

# ИЗВЕСТИЯ

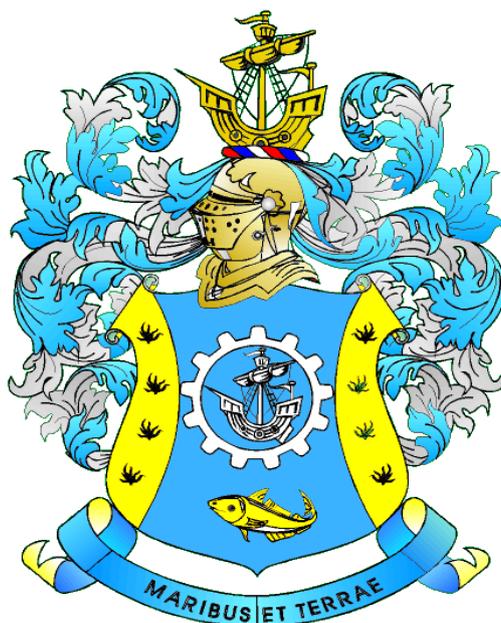
## КГТУ

## 2019

## № 53

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. Шибяев*, д-р биол. наук, проф.;  
*В. Н. Эрлихман*, д-р техн. 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](http://www.klgtu.ru); E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,  
2019





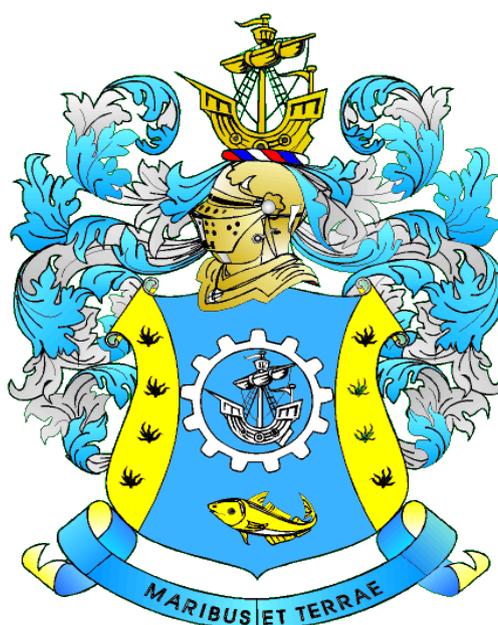
# KSTU NEWS

2019

№ 53

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>Анциферова О. А.</i> Изученность водного режима почв Калининградской области.....  | 11 |
| <i>Анциферова О. А., Чиянова О. Ю.</i> Антропогенная эволюция почв и растительности парка им. М. Беккера (пгт. Янтарный, Калининградская область).....                            | 25 |
| <i>Буруковский Р. Н.</i> О составе пищи у краба <i>Lyphira perplexa</i> Galil, 2009 (Decapoda, Brachyura, Leucosiidae) из залива Нячанг (Южный Вьетнам).....                      | 40 |
| <i>Котлярова М. А., Буканова Т. В.</i> Изменчивость температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным.....                                       | 51 |
| <i>Стонт Ж. И., Ульянова М. О., Крек Е. В., Чурин Д. А., Губарева Д. Е.</i> Штормовая активность в осенне-зимний период 2018-2019 гг. в юго-восточной части Балтийского моря..... | 61 |

**Техника и технология пищевых производств**

|  |     |
|--|-----|
| <i>Агеев О. В., Наумов В. А., Фатыхов Ю. А., Самойлова Н. В.</i> Математическое моделирование силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней при резании рыбы.....                      | 75  |
| <i>Анистратова О. В., Серпунина Л. Т., Кобзарева А. С.</i> Обоснование применения различных видов муки в рецептуре тестовой оболочки для блинчиков.....  | 89  |
| <i>Божко А. С., Титова И. М.</i> Установление сроков годности рыбного кулинарного изделия на основе исследования комплекса показателей.....  | 101 |
| <i>Самсонов М. В., Винокур М. Л.</i> Зависимость степени гидролиза белка и интенсивности депротенизации панцирьсодержащих отходов от предварительного суспензирования хитино-минерального субстрата..... | 115 |
| <i>Соклаков В. В., Рачкова Н. А.</i> Применение потенциометрического титрования при определении кислотного числа жира гидробионтов.....  | 125 |
| <i>Сумина Е. Б., Мезенова О. Я.</i> Исследования по получению и применению гидролизатов из голов копченой кильки в технологии обогащенных крекеров.....  | 139 |

**Судостроение, машиностроение и энергетика**

|  |     |
|--|-----|
| <i>Зобов П. Г., Дектярев А. В., Морозов В. Н.</i> Современные методы 3D-сканирования при размерном анализе судовых моделей с учетом их аддитивного изготовления.....   | 151 |
| <i>Кипер А. В., Давлюд И. И., Бавула А. А.</i> Физическая модель следящей системы для безударной передачи груза.....   | 162 |
| <i>Наумов В. А., Великанов Н. Л.</i> Моделирование движения капель в системах охлаждения поверхности распыленной жидкостью.....  | 169 |
| <i>Февральских А. В.</i> Численное исследование влияния удлинения крыла на характеристики движения под действием экранного эффекта амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой..... | 182 |
| <i>Шинкаренко И. А., Сутьрин В. И.</i> Эффективная виброизолирующая подвеска судового трубопровода.....  | 193 |

CONTENT

***Biology, Ecology and Fishing Industry***

|   |    |
|---|----|
| <i>Antsiferova O. A.</i> Study of the water regime of soil in the Kaliningrad region.....   | 11 |
| <i>Antsiferova O. A., Chiyanova O. Yu.</i> Anthropogenic evolution of soils and vegetation of the park named after m. Becker (Yantarniy town settlement, Kaliningrad region)..... | 25 |
| <i>Burukovskiy R. N.</i> On the food composition of crab <i>Lyphira perplexa</i> Galil, 2009 (Decapoda, Brachyura, Leucosiidae) from the Nha Trang bay (South Vietnam)...         | 40 |
| <i>Kotlyarova M. A., Bukanova T. V.</i> Atelite-derived variability of the sea surface temperature in the South-Eastern Baltic sea.....   | 51 |
| <i>Stont Zh. I., Ulyanova M. O., Krek E. V., Churin D. A., Gubareva D. E.</i> Storm activity during autumn-winter period of 2018-2019 in the South-Eastern Baltic sea.....        | 61 |

***Food Production Techniques and Technology***

|   |     |
|---|-----|
| <i>Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Ju. A., Samoylova N. V.</i> Mathematical simulation of the resistance force of the profile of a double-edged knife without side edges during fish cutting.....   | 75  |
| <i>Anistratova O. V., Serpunina L. T., Kobzareva A. S.</i> Justification of the use of different types of flour in the formulation of the dough shell for pancakes.....                                 | 89  |
| <i>Bozhko A. S., Titova I. M.</i> Establishing the shelf life of fish culinary products based on the study of a set of indicators.....  | 101 |
| <i>Samsonov M. V., Vinokur M. L.</i> Dependence of the degree of protein hydrolysis and deproteinization intensity of crustaceans waste from preliminary suspension of chitinous-mineral substrate..... | 115 |
| <i>Soklakov V. V., Rachkova N. A.</i> Application of potentiometric titration in determination of acid value of hydrobiont fat.....   | 125 |
| <i>Sumina E. B., Mezenova O. Ya.</i> Studies on the preparation and use of hydrolysates from the heads of smoked sprats in the technology of enriched crackers.....                                     | 139 |

***Ship Building, Machinery and Power-Engineering***

|  |     |
|--|-----|
| <i>Zobov P. G., Dektyarev A. V., Morozov V. N.</i> Modern 3D-scanning methods for dimensional analysis of ship models taking into account their additive manufacturing.....  | 151 |
| <i>Kiper A. V., Davlyud I. I., Bavula A. A.</i> Physical model of the tracking system for cargo transfer without impact.....   | 162 |
| <i>Naumov V. A., Velikanov N. L.</i> Simulation of the droplet motion in surface cooling systems by spray.....   | 169 |
| <i>Fevralskikh A. V.</i> Numerical study of the effect of wing aspect ration on the motion characteristics of the amphibious air-cusion craft with aerodynamic unloading under the influence of the ground effect..... | 182 |
| <i>Shinkarenko I. A., Sutyurin V. I.</i> Efficient vibration isolating suspension for ship pipelines.....  | 193 |

**БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО**



УДК 631.4

## ИЗУЧЕННОСТЬ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Анциферова

### STUDY OF THE WATER REGIME OF SOIL IN THE KALININGRAD REGION

O. A. Antsiferova

Масштабное изменение водного режима почв Калининградской области связано с развитием осушительной мелиорации. Первые мелиоративные системы (открытый, закрытый, комбинированный дренаж, польдеры) относятся ко времени существования Восточной Пруссии. В советский период (1945 – 1991 гг.) были проведены реконструкция и восстановление прежних сооружений, а также построены новые осушительные сети. Поэтому большая часть имеющихся исследований водно-физических свойств и водного режима почв региона связаны с практикой мелиорации. Только работы А. А. Завалишина и Б. В. Надеждина, выполненные в 1949 – 1952 гг., отображают специфику почвообразования в связи с особенностями увлажнения почв в условиях лесных экосистем. Обзор литературных источников по проблеме показал, что подобного систематического и глубокого изучения водного режима минеральных почв агроландшафтов, сочетающего теоретические и прикладные аспекты, в Калининградской области не проводилось. В настоящее время такие исследования актуальны на фоне тренда к изменению климата и возросших рисков для сельского хозяйства. С 2012 г. начато изучение водного режима почв на мониторинговых площадках в западной части области в пределах Самбийской холмистой моренной равнины. Методика мониторинга сочетает рекомендации ведущих отечественных почвоведов (А. А. Роде, Ф. Р. Зайдельмана). База данных о послонной динамике влажности в метровой толще используется для построения графиков категорий влажности, расчетов воздухоносной пористости и запасов продуктивной влаги (ЗПВ). В результате анализа данных получены количественные характеристики степени современного гидроморфизма почв и выявлена связь этого явления с урожайностью сельскохозяйственных культур. Исследования являются основой для разработки региональной классификации водного режима осушенных почв.

*водный режим почв, осушительная мелиорация, почвообразование, этапы исследований*

A large-scale change in the water regime of the soils of the Kaliningrad region is associated with the development of drainage amelioration. The first melioration systems (open, closed, combined drainage, polders) belong to the time of the existence of East Prussia. In the Soviet period (1945 - 1991), reconstruction and restoration of the old structures, as well as construction of new drainage networks were carried out. Therefore, most of the available studies of water-physical properties and water regime of soils in the region are associated with the practice of land reclamation. Only research works

by A.A. Zavalishin and B.V. Nadezhdin, conducted in 1949 - 1952, show the specifics of soil formation in connection with the peculiarities of soil moistening in forest ecosystems. A review of the literature on the problem shows that such a systematic and in-depth study of the water regime of mineral soils of agricultural landscapes, combining theoretical and applied aspects has not been carried out in the Kaliningrad region. Currently, such studies are relevant against the background of the trend towards climate change and increased risks for agriculture. Study of soil water regime at monitoring sites in the Western part of the region, within the Sambian hilly moraine plain began in 2012. The monitoring technique combines recommendations of the leading Russian soil scientists (A. A. Rode, F. R. Zaidelman). The database on the layer-by-layer moisture dynamics in meter thick is used to construct graphs of humidity categories, calculations of airborne porosity and productive moisture reserves. As a result of the data analysis, quantitative characteristics of the degree of modern soil hydromorphism and the relationship with crop yields have been obtained. The research is the basis for the development of a regional classification of the water regime of drained soils.

*soil water regime, drainage amelioration, soil formation, research stages*

## ВВЕДЕНИЕ

Оглеенные почвы в Калининградской области составляют 74 % почвенно-го покрова сельскохозяйственных угодий [1]. Наиболее распространены в регионе дерново-подзолистые почвы (80%) [2], около 4/5 которых в той или иной степени оглеены [3]. Особенностью территории является широкое развитие осушительной мелиорации, начатое еще в немецкий период. К 80-м годам XX в. в области осушалось более 800 тыс. га земель, в том числе открытой осушительной сетью 245 тыс. га, из них с механическим водоподъемом – 100 тыс. га, и закрытой сетью более 560 тыс. га; для осушения полей работали 117 насосных станций [4]. По данным на 2017 г. всего в области мелиорировано 1049,6 тыс. га [5], что составляет 82 % от площади земельного фонда без водных объектов (суммарно сельскохозяйственные и лесные угодья, населенные пункты).

