ сроков хранения охлажденной рыбы $T_{хтгз}$, состояния сырьевой базы района промысла K_{sb} и избранного отношения к отходам обработки улова.

Рассмотрим последовательно результаты, полученные по циклам расчетов.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Оценки показателей эффективности, определяемые в блоке первой модели МоНРС (см. рис. 1) и рассчитанные для всех 11 исходных НРС при их эксплуатации в заданных ТЭУ (в частности, при значениях $R_{пр}=250$ миль, $T_{хтгз}=3$ сут. и $K_{sb}=0.05$), отражены в табл. 2 и на рис. 2-4. Разнообразие характеристик исходных судов, отмеченное ранее, определило разнообразие значений их эффективности в заданных ТЭУ их эксплуатации, однако при относительно небольшом их разбросе (~15 %). Из рассмотренных судов лучшими по эффективности оказались суда под № 4 и 6 таблицы. Первое из них относительно небольшое и с высокой энерговооруженностью. Второе по водоизмещению в два раза больше, а среди рассмотренных судов характерно максимальными значениями N_{gdi} и η_{gri} . В целом можно отметить, что по эффективности близкие значения могут иметь суда разного водоизмещения и мощности (см. рис. 2 и 3), а повышение $F_{кари}$ больше связано с ростом энерговооруженности судов N_{kDi} (см. рис. 4).

Таблица 2. Показатели эффективности исходных НРС

Table 2. Efficiency of initial RSW type fishing vessels

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$F_{кари}$	-4.12	-6.76	-0.23	5.97	-3.42	-0.46	2.38	-9.44	-3.38	-6.72	-7.43
$K_{загри}$	0.632	0.427	0.639	0.567	0.518	0.242	0.317	0.303	0.272	0.28	0.285

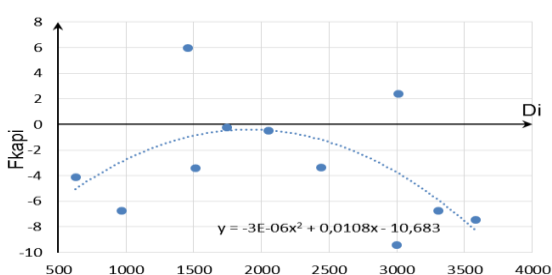


Рис. 2. $F_{кари}=f(D_i)$
Fig. 2. $F_{кари}=f(D_i)$

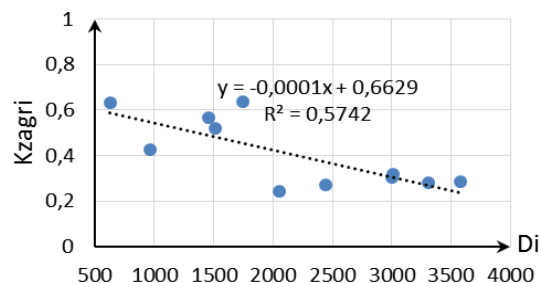


Рис. 5. $K_{загри}=f(D_i)$
Fig. 5. $K_{загри}=f(D_i)$

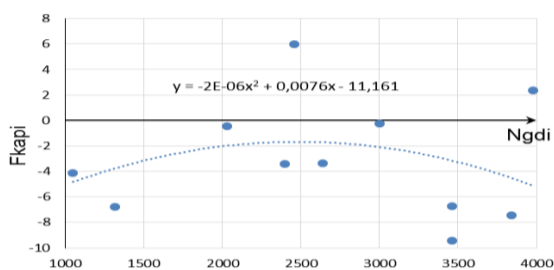


Рис. 3. $F_{кари}=f(N_{gdi})$
Fig. 3. $F_{кари}=f(N_{gdi})$

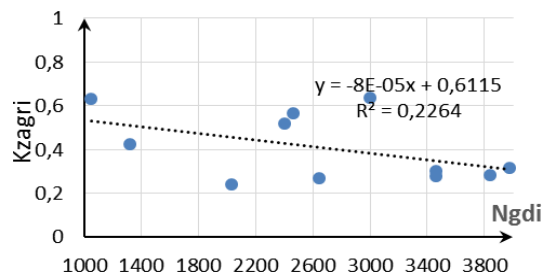


Рис. 6. $K_{загри}=f(N_{gdi})$
Fig. 6. $K_{загри}=f(N_{gdi})$

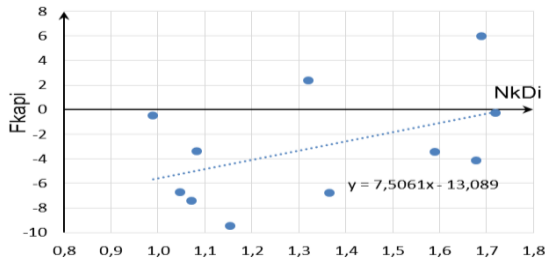


Рис. 4. $F_{kapi}=f(N_{kDi})$
Fig. 4. $F_{kapi}=f(N_{kDi})$

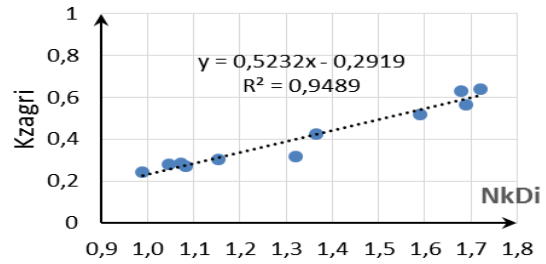


Рис. 7. $K_{zagri}=f(N_{kDi})$
Fig. 7. $K_{zagri}=f(N_{kDi})$

Наибольшие потери в эффективности всех рассматриваемых судов связаны с тем, что при данных ТЭУ их эксплуатации (в первую очередь – по принятому значению $T_{хртз}=3$ сут.) они вынуждены возвращаться в порт недогруженными (см. рис. 5-7). При этом значения коэффициента загрузки K_{zagr} (его суть – доля грузовых помещений судна, заполненных рыбной продукцией) снижаются с ростом водоизмещения судов (а значит и их грузовместности) и несколько увеличиваются с ростом значений N_{kDi} . Для меньших судов значения K_{zagr} едва превышают 60 %, а для более крупных судов они составляют всего ~ 25 %. Соответственно, в данных ТЭУ эксплуатации большинство рассмотренных НРС оказываются убыточными.

2.2. Результаты второй (оптимизационной) серии расчетов при тех же ТЭУ эксплуатации 11 исходных судов отражены на рис. 8-13. Они показывают следующее.

1. Рыбообрабатывающие линии на судне (Q_{obr}) обеспечивают существенный рост стоимости рыбной продукции. Для заданных ТЭУ оптимальные значения ее относительной производительности K_{qo} (рис. 8-10) для всех судов оказались более 70 %, а для большинства из них показали экономическую целесообразность обработки всего улова ($K_{qo}=100\%$).