Таким образом, исследование водного режима почв в Калининградской области имеет первостепенное значение, особенно на фоне тренда к изменению климата.

Цель работы – анализ и обобщение данных, приведенных в литературных источниках, посвященных различным аспектам изучения гидроморфизма и водного режима почв региона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

История изучения водного режима Калининградской области связана с общим направлением накопления знаний о почвах, в котором выделяются три исторических этапа:

- 1) немецкий (до 1945 г.) – разработка и строительство осушительных систем в различных ландшафтных и почвенных условиях;
- 2) советский период (1946 – 1991 гг.) – научно-прикладные исследования в производственных организациях (Гипрозем, Запгипроводхоз) и отдельные фундаментальные работы;

3) российский период (с 1992 – до сегодняшнего дня) – единичные исследования на базе университетов.

Повсеместное распространение переувлажненных и заболоченных земель серьезно сдерживало развитие сельского хозяйства и инфраструктуры Восточной Пруссии. Это стимулировало поиск путей улучшения почв, для чего необходимо было изменить их водный режим. Мелиорация началась в XVII в. с организации плотинных союзов. Считалось, что 60 % пашни и 80 % лугов и пастбищ Восточной Пруссии нуждаются в осушении [6]. В XIX в. прокладывался гончарный дренаж и активно строились открытые каналы. Самым большим каналом стал Гильге (ныне р. Матросовка), соединивший нижнее течение Деймы (также рукотворной реки, забирающей часть воды из Преголи) с рукавами Неманской дельты [7, с. 157]

Мелиоративные системы были представлены тремя видами: 1) сочетанием системы открытых канав на полях, дамб по берегам рек и заливов и насосных понизительных станций – в районах, расположенных ниже уровня моря; в остальных районах: 2) системой открытых канав со шлюзами; 3) закрытым дренажем и открытыми канавами крупных коллекторов [6, с. 16].

В период боевых действий 1945 г. большинство мелиоративных систем было нарушено. После передачи территории в состав СССР начался этап восстановления и реконструкции. Уже к 1977 г. 80% введенных в эксплуатацию земель было осушено вновь построенным дренажем (691,5 тыс. га сельскохозяйственных угодий). Оросительные системы для производства овощей и витаминной травяной муки созданы на 6,9 тыс. га [8]. Осуществление столь грандиозного строительства стало возможным благодаря изысканиям инженеров Калининградской опытно-мелиоративной станции [9].

В советский период был накоплен наибольший объем информации, связанной с работами мелиоративного плана и так или иначе касающейся водного режима почв. Результаты публиковались в отчетах или сборниках научных трудов [например, 9, 10]. Понятно, что перед исследователями ставились прикладные производственные задачи. Поэтому работы проводились в основном на сельскохозяйственных угодьях и не касались фундаментальных аспектов водного режима, связанных с генезисом и эволюцией почв.

Одной из серьезных проблем являлось осушение глинистых почв Лава-Прегольской низменности. Оно было начато еще в немецкий период. Römmer и Scheffer подчеркивали важность сочетания всех видов осушения на данных почвах: закрытого дренажа, кротования, сброса поверхностных вод [6, с. 17]. В советский период сотрудниками Калининградского отдела СевНИИГиМ были разработаны рекомендации по мелиорации и использованию тяжелых почв [11 - 13]. Исследования Н. П. Юрченкова показали, что основную роль в формировании дренажного стока играет пахотный горизонт. Сток через него в дренажную засыпку к дренам в разные гидрологические годы составлял 75 – 85, по поверхности 15 – 25 %. При глубоком мелиоративном рыхлении вода двигалась по всей обработанной толще [14].

Большое внимание в советский период уделялось изучению почв полейдер, площадь которых в области максимальна по всей России (около 100 тыс. га). Основная их масса в регионе сосредоточена в дельте р. Неман, преобладающими там являются болотные низинные почвы.

Многочисленные работы посвящены конструктивным особенностям польдерных мелиоративных систем и способам повышения эффективности их работы [15 - 17]. Научно-производственные исследования проводились на Тимирязевской опытной станции (совхоз «Тимирязево», Славский район), расположенной непосредственно в ареале польдерных земель. Там в 60 – 70-е годы XX в. Н. С. Докучаевым были подробно исследованы физические и водные свойства, окислительно-восстановительный режим, особенности грунтовых вод польдерных почв. Им сформулировано понятие о зоне окисления осушаемых болотных почв [18]. Режим влажности изучался на водно-балансовой станции [19]. В 1973 г. был открыт институт «Запгипроводхоз», а опытную станцию заменили филиалом Северного НИИ гидротехники и мелиорации (СевНИИГиМ) в Калининграде.

Следует упомянуть огромный картографический материал, накопленный в советский период восстановления и реконструкции дренажных систем.

Обобщенная почвенно-мелиоративная карта Калининградской области была разработана Н. А. Грабовским. На ней выделено пять мелиоративных типов земель согласно особенностям геоморфологии, состава пород и источников водного питания почв [20]. Созданные в тот период крупномасштабные (1:10000) мелиоративные планы земель колхозов и совхозов до сих пор являются единственным источником информации о расположении осушительной сети. Но особенно хорошим качеством и подробностью (благодаря сочетанию топографической основы, колонок гранулометрического состава, указанию типов водного питания, степени оглеения почв, отображению дренажа) отличаются почвенно-мелиоративные карты масштабов 1:5000, 1:1000 [например, 21]. Они вполне могут служить исходным образцом региональной почвенной карты для разработки систем точного земледелия. Такие карты в условиях региона должны быть, несомненно, почвенно-мелиоративными.

Отдельные исследования водно-физических свойств почв проводились и специалистами Калининградского филиала Севзапгипрозема [22]. Установлено, что наиболее благоприятными характеристиками обладают легкосуглинистые дерново-подзолистые почвы нормального увлажнения (автоморфные). У глееватых аналогов отмечалось снижение общей порозности и воздухообеспеченности. Для супесчаных и песчаных почв типичны неудовлетворительные структура, водовместимость и влажность.

Некоторые сведения об агрогидрологических свойствах дерново-подзолистых почв в районе г. Гвардейска и динамике запасов продуктивной влаги (в приложении к фазам развития зерновых культур) приведены в Агроклиматическом справочнике 1961 г. [23].

Степень гидроморфизма почв нашла отражение при проведении государственной оценки и бонитировки почв. В области введен поправочный коэффициент на оглеение: для глееватых почв 0,7, для глеевых 0,5 [1].

Отдельные аспекты водного режима почв описаны в работе А. А. Завалишина и Б. В. Надеждина «Почвенный покров Калининградской области». Ученые работали в составе почвенного отряда Калининградской комплексной экспедиции Академии наук СССР в 1949 – 1952 гг. Одной из главных задач отряда было «освещение особенностей местного почвообразования и, главным образом, водного режима как основы для установления норм осушения и правильного регулирования всех основных условий плодородия почв» [24, с. 5].

Для лесных почв избыточного увлажнения указана вероятная роль верховодок в формировании водного режима при различном строении почвообразующих пород. Дерново-подзолистые почвы на валунных суглинках однородного или двучленного состава имеют признаки оглеения, усиливающиеся книзу. Если почвы близко подстилаются безвалунными глинами, то они являются перегнойно-подзолистыми поверхностно-глееватыми. В первом и во втором случае почвообразование связывается с составом почвенных вод, который обусловлен свойствами водовмещающей породы.

Валунные суглинки обычно имеют большую скважность, влагоемкость и водопроницаемость. Поэтому при сезонном переувлажнении верховодки в них быстрее достигают карбонатных горизонтов и приобретают более или менее значительную жесткость. Это способствует формированию темноцветного дернового горизонта. Темноцветные дерново-подзолистые оглеенные почвы встречаются на карбонатных моренных суглинках, произошли они из темноцветных глеевых почв заболоченных ольховых лесов при их осушении.

Если же почва подстилается глиной, то сезонные верховодки остаются в большинстве случаев изолированными от карбонатов, находящихся в толще этой породы. Поэтому верховодка бедна кальцием, что способствует оторфовыванию органических остатков в лесных почвах.

Плотные иловатые красные глины с большим содержанием связанной воды и очень малым количеством свободной воды, с незначительной водоотдачей и низкой водопроницаемостью вообще не подвергаются оглеению. Если глины перемыты и опесчанены и в них по трещинам и корневым ходам образуются полости, заполненные более легкой песчанистой массой, в особенности с органическими остатками, то эти полости и являются очагами оглеения [24, с. 74 - 77].

Такие наблюдения до сих пор не потеряли актуальности и должны быть учтены, развиты и углублены при исследованиях водного режима почв.

Описание окультуренных почв А. А. Завалишиным и Б. В. Надеждиным проведено по группам в зависимости от степени оглеения и особенностей использования (пахотные и луговые). Но при этом основное внимание уделено авторами не водному режиму, а влиянию окультуривания на физико-химические свойства почв (степень кислотности и насыщенность основаниями) и морфологию верхних горизонтов (сохранение или утрата признаков оподзоливания).

В российский (постсоветский) период в связи с экономическим и социальным кризисом в стране некоторые производственные организации были ликвидированы (Гипрозем), а сохранившиеся – реорганизованы («Управление "Калининградмелиоводхоз"»). По причине отсутствия финансирования научная деятельность в них не ведется.

Ученые из производственных организаций, перешедшие на работу в университеты (докт. с.-х. наук, проф. Н. С. Докучаев), публикуют результаты исследований, накопленные за советский период, в форме монографий и учебников [18, 25].

Попытка разработки региональной морфологической шкалы, основанной на визуальной диагностике признаков гидроморфизма почв, была предпринята Э. М. Паракшиной, Ю. П. Паракшиным, А. С. Уманским. Предложено разделять почвы по степени и глубине оглеения на: 1) высокоглееватые (или глеевые) при наличии признаков в слое 0 – 30 см; 2) среднеглееватые (или глеевые) – оглеение в слое 30 – 60 см; 3) глубокоглееватые (глеевые) – глубже 60 см [26]. Авторы не объясняют причин выбора границ и не касаются связи оглеения с водным режимом почв.

Таким образом, до настоящего времени научных данных по водному режиму почв в классическом понимании (по А. А. Роде: совокупность всех явлений передвижения влаги в почве, изменения послойных запасов ее и явлений обмена влагой между почвой и другими природными телами) в регионе практически не имеется. Сдерживает развитие данного направления отсутствие научной базы, высокая трудоемкость работ, сложность почвенного покрова полей, субъективные факторы (в том числе широкая трактовка понятия «водный режим почв» разными специалистами – мелиораторами, гидрологами, географами, почвоведом), ориентация на узкоприкладные задачи. Поэтому сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, изменение климата увеличивает риски экстремальных погодных условий. В Калининградской области это, прежде всего, усиление увлажненности территории. Следовательно, увеличивается значение осушительных систем в регулировании водного режима. Однако по данным на 2017 г. неудовлетворительное мелиоративное состояние имеют 38,5 % осушенных сельскохозяйственных угодий. Основная проблема (в 61,5 % случаев) заключается в несвоевременном отводе поверхностных вод дренажными системами [27]. Поэтому актуальность исследования водного режима осушенных почв несомненна. С другой стороны, отсутствует научная организация изучения этой проблемы и тем более связь таких исследований с прикладными задачами. В большинстве случаев тип водного режима почв региона определяется как «промывной» без учета геоморфологических особенностей, литологии, влияния осушительных систем и их состояния. В таких условиях ни о каком внедрении адаптивно-ландшафтных систем земледелия, а тем более переходе на точное земледелие говорить не приходится. В лучшем случае все ограничится интенсивными технологиями с массивным применением современной техники и средств химизации.

Авторские исследования водного режима были начаты в 2012 г. по схеме, представленной на рисунке. За основу взята методика А. А. Роде (мониторинг влажности) [28], дополненная опытом Ф. Р. Зайдельмана (расчет воздухоносной пористости) [29]. Прикладным аспектом является оценка запасов продуктивной влаги, что напрямую влияет на эффективность удобрений, водообеспеченность и урожайность сельскохозяйственных культур. К настоящему времени получены данные об особенностях режима увлажнения буроземов в условиях приморского климата в агроландшафте с развитием водной эрозии [30], что позволило охарактеризовать степень гидроморфизма почв и количественно определить период их переувлажнения, иссушения, а также установить влияние этих показателей на урожай (табл. 1 – 2). Исследования в данном направлении продолжаются в мониторинговом режиме еще на двух ключевых участках [31].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Масштабное изменение водного режима почв Калининградской области связано с развитием осушительной мелиорации. Первые мелиоративные системы (открытый, закрытый, комбинированный дренаж, польдеры) относятся ко времени существования Восточной Пруссии. В советский период (1946 – 1991 гг.) были проведены реконструкция и восстановление прежних сооружений, а также построены новые осушительные сети. Поэтому большая часть имеющихся исследований водно-физических свойств и водного режима почв региона связаны с практикой мелиорации.



Рис. Почвенно-гидрологический мониторинг в агроландшафтах Калининградской области и применение его результатов

Fig. Soil-hydrological monitoring in agricultural landscapes of the Kaliningrad region and application of its results

Таблица 1. Показатели гидроморфизма в супесчаных буроземах приморской полосы в условиях развития эрозии (неосушенный участок)

Table 1. Indicators of hydromorphism in sandy loam burozems of the foreland in conditions of erosion (undrained area)

| Почвы  | Рельеф                              | Длительность периода (мес.) с пористостью аэрации менее 10% с апреля по ноябрь в годы <sup>1</sup> |                |              | Морфологические индикаторы гидроморфизма         | Вероятность заболачивания |   | Влияние на урожай  |
|--|-------------------------------------|--|----------------|--------------|--|---------------------------|---|--|
|  |                                     | сырой (2012)   | средний (2013) | сухой (2014) |  | поверхностного            | грунтового (верховодка)                         |  |
| Бурозем супесчаный (несмытый)                      | Плоское повышение                   | 3  | 1              | 0            | Пятна гидроокиси Fe                              | Нет                       | Проточная в сырые и средние годы                | Не выявлено достоверного снижения  |
| Бурозем слабосмытый супесчаный контактно-глееватый | Пологий склон 1 <sup>0</sup>        | 3 - 4  | 3              | 1            | Пятна гидроокиси Fe, сизые прожилки              | Нет                       | Проточная в сырые и средние годы                | Увеличение урожая озимой ржи в сухой год на 15 % <sup>3</sup>                    |
| Буроземы сильносмытые песчаные или супесчаные      | Склоны крутизной 5 – 9 <sup>0</sup> | 0  | 0              | 0            | Редкие ржавые пятна <sup>2</sup>                 | Нет                       | Нет <sup>4</sup>                                | Снижение урожая всех культур более чем на 50 %                                   |
| Намытые супесчаные и песчаные                      | Понижения незамкнутые               | 1 – 6 в зависимости от уклона и площади водосбора  | 1 - 6          | 0 - 5        | Сизый и стальной оттенок гумусированного делювия | В сырые сезоны            | Длительность в зависимости от площади водосбора | Поверхностное заболачивание более декады и наносы, снижающие урожай на 40 – 50 % |

Примечания: <sup>1</sup> – на глубине 80 – 100 см; <sup>2</sup> - вероятно оглеение в случае наличия тяжелой подстилающей породы; <sup>3</sup> - при достаточном минеральном питании; <sup>4</sup> - вероятность формирования склоновых вод над поверхностью подстилающей породы в экстремально сырые годы или сезоны; ускоренный размыв почв при переувлажнении.

Таблица 2. Запасы продуктивной влаги и вероятность почвенной засухи в супесчаных буроземах с развитием эрозии\*  
 Table 2. Productive moisture reserves and probability of soil drought in sandy loam burozems with the development of erosion\*

| Почвы  | Рельеф                              | ЗПВ (мм) к середине апреля в годы, различные по осадкам |         |                   |           | Длительность периода (дни) с ЗПВ ниже 60 мм в слое 0 - 100 см (за апрель-октябрь) |                |              | Влияние дефицита влаги на урожай |
|--|-------------------------------------|---|---------|-------------------|-----------|---|----------------|--------------|----------------------------------|
|  |                                     | в слое 0 – 20 см  |         | в слое 0 – 100 см |           | сырой (2012)  | средний (2013) | сухой (2014) |                                  |
|  |                                     | сырые и средние   | сухие   | сырые и средние   | сухие     |   |                |              |                                  |
| Бурозем супесчаный (несмытый)                                  | Плоское повышение                   | 35  | 27      | 196 - 217         | 142       | 0   | 0              | 0            | Не выявлено                      |
| Бурозем слабосмытый супесчаный контактно-глееватый на суглинке | Пологий склон 1 <sup>0</sup>        | 32 - 40   | 30      | 233               | 205       | 0   | 0              | 0            | Не выявлено                      |
| Буроземы сильносмытые песчаные или супесчаные                  | Склоны крутизной 5 – 9 <sup>0</sup> | 19 - 29   | 14 - 18 | 123 - 161         | 100 - 140 | 15 – 30   | 30 – 45        | 45 – 60      | Снижение урожая**                |
| Намытые супесчаные и песчаные                                  | Понижения незамкнутые               | 37 - 61   | 27 - 41 | 160 - 290         | 172 - 213 | 0   | 0              | 0            | Не выявлено                      |

\* - в пахотных почвах под зерновыми культурами; \*\* на 20 – 30 % дополнительно к другим неблагоприятным факторам, если засуха пришлась на фазы: 1) яровых зерновых: входы, кущение – выход в трубку; 2) для озимых культур: выход в трубку – колошение.

Только исследования А. А. Завалишина и Б. В. Надеждина, выполненные в 1949 – 1952 гг., отображают специфику почвообразования в связи с особенностями увлажнения почв в условиях лесных экосистем.

Обзор литературных источников по проблеме показал, что подобного систематического и глубокого изучения водного режима минеральных почв агроландшафтов, сочетающего теоретические и прикладные аспекты, в Калининградской области не проводилось. В настоящее время такие исследования актуальны на фоне тренда к изменению климата и возросших рисков для сельского хозяйства.

С 2012 г. начато изучение водного режима почв на мониторинговых площадках в западной части области в пределах Самбийской холмистой моренной равнины. Методика мониторинга сочетает рекомендации ведущих отечественных почвоведов (А.А. Роде, Ф.Р. Зайдельмана). База данных о послойной динамике влажности в метровой толще используется для построения графиков категорий влажности, расчетов воздухоносной пористости и запасов продуктивной влаги. В результате анализа данных получены количественные характеристики степени современного гидроморфизма почв и выявлена связь последнего с урожайностью сельскохозяйственных культур. Исследования являются основой для разработки региональной классификации водного режима осушенных почв.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка земель Калининградской области / отв. за вып. В. А. Федоров. – Калининград, 1981. – 350 с.
2. Государственный доклад. Об экологической обстановке в Калининградской области в 2011 году / сост. С. К. Побережный, Б. К. Комовников. – Калининград, 2012. – 221 с.
3. Экологическое состояние и плодородие почв Калининградской области: моногр. / В. И. Панасин [и др.]; под ред. Е. С. Роньжиной. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 271 с.
4. Научные основы системы земледелия Калининградской области: сборник / сост. О. А. Борматенков, Е. Н. Валущкий, М. К. Вегеле. – Калининград, 1982. – 253 с.
5. Паспорт ФГБУ 2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://mcx-dm.ru/fgbu/86?report=passport&cur=94011> (дата обращения: 22.07.2018).
6. Церлинг, В. В. Из истории опытного дела на территории Калининградской области / В. В. Церлинг // Агрохимические работы в Калининградской области. – Москва: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 7 – 39.
7. История сельского хозяйства Калининградской области (1945 – 2006 гг.) / отв. ред. А. Л. Гусев, В. Н. Маслов. – Калининград, 2006. – 464 с.
8. История становления мелиорации в Калининградской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://mcx-dm.ru/about/publish/90926> (дата обращения: 23.07.2018).
9. Мелиорация в Калининградской области / отв. ред. Л. Н. Сидонцев. – Калининград: Кн. изд-во, 1965. – 215 с.
10. Краткий информационный отчет по научно-исследовательским работам КОГиМ за 1989 г. / отв. ред. О. В. Диваков. – Калининград, 1990. – 43 с.

11. Рекомендации по осушению тяжелых почв закрытым дренажем в Калининградской области / сост. Н. П. Юрченков. – Калининград, 1987. – 44 с.
12. Рекомендации по глубокому рыхлению, кротованию и использованию фильтрующих материалов на осушаемых тяжелых почвах Калининградской области / сост. Н. П. Юрченков. – Калининград, 1987. – 23 с.
13. Временные рекомендации по экономическому обоснованию выбора первоочередных объектов реконструкции мелиоративных систем Калининградской области / сост. В. С. Корнеевец. – Калининград, 1988. – 31 с.
14. Юрченков, Н. П. Формирование дренажного стока на тяжелых почвах / Н. П. Юрченков // Мелиорация, гидротехника, водоснабжение. – Горки, 1975. – Вып. 3. – С. 226 – 229.
15. Пolderные системы Калининградской области. Рекламный проспект. – Калининград: Запгипроводхоз, 1977. – 29 с.
16. Филатов, В. А. Повышение эффективности действия пolderных систем / В. А. Филатов, В. П. Ковалев // Актуальные задачи охраны природной среды Калининградской области: науч.-практ. конф. (июнь 1986 г.): тез. докл. и сообщений. – Калининград, 1986. – С. 28 – 29.
17. Циприс, И. Б. Применение безуклонного и малоуклонного дренажа при реконструкции пolderных систем Калининградской области / И. Б. Циприс, В. Г. Пунтусов // Актуальные задачи охраны природной среды Калининградской области: науч.-практ. конф. (июнь 1986 г.): тез. докл. и сообщений. – Калининград, 1986. – С. 30 – 31.
18. Докучаев, Н. С. Основы пolderного земледелия / Н.С. Докучаев. – Калининград, 2000. – 238 с.
19. Устройство водно-балансовой станции на пolderных системах осушения. Информационный листок № 23-82 / сост. П. П. Кучерявый. – Калининград, 1982. – 4 с.
20. Грабовский, Н. А. Почвенно-мелиоративная карта Калининградской области и ее использование при мелиоративном районировании почв / Н. А. Грабовский // Известия Всесоюз. геогр. общ-ва. – Т. 110. – Вып. 3, 1978. – С. 253 – 257.
21. Изыскательский материал по совхозу «Приморский», участок «Шиповка» Гурьевского района Калининградской области. Почвенно-мелиоративная карта. М. 1:5000. – Калининград: Запгипроводхоз, 1976.
22. Изучение водно-физических свойств почв совхоза «Борьба» Багратионовского района Калининградской области. – Калининград: Калининградский филиал Севзапгипрозема, 1984. – 49 с.
23. Агроклиматический справочник по Калининградской области. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1961. – 130 с.
24. 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.
25. Докучаев, Н. С. Оксредпотенциал и оксреднапряжение в мелиоративном почвоведении и земледелии / Н. С. Докучаев. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2001. – 170 с.
26. Паракшина, Э. М. Проблема исследования почв Калининградской области по степени и глубине оглеения / Э. М. Паракшина, Ю. П. Паракшин, А. С. Уманский // Успехи сельского хозяйства: междунар. сб. науч. тр., посвящен-

ный 270-летию со дня рождения А. Т. Болотова. – Калининград, 2009. – С. 104 – 108.

27. Показатели по оценке и учету мелиоративного состояния осушенных сельскохозяйственных угодий и технического состояния осушительных систем [2017] [Электронный ресурс]. URL: <http://mcx-dm.ru/fgbu/86?report=osvalues&cur=94011> (дата обращения: 17.05.2018).

28. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 2. Методы изучения водного режима почв / А. А. Роде. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – 287 с.

29. Зайдельман, Ф. Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов / Ф. Р. Зайдельман. – Москва: КДУ, 2009. – 720 с.