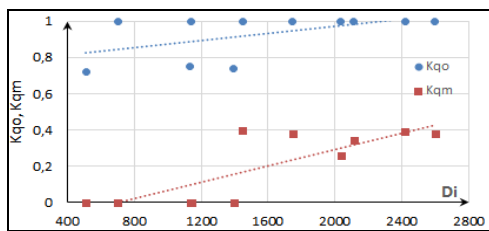


Рис. 8. $K_{qo}, K_{qm}=f(D)$
Fig. 8. $K_{qo}, K_{qm}=f(D)$

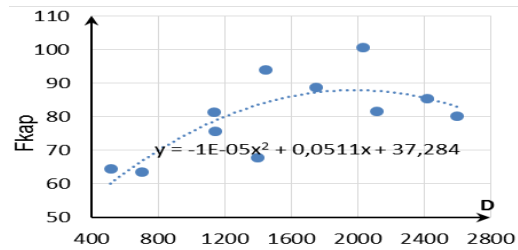


Рис. 11. $F_{kap}=f(D)$
Fig. 11. $F_{kap}=f(D)$

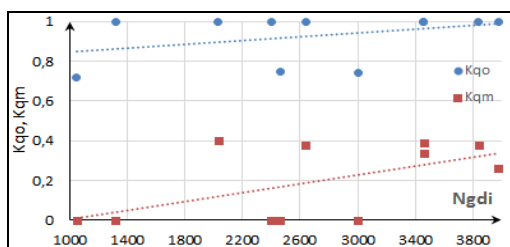


Рис. 9. $K_{qo}, K_{qm}=f(N_{gdi})$
Fig. 9. $K_{qo}, K_{qm}=f(N_{gdi})$

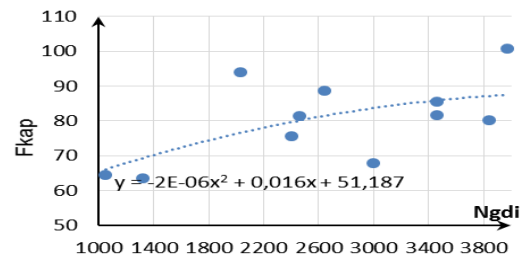


Рис. 12. $K_{qo}, K_{qm}=f(N_{kD})$
Fig. 12. $K_{qo}, K_{qm}=f(N_{kD})$

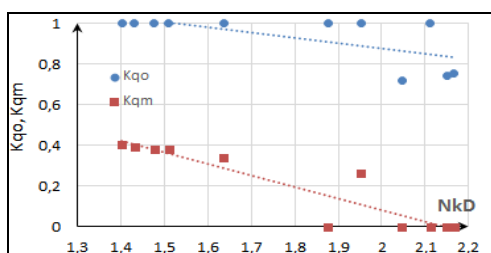


Рис.10. $F_{\text{кар}}=f(N_{\text{gdi}})$

Fig. 10. $F_{\text{кар}}=f(N_{\text{gdi}})$

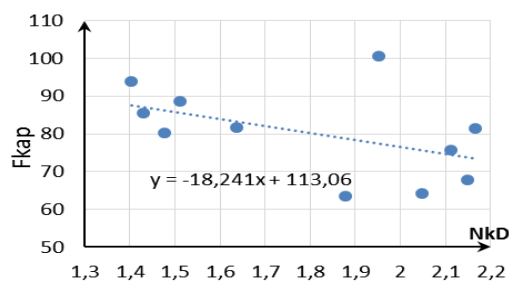


Рис. 13. $F_{\text{кар}}=f(N_{\text{kD}})$

Fig.13. $F_{\text{кар}}=f(N_{\text{kD}})$

2. Морозильные установки судна ($Q_{\text{мор}}$), как известно, характерны высоким энергопотреблением. При этом стоимость мороженой рыбы обычно немногим отличается от стоимости рыбы охлажденной. По этим причинам оптимальные значения относительной производительности морозильных линий K_{qm} , представленные на тех же рисунках (рис. 8-10), значительно более скромны. При этом отметим, что использование морозильных установок на данных судах обусловлено не только стремлением сохранять часть улова в замороженном виде. Как отмечалось ранее и в соответствии с принятой схемой освоения улова [1], очередной улов судна откачивается в охлаждаемые рыбные танки. На заморозку же направляется продукция первых уловов, что обеспечивает судну соответствующее увеличение времени на лову без нарушения принятых сроков хранения охлажденной продукции. Благодаря этому по результатам проведенной оптимизации для всех 11 судов загрузка обеспечена высокая ($K_{\text{загр}} > 0,8$), а на большинстве из них – полная ($K_{\text{загр}} = 1$). Наряду с повышением стоимости продукции за счет обработки улова, это обеспечивает значимое изменение показателей эффективности всех рассмотренных судов (см. рис. 11-13). В сравнении с результатами первого цикла расчетов (т.е. для исходных судов), эти показатели увеличились на ~80 %. Их разброс в данном случае составил ~32 %. Лучшими по эффективности ($F_{\text{кар}} = 100,6$ % и 93,9 %) оказались суда под №7 и 6 таблицы, а худшими – суда с минимальным водоизмещением (№ 1 и 2 при $F_{\text{кар}} \sim 64$ %). Отметим также, что одинаково высокую эффективность могут иметь суда с большой разницей их размеров (например, № 4 и 11 с их $F_{\text{кар}} \sim 81$ %).

2.3. Совмещенная оптимизация всех факторов выделена в отдельную серию расчетов по двум причинам. Первая определена стремлением выявить экономическую значимость оснащения НРС технологическим оборудованием. Вторая причина обусловлена тесной взаимосвязью значений N_{gd} со среднесуточным выловом судна, а, следовательно, и значениями факторов K_{qo} и K_{qm} . Вследствие этого произвольный выбор исходных значений факторов оптимизации приводил к резкому росту числа последующих итераций. В данной серии расчетов исходными точками градиентного поиска оптимума приняты значения N_{gd} исходных судов и значения K_{qo} и K_{qm} , полученные по результатам второй серии выполненных оптимизационных расчетов.

Результаты данного цикла оптимизационных расчетов (при $K_{\text{sb}} = 0,05$ и $T_{\text{хтр}} = 3$ сут.) показали, что в сравнении с результатами второго цикла расчетов значения $F_{\text{кар}}$ возросли лишь на 1 % для более крупных судов (№ 5-11 таблицы), а для остальных (№ 1-4) - на 4 %. При этом оптимальные значения N_{gd} отличались от

исходных по модулю до 10%, и лишь для двух крупных судов (№ 10, 11) они уменьшились соответственно на 28 и 25 %. Изменения характеристики K_{qm} оказались незначимыми, а значения K_{qo} и K_{zagr} для всех судов стали стопроцентными.

С учетом столь слабого влияния значений N_{gd} (в рассматриваемом диапазоне) на эффективность НРС представляется практически целесообразным исключение данного фактора из оптимизационного анализа и сохранения его исходных значений. Это позволит значительно упростить и удешевить модернизацию проекта, осуществляемую по результатам оптимизации, без практического урона в эффективности эксплуатации судна.

2.4. Результаты цикла оптимизационных расчетов, выполненных для исследования влияния сроков хранения охлажденной рыбы T_{xrrz} и состояния сырьевой базы района промысла K_{sb} на значения F_{kap} , показывают следующее.

1. О значениях T_{xrrz} (см. рис. 14, 15). Их уменьшение приводит к резкому падению показателя F_{kap} для всех судов. В данных расчетах для исходных судов № 3 и 4 ($K_{sb}=0,05$) промысел оказывается убыточным при $T_{xrrz} < 2,5-3$ сут. Для тех же оптимизированных судов при $T_{xrrz}=1$ сут при наличии морозильных установок ($K_{qm} \sim 0.5$) отмечаются низкие значения F_{kap} (~5-10 %). Увеличение значений T_{xrrz} сопровождается резким ростом значений эффективности, которые для этих судов при $T_{xrrz} > 3$ сут стабилизируются и не требуют морозильных установок. Для более крупных судов (например, № 6) при $T_{xrrz}=1$ эффективная эксплуатация ($F_{kap}=68.8\%$) оказывается возможной при полной обработке улова ($K_{qo}=1$) и при более мощной морозильной установке ($K_{qm}=0.75$), обеспечивающей увеличение времени на лову без нарушения сроков хранения охлажденной рыбы. При увеличении T_{xrrz} значения K_{qm} снижаются (в частности, $K_{qm}=0.1$ при $T_{xrrz}=5$).

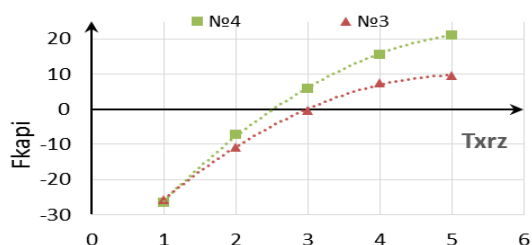


Рис. 14. $F_{kap} = f(T_{xrrz})$
Fig. 14. $F_{kap} = f(T_{xrrz})$

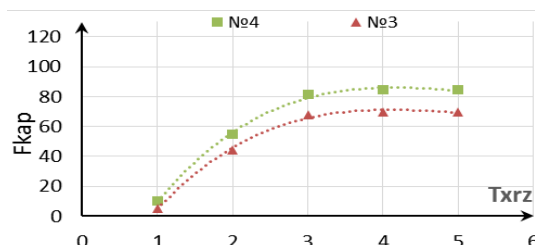


Рис. 15. $F_{kap} = f(T_{xrrz})$
Fig. 15. $F_{kap} = f(T_{xrrz})$

2. О влиянии K_{sb} ($T_{xrrz}=3$).

Для исходных судов значение $K_{sb}=0,05$ в данных расчетах оказалось пороговым значением, обеспечивающим их практически нулевую эффективность ($F_{kap} = -4\% \dots +8\%$). Это обусловлено в первую очередь низкой загрузкой судов по итогам рейса. Увеличение значений K_{sb} приводит к росту значений K_{zagr} и, соответственно, к росту значений F_{kap} . При этом характер зависимости $F_{kap} = f(K_{sb})$ оказывается линейным. При более богатой сырьевой базе ($K_{sb}=0,09$) достигаемый диапазон F_{kap} составляет от 11 до 40 %.

Аналогичным пороговым значением K_{sb} для оптимизированных судов оказалось значение $K_{sb}=0,01$. При этом на всех судах предполагалась полная обработка улова ($K_{qo}=1$) и использование производительных морозильных установок ($K_{qm}=0.63-0.73$).

При $K_{sb}=0,05$ диапазон значений F_{kap} увеличился (от 64 до 100 %) при исключении заморозки улова на меньших судах (№ 1-5) и снижении значений K_{qm} на более крупных судах ($K_{qm}=0.26...0.40$). При $K_{sb}=0,09$ значения F_{kap} составили от 77 до 164 % при их наибольших значениях у наиболее крупных судов.

Характер зависимости $F_{kap}=f(K_{sb})$ отражен на рис. 16, полученном по результатам расчетов судов №3 и 4. Рост значений K_{sb} сопровождается значительным ростом значений F_{kap} , который затем (при $K_{sb}>0.07$) стабилизируется. Это объясняется тем, что относительно небольшие суда обладают ограниченными возможностями в поиске оптимального баланса значений их грузоподъемности и производительности технологических линий обработки улова. Таких возможностей больше у более крупных судов. Для них стабилизация более высоких значений F_{kap} наступает при более высоких значениях K_{sb} .

3. В заключение анализа на рис. 17 представлены графики эффективности тех же двух судов (№3 и 4), оптимизация каждого из которых проведена для двух вариантов отношения к отходам обработки улова. Первый – с их сохранением на борту ($K_{отх}=1$) для последующей их передачи на берег по малой заданной цене (в 10 % от стоимости необработанной рыбы), второй – с удалением отходов за борт ($K_{отх}=0$). По результатам данных расчетов первый вариант лишь немногим (до 2-3 %) уступает второму. Это означает, что на данных оптимизированных судах при высоких значениях коэффициентов выхода готовой продукции ($K_{обр}=0,8$) выполнение жестких экологических требований по отношению к отходам обработки улова лишь немногим скажется на эффективности эксплуатации.

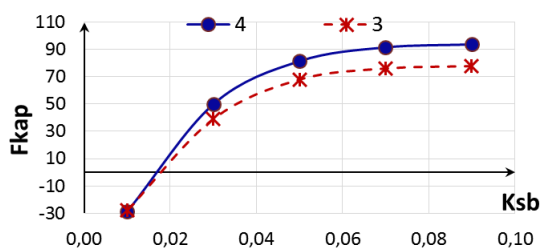


Рис. 16. $F_{kap}=f(K_{sb})$
Fig. 16. $F_{kap}=f(K_{sb})$

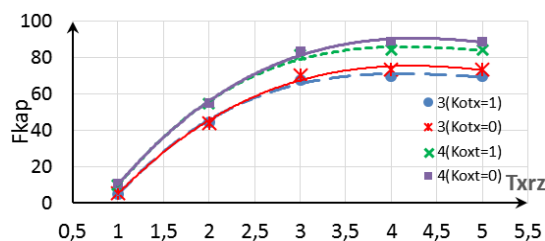


Рис. 17. $F_{kap}=f(K_{sb})$
Fig. 17. $F_{kap}=f(K_{sb})$

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В результате данных исследований:

1. Для заданных ТЭУ морского рыболовства, характерных как для СРВ, так и для целого ряда других регионов промысла, показана целесообразность и экономическая состоятельность использования универсальных среднетоннажных НРС, на которых предусматривается сочетание преимуществ наливного способа сохранения улова и его обработки (разделки и/или заморозки) с последующим хранением продукции в осушенных наливных танках.