30. Анциферова, О. А. Мониторинг пахотных почв в приморском агроландшафте с развитием эрозии: моногр. / О. А. Анциферова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017 – 318 с.

31. Анциферова, О. А. Причины различий гидрологического режима буроземов на автономных позициях рельефа в условиях Самбийской равнины / О. А. Анциферова // Известия КГТУ. – 2016. – № 43. – С. 154 – 166.

## REFERENCES

1. *Otsenka zemel' Kaliningradskoy oblasti*. [Assessment of lands of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 1981, 350 p.

2. *Gosudarstvennyy доклад. Ob ekologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2011 godu* [State report. On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2011]. Kaliningrad, 2012, 221p.

3. Panasin V. I. i dr. *Ekologicheskoye sostoyaniye i plodorodiye pochv Kaliningradskoy oblasti* [Ecological state and soil fertility of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, Publishing house “FGBOU VPO KGTU”, 2014, 271 p.

4. Bormatenkov O. A., Valutskiy Ye. N., Vegele M. K. i dr. *Nauchnyye osnovy sistemy zemledeliya Kaliningradskoy oblasti* [Scientific basis of the agriculture system of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 1982, 253 p.

5. *Pasport FGBU 2017* [Passport FGBU 2017], available at: <http://mcx-dm.ru/fgbu/86?report=passport&cur=94011> (Accessed 7 July 2018).

6. Tserling V. V. *Iz istorii opytnogo dela na territorii Kaliningradskoy oblasti. Agrokhimicheskiye raboty v Kaliningradskoy oblasti* [From the history of experimentation on the territory of the Kaliningrad region. Agrochemical works in the Kaliningrad region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1959, pp. 7-39.

7. *Istoriya sel'skogo khozyaystva Kaliningradskoy oblasti (1945-2006 gg.)* [The history of agriculture in the Kaliningrad region (1945-2006)]. Kaliningrad, 2006, 464 p.

8. *Istoriya stanovleniya melioratsii v Kaliningradskoy oblasti* [The history of the development of land reclamation in the Kaliningrad region], available at: <http://mcx-dm.ru/about/publish/90926> (Accessed 23 July 2018).

9. *Melioratsiya v Kaliningradskoy oblasti*. [Land reclamation in the Kaliningrad region]. Kaliningrad, Kn. izd-vo, 1965, 215 p.

10. *Kratkiy informatsionnyy otchet po nauchno-issledovatel'skim rabotam KOGiM za 1989 g.* [A brief information report on research works of KOGiM for 1989]. Kaliningrad, 1990, 43 p.

11. *Rekomendatsii po osusheniyu tyazhelykh pochv zakrytym drenazhem v Kaliningradskoy oblasti* [Recommendations for the drainage of heavy soil by closed drainage in the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 1987, 44 p.

12. *Rekomendatsii po glubokomu rykhleniyu, krotovaniyu i ispol'zovaniyu fil'truyushchikh materialov na osushayemykh tyazhelykh pochvakh Kaliningradskoy oblasti* [Recommendations for deep loosening, moling and the use of filter materials on drained heavy soils of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 1987, 23 p.

13. *Vremennyye rekomendatsii po ekonomicheskomu obosnovaniyu vybora pervoocherednykh ob'yektov rekonstruktsii meliorativnykh sistem Kaliningradskoy oblasti* [Temporary recommendations on the economic rationale for the selection of priority facilities for the reconstruction of land-improvement systems in the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 31 p.

14. Yurchenkov N. P. Formirovaniye drenazhnogo stoka na tyazhelykh pochvakh. Melioratsiya, gidrotekhnika, vodosnabzheniye [Formation of drainage flow on heavy soils. Land reclamation, hydraulic engineering, water supply]. Gorki, 1975, iss. 3, pp. 226 – 229.

15. *Pol'dernyye sistemy Kaliningradskoy oblasti. Reklamnyy prospekt* [Polder systems of the Kaliningrad region. Flyer]. Kaliningrad, Zapgiprovodkhoz, 1977, 29 p.

16. Filatov V. A., Kovalev V. P. Povysheniye effektivnosti deystviya pol'dernykh sistem [Increasing the effectiveness of the action of polder systems]. *Aktual'nyye zadachi okhrany prirodnoy sredy Kaliningradskoy oblasti. Tez. dokl. i soobshcheniy nauchno-praktich. konf. (iyun' 1986 g.)* [Actual tasks of environmental protection of the Kaliningrad region. Abstr. report and scientific messages conf. (June 1986)]. Kaliningrad, 1986, pp. 28-29.

17. Tsipris I. B., Puntusov V. G. Primeneniye bezuklonnogo i malouklonnogo drenazha pri rekonstruktsii pol'dernykh sistem Kaliningradskoy [Use of non-sloping and low-slope drainage during the reconstruction of the Kaliningrad polder systems]. *Aktual'nyye zadachi okhrany prirodnoy sredy Kaliningradskoy oblasti. Tez. dokl. i soobshcheniy nauchno-praktich. konf. (iyun' 1986 g.)* [Actual tasks of environmental protection of the Kaliningrad region. Abstr. report and scientific messages conf. (June 1986)]. Kaliningrad, 1986, pp. 30-31.

18. Dokuchayev N. S. *Osnovy pol'dernogo zemledeliya* [Basics of polder farming]. Kaliningrad, 2000, 238 p.

19. Ustroystvo vodno-balansovoy stantsii na pol'dernykh sistemakh osusheniya [The device of water-balance station on polder drainage systems]. *Informatsionnyy listok № 23-82* [Factsheet number 23-82]. Kaliningrad, 1982, 4 p.

20. Grabovskiy N. A. Pochvenno-meliorativnaya karta Kaliningradskoy oblasti i yeye ispol'zovaniye pri meliorativnom rayonirovanii pochv [The Soil Reclamation Map of the Kaliningrad Region and its Use in Reclamation Zoning of Soils]. *Izvestiya Vsesoyuz. Geograf. obshch.-va.*, obs., vol. 110, iss. 3, 1978, pp. 253-257.

21. *Izyskatel'skiy material po sovkhozu «Primorskiy» uchastok «Shipovka» Gur'yevskogo rayona Kaliningradskoy oblasti. Pochvenno-meliorativnaya karta. M. 1:5000* [Survey material on the "Primorsky" farm ("Shipovka" section in the Gurievskiy district of the Kaliningrad region). Soil-reclamation map. M. 1:5000]. Kaliningrad, Zapgiprovodkhoz, 1976.

22. *Izucheniye vodno-fizicheskikh svoystv pochv sovkhoha «Bor'ba» Bagrationovskogo rayona Kaliningradskoy oblasti* [The study of water-physical properties of

the soil of the "Borba" farm (Bagrationovsk district of the Kaliningrad region)]. Kaliningrad, Kaliningradskiy filial Sevzapgiprozema, 1984, 49 p.

23. *Agroklimaticheskij spravochnik po Kaliningradskoj oblasti* [Agroclimatic reference book on the Kaliningrad region]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1961, 130 p.

24. Zavalishin A. A., Nadezhdin B. V. *Pochvennyy pokrov Kaliningradskoy oblasti. V kn: Pochvy Kaliningradskoy oblasti* [Soil cover of the Kaliningrad region. In book: Soils of the Kaliningrad region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 196, pp. 5-130.

25. Dokuchayev N. S. *Oksredpotentsial i oksrednapryazheniye v meliorativnom pochvovedenii i zemledelii* [Oxredpotential and environmental stress in ameliorative soil science and agriculture]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2001, 170 p.

26. Parakshina E. M., Parakshin Yu. P., Umanskiy A. S. Problema issledovaniya pochv Kaliningradskoy oblasti po stepeni i glubine oglevaniya [The problem of studying the soils of the Kaliningrad region according to the degree and depth of gleing]. *Uspekhi sel'skogo khozyaystva. Mezhdunarodnyy sbornik nauch. tr., posvyashchenny 270-letiyu so dnya rozhdeniya A. T. Bolotova* [Successes of agriculture. International collection of scientific. Tr., dedicated to the 270th anniversary of the birth of A. T. Bolotov]. Kaliningrad, 2009, pp. 104-108.

27. *Pokazateli po otsenke i uchetu meliorativnogo sostoyaniya osushennykh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy i tekhnicheskogo sostoyaniya osushitel'nykh sistem (2017)* [Indicators for assessing and accounting for the ameliorative state of drained agricultural land and the technical condition of drainage systems (2017)], available at: <http://mcx-dm.ru/fgbu/86?report=osvalues&cur=94011> (Accessed 05 May 2018).

28. Rode A. A. *Osnovy ucheniya o pochvennoy vlage. T. 2. Metody izucheniya vodnogo rezhima pochv* [Basics of the theory of soil moisture. V. 2. Methods for studying the soil water regime]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969, 287 p.

29. Zaydel'man F. R. *Genezis i ekologicheskiye osnovy melioratsii pochv i landshaftov* [Genesis and Ecological Foundations of Land Reclamation of Soils and Landscapes]. Moscow, KDU, 2009, 720 p.

30. Antsiferova O. A. *Monitoring pakhotnykh pochv v primorskom agrolandshafte s razvitiyem erozii. Monografiya* [Monitoring of arable soils in coastal agrolandscape with the development of erosion. Monograph]. Kaliningrad: Izd-vo FGBOU VO "KGTU", 2017, 318 p.

31. Antsiferova O. A. Prichiny razlichij gidrologicheskogo rezhima burozemov na avtonomnyh pozitsiyah rel'efa v usloviyah Sambiyskoy ravniny [The reasons for the differences in the hydrological regime of the burozem in autonomous positions of relief in the Sambian plain]. *Izvestiya KGTU*, 2016, no. 43, pp. 154-166.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*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

УДК 631.4 : 631.41

АНТРОПОГЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАРКА  
ИМ. М. БЕККЕРА (ПГТ. ЯНТАРНЫЙ, КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

О. А. Анциферова, О. Ю. Чиянова

ANTHROPOGENIC EVOLUTION OF SOILS AND VEGETATION OF THE PARK  
NAMED AFTER M. BECKER (YANTARNIY TOWN SETTLEMENT,  
KALININGRAD REGION)

O. A. Antsiferova, O. Yu. Chiyanova

Исследования проведены в 2008 – 2018 гг. в пгт. Янтарном Янтарного городского округа Калининградской области. Изучены почвы и растительность парка им. М. Беккера. В результате исследования установлены этапы антропогенной эволюции. 1. Заселение территории, первичное сведение природных лесов, антропогенное преобразование почв, развитие ветровой эрозии и формирование эоловых отложений (от эпохи бронзы до XI – XII вв.). 2. Основание поселения Пальменикен в XIV в. (первое упоминание в 1389 г.), целенаправленная посадка деревьев из местной флоры и первых интродуцентов; природно-антропогенное почвообразование (предположительно с XIV – до второй половины XIX в.). Сохранившиеся экземпляры деревьев имеют возраст свыше 200 лет: *Fagus sylvatica* L. f. *Rubra*, *Tilia platyphyllos* Scop., *Populus alba* L., *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L. 3. Создание парковой зоны с определенной планировкой, посадка новых интродуцентов; почвообразование на природно-антропогенных отложениях (1881 – 1945 гг.). Деревья этого периода имеют возраст до 150 лет: *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Cercidiphyllum japonicum*, *Liriodendron tulipifera* L., some *Fraxinus excelsior* L., *Populus tremula* L., *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Quercus rubra* L., аллея из *Tilia cordata* Mill. 4. Преимущественное распространение клена остролистного, частичное техногенное воздействие на почвы (1945 – 2007 гг.). Сейчас в парке преобладают деревья возрастом 35 – 65 лет. 5. Современный этап: выборочная застройка территории, техногенное влияние, частичное разрушение почв, усиление рекреационной нагрузки, посадка новых интродуцентов; природно-антропогенное почвообразование под пологом преимущественно лиственного древостоя. Эволюция происходит на фоне отрицательной динамики морского побережья. Парковая зона имеет высокое берегозащитное значение. В настоящее время парк является памятником природы регионального масштаба и отличается богатым видовым составом дендрофлоры. Требуется разработка концепции устойчивого развития парка, основным приоритетом которой станет сохранение биоразнообразия и экологическое просвещение населения.

*антропогенная эволюция, парковая экосистема, природно-антропогенное почвообразование, интродуценты, видовой состав дендрофлоры*

The research was conducted in 2008 - 2018 in Yantarniy town settlement of the Yantarnyy urban district of the Kaliningrad region. The soils and vegetation of the Park named after M. Becker were studied. As a result of the research the following stages of anthropogenic evolution have been defined. 1. Settling of the territory, primary reduction of natural forests, anthropogenic transformation of soils, development of wind erosion and formation of eolian deposits (from the bronze age to 11th – 12th centuries). 2. Planting of Palmniken settlement in the 14th century (first mentioned in 1389), purposeful planting of trees from the local flora and first introduced species; natural-anthropogenic soil formation (presumably starting from 14th century - until the second half of the 19th century). Preserved specimens of trees are over 200 years old: *Fagus sylvatica* L. f. *Rubra*, *Tilia platyphyllos* Scop., *Populus alba* L., *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L. 3. Creation of a park area with a certain plan, planting new introductions; soil formation on natural and anthropogenic sediments (1881 - 1945). Trees of this period are up to 150 years old: *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Cercidiphyllum japonicum*, *Liriodendron tulipifera* L., some specimens of *Fraxinus excelsior* L. *Populus tremula* L., *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Quercus rubra* L., alley made of *Tilia cordata* Mill. 4. Predominant distribution of *Acer platanoides* L., partial anthropogenic impact on the soil (1945 - 2007). Now the park is dominated by trees aged 35 - 65 years. 5. The current stage: partial development of the territory, technogenic influence, partial destruction of the soil, increased recreational load, planting of new introduced species; natural-anthropogenic soil formation under the canopy of predominantly deciduous forest. Evolution occurs against the background of the negative dynamics of the sea coast. The park zone has a high coastal protection value. Currently, the park is a specially protected natural area of a regional scale and is distinguished by the rich species composition of dendroflora. The development of the concept of sustainable development of the park is required, the main priority of which is biodiversity conservation and environmental education of the population.

*anthropogenic evolution, park ecosystem, natural-anthropogenic soil formation, introducents, species composition of dendroflora*

## ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия характеризуются усиленным ростом городских территорий. Причем особую остроту приобретает проблема сокращения зеленых насаждений. Поэтому так активно в настоящее время развиваются исследования растительности и почв городских парков как объектов, имеющих важное экологическое значение, в том числе для здоровья городского населения [1 - 6].

В Калининградской области наиболее изученными являются городские парки г. Калининграда [7 - 9]. Исторические закономерности сопряженной эволюции растительности и почв приморских парковых зон практически не изучены.

Цель исследования: установить этапы антропогенной эволюции растительного и почвенного покрова парка им. М. Беккера (пгт. Янтарный, Калининградская область).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Парк им. М. Беккера расположен в пгт. Янтарном Калининградской области в 50 км от областного центра (рис. 1).

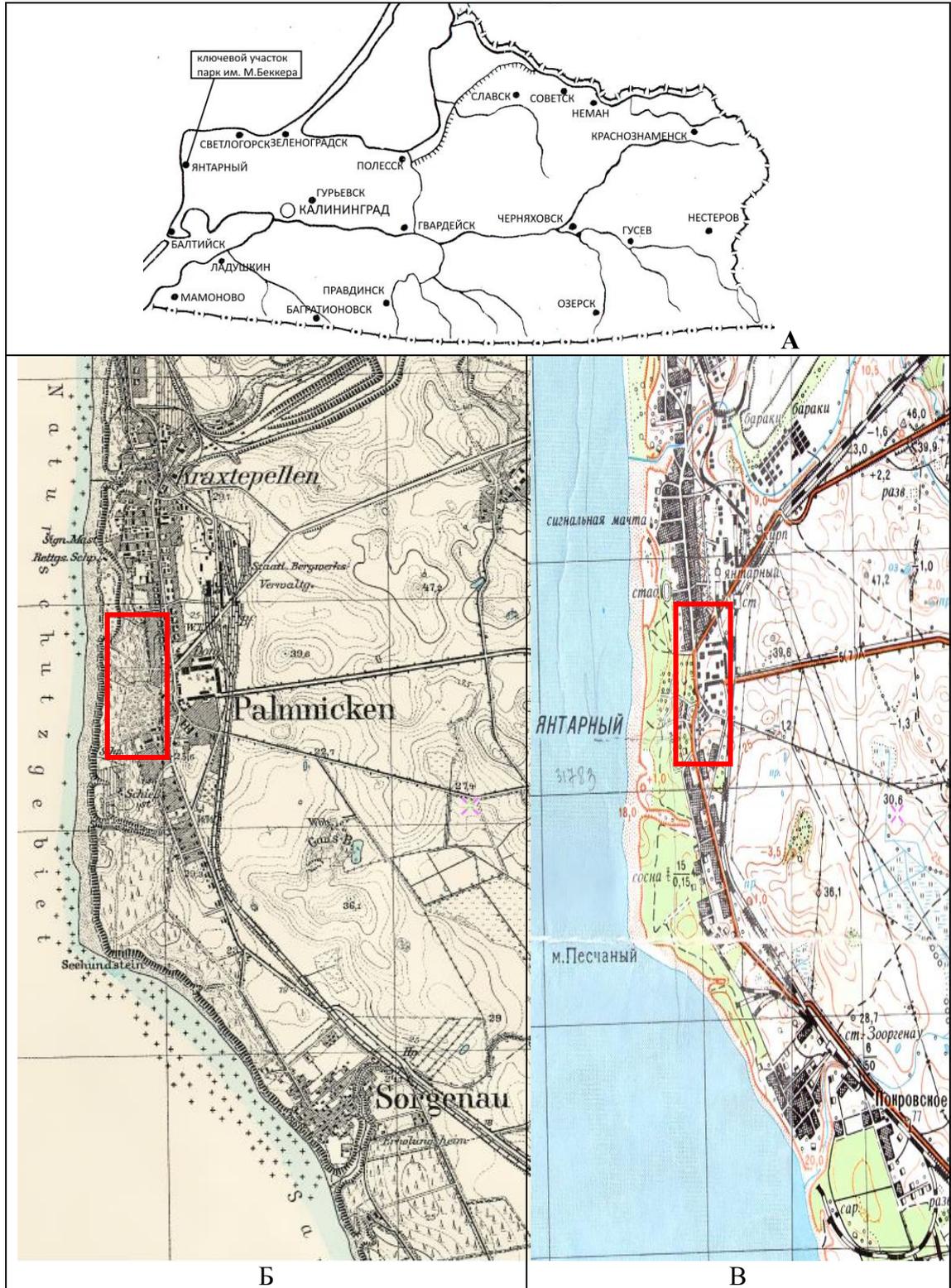


Рис. 1. Расположение объекта исследований: А – на карте Калининградской области; Б – на немецкой карте 1937 г.; В – на советской карте 1955 г.

Fig. 1. Location of the research object: А – on the map of the Kaliningrad region; В – on the German map of 1937; С – on the Soviet map of 1955

В географическом аспекте территория объекта находится на Самбийской возвышенности. Парковая зона вплотную прилегает к абразионному побережью Балтийского моря. Клиф имеет высоту 10-20 м и сложен преимущественно материалом четвертичного возраста с преобладанием водно-ледниковых песков, валунных суглинков и супесей. Под ними залегают неогеновые слоистые пески. Палеогеновые отложения (содержащие янтарь) встречаются в основном глубже 20 м. Склоны абразионного берега имеют крутизну 15-40<sup>0</sup>, по большей части они задернованы травянистой растительностью с порослью деревьев и кустарников.

Проводился анализ архивных материалов и литературных источников [10 - 22]. Строение почв изучено в процессе заложения разрезов глубиной не менее 1,5 м. Современный состав дендрофлоры парка определен в ходе авторского обследования в июне – октябре 2018 г.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определяющим фактором формирования растительности и почв в регионе является климат. Он носит черты переходного от морского к континентальному. В прибрежных районах Самбийской возвышенности климат ближе к морскому. По современным данным, среднегодовая температура по метеостанции г. Калининграда 7,9<sup>0</sup>С, количество осадков 781 мм [10], а коэффициент увлажнения около 1,3.

Послеледниковая эволюция природной растительности изучена Е. Г. Победимовой, а почв – А. А. Завалишиным [11 - 12]. Растительность Калининградской области согласно ботанико-географическому районированию относят к Прибалтийско-Белорусской подпровинции, входящей в состав Североевропейской таежной провинции широколиственно-еловых (подтаежных) лесов. Зональный тип растительности – смешанные хвойно-широколиственные леса. Область является отдельным Калининградским геоботаническим округом, отличительная черта которого – наличие бука и граба. По её территории проходят восточные границы таких западно-европейских видов, как тисс (*Taxus baccata* L.), плющ (*Hedera helix* L.), бук (*Fagus silvatica* L.), граб (*Carpinus betulus* L.). В составе растительности происходит смешение западно-европейских приатлантических и восточно-европейских таежных элементов.

Биоклиматические условия определили формирование почвенного покрова, который несет черты буроземных областей Западной Европы и зоны дерново-подзолистых почв южной тайги России. Калининградская область является отдельным округом в составе Прибалтийской провинции. Согласно почвенному районированию территория исследования относится к Земландскому почвенному району дерново-подзолистых суглинистых оглеенных и иллювиально-гумусово-железистых супесчаных почв [13]. А. А. Завалишиным [12], а затем О. А. Анциферовой было доказано распространение в этом районе буроземов под смешанными и лиственными лесами [14].

Таким образом, на основании имеющихся данных постараемся реконструировать природный почвенный и растительный покров в районе пгт. Янтарного. Литолого-стратиграфическая колонка кайнозойских отложений в окрестностях объекта исследований показывает наличие песчаных пород (голоценовых и плейстоценовых), а также прослоев озерно-ледниковых глин [15]. Неоднородный литологический состав явился фактором дифференциации почвенного покрова. На песчаных породах формировались дерново-поверхностно-подзолистые иллювиально-гумусово-железистые почвы под сосняками. При увеличении количества тонкодисперсной фракции в почвах получает развитие буроземный процесс под

смешанными лесами. Наличие подстилающей породы тяжелого гранулометрического состава приводит к застою влаги, развитию оглеения в почвах, формированию болотно-подзолистых почв, а в глубоких понижениях – болотных.

Самбийский полуостров является наиболее заселенным еще до начала нашей эры местом по сравнению с остальной территорией современной Калининградской области. Причинами тому стали удобное расположение на пути миграции народов и месторождения янтаря [16]. Самые богатые янтарем участки находятся как раз в окрестностях объекта исследований. Поэтому первый выраженный антропогенный этап эволюции почв и растительности начинается, по-видимому, еще в эпоху бронзы. С формированием поселений связано уничтожение природных лесов. Так, в непосредственной близости от современного пос. Янтарного известны археологические памятники: а) Покровское (Зоргенау) - грунтовые могильники эпохи бронзы и фрагменты столбовых жилищ неолита; б) Синявино (Кракстепеллен) - могильники и курганные насыпи III – IV этапов эпохи бронзы [16 - 17]. Это доказывает заселенность территории, смену народов и борьбу за контроль над янтарной торговлей.