2. В рамках выполненной постановки задачи (по оптимизации характеристик универсальных НРС) с использованием разработанной математической модели судна (MoНРС) и ее программного обеспечения выполнен большой объем сопоставительных оптимизационных исследований. Он определил теоретически и практически значимые обобщения, характер и степень влияния на экономическую эффективность исследуемых судов целого ряда их характеристик (D , N_{gd} , N_{kD} , K_{qo} , K_{qm} , A_v) и ТЭУ их эксплуатации (K_{sb} , $T_{крз}$).

3. С учетом представленной аргументированной интерпретации результатов выполненных исследований показана работоспособность разработанного аппарата оптимизации характеристик НРС и возможности его использования.

4. Выполненный цикл исследований формирует методику оптимизационного выбора характеристик относительно новой и развивающейся концепции универсальных среднетоннажных НРС для морского рыболовства СРВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зыонг, В. Т. Об использовании среднетоннажных наливных рыболовных судов для морского рыболовства СРВ / В. Т. Зыонг, В. П. Иванов // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №3(41), т. 1. – С. 104-110.

2. Иванов, В. П. Анализ характеристик современных малотоннажных и наливных рыболовных судов для задач их проектирования / В. П. Иванов, С. Д. Дудин, В. Т. Зыонг // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – №3(37), т.1. – С. 48-56.

3. Зыонг, В. Т. К анализу влияния характеристик среднетоннажных наливных рыболовных судов на их эффективность / В. Т. Зыонг, В. П. Иванов // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – №1(43), т. 3. – С. 33-37.

4. Иванов, В. П. Техничко-экономические основы создания рыболовных судов: учебник / В. П. Иванов. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2010. – 275 с.

5. Зыонг, В. Т. Исследование характеристик вместимости современных среднетоннажных рыболовных судов наливного типа / В. Т. Зыонг // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2019. – № 1. – С. 7-14.

6. Правила классификации и постройки морских судов. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2018.

REFERENCES

1. Duong V. T., Ivanov V. P. Ob ispol'zovanii srednetonnazhnykh nalivnykh rybolovnykh sudov dlya morskogo rybolovstva SRV [On using of fishing vessels with refrigerated sea water tanks for Vietnamese marine fishery]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2018, vol. 1, iss. 3(41), pp. 104-110.

2. Ivanov V. P., Dudin S. D., Duong V. T. Analiz kharakteristik sovremennykh malotonnazhnykh i nalivnykh rybolovnykh sudov dlya zadach ikh proektirovaniya [Analysis of characteristics of modern small-tonnage and tank fishing vessels for the purposes of their preliminary design]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2017, vol. 1, iss. 3(37), pp. 48-56.

3. Duong V. T., Ivanov V. P. K analizu vliyaniya kharakteristik srednetonnazhnykh nalivnykh rybolovnykh sudov na ikh effektivnost' [Analysis of the influence of characteristics of medium-tonnage RSW-type fishing vessels on their efficiency]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2019, vol. 3, iss. 1(43), pp. 33-37.

4. Ivanov V. P. *Tekhniko-ekonomicheskie osnovy sozdaniya rybolovnykh sudov: uchebnyk* [Technical and economic basis for the design of fishing vessels: textbook]. Kaliningrad, BGARF, 2010, 275 p.

5. Duong V. T. Issledovanie kharakteristik vmestimosti sovremennykh sred-netonnazhnykh rybolovnykh sudov nalivnogo tipa [Investigation of capacity characteristics of modern medium-tonnage fishing vessels with refrigerated sea-water (RSW) tanks]. *Vestnik AGTU*, Ser. Morskaya tekhnika i tekhnologiya, 2019, no. 1, pp. 7-14.

6. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov [Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships]. *Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva*, 2018.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зыонг Ван Тхань – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения; E-mail: duongvthanh@gmail.com

Duong Van Thanh – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Shipbuilding; E-mail: duongvthanh@gmail.com

Иванов Владимир Павлович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры кораблестроения; E-mail: dtn.ivanov@yandex.ru

Ivanov Vladimir Pavlovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Professor at the Department of Shipbuilding; E-mail: dtn.ivanov@yandex.ru

УДК 621.565

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПАДАНИЯ ВОДЫ
В СУДОВУЮ ФРЕОНОВУЮ ХОЛОДИЛЬНУЮ УСТАНОВКУ

Ю. Н. Сластихин, А. Н. Чернега

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF WATER INGRESS
INTO THE SHIP'S FREON REFRIGERATION UNITS

Yu. N. Slastikhin, A. N. Chernega

В статье рассматривается экспериментальное исследование влияния попадания воды в судовую фреоновую холодильную установку. Во введении приводятся статистические данные по обводнению судовых фреоновых установок флота рыбной промышленности России, обосновывается необходимостью борьбы с этим явлением. Попадание воды во фреоновую систему приводит в конечном счете к выходу из строя холодильной установки. Попадание незначительного количества воды (первичное обводнение) вызывает во фреоновой системе увеличение химических и коррозионных процессов, приводя к коррозии узлов и аварийной ситуации (вторичное обводнение). Обосновано создание экспериментальной установки по исследованию этого явления. Затем рассматривается экспериментальная фреоновая холодильная установка, ее схема, принцип действия. В методике проведения экспериментов приводятся измеряемые параметры и результаты обработки экспериментальных данных. В результате по мере добавления воды в систему хладагента, от 20 до 100 мл наблюдается понижение холодопроизводительности на 10-18 %, возникает повышенный перегрев на всасывании, а при больших количествах вода замерзает в регулирующем вентиле и установка останавливается, так как нет подачи хладагента в испаритель. Экспериментальное исследование позволяет сделать выводы, что увеличение перегрева на всасывании в компрессоре на 3-4 °С и одновременно снижение температуры нагнетания на 15-20 °С, в отличии от нормальных режимов, рекомендуемых заводом-изготовителем, является признаком первичного обводнения, которое при дальнейшем развитии может вызвать выход установки из строя. Для производственной судовой фреоновой холодильной установки в связи с изменениями параметров цикла холодильной машины ухудшается работа морозильных аппаратов, показателем которой является повышенная температура воздуха в морозильном аппарате на 4-6 °С и снижение производительности на 5,6-10,2 % при соблюдении нормальной температуры в центре замораживаемого блока $t_{\text{вн}} = -20 \dots -22$ °С.

попадание воды, фреоновые холодильные установки, коррозия деталей холодильной установки, экспериментальная холодильная установка

The article considers the experimental study of the impact of water ingress into the ship freon system of the refrigeration plant. The introduction provides statistical data on watering of ship freon installations of the Russian fishing industry fleet and this is

justified by the need to combat this phenomenon. The ingress of water into the freon system ultimately results in the failure of the refrigeration plant. Ingress of small amount of water (primary watering) causes increase of chemical and corrosion processes in the freon system, leading to corrosion of units and emergency situation (secondary watering). Creation of an experimental facility to study this phenomenon has been justified. Then the experimental freon refrigeration plant, its scheme, the principle of operation are considered. The method of procedure provides measured parameters and results of experimental data processing. As a result, as water is added to the refrigerant system, from 20 to 100 ml, there is a decrease in refrigerating capacity of 10-18%, increased overheating occurs at the suction, and in large quantities the water freezes in the control valve and the plant stops because there is no supply of refrigerant to the evaporator. Experimental study makes it possible to draw conclusions that increase of superheat at suction in compressor by 3-4 ° C and simultaneously decrease of injection temperature by 15-20 ° C in contrast to normal modes recommended by manufacturer is a sign of primary watering, which in case of further development can cause plant failure. For a production ship freon refrigeration plant, due to changes in the cycle parameters of the refrigerating machine, operation of the freezers is deteriorated, the indicator of which is the increased air temperature in the freezer by 4-6 ° C and the reduction of productivity by 5.6-10.2% while maintaining the normal temperature in the center of the frozen unit $t_{vn} = -20-22$ ° C.

water ingress, freon refrigerating units, corrosion of parts of the refrigerating unit, experimental refrigerating unit

ВВЕДЕНИЕ

Флот рыбной промышленности России непрерывно пополняется судами, оснащенными фреоновыми холодильными установками [1]. По мере увеличения времени эксплуатации на судах стали появляться различные нарушения режима эксплуатации, связанные с обводнением фреоновых систем. Эти нарушения начинались, в основном после трех, а затем после девяти лет эксплуатации [2]. Попадание воды во фреоновую систему приводит к нарушению работы регулирующей станции, забиванию льдом фильтров на входе в компрессоры, разложению масла и к прекращению функционирования холодильной установки [3]. Химические соединения, образующиеся при контакте воды, фреона и масла вызывают сильную коррозию деталей холодильной установки и довершают тем самым процесс разрушения ряда узлов установки [4].

Таким образом, попадание воды во фреоновую систему судовой холодильной установки имеет двоякий характер: попадание незначительного количества воды с маслом, с воздухом, хладагентом, в процессе заправки холодильной установки, при ремонтных или монтажных работах (первичное обводнение) создает в системе хладагента химически агрессивную среду. Эта среда приводит к коррозии узлов, через которые возможно проникновение в систему более значительного количества воды (вторичное обводнение), приводящее к выходу из строя холодильной установки [5].

Отмеченные обстоятельства сопровождаются значительными потерями промыслового времени (по статистическим данным средняя потеря составила

45 сут), необходимостью осушать фреоновые системы или заново заправлять их хладагентом [6].

Очевидно, что все это требует разработки методов предотвращения попадания воды во фреоновые системы или эффективных методов освобождения фреона и масла, имеющегося в системе, от попавшей воды.

Для исследования влияния попадания воды во фреоновую систему была создана экспериментальная установка, в которой было предусмотрено искусственное добавление воды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для выявления влияния наличия воды во фреоновой системе холодильной установки была создана экспериментальная установка, в которой было предусмотрено искусственное добавление воды во фреоновую систему.

Схема холодильной установки приведена на рис. 1. Одноступенчатая фреоновая (**R-22**) установка включает в себя двухцилиндровый поршневой компрессор **ФВ6** (1) (диаметр цилиндра 61,5 мм); конденсатор водяного охлаждения с ресиверной частью **КТР-25с** площадью поверхности теплообмена 25 м² с оребренными латунными трубками (2); регенеративный теплообменник (3); фильтр-осушитель адсорбционный силикагелевый емкостью 200 мл; вертикальный испаритель объемного кипения, объемом 15,4 л (5); трубопроводы, арматуру, контрольно-измерительные приборы.

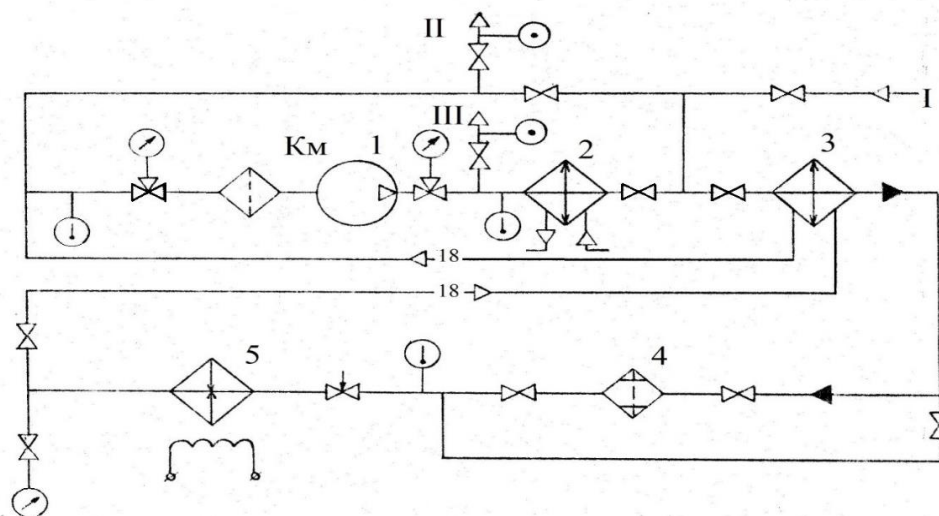


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки
Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup

Тепловая нагрузка обеспечивается электрическими нагревательными элементами, охлаждение конденсатора – пресной водой.

Работа экспериментальной установки может осуществляться в двух режимах. При работе в первом режиме (основном) хладагент, сжатый компрессором, подается в конденсатор, где конденсируется, отдавая тепло охлаждающей пресной воде. В жидком состоянии хладагент проходит по змеевику регенеративного теплообменника и переохлаждается в нем. Переохлажденный хладагент, проходя байпасную линию адсорбционного

фильтра-осушителя и индикатор влажности, дросселируется в испаритель объемного кипения, выкипевший в испарителе хладагент в насыщенном состоянии подводится к регенеративному теплообменнику, проходя его, перегревается и через фильтр-грязеуловитель поступает на всасывание компрессора.

Второй режим работы установки заключается в осушении фреоновой системы перед заправкой её хладагентом. При этом режиме хладагент полностью выбрасывается из системы, закрываются запорные клапаны компрессора, клапаны адсорбционного фильтра-осушителя, открываются клапаны байпасной линии, адсорбционного фильтра-осушителя, подачи воздуха (I) и выброса воздуха (линия II, III). Регулирующий клапан открывается полностью. В линию I обеспечивается подача сухого воздуха, который, проходя по трубопроводам и аппаратам, собирает влагу и выбрасывается по линиям II, III через индикаторы влажности. (Компрессор сушке не подвергается).

После осушки фреоновой системы воздухом (азотом) закрываются клапаны подачи и выброса воздуха на байпасной линии адсорбционного фильтра-осушителя. Открываются запорные клапаны компрессора и адсорбционного фильтра-осушителя. Проводится опрессовка и вакуумирование установки, заправка её хладагентом. После заправки хладагент подсушивается в адсорбционном фильтре-осушителе. При показаниях индикатора влажности "сухо" (расположенного на жидкостной линии) закрываются запорные клапаны адсорбционного фильтра-осушителя, и открывается запорный клапан его байпасирующей линии. В испаритель заливается фиксированное количество воды и установка переводится на первый режим работы.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

При проведении опытов по исследованию влияния воды на производительность холодильной установки и отделения воды от хладагента методом выпаривания хладагента из его смеси с водой экспериментальная холодильная установка работала по первому режиму в течение 8 ч на каждый опыт. В процессе опыта фиксировались основные параметры работы установки через каждые полчаса. Результаты измерений приведены в табл. 1.

В качестве основных параметров были приняты:

- 1) давление кипения в испарителе - P_0 , кгс/см²;
- 2) давление конденсации - P_k , кгс/см²;
- 3) давление всасывания компрессора - $P_{вс}$, кгс/см²;
- 4) температура всасывания компрессора - $t_{вс}$, °C;
- 5) температура нагнетания компрессора - t_n , °C;
- 6) температура жидкого хладагента перед дросселированием - $t_{рв}$, °C;
- 7) температура воды на входе в конденсатор - t_{w1} , °C;
- 8) температура воды на выходе из конденсатора - t_{w2} , °C;
- 9) температура жидкого хладагента на выходе из конденсатора - $t_{вк}$, °C;
- 10) время заполнения водой девятилитровой емкости - τW , с;
- 11) мощность, потребляемая электродвигателем компрессорно-конденсаторного агрегата - N_k , кВт.

В качестве неизменных параметров были приняты: давление кипения P_0 ; масса заливаемой в испаритель воды \bar{W} , мл.

Давление кипения P_0 в процессе эксперимента изменялось в диапазоне от 0 до 2,0 кгс/см² шагом изменения 0,5 кгс/см².

Масса заливаемой в испаритель воды варьировалась от 0 до 100 мл, с шагом 20 мл. Общее количество опытов в итоге равно 30.

Таблица 1. Значения экспериментальных данных. Опыт № 1; W= 0 мл

Table 1. Values of experimental data. Experiment № 1; W= 0 ml

Время работы, ч	Параметры									
	P_0 , Па*105	$P_{вс}$, Па*105	$P_к$, Па*105	t_0 , °C	$t_{вс}$, °C	$t_н$, °C	$t_{рв}$, °C	t_{w1} , °C	t_{w2} , °C	V_w , Па*105
0,5	1,0	1,0	8,5	-39,5	13,4	37	14,4	13,7	14,9	2,093
1,0	1,0	1,0	8,0	-38,5	13,9	54	15,6	13,9	14,8	2,045
1,5	1,0	1,0	8,0	-38,5	14,7	54	15,5	14,0	14,7	2,045
2,0	1,0	1,0	8,0	-36,5	13,8	57	15,5	14,1	14,9	2,045
2,5	1,0	1,0	8,0	-36,7	13,9	57	15,5	14,1	14,9	2,045
3,0	1,0	1,0	8,0	-36,8	14,2	56,8	15,5	14,1	14,8	2,093
3,5	1,0	1,0	8,0	-37,0	14,3	56,8	15,5	14,1	14,8	2,093
4,0	1,0	1,0	8,0	-37,0	14,4	56,5	15,4	14,0	14,8	2,093
4,5	1,0	1,0	8,0	-37,5	14,5	56,5	15,4	14,0	14,8	2,093
5,0	1,0	1,0	8,0	-37,5	14,6	56	15,4	14,0	14,8	2,093
5,5	1,0	1,0	8,0	-37,8	14,7	56	15,5	14,1	14,8	2,093
6,0	1,0	1,0	8,0	-37,8	14,8	57,5	15,5	14,1	14,9	2,093
6,5	1,0	1,0	8,0	-37,2	14,4	57,5	15,6	14,1	14,9	2,045
7,0	1,0	1,0	8,0	-36,5	14,4	57,5	15,5	14,1	14,9	2,045

После проведения опытов по всему диапазону давлений и одном значении массы заливаемой в испаритель воды установка останавливалась на 24 ч для отепления испарителя и выброса масловодяной суспензии для объемного и химического анализа. После выброса масловодяной суспензии установка переводилась на второй режим работы. В дальнейшем опыты повторялись с другим количеством заливаемой в испаритель установки воды по всему диапазону давлений.

Результаты обработки экспериментов приведены в (табл. 2). Как видно из приведенных графиков (рис. 2-5), по мере добавления воды в систему хладагента, наблюдается понижение холодопроизводительности установки, достигающее **10-18 %** при добавлении **20-100** мл воды (0,002-0,01 %) от общей массы хладагента. При этом наблюдается наиболее резкое снижение холодопроизводительности в диапазоне 20-60 мл (0,002-0,006 % от общей массы хладагента) (рис. 2). Дальнейшее добавление воды в систему стабилизирует изменение параметров, что может быть объяснено тем, что не вся вода ассимилируется в объеме хладагента, а ее часть вымораживается в испарительной системе и не влияет уже на параметры процесса. При добавлении воды в систему наблюдается также некоторое увеличение перегрева на всасывании, что может быть объяснено уменьшением удельной теплоемкости рабочего тела из-за добавления воды, ассимилирующейся в массе фреона. Так же как и для относительной холодопроизводительности, величины повышенных перегревов на всасывании стабилизируются при добавлении более 60 мл воды (0,006 % от общей массы хладагента) (рис. 2).