При почвенном обследовании в парке выявлены профили с погребенными гумусированными слоями. Приводим описание одного из подобных разрезов. Разрез 451 заложен в 2008 г. на повышении в 20 м от края абразионного берега.

|                       |   |
|-----------------------|---|
| A <sub>0</sub> 0-1 см | Маломощная фрагментарная лесная подстилка   |
| A1<br>1-10(12) см     | Темно-буро-серый со слабо выраженной присыпкой кремнезема, супесчаный, пронизан корнями, рыхлый, бесструктурный, переход ясный, граница волнистая   |
| B1<br>10(12) - 40 см  | Серовато-светло-коричневый, связнопесчаный, пронизан корнями трав и деревьев, корневины, горизонт бесструктурный, влажный, слабоуплотнен, переход ясный   |
| B2<br>40-60 см        | Светло-коричневый, песчаный, бесструктурный, влажный, слабоуплотнен, корни, бурые корневины, переход постепенный  |
| C<br>60-180 см        | Коричневато-желтый, песчаный, бесструктурный, влажный, слабоуплотнен, тонкие рассеянные корни, бурые корневины, горизонт имеет слоистое сложение, на глубине 110 см слабо выражена светло-коричневая прослойка толщиной 1 см, глубже заметны более светлые слои, переход четкий, граница слабоволнистая |
| [A]<br>180-210 см     | Погребенный гумусовый горизонт коричневый (бурый), связнопесчаный, влажный, уплотнен, бесструктурный, мелкие камни, единично встречаются артефакты (осколок керамики и фрагмент кости), редкие корни, переход четкий, граница волнистая   |
| [B]<br>210-235 см     | Иллювиальный горизонт погребенной почвы, темно-желтый с коричневатым оттенком, песчаный, бесструктурный, влажный по границе со свежим, редкие корни, корневины, переход заметный  |
| C<br>235-250 см       | Желтый песчаный, бесструктурный, слабоуплотнен, влажный   |

Почва: бурая лесная поверхностно-слабоподзоленная супесчаная на эоловых песках (и частично насыпных отложениях) с глубоким залеганием погребенной почвы.

Погребенная почва вскрывается на глубине 180 см, по морфологическому строению профиль близок к бурозему. Признаков оподзоливания нет, но нельзя исключать частичное нарушение верхних горизонтов. Отличительной особенно-

стью является наличие артефактов (осколок керамики и фрагмент кости) в гумусовом горизонте. Это указывает на подверженность почвы антропогенному влиянию. Образец погребенного горизонта [А] с глубины 180 - 200 см, отобранный О. А. Анциферовой, был проанализирован в Институте географии РАН д.г.н. А. А. Гольевой. Микробиоморфным анализом установлена бедность материала остатками флоры и почвенной фауны. В составе микробиоморфной фракции находится аморфная органическая масса, небольшое количество кутикулярных слепков мхов и фитоцитов, единично встретилась раковинная амеба. В фитоцитном комплексе велика доля форм, характерных для игл хвойных (сосна, ель), присутствуют луговые злаки. И хотя датировок материала не проводилось, можно сделать следующие выводы. Погребенная почва относится к периоду начала освоения территории человеком, что было связано с вырубкой лесов и формированием селищ на Янтарном берегу. Лес на участке исследований, скорее всего, был сосновым с изреженной травянистой поверхностью и мхами в нижнем ярусе. Почвы предположительно являлись буроземно-подзолистыми супесчаными. Сведение леса повлекло несколько опасных экологических последствий: 1) развитие оврагообразования на абразионных морских берегах, сложенных слабоустойчивыми к размыву породами; 2) ветровую эрозию на песчаных участках, не защищенных лесной растительностью и нарушенных антропогенной деятельностью. Балтийское побережье Самбии – зона интенсивного ветрового режима с частыми штормами [10]. Поэтому урбанизация этих территорий еще в раннем средневековье приводила к песчаным бурям и формированию толщ эоловых отложений. Погребенные культурные слои в почвах описаны нами ранее для Куршской косы [18], где причиной уничтожения лесов и военных конфликтов также была борьба за контроль над янтарными путями.

Почвы хранят историю развития ландшафта. В разрезе 451 исходная почва была перекрыта слоями эоловых наносов толщиной около 1 м. Неудивительно, что когда после периода забвения люди вновь решили обжить это место, то поселение назвали *Palweniken* (1398 г.) и *Palmenicken* (1491 г.) от прусского слова «пустошь». Впоследствии название было переделано на немецкий язык и звучало как *Palmnicken* (Пальмникен). На известных старых немецких картах (авторы Меркатор, 1628 и Gasparo Henneberg, 1649) западное побережье Самбии показано безлесным [19]. Таким образом, эрозия и антропогенный пресс оказались причинами бедности погребенной почвы фитоцитами.

Поселение Пальмникен впервые упоминается в документах в 1389 г., официальной датой основания поселка стал 1654 г. [20]. В XVII в. по приказу курфюрста Георга Вильгельма здесь строится охотничий замок [21], который в начале XVIII в. был расширен по воле короля Пруссии Фридриха I. Часть территории к тому времени покрывалась лесами. Есть основания полагать, что рядом с замком был разбит сад, в котором произрастали каштаны конские, крупнолистные и мелколистные липы, европейские краснолистные буки, остролистные клены и клены яворы, белые (серебристые) тополя, вязы, дубы, грабы и ясени. Соответственно, почвы подверглись вторичному антропогенному воздействию в ходе строительства замка на окраине современного парка и посадкам интродуцентов (в основном лиственных пород).

В 1870 г. Мориц Беккер (промышленник, владелец янтародобывающей фирмы) разрушил старый замок и возвел на его фундаменте особняк, а 21 мая

1881 г. заложил парк на месте старинного усадебного сада. Третий этап антропогенной эволюции ознаменовался новым техногенным воздействием на почвы и обновлением дендрофлоры участка: были посажены привезенные из Америки и Японии редкие интродуценты – ситхинская ель, сосна Веймутова, псевдотсуга Мензиса, багрянник японский и лириодендрон тюльпанный, проложены аллеи (в том числе с посадками липы) [20 - 21].

Территория исследования входит в район Пальмникенского (Приморского) месторождения янтаря. Добыча минерала в XIX в. осуществлялась шахтным способом и с применением проходки штолен, которые закладывались в обрывистом берегу Балтийского моря. В XX в. стали применять карьерные разработки. По-видимому, часть почв в парке была перекрыта материалом вскрышных пород. В настоящее время микрорельеф парка является антропогенным. При общем выраженном уклоне с востока на запад микрорельеф «бугорчатый», особенно у кромки обрывистого берега. Линия обрывов также несет следы антропогенного воздействия. В морфологическом строении почв парка наблюдаются насыпные слои. Часть профилей имеют мощные горизонты «урбик». Исходя из этого, можно сделать вывод о наличии в парке пластов перемещенных грунтов.

Боевые действия в 1945 г. слабо затронули пос. Янтарный. Но, видимо, немалая часть деревьев парка погибла. Активизировались процессы абразии морского побережья, в результате чего сократилась территория. Исчезла полоса хвойных пород (скорее всего, сосны) вдоль кромки обрывистого берега, отмеченная на карте Messtischblatt (около 1937 г.) [22]. Происходит зарастание парка кленом остролистным с участием ясеня, березы, вяза. Большая часть экземпляров этих видов имеют возраст 30 - 65 лет.

Дендрологическая ценность парка признана на областном уровне. Решением облисполкома Калининградской области от 22.05.85 № 112 парк «Янтарный» занесен в перечень «Памятники природы Калининградской области» и относится к категории «Памятники природы», кадастровый № 039. Площадь парка обозначена в 10 га.

В 2007 г. парку присвоено имя основателя Морица Беккера. Современный период характеризуется двумя основными направлениями: 1) сокращением площади парка в связи с изъятием земель под застройку (кафе «Беккер», торговые павильоны и т.п.); в итоге кадастровая площадь уменьшилась до 7,6 га; 2) обновлением видового состава деревьев и кустарников: проведены посадки новых интродуцентов, возраст которых составляет 3 – 10 лет: гинкго двулопастное *Ginkgo biloba* L., лириодендрон тюльпанный *Liriodendron tulipifera* L., клен дланевидный *Acer palmatum* Thunb., клен остролистный (краснолистная форма) *Acer platanoides* L. f. *Rubra*, клен пенсильванский *Acer pensylvanicum* L., плоскоцветочник *Platycadus* sp., сосна горная *Pinus montana* Mill., туя западная сорт "Смарагд" *Thuja occidentalis* L. «Smaragd», ель обыкновенная *Picea abies* Karst., вяз шершавый (форма «плакучая») *Ulmus glabra* f. *Pendula* и др.

В результате авторского обследования в 2018 г. обнаружено 40 видов древесных растений (по видовому названию), которые относятся к 12 семействам, 26 родам (таблица). Доминантом является клен остролистный (*Acer platanoides* L.), который составляет 63 % от общего количества деревьев парка. На долю ясеня приходилось 7,8, а липы – 5,2 %. За последние годы сократилось количество деревьев черешни, осины, ольхи, лжеакации, клена по причинам ветро-

валов после штормов и вырубки «малоценных» пород. Интродуценты составляют 47,5% от общего числа древесных видов в парке. В количественном выражении это всего 69 экземпляров (на 2018 г.). Распределение интродуцентов по отдельным зонам в парке неравномерное. Наибольшим видовым богатством отличается зона 2 (рис. 2, таблица).

Почвенный покров представляет собой специфический антропогенно-преобразованный комплекс. Большинство почв имеют мощные гумусовые горизонты с содержанием гумуса 2-4%. Гранулометрический состав песчаный и супесчаный. Около половины изученных профилей содержат погребенные почвы разной степени сохранности, которые залегают на глубине 100 – 180 см.

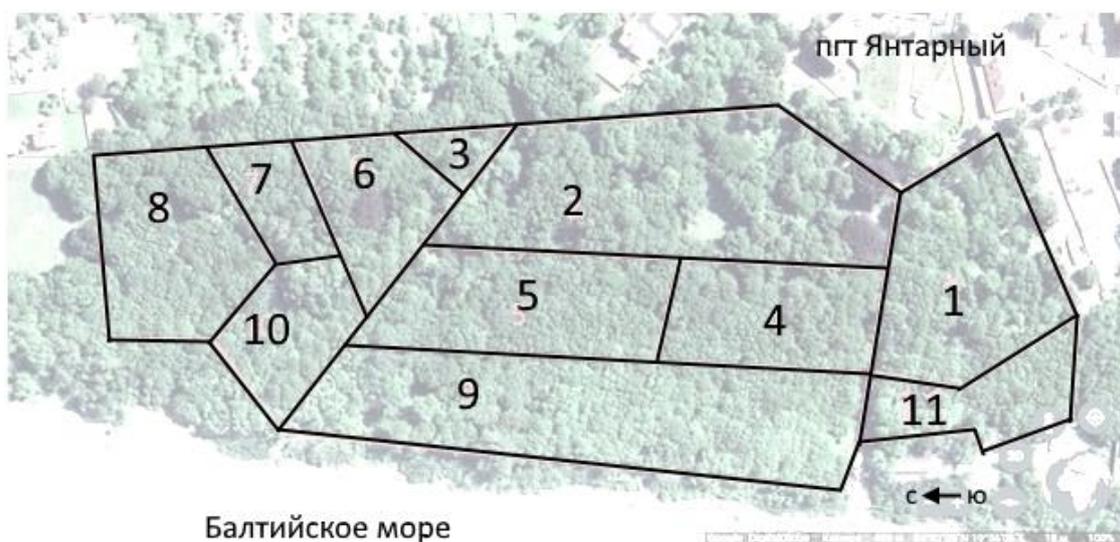


Рис. 2. Схема зон в парке им. М. Беккера  
 Fig. 2. Scheme of zones in the Park named after M.Becker

В современных почвах признаков оподзоливания нет, так как почвообразование не менее ста лет протекает под пологом лиственных насаждений. Густой травянистый ярус способствует развитию дернового процесса. Интенсивный аэральный привнос веществ с моря обогащает почвы солями. Поэтому, в отличие от кислых лесных почв Калининградской области (подзолистых, дерново-подзолистых, буроземов), реакция среды в изученных парковых почвах варьирует от слабокислой до нейтральной (в слое 0 – 20 см), а на участках с неглубоким подстиланием супесей карбонатными суглинками и глинами – в верхних горизонтах нейтральная, а с глубиной переходит в щелочную (7,5 – 8,4).