Таблица 2. Результаты обработки экспериментальных данных. Опыт № 1; W= 0 мл

Table 2. Results of experimental data processing. Experiment № 1; W= 0 ml

Время работы, ч	Показатели					
	V_w , $\text{м}^3/\text{с}\cdot 10^4$	Δt_w , $^{\circ}\text{C}$	Q_k , кВт	G_a , $\text{кг}/\text{с}\cdot 10^3$	Q_0 , кВт	N_a , кВт
1,5	2,045	0,9	0,65	3,489	0,591	0,967
2	2,045	0,7	0,6	2,715	0,46	0,049
3	2,093	0,8	0,685	3,073	0,521	0,065
4	2,093	0,7	0,614	2,755	0,467	0,055
5	2,093	0,8	0,685	3,079	0,522	0,061
6	2,093	0,7	0,6	2,703	0,458	0,051
7	2,045	0,8	0,701	3,143	0,532	0,064

Примечание: где V_w – расход воды через конденсатор; Q_k – тепловая нагрузка на конденсатор; Δt_w – подогрев воды в конденсаторе; N_a – адиабатная мощность; G_a – расход хладагента; Q_0 – холодопроизводительность.

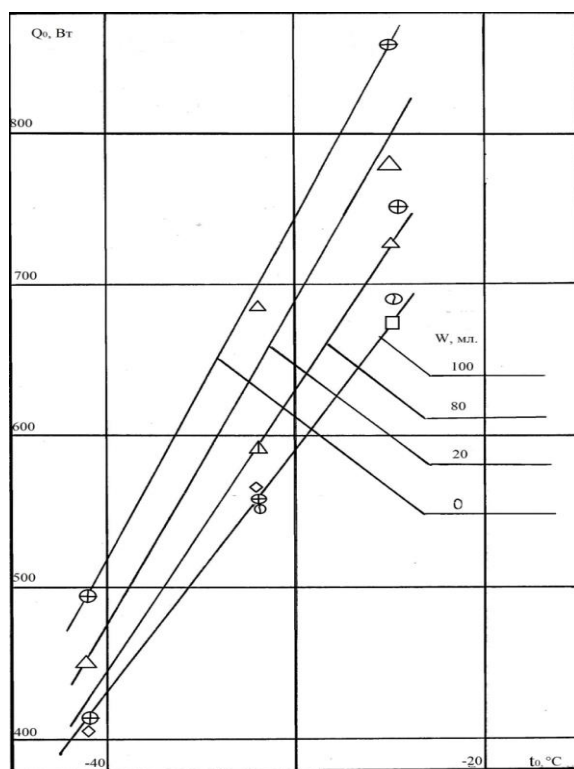


Рис. 2. Зависимость Q_0 от W и t_0 : Q_0 – холодопроизводительность;

W – содержание влаги; t_0 – температура кипения фреона

Fig. 2. Dependence of Q_0 on W and t_0 : Q_0 – cooling capacity; W – moisture content;

t_0 – freon boiling point

Из рис. 2 следует, что холодопроизводительность зависит от содержания влаги в системе и температуры кипения фреона. На рис. 3 показаны зависимости перегрева на всасывании $\Delta t_{вс}$ от температуры кипения и содержания воды во

фреоновой системе. При увеличении содержания воды перегрев на всасывании увеличивается.

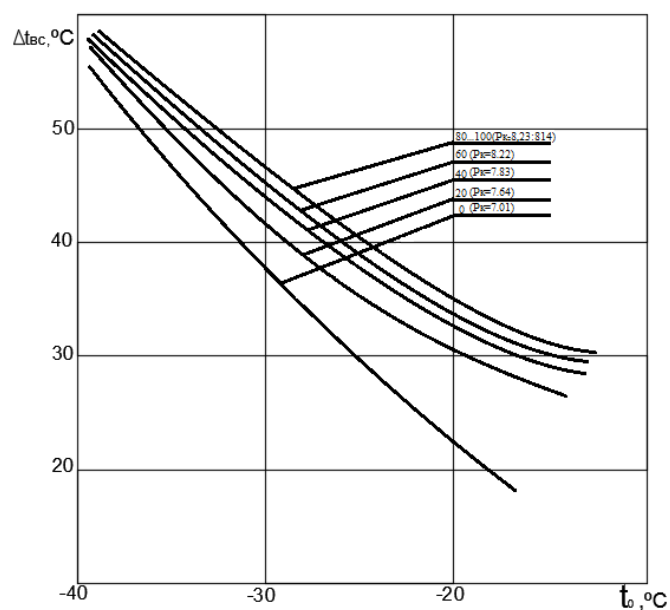


Рис. 3. Зависимость $\Delta t_{вс}$ от W и t_0

Fig. 3. Dependence of Δt_{vs} on W and t_0

На рис. 4 показана зависимость отношения холодопроизводительности с добавлением воды к холодопроизводительности без добавления воды при одинаковых параметрах цикла. Максимальное уменьшение холодопроизводительности наблюдается при содержании воды $W=60$ мл.

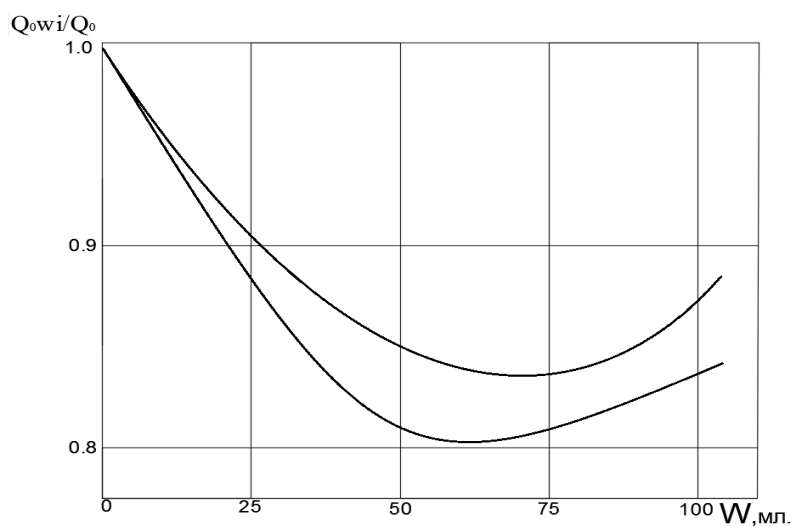


Рис. 4. Зависимость Q_{0wi}/Q_0 от W

Fig. 4. Dependence of Q_{0wi}/Q_0 on W

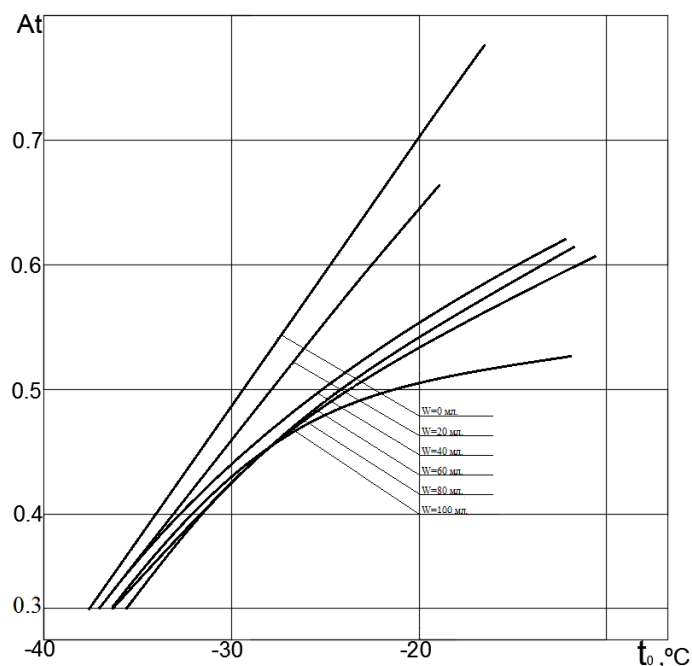


Рис. 5. Зависимость A_t от W и t_0

Fig. 5. Dependence of A_t on W and t_0

Добавление воды в систему хладагента влияет также и на коэффициент политропы сжатия, который может быть охарактеризован величиной (рис. 5)

$$A_t = \Delta t_{\text{эксп}} / \Delta t_{\text{теор}},$$

где $\Delta t_{\text{эксп}} = t_{\text{н.эксп}} - t_{\text{вс.эксп}}$, $\Delta t_{\text{теор}} = t_{\text{н.теор}} - t_{\text{вс.эксп}}$; $t_{\text{вс.эксп}}$, $t_{\text{н.эксп}}$ – экспериментальные значения температуры всасывания и нагнетания паров рабочего тела; $t_{\text{н.теор}}$ – теоретическая температура нагнетания, определенная на основании процесса адиабатического сжатия в компрессоре.

Увеличение количества воды, добавляемой в систему хладагента (60,0 мл или 0,006 % от общего количества хладагента) приводит к неустойчивой работе холодильной установки, связанной с частичным забиванием проходных сечений регулирующего вентиля кристаллами льда.

Стабилизация параметров наблюдается при $W = 80-100$ мл. воды (0,006 – 0,01% от общего содержания хладагента) может объясняться тем, что влага, прошедшая через регулирующий вентиль и превратившаяся в лед, окажется в виде кристаллов в испарительной системе. Поскольку кристаллы льда (плотность 920 кг/м³) легче жидкого фреона (плотность 1200-1400 кг/м³), то очевидно, что эти кристаллы будут находиться на поверхности жидкого фреона. Испарение фреона и одновременная сублимация льда, оказавшегося в испарительной системе, создаст динамическое равновесие паров фреона (R-22) и воды, соответствующее общему содержанию воды во фреоне около (80-100 мл), что соответствует (0,008 – 0,01 % влаги по отношению к общей массе хладагента).

Как видно из приведенного анализа работы холодильной установки, даже весьма незначительные количества воды (0,002 % от общей массы хладагента), характерные для первичного обводнения, приводят к существенному изменению параметров цикла холодильной машины.