Таблица. Видовой состав древостоя парка им. Беккера (по данным на 2018 г.)  
 Table. Species composition of the trees in the Park named after M.Becker (as of 2018)

| Название  | Зоны парка |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|   | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1. Багрянник японский <i>Cercidiphyllum japonicum</i>                                     | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 2. Береза пушистая <i>Betula pubescens</i> Ehrh.  | +          | - | - | - | + | - | - | - | + | -  | +  |
| 3. Боярышник однопестичный <i>Crataegus monogina</i> Jacq.                                | -          | - | - | - | - | - | + | + | + | +  | -  |
| 4. Бук европейский (форма краснолистная) <i>Fagus sylvatica</i> L. f. <i>Rubra</i>        | -          | + | + | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 5. Вяз гладкий <i>Ulmus laevis</i> Pall.  | -          | + | + | + | - | + | + | + | - | +  | -  |
| 6. Вяз шершавый <i>Ulmus glabra</i> Hudson  | +          | - | - | - | + | - | - | - | + | -  | +  |
| 7. Вяз шершавый (форма «плакучая») <i>Ulmus glabra</i> f. <i>Pendula</i>                  | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 8. Гинкго двулопастное <i>Ginkgo biloba</i> L.  | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 9. Граб обыкновенный <i>Carpinus betulus</i> L.   | -          | + | - | + | - | - | + | - | + | -  | -  |
| 10. Дуб черешчатый <i>Quercus robur</i> L.  | +          | + | + | + | - | + | - | - | - | -  | -  |
| 11. Дуб красный <i>Quercus rubra</i> L.   | -          | + | - | + | - | - | - | + | - | -  | -  |
| 12. Ель ситхинская <i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière                               | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 13. Ель обыкновенная <i>Picea abies</i> Karst.  | -          | + | - | + | - | - | - | - | + | -  | +  |
| 14. Ива (вид не уточнен) <i>Salix</i> sp.   | +          | - | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 15. Каштан конский обыкновенный <i>Aesculus hippocastanum</i> L.                          | +          | + | - | + | - | - | - | + | + | +  | -  |
| 16. Клен американский <i>Acer negundo</i> L.  | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 17. Клен ложноплатановый (Явор) <i>Acer pseudoplatanus</i> L.                             | -          | - | - | + | + | + | - | + | - | -  | -  |
| 18. Клен пенсильванский <i>Acer pensylvanicum</i> L.                                      | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 19. Клен полевой <i>Acer campestre</i> L.   | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 20. Клен дланевидный <i>Acer palmatum</i> Thunb.  | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 21. Клен остролистный <i>Acer platanoides</i> L.  | +          | + | - | + | + | + | + | + | + | +  | +  |
| 22. Клен остролистный (краснолистная форма)<br><i>Acer platanoides</i> L. f. <i>Rubra</i> | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 23. Лещина древовидная <i>Corylus colurna</i> L.  | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 24. Лжеакация <i>Robinia pseudoacacia</i> L.  | +          | - | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |

Окончание таблицы

| Название  | Зоны парка |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|   | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 25. Липа европейская (форма разрезнолистная) <i>Tilia europea</i> L. f. <i>Laciniata</i>              | -          | - | - | - | - | + | - | - | - | -  | -  |
| 26. Липа широколистная <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.  | +          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 27. Липа мелколистная <i>Tilia cordata</i> Mill.  | +          | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  |
| 28. Лириодендрон тюльпанный <i>Liriodendron tulipifera</i> L.   | -          | + | - | - | - | + | - | - | - | -  | -  |
| 29. Лиственница Кемпфера (японская) <i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carriere                           | -          | - | - | - | + | - | - | - | - | -  | -  |
| 30. Ольха черная <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.  | -          | - | - | - | - | - | - | - | + | -  | -  |
| 31. Орех грецкий <i>Juglans regia</i> L.  | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 32. Осина <i>Populus tremula</i> L.   | +          | - | - | - | - | + | + | - | - | -  | -  |
| 33. Псевдотсуга Мензиса <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco                                   | -          | + | - | + | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 34. Плосковеточник восточный <i>Platycladus orientalis</i> (Туя восточная <i>Thuja orientalis</i> L.) | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 35. Сосна горная <i>Pinus montana</i> Mill.   | -          | + | - | + | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 36. Сосна Веймутова <i>Pinus strobus</i> L.   | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 37. Тополь черный <i>Populus nigra</i> L.   | -          | - | - | + | - | - | + | - | + | -  | +  |
| 38. Тополь белый <i>Populus alba</i> L.   | -          | - | - | - | - | - | - | - | + | -  | -  |
| 39. Туя западная, сорт "Смарагд" <i>Thuja occidentalis</i> L. «Smaragd»                               | -          | + | - | - | - | - | - | - | - | -  | -  |
| 40. Черешня <i>Prunus avium</i> L.  | -          | - | - | - | - | - | + | - | - | -  | +  |
| 41. Яблоня лесная <i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.  | -          | - | - | - | - | - | + | - | - | -  | -  |
| 42. Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i> L.   | +          | + | - | + | + | + | + | + | + | +  | +  |

К деградации почв приводят различные антропогенные нарушения поверхности, рекреационное переуплотнение, захламливание, а также развитие овражной эрозии со стороны обрывистого абразионного берега.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы и растительность парка им. М. Беккера являются результатом длительной антропогенной эволюции. Можно выделить несколько этапов.

1. Заселение территории, первичное сведение природных лесов, антропогенное преобразование почв, развитие ветровой эрозии и формирование эоловых отложений (от эпохи бронзы до XI – XII вв.).

2. Основание поселения Пальмникен в XIV в. (первое упоминание в 1389 г.), частичное самозаращение береговой зоны древесной растительностью, целенаправленная посадка деревьев из местной флоры и первых интродуцентов; природно-антропогенное почвообразование (предположительно с XIV – до второй половины XIX в.). В настоящее время в парке сохранились экземпляры деревьев возрастом свыше 200 лет: буки европейские (форма краснолистная) (более 300 лет); липа широколистная; тополя белые, ясени обыкновенные, клены.

3. Создание парковой зоны с определенной планировкой, посадка новых интродуцентов; почвообразование на природно-антропогенных отложениях (1881 – 1945 гг.). Деревья этого периода имеют возраст до 150 лет: ситхинская ель, сосна Веймутова, псевдотсуга Мензиса, багрянник японский, лириодендрон тюльпанный, некоторые ясени, липовая аллея, тополя, дубы красные, клены яворы.

4. Преимущественное распространение клена остролистного, частичное техногенное воздействие на почвы (1945 – 2007 гг.). Сейчас в парке преобладают деревья этого периода возрастом 35 – 65 лет.

5. Современный этап: выборочная застройка территории, иные виды техногенного влияния (прокладка каменных дорожек, разбивка газонов), разрушение почв, усиление рекреационной нагрузки, посадка новых интродуцентов, частичное регулирование поступления источников гумуса (уборка растительного опада, скашивание травянистого яруса); природно-антропогенное почвообразование под пологом преимущественно листовенного древостоя.

Детальность реконструкции соответствует имеющимся у авторов данным. Эволюция происходит на фоне отрицательной динамики морского побережья [23]. Поэтому парковая зона имеет высокое берегозащитное значение.

В настоящее время парк является памятником природы регионального масштаба и отличается богатым видовым составом дендрофлоры. Требуется разработка концепции устойчивого развития парка, основным приоритетом которой является сохранение биоразнообразия и экологическое просвещение населения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матинян, Н. Н. Почвы садов и парков Фрунзенского района Санкт-Петербурга / Н. Н. Матинян, Е. В. Гостинцева, К. А. Бахматова; под ред. Б. Ф. Апарина. – Санкт-Петербург, 2015. – 78 с.

2. Семенюк, О. В. Характеристика растительного покрова как важнейшая составляющая комплексных почвенно-экологических исследований парковых территорий / О. В. Семенюк, М. А. Ваганова // Бюллетень Московского общества

испытателей природы. Отдел биологический. – Москва: Изд-во Моск. ун-та. – 2016. – № 4. – С. 12-22.

3. Ильяшенко, М. А. Почвы и растительный покров структурно-функциональных компонентов парка музея-усадьбы "Архангельское": автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.13 – Почвоведение / М. А. Ильяшенко. – Москва, 2014. – 25 с.

4. Шергина, О. В. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска / О. В. Шергина, Т. А. Михайлова; отв. ред. Ю. М. Семенов. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2007. – 200 с.

5. Setälä HM, Francini G, Allen JA, Hui N, Jumpponen A and Kotze DJ (2016) Vegetation Type and Age Drive Changes in Soil Properties, Nitrogen, and Carbon Sequestration in Urban Parks under Cold Climate. *Front. Ecol. Evol.* 2016

6. Ibes D. C. Sustainable Urban Park Systems. / D. C Ibes // *Cities and the Environment*, 2014, Vol. 7: Iss. 2, Article 8. Available at: <http://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol7/iss2/8>

7. Салихова, Е. В. Хроники садов и парков (Кенигсберг - Калининград): моногр. / Е. В. Салихова. – Калининград: Изд-во Балтийского ин-та экономики и финансов (БИЭФ), 2008. – 280 с.

8. Анциферова, О. А. К характеристике почв городских парков Калининграда / О. А. Анциферова, Л. С. Мурачева // *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта*, 2009. – Вып. 7. – Сер. Естественные науки. – С. 83-90.

9. Мурачева, Л. С. Мониторинг лесопарковых экосистем на урбанизированных территориях Калининградской области: моногр. / Л. С. Мурачева, О. М. Бедарева, В. К. Хлюстов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 250 с.

10. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В. В. Орленок. – Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. – 276 с.

11. Победимова, Е. Г. Состав, распространение по районам и хозяйственное значение флоры Калининградской области / Е. Г. Победимова // *Труды Ботанического ин-та АН СССР*. – Сер. III (Геоботаника). – Ленинград, 1956. – Вып. 10. – 325 с.

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.

13. Руднева, Е. Н. Почвенная карта Калининградской области / Е. Н. Руднева // *Агроклиматический справочник по Калининградской области*. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1961. – 130 с.

14. Анциферова, О. А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. – Ч. 1. Факторы почвообразования. Почвы подзолистого и буроземного рядов / О. А. Анциферова. – Калининград, 2008. – 397 с.

15. Геологическое строение Приморского месторождения [Электронный ресурс] [http://www.ambercombine.ru/extraction\\_and\\_processing\\_of\\_amber/geology/](http://www.ambercombine.ru/extraction_and_processing_of_amber/geology/) (Дата обращения 25.12.2018).

16. Кулаков, В. И. Древности Янтарного края / В. И. Кулаков // Наследие народов Российской Федерации. – Вып. 6. – Т. IV. Памятники археологии. Калининградская область. Памятники довоенного времени / отв. ред. А. М. Трунов. – Москва, 2005. – С. 7 – 10.
17. Кулаков, В. И. История Пруссии до 1283 года / В. И. Кулаков. – Москва: Индрик, 2003. – 402 с.
18. Анциферова, О. А. Почвы национального парка «Куршская коса» / О. А. Анциферова // Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации / гл. ред. Г. В. Добровольский. – Москва: Фонд «Инфосфера» - НИА-Природа, 2012. – С. 70 – 73.
19. Карта Пруссии авторства Меркатора, 1628 [Электронный ресурс]. [http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad\\_1628](http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad_1628) (дата обращения 5.01.2019)
20. Антонова, Н. Парк им. М. Беккера в пос. Янтарный / Н. Антонова / [Электронный ресурс]. [http://imperative.eu/context/park\\_imeni\\_morica\\_bekkera\\_v\\_poselke\\_yantarnyj/](http://imperative.eu/context/park_imeni_morica_bekkera_v_poselke_yantarnyj/) (дата обращения 15.11.2018)
21. Парк им. М. Беккера. Историческая справка [Электронный ресурс]. <http://bekkerpark.nubex.ru/services/4978/> (дата обращения 15.11.2018)
22. Карта Восточной Пруссии Messtischblatt, 1937. М 1:25000 [Электронный ресурс]. [http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad\\_messtischblatt\\_kenig](http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad_messtischblatt_kenig) (дата обращения 5.01.2019)
23. Бурнашов, Е. М. Современная динамика морского побережья Калининградской области по данным ежегодных мониторинговых исследований / Е. М. Бурнашов // Вопросы современной науки и практики. – 2011. – № 2 (33). – С. 10–17.

#### REFERENCES

1. Matinyan N. N., Gostintseva E. V., Bakhmatova K. A. *Pochvy sadov i parkov Frunzenskogo rayona S.-Peterburga* [Soils of gardens and parks of the Frunze district of St. Petersburg]. Pod red. B. F. Aparina. Saint-Petersburg, 2015, 78 p.
2. Semenyuk O. V., Vaganova M. A. Kharakteristika rastitel'nogo pokrova kak vazhneyshaya sostavlyayushchaya kompleksnykh pochvenno-ekologicheskikh issledovaniy parkovykh territoriy [Characteristics of vegetation cover as the most important component of complex soil-ecological studies of park areas]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy.* Moscow, Publishing House Mosk. University, 2016, no. 4, pp. 12-22.
3. Ilyashenko M. A. *Pochvy i rastitel'nyy pokrov strukturno-funktsional'nykh komponentov parka muzeya-usad'by "Arkhangel'skoye". Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [Soils and vegetation cover of structural and functional components of the park of the historic house museum "Arkhangelskoe". Abstract of PhD. dis]. Moscow, 2014, 25 p.
4. Shergina O. V., Mikhailova T. A. *Sostoyaniye drevesnykh rasteniy i pochvennogo pokrova parkovykh i lesoparkovykh zon g. Irkutska* [State of woody plants and soil cover of parks in the city of Irkutsk]. Otv. red. YU. M. Semenov. Irkutsk Publishing House of the Institute of Geography SB RAS, 2007, 200 p.
5. Setälä H.M, Francini G, Allen J.A, Hui N, Jumpponen A and Kotze D.J. Vegetation Type and Age Drive Changes in Soil Properties, Nitrogen, and Carbon Sequestration in Urban Parks under Cold Climate. *Front. Ecol. Evol*, 2016.

6. Ibes D. C. Sustainable Urban Park Systems. Cities and the Environment, 2014, Vol. 7, Iss. 2, Article 8. Available at: <http://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol7/iss2/8> (Accessed 23 November 2018).
7. Salikhova E. V. *Khroniki sadov i parkov (Kenigsberg – Kaliningrad)* [Chronicles of gardens and parks (Koenigsberg – Kaliningrad)]. Kaliningrad Publishing house of the Baltic Institute of Economics and Finance (BIEF), 2008, 280 p.
8. Antsiferova O. A., Muracheva L. S. *K kharakteristike pochv gorodskikh parkov Kaliningrada* [On the characteristics of soils of the urban parks in Kaliningrad]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*. 2009, iss. 7, series of Natural Sciences, pp. 83-90.
9. Muracheva L. S. Bedareva O. M, Khlyustov V. K. *Monitoring lesoparkovykh ekosistem na urbanizirovannykh territoriyakh Kaliningradskoy oblasti* [Monitoring of forest-park ecosystems in the urbanized territories of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO “KGTU”, 2013, 250 p.
10. *Geograficheskiy atlas Kaliningradskoy oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad region]. Gl. red. V. V. Orlenok. Kaliningrad. Publishing house of KSU. CNIT, 2002, 276 p.
11. Pobedimova E. G. *Sostav, rasprostraneniye po rayonam i khozyaystvennoye znachenie flory Kaliningradskoy oblasti* [Composition, distribution by regions and economic value of the flora of the Kaliningrad region]. *Trudy Botanicheskogo in-ta AN SSSR, seriya III (geobotanika)*. Leningrad, 1956. Vol. 10, 325 p.
12. Zavalishin A. A, Nadezhdin B. V. *Pochvennyy pokrov Kaliningradskoy oblasti. Pochvy Kaliningradskoy oblasti* [Soil cover of the Kaliningrad region. Soils of the Kaliningrad region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1961, pp. 5 - 130.
13. *Pochvennaya karta Kaliningradskoy oblasti. Avtor Ye. N. Rudneva. Agro-klimaticheskiy spravochnik po Kaliningradskoy oblasti* [Soil map of the Kaliningrad region. Author E.N. Rudneva. Agroclimatic guide to the Kaliningrad region]. Leningrad, Hydrometeorological Publishing House, 1961, 130 p.
14. Antsiferova O. A. *Pochvy Zamlandskogo poluostrova i ikh antropogennoe izmenenie. Chast' 1. Faktory pochvoobrazovaniya. Pochvy podzolistogo i burozemnogo ryadov* [Soils of the Samland Peninsula and their anthropogenic change. Part 1. Factors of soil formation. Soils of podzolic and brown earth series]. Kaliningrad, 2008, 397 p.
15. *Geologicheskoye stroyeniye Primorskogo mestorozhdeniya* [Geological structure of the Primorsky Deposit]. Available at: [http://www.ambercombine.ru/extraction\\_and\\_processing\\_of\\_amber/geology/](http://www.ambercombine.ru/extraction_and_processing_of_amber/geology/) (Accessed 25 December 2018).
16. *Pamyatniki arkheologii. Kaliningradskaya oblast'. Pamyatniki dovoynnogo vremeni. Naslediye narodov Rossiyskoy Federatsii* [Monuments of archeology. Kaliningrad region. Monuments before the war. The heritage of the peoples of the Russian Federation]. Moscow, 2005, iss. 6, vol. 4, pp. 7-10.
17. Kulakov V. I. *Istoriya Prussii do 1283 goda* [The history of Prussia until 1283]. Moscow, Indrik, 2003, 402 p.
18. Antsiferova O. A. *Pochvy natsional'nogo parka “Kurshskaya kosa”. Pochvy zapovednikov i natsional'nykh parkov Rossiyskoy Federatsii. Gl. red. G. V. Dobrovolskiy* [Soils of the Curonian Spit. Soils of reserves and national parks of the Russian Federation]. Moscow, Fund "InfoSphere" NIA-Nature, 2012, pp. 70-73.

19. *Karta Prussii avtorstva Merkatora, 1628* [Map of Prussia by Mercator, 1628]. Available at: [http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad\\_1628](http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad_1628) (Accessed 5 January 2019).

20. *Park im. M. Bekkera v pos. Yantarnyy* [Park named after M. Becker in Yantarniy] Available at: [http://imperative.eu/context/park\\_imeni\\_morica\\_bekker\\_v\\_poselke\\_yantarnyj](http://imperative.eu/context/park_imeni_morica_bekker_v_poselke_yantarnyj) (Accessed 15 November 2018).

21. *Park im. M. Bekkera. Istoricheskaya spravka* [Park named after M. Becker. Historical information]. Available at: <http://bekkerpark.nubex.ru/services/4978/> (Accessed 15 November 2018).

22. *Karta Vostochnoy Prussii Messtischblatt, 1937.* [Map Of East Prussia Messtischblatt, 1937]. Available at: [http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad\\_messtischblatt\\_kenig](http://www.etomesto.ru/map-kaliningrad_messtischblatt_kenig) (accessed 5 January 2019).

23. Burnashov E. M. *Sovremennaya dinamika morskogo poberezh'ya Kaliningradskoy oblasti po dannym yezhegodnykh monitoringovykh issledovaniy* [Modern dynamics of the sea coast of the Kaliningrad region according to the annual monitoring studies]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki*. Un-t im. V. I. Vernadskogo, 2011, no. 2 (33), pp. 10-17.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Анциферова Ольга Алексеевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
E-mail: [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)

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

*Чиянова Ольга Юрьевна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры агропочвоведения и агроэкологии

*Chiyanova Olga Yurievna* – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student at the Department of Agrology and Agroecology

УДК: 595.384.2.43

О СОСТАВЕ ПИЩИ КРАБА *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (DECAPODA, BRACHYURA, LEUCOSIIDAE) ИЗ ЗАЛИВА НЯЧАНГ (ЮЖНЫЙ ВЬЕТНАМ)

Р. Н. Буруковский

ON THE FOOD COMPOSITION OF CRAB *LYPHIRA PERPLEXA* GALIL, 2009 (DECAPODA, BRACHYURA, LEUCOSIIDAE) FROM THE NHA TRANG BAY (SOUTH VIETNAM)

R. N. Burukovskiy

Впервые описан состав пищи краба *Lyphira perplexa* Galil, 2009. Это типичный индо-восточно-тихоокеанский вид, обитающий в Персидском и Оманском заливах, водах Пакистана, Индии, а также Южного Вьетнама, где в заливе Нячанг были собраны наши материалы. Вид обитает на песчаных и илистых грунтах сублиторали на глубинах от 7 до 85 м. Материал был приобретен на рыбном рынке г. Нячанг (Вьетнам) в феврале 2007 г. Исследовано содержимое 214 желудков, в 59 из них была пища, и лишь у пяти особей они были полными. Крабы имели общую длину тела 26,7-40,9 мм при ширине карапакса 15,2-25 мм. Среди них преобладали особи с шириной карапакса 18 мм. Время сбора материалов (февраль) приходится на период активного нереста. Во всех желудках, имевших балл наполнения 1 («следы пищи»), обнаружена «детритоподобная масса», представляющая собой гомогенную и относительно вязкую субстанцию, в падающем свете имеющую серовато-коричневый цвет. Она была встречена в 35 желудках (частота встречаемости (ЧВ) 59,3%) и располагалась вентрально вблизи кардиопилорического клапана. Надо полагать, это полупереваренные остатки от предыдущего акта питания, не успевшие поступить в пилорический отдел желудка. Среди пищевых объектов доминируют рыба, ракообразные, прежде всего десятиногие раки, и брюхоногие моллюски. Им сопутствует детрит, захваченный, вероятно, в результате «неаккуратного питания». Можно заключить, что *L. perplexa* – хищник-бентофаг, который стоит ближе к хищникам-собираателям или даже нападающим хищникам, питающийся наиболее обычными представителями донных или придонных гидробионтов (мальками рыб, молодь моллюсков и десятиногих раков).

*Lyphira perplexa*, залив Нячанг, состав пищи, «детритоподобная масса»

Food composition of the crab *Lyphira perplexa* Galil, 2009 has been described for the first time. It is a typical Indo-West Pacific species that inhabits the Persian and the Oman Gulfs, and the coastal waters of Pakistan, India and South Vietnam at the sublittoral at depths from 7 to 85 m on sandy and muddy bottom. The material for studying was fished in the Nha Trang Bay (South Vietnam) and then crabs were purchased at the fish market in the Nha Trang in February 2007. The stomach content of 214 crabs has been studied, food was found in 59 stomachs, and only 5 stomachs were full. The crabs

had a total body length of 26.7-40.9 mm with a carapace width of 15.2-25 mm. Crabs with a carapace width of 18 mm dominated. February is the period of active spawning. A "detritus-like mass" was found in all the stomachs that had a filling degree 1 ("traces of food"); it was a homogeneous and relatively viscous substance with a grayish-brown color in the incident light. This type of food was found in 35 stomachs (frequency of occurrence 59.3%) and was located in the cardiac part of the stomach near the cardiopyloric valve. Those semi-digested remnants probably remained from a previous act of feeding that had not yet reached the pyloric part of the stomach. Fish, crustaceans, primarily decapods, and gastropods dominated among the proper food organisms. They were accompanied by detritus that accidentally got into the stomach as a result of "careless feeding". We suggest that *L. perplexa* is a predator - benthic feeder, which is closer to predators-gatherers, or even attacking predators that feed on the most common representatives of benthic or near bottom hydrobionts (fish larvae, juveniles of mollusks and decapods).

*crab, Lyphira perplexa, Nha Trang Bay, food composition, «detritus-like mass»*

## ВВЕДЕНИЕ

Вид *Lyphira perplexa* Galil, 2009 был описан в рамках мировой ревизии семейства Leucosiidae. В процессе переисследования рода *Phylira* Leach, 1817 [1] из него выделено семь новых родов, в том числе вид *P. heterograna* Ortmann, 1892 преобразован в род *Lyphira* с тремя новыми видами. Благодаря этому информация обо всех видах рода, включая и объект нашего исследования, оказалась ограниченной только материалами коллекций, которые были исследованы автором ревизии. А это лишь данные о морфологии и местах находок. Можно констатировать, что изучение биологии вида начато с «белого листа» [2, 3]. С другой стороны, вид не относится к числу редких, так как в заливе Нячанг (Вьетнам), где были собраны материалы для работы, он служит объектом постоянного кустарного промысла.

Наши исследования выполнены в рамках международного проекта Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова (г. Москва) и Российско-Вьетнамского научно-технического тропического центра (г. Нячанг, Вьетнам) «Анализ видовой и функциональной структуры ассоциаций мангровых крабов (*Brachyura*) некоторых заливов Южно-Китайского моря».

Цель данной работы – описание состава пищи *L. perplexa* из залива Нячанг (Вьетнам).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал был приобретен научным сотрудником Института проблем эволюции и экологии РАН И.Н. Мариным на рыбном