Поэтому одним из наиболее эффективных путей обнаружения первичного обводнения является использование высокочувствительных индикаторов наличия воды в системе хладагента [7]. Отмеченные обстоятельства усиливают влияние профилактических мероприятий, предотвращающих обводнение и мероприятий по устранению обводнения, нарушающего нормальную работу холодильной установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальное исследование позволяет сделать выводы, что увеличение перегрева на всасывании в компрессоре на 3-4 °С и одновременное снижение температуры нагнетания на 15-20 °С в отличие от нормальных режимов, рекомендуемых заводом-изготовителем, является признаком первичного обводнения, которое при дальнейшем развитии может вызвать выход установки из строя.

Одновременно с указанными изменениями параметров цикла холодильной машины ухудшается работа морозильных аппаратов, показателем которой является повышенная температура воздуха в морозильном аппарате на 4-6 °С и снижение производительности морозильных аппаратов на 5,6-10,2 % при соблюдении нормальной температуры в центре замораживаемого блока $t_{вн} = -20 \dots -22$ °С.

Эти признаки в определенной степени похожи на признаки влияния увеличенной снеговой шубы, поэтому для диагностики первичного обводнения следует обратить внимание на одновременное увеличение перегрева на всасывании, уменьшение температуры нагнетания и снижение производительности морозильного аппарата (повышение температуры охлаждающего воздуха) при снятой снеговой шубе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сластухин, Ю. Н. Техническая эксплуатация судовых холодильных установок: учеб. для студ. вузов / Ю. Н. Сластухин, А. И. Ейдеюс, Э. Е. Елисеев; под общей ред. Ю. Н. Сластухина. – Москва: МОРКНИГА, 2014. – 517 с.
2. Константинов, А. И. Модернизация и усовершенствование эксплуатации судовых холодильных установок / А. И. Константинов, Л. Г. Мельниченко. Калининград: Кн. изд-во, 1986. – 95 с.
3. Захаров, Ю. В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины / Ю. В. Захаров. – Санкт-Петербург: Судостроение, 1994. – 504 с.
4. Коваленко, В. П. Загрязнение и очистка нефтяных масел / В. П. Коваленко. – Москва: Химия, 1978. – 304 с.
5. Анализ эксплуатации холодильных установок РТМС типа “Прометей” Западного бассейна. – Рига: ЦПКТБ «Запрыба», 1979. – 130 с.
6. Малкин, Л. Ш. Осушка и чистка малых холодильных машин / Л. Ш. Малкин, В. Л. Колин. – Москва: Легкая и пищ. промышленность, 1982. – 152 с.
7. Правила технической эксплуатации холодильных установок на судах флота рыбной промышленности. – Ленинград: Транспорт, 1977. – 144 с.

REFERENCES

1. Slastikhin Yu. N., Eydeyus A. I., Eliseev E. E. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh kholodil'nykh ustanovok: uchebnik dlya studentov vuzov spetsial'nosti 26.05.06. ESEU ekspluatatsii, pod obshchey redaksiyey Slastikhina Yu. N.* [Technical exploitation of shipboard refrigerating plant: textbook for students of specialty 26.05.06.ESEP and exploitation, under common editor Slastikhin Yu. N.]. Moscow, MORKNIGA, 2014, 517 p.
2. Konstantinov L. I., Mel'nichenko L. G. *Modernizatsiya i usovershenstvovanie ekspluatatsii sudovykh kholodil'nykh ustanovok* [Modernization and improvement exploitation of shipboard refrigerating plants]. Kaliningrad, Kn. izd-vo, 1986, 95p.
3. Zakharov Yu. V. *Sudovyye ustanovki konditsionirovaniya vozdukha i kholodil'nyye mashiny* [Shipboard installations for air conditioning and refrigerating machines]. Saint-Petersburg, Sudostroenie, 1994, 504 p.
4. Kovalenko V. P. *Zagryaznenie i ochistka neftyanykh masel* [Pollution and clearance of petroleum oils]. Moscow, Khimiya, 1978, 304 p.
5. *Analiz ekspluatatsii kholodil'nykh ustanovok RTMS tipa "Prometey" Zapadnogo basseyna* [Exploitation analysis of RTRS refrigerating plants of "Prometey" type in the Western basin]. Riga, TsPKTB "Zapryba", 1979, 130 p.
6. Malkin L. Sh., Kolin V. L. *Osushka i chistka malykh kholodil'nykh mashin* [Dehydration and clearance of small refrigerating machines]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1982, 152 p.
7. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii kholodil'nykh ustanovok na sudakh flota rybnoy promyshlennosti* [Regulations of technical exploitation of refrigerating plants on the ships of fleet fishing industry]. Leningrad, Transport, 1977, 144 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сластикин Юрий Николаевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; кандидат технических наук, доцент; зав. кафедрой «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование»;
E-mail: xktk@bga.gazinter.net

Slastikhin Yuriy Nikolaevich – Baltic State Fishing Fleet Academy; PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Head of the Department of Refrigeration, cryogenic engineering and air conditioning»; E-mail: xktk@bga.gazinter.net

Чернега Алексей Николаевич – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Электро- и теплотехника»;
E-mail: Kh1986@list.ru

Chernega Alexey Nikolaevich – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student of the Department of Electrical and thermal engineering;
E-mail: Kh1986@list.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 519.87(06)

ЧИСЛЕННАЯ MinMax-ОПТИМИЗАЦИЯ

И. А. Пахнатов

NUMERICAL MinMax-OPTIMIZATION

I. A. Pakhnutov

Обсуждается вариант минимизации функций и функционалов, дифференцируемых лишь в слабом смысле, методом градиентного спуска, способ вычисления направления спуска, ε -допустимого направления (попутно предлагается простой алгоритм решения однородных линейных неравенств). Приведены примеры конкретных вычислений для функций и функционалов. Показано, что разумная стратегия выбора последовательности $\varepsilon \rightarrow 0$ позволяет получать приемлемые результаты.

слабый градиент, оптимизация, дискретная аппроксимация

The paper discusses a type of gradient descent minimization method for functions and functionals weakly differentiable, as well as descent direction and ε -possible directions computation (concurrently a simple algorithm for solution of homogeneous linear inequalities is presented). Examples of explicit computations for a sort of functions and functionals are given. It is shown that a reasonable choice of sequence $\varepsilon \rightarrow 0$ renders quite plausible results.

weak gradient, optimization, discrete approximation

ВВЕДЕНИЕ

По задачам оптимизации (в силу их большой практической значимости) имеется обширная библиография (см., например, [1-3]), помогающая справиться со многими распространенными проблемами. Есть, тем не менее, большой класс задач, слабо разработанный в доступной литературе, предполагающий оптимизацию функций (и функционалов), дифференцируемых лишь в произвольном направлении (по Гато). К таким, в частности, следует отнести задачи минимизации функций вида

$$f(x) = \max_{y \in S} F(x, y), \quad x \in \Omega, \quad (1)$$

где F дифференцируема на $\Omega \times S$, а также функционалов типа

$$\Phi(x) = \max_{t \in [a, b]} F(t, x(t), \dots, x^{(m)}(t)), \quad (2)$$

где снова F дифференцируема по всем переменным. Задачи типа (1) широко встречаются в экономике, теории игр и принятия решений, аппроксимации. Задачи вида (2) встречаются в теории автоматического регулирования, управления. Задачи такого типа (назовем их задачами ММ на минимакс) удается решить точно

лишь в исключительно редких случаях, а традиционные методы оптимизации с ними не справляются.

Для конечных множеств Ω и S существуют приемлемые алгоритмы минимизации, которые применяются в экономике, теории игр [3]. В общем случае основные теоретические предпосылки алгоритмизации этих задач получены в [4, 5], причем в [5, 6] обсуждаются некоторые практические приемы построения приближенных решений для дискретных S и методы дискретизации в общем случае.

Решение ММ задач для функционалов (2) затрудняется сложностью сведения их к стандартным задачам оптимизации функций многих переменных. Общий метод сведения проблемы к задачам управления можно найти в [4], а также в работах [7, 8], что, в общем, заменяет одну проблему другой, далеко не всегда более простой.

Ниже будет приведена модификация популярного метода наискорейшего спуска, обсуждаемая в [5] и [6], в применении к задачам указанного типа.

МИНИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ

Рассмотрим подробнее задачу минимизации функций (1). При численном (приближенном) решении задачи предпочтение отдается методам наискорейшего спуска, модифицированных в соответствии со слабой дифференцируемостью функций. Основанием для такого предпочтения служат следующие утверждения (см. [4], [5]).

ТЕОРЕМА 1. Если $F(x, y)$ непрерывно дифференцируема по $x \in \Omega \subset E$ при всех $y \in S$, то $f(x) = \max_{y \in S} F(x, y)$, $x \in \Omega$, дифференцируема по любому направлению

$h \in E$, при этом $\frac{df}{dh}(x) = \max_{y \in R(x)} \langle F'_x(x, y), h \rangle$, где $R(x) = \{y \in S \mid f(x) = F(x, y)\}$, а угловые скобки обозначают скалярное произведение.

ТЕОРЕМА 2. Если x^* - стационарная точка функции $f(x)$ (1), то $\psi(x^*) = \min_{\|h\|=1} \frac{df}{dh}(x^*) \geq 0$, т.е. $\text{conv}\{F'_x(x^*, y) \mid y \in R(x^*)\} \ni 0$, где $\text{conv}(M)$ - выпуклая оболочка множества M .

Для нестационарной точки x в соответствии с теоремой отделимости [9] всегда найдется направление h , для которого $\langle F'_x(x, y), h \rangle < 0$, так что в методе наискорейшего спуска направление одномерной минимизации можно выбирать из условия

$$h^* = \arg \left(\min_{\|h\|=1} \max_{y \in R(x)} \langle F'_x(x, y), h \rangle \right). \quad (3)$$

В случае конечного S множество $R(x)$, $\forall x$, также конечно, и вычисление $f(x)$ не представляет труда. Для каждой конкретной точки $x_k \in \Omega$ вопрос о ее стационарности решается следующим образом:

- 1) определяется (конечное) множество $R(x_k) = \{y \in S \mid f(x_k) = F(x_k, y)\}$;
- 2) вычисляются производные $\{a_i = F'_x(x_k, y_i) \mid y_i \in R(x_k)\}$;
- 3) решается относительно $\{\beta_i\}$ система уравнений

$$\begin{cases} \sum_i a_i \beta_i = 0, \\ \sum_i \beta_i = 1, \forall \beta_i \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Если система (4) разрешима, то в соответствии с теоремой 2 точка x_k стационарная. В противном случае по условию (3) находится направление h^* наискорейшего спуска и вычисляется новая точка $x_{k+1} = x_k + ah$, где $a = \arg(\min_{t \geq 0} f(x_k + th))$.

Разрешимость (4) легко устанавливается методом линейного программирования (ЛП). С выбором h^* (3) ситуация несколько сложнее – задача выбора нелинейная. Но, учитывая то, что множество $\{h \mid \langle F'_x(x, y), h \rangle < 0\}$ для фиксированного значения x представляет собой выпуклый конус, и эта проблема сводится к ЛП-задаче без ограничения неотрицательности решения. Стандартный прием в таком случае – удвоение числа переменных: $x_k = u_k - v_k$, $u_k, v_k \geq 0$, $\forall k$ (и, таким образом, усложнение задачи). Этого легко избежать подходящим смещением начала координат.

Пусть решается неравенство $Ah \leq 0$ (очевидное при $h = 0$). Возьмем векторы ℓ и m , все координаты которых (по числу строк и столбцов матрицы A) равны единице, и рассмотрим ЛП-задачу $\max_{Ax + u\ell \leq 0} u$ (без ограничения на знак). Обозначим $s = \|A\| = \max_i \sum_j |A_{i,j}|$ и положим $x = z - sm$, $u = v - \sigma$. Тогда на решении задачи $sAm + \sigma\ell - Az - u\ell \geq sAm + \sigma\ell - sz - u\ell \geq 0$ при $z \geq 0$, и, следовательно, для z имеем стандартную (всегда разрешимую) ЛП-задачу. В случае вырождения решение определяется вводимой в базис переменной, допускающей неограниченное возрастание. Окончательный результат нормируется к единице. Например, для матрицы $A^T = \begin{pmatrix} 4 & -1 & -3 & -4 \\ -1 & -1.5 & 0.5 & -3 \end{pmatrix}$ $\text{conv}(A^T)$ представляет собой треугольник, отделенный от начала координат (рис. 1), а его сопряженный конус лежит в первом квадранте. Здесь $s = 7$, $m = (1, 1)^T$, $\ell = (1, 1, 1, 1)^T$, $Am = (3, -2.5, -2.5, -7)^T$, положим $\sigma = s^2$. ЛП-задача вырожденная, ее финальная симплекс-таблица имеет вид (табл. 1):

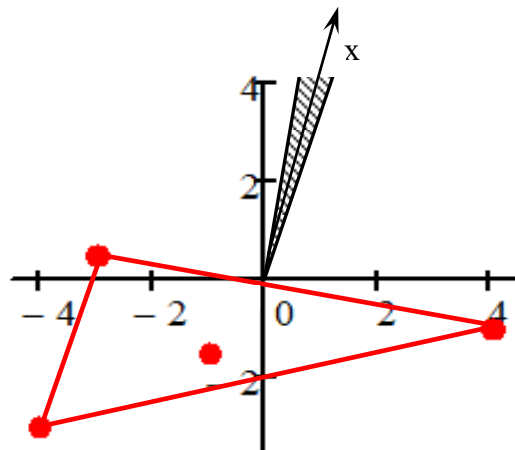


Рис. 1
Fig. 1

Таблица 1

Table 1

z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	
1	0	0	0.181818	-0.13636	-0.04545	0	7
0	1	0	0.181818	-0.63636	0.454545	0	7
0	0	0	0.818182	-2.36364	0.55455	1	0
0	0	1	0.454545	-0.09091	0.636364	0	49

Переменная z_5 , вводимая в базис, неограниченная, так что в качестве решения можно взять $(z_1, z_2)^T = (0.1363636, 0.636363)^T$, а в качестве нормированного решения исходной задачи – вектор $x = (0.2095291, 0.9778024)^T$.

Для поиска минимума функции вдоль выбранного направления пригоден любой достаточно экономный метод (например, метод парабол, золотого сечения и др. [3]).

В действительности ситуация сложнее, чем представленный выше вариант. Это связано с тем, что для конкретных x множества $R(x)$ могут оказаться слишком "бедными" для определения статуса выбранной точки. Особенно остро эта проблема проявляется при бесконечных множествах S . В [4] в связи с этим рассматриваются так называемые ε -задачи, в которых для выбранного $\varepsilon > 0$ и данной точки x рассматривается множество $R_\varepsilon(x) = \{y \in S \mid \max_{y \in S} F(x,y) - F(x,y) < \varepsilon\}$, и далее всюду множество $R(x)$ заменяется на $R_\varepsilon(x)$.

Пусть x – решение исходной задачи, M_ε – множество стационарных точек соответствующей ε -задачи. Тогда $x \in \lim_{\varepsilon \rightarrow +0} M_\varepsilon$ [4]. В [5, 6] предлагаются различные стратегии изменения ε в процессе минимизации, основной смысл которых состоит в пропорциональном уменьшении ε при получении очередной ε -стационарной точки до достижения требуемой точности.

В общем случае, предполагая множество S компактным, можно выбрать конечное множество S_δ (δ -сеть: $\forall y \in S \exists x \in S_\delta: \|x - y\| < \delta$), на котором и строится приближенное решение задачи. При $\delta \rightarrow 0$ эти решения могли бы сходиться к точному, но быстро возрастающий объем вычислений и вместе с этим погрешности результатов ограничивают указанную сходимость.

Приведем в качестве иллюстрации пример [5] минимизации функции $f(x) = \max_{t \in [0, 2\pi]} (\cos(t) + \cos(2t+x_0) + \cos(3t+x_1))$ (рис. 2). Рассмотрим дискретный ва-

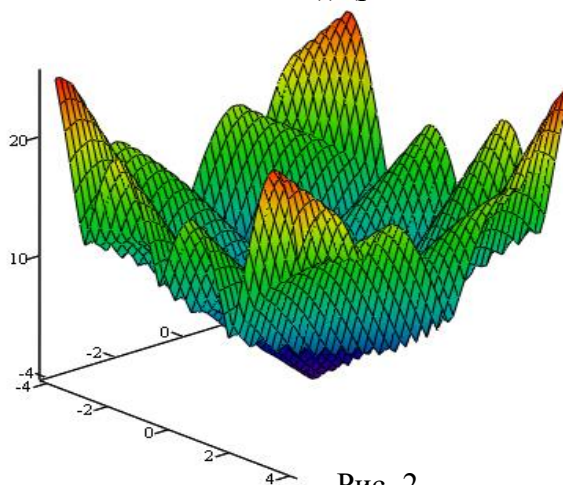


Рис. 2

Fig. 2

риант задачи: разобьем отрезок $[0, 2\pi]$ равномерно на $N = 100$ частей точками $S = \{t_i = 0.02\pi i \mid i = 0, \dots, N\}$ и будем минимизировать функцию $f(x) = \max_{t \in S} (\cos(t) + \cos(2t + x_0) + \cos(3t + x_1))$. Отправляясь с точки $x = (\pi/4, \pi/4)^T$ (при значении функции 8.575) в качестве старта и изменяя ϵ от 1 до 0.0001, получим результат: минимальное значение 3.9118 в точке $x = (2.859, 2.148)^T$ (расчеты выполнены в MathCad-15).

На рис. 3 представлены сравнительные графики исходной функции (при $x = (\pi/4, \pi/4)^T$) и результата выполненной минимизации.

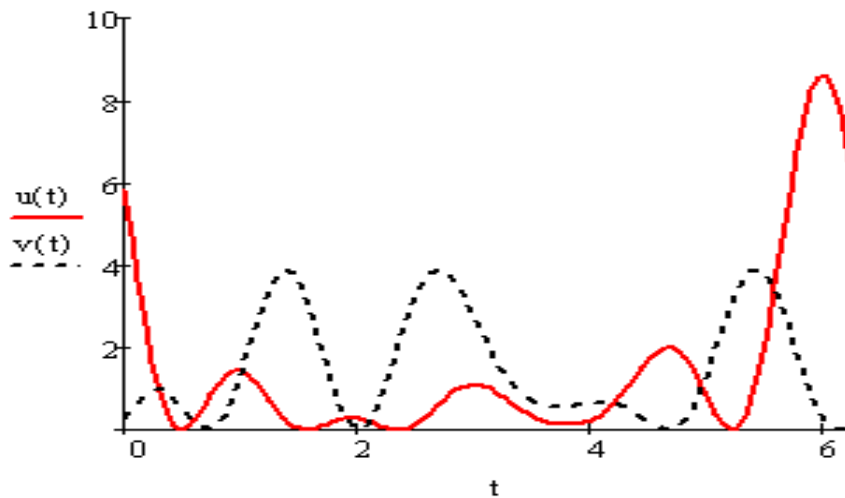


Рис. 3. $u(t)$ – функция $F(x, t)$ при исходном значении x ,
 $v(t)$ – результат минимизации

Fig. 3. $u(t)$ – function $F(x, t)$ with original value x ,
 $v(t)$ – result of minimization

Изменение результата в зависимости от степени дискретизации приведено в табл. 2. Очевидно, что следует выбирать компромисс между точностью результата и необходимой мерой дискретизации.

Таблица 2. Зависимость результата минимизации от уровня дискретизации
Table 2. Dependence of the minimization result on the discretization degree

Число точек дискретизации	Значение $f(x) = \min_{t_i} F(x, t_i)$ при $x = (0.785, 0.785)^T$	Стационарная точка	Значение минимума
$N = 10$	5.828	1.5708, 0.4535	3.606
$N = 50$	8.575	2.0996, 0.8781	4.5929
$N = 100$	8.575	2.8591, 2.1484	3.9118
$N = 500$	8.609	2.8597, 2.1467	3.9194

МИНИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛОВ

Интегральными функционалами с различными краевыми и дифференциальными ограничениями стандартно занимаются вариационное исчисление и теория оптимального управления [9]. Здесь в свете предыдущих рассмотрений коснемся минимизации функционалов типа (2). При некоторых дополнительных условиях на F (проверка которых не всегда легко выполнима) минимизацию $\Phi(x)$ можно выполнять, решая соответствующую задачу оптимального управления [7, 8] подходящим численным методом. Существенного снижения вычислительных затрат удастся добиться, заменяя задачу минимизации $\Phi(x)$ соответствующей дискретной задачей. А именно, для фиксированного $n \in \mathbb{N}$ разобьем отрезок $[a, b]$ равномерно на n частей точками $t_i = a + ih, i = 0, \dots, n$, с шагом $h = \frac{b-a}{n}$ и, полагая $x_i^{(k)} = x^{(k)}(t_i), \forall i, 0 \leq k \leq m$, будем искать $\min_x \max_{0 \leq i \leq n} F(t_i, x_i, \dots, x_i^{(k)})$. При этом методы численного анализа (см., например, [10], гл. III) дают нам богатый набор разностных формул, позволяющих оценить значение производной нужного порядка в конкретном узле сетки через значения функции в соседних узлах с заданным порядком погрешности. В результате приходим к дискретной задаче отыскания

$$\min_x \max_i \Psi_i(x), \tag{5}$$

где $x \in \mathbb{R}^n, \Psi_i(x) = F(t_i, x_i, \dots, x_i^{(k)})$, а производные заменены соответствующими разностными формулами.

Рассмотрим в качестве иллюстрации пример функционала

$$\Phi(x) = \max_{t \in [0, 1]} |x(t) - \sqrt{1 + (x'(t))^2}|$$

при граничных условиях $x(0) = e, x(1) = 1$. Здесь без труда можно вычислить на классе непрерывно дифференцируемых функций величину $m = \min_{x \in C^1(0, 1)} \Phi(x) = 0.315242963$, которая достигается на экстремали $x(t) = \cosh(t - 1.7745261) - m$, что легко позволяет выполнить контроль точности приближенного решения. Взяв $n = 10$, разобьем отрезок $[0, 1]$ равномерно на n частей, полагая $t_i = i \cdot n, x_i = x(t_i), i = 0, \dots, n$. Для оценки производных используем разностные формулы второго порядка точности: $x'(t_0) = 0.5h^{-1}(-3x_0 + 4x_1 - x_2) + O(h^2), x'(t_n) = 0.5h^{-1}(x_{n-2} - 4x_{n-1} + 3x_n) + O(h^2), x'(t_i) = 0.5h^{-1}(x_{i+1} - x_{i-1}) + O(h^2), i = 1, \dots, n-1$ ($h = 0.1$ в данном примере). Далее, обозначим $F_i(x) = |x_i - \sqrt{1 + (x'_i)^2}|$, где производная заменена соответствующей разностной формулой и $x_0 = e, x_n = 1$, и решим задачу на минимум для функции $\Phi(x) = \max_{0 \leq i \leq n} F_i(x), x = (e, x_1, \dots, x_{n-1}, 1)^T$ описанным в предыдущем пункте ме-

тодом, взяв в качестве стартовой точки вектор с координатами $x_i = e + \frac{1-e}{n}i, i = 0, \dots, n, \varepsilon = 0.0001$. Результат вычислений отличается от точных значений найденной экстремали не более чем на 0.000665.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные задачи, несмотря на свою особенность, имеют широкое практическое применение в теории аппроксимации (равномерное приближение

функций), оптимизации в многокритериальных задачах, теории управления и др. В общем, это один из вариантов выбора стратегии решения, обусловленный спецификой задачи. Например, при наилучшем приближении данных $x = (0, 0.3, 0.5, 1, 1.1, 1.4, 1.8, 2)$, $y = (0.1, 1.5, 1.5, 2, 2.4, 2.2, 3, 4)$ рациональной дробью $P_{2,2}(t) = \frac{a_0 + a_1t + a_2t^2}{1 + a_3t + a_4t^2}$ в евклидовой норме имеем $\|P_{2,2}(x) - y\|_2 = 0.381$, при этом $\max_{0 \leq i \leq 7} |P_{2,2}(x_i) - y_i| = 0.076$, тогда как при равномерном приближении получаем $\|P_{2,2}(x) - y\|_2 = 0.501$, но $\max_{0 \leq i \leq 7} |P_{2,2}(x_i) - y_i| = 0.036$ (более чем двукратное уменьшение невязки). Следует заметить, что используемый в приводимых задачах вычислительный инструмент довольно трудоемкий, и в случае линейных функций и функционалов применение алгоритмов типа Ремеза может оказаться предпочтительнее. Кроме того, стандартный градиентный спуск (не работающий на рассматриваемых задачах) полезно дополнять небольшой "памятью", использование которой может существенно ускорить сходимость поиска экстремума.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Саульев, В. К. Приближенные методы безусловной оптимизации функций многих переменных /В. К. Саульев, И. Н. Самойлова / Итоги науки и техники. Математический анализ, т. 11. – Москва: ВИНТИ, 1973. – С. 91-128.
2. Сухарев, А. Г. Курс методов оптимизации /А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 368 с.
3. Методы оптимизации /Р. Габасов, Ф. М. Кириллова, В. В. Алясевич [и др.]. – Минск: Четыре четверти, 2011. – 474 с.
4. Дубовицкий, А. Я. Задачи на экстремум при наличии ограничений / А. Я. Дубовицкий, А. А. Милютин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1965. – Т. 5, № 2. – С. 395-453.
5. Демьянов, В. Ф. Введение в минимакс / В. Ф. Демьянов, В. Н. Малоземов. – Москва: Наука, 1978. – 368 с.
6. Федоров, В. В. Численные методы максимина /В. В. Федоров. – Москва: Наука, 1979. – 279 с.
7. Aronsson G. Perfect splines and non-linear optimal control theory /G. Aronsson //Journal of Approximation Theory. – 1979. – v.25, №2. – p. 142-152.
8. Пахнутов, И. А. Необходимые условия существования минимума в L_∞ для некоторых функционалов / И.А. Пахнутов // Математические заметки. – 1983. Т.33, № 4. – С. 539-548.
9. Алексеев, В. М. Оптимальное управление /В. М. Алексеев, В. М. Тихомиров, С. В. Фомин. – Москва: Наука, 1979. – 430 с.
10. Калиткин, Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин – Москва: Наука, 1978. – 512 с.

REFERENCES

1. Saul'ev V. K., Samoylova I. N. Priblizhennyye metody bezuslovnoy optimizatsii funktsiy mnogikh peremennykh [Approximate methods of unconstrained optimi-

zation of multivariable functions]. Moscow, VINITI, *Itogi nauki i tekhniki. Matematicheskii analiz*, vol. 11, pp. 91-128.

2. Sukharev A. G., Timokhov A. V., Fyodorov V. V. *Kurs metodov optimizatsii* [Course of optimization methods]. Moscow, FIZMATLIT, 2005, 368 p.

3. Gabasov R., Kirillova F. M., Al'yasevich V. V., Kalinin A. I., Krakhotko V. V., Pavlenok N. S. *Metody optimizatsii* [Optimization methods]. Minsk, Chetyre chetverti, 2011, 474 p.

4. Dubovitskiy A. Y., Milyutin A. A. *Zadachi na ekstremum pri nalichii ogranicheniy* [Optimal problems with terms]. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki*, 1965, vol. 5, no. 2, pp. 395-453.

5. Dem'yanov V. F., Malozyomov V. N. *Vvedenie v minimaks* [Introduction to minimax problems]. Moscow, Nauka, 1978, 368 p.

6. Fyodorov V. V. *Chislennyye metody maksmina* [Numeric maxmin methods]. Moscow, Nauka, 1979, 279 p.

7. Aronsson G. Perfect splines and non-linear optimal control theory. *Journal of Approximation Theory*, 1979, vol. 25, no. 2, pp. 142-152.

8. Pakhnutov I. A. Neobkhodimyye usloviya sushchestvovaniya minimuma v L_∞ dlya nekotorykh funktsionalov [Necessary conditions of minimum in L_∞ for a type of functionals]. *Matematicheskiye zametki*, 1983, vol. 33, no. 4, pp. 539-548.

9. Alekseev V. M., Tikhomirov V. M. *Optimal'noye upravleniye* [Optimal control]. Moscow, Nauka, 1979, 430 p.

10. Kalitkin N. N. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow, Nauka, 1978, 512 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Пахнутов Игорь Александрович – Калининградский государственный технический университет; кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики; E-mail: IA-Pa2010@yandex.ru

Pakhnutov Igor Alexandrovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor; E-mail: IA-Pa2010@yandex.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

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

В редакцию журнала авторы представляют:

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

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

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

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

Объем статьи

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

Структура статьи

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

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

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

Составные части статьи и порядок их следования

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

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

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

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

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

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

Рекомендуемый объем аннотации 1000-2000 знаков (200-250 слов). 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 C».

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 ис-**

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

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

Диссертация или автореферат диссертации

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

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

Переводная книга

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

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

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

[7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

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

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

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

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

Статья в журнале

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

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

Статья в электронном журнале

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

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye 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 ekologicheski chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе(ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы (аббревиатуру расшифровать) и город; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)31-39-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;

- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:
 - не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;
 - необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

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

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь 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 латин-

ского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде косога креста (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

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

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

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

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавтор-

стве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. А. Смирнова, Г. Е. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Подписано в печать 30.04.2020. Выход в свет 01.05.2020. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 24,5. Уч.-изд. л. 15,7. Тираж 1000 экз. Заказ № 23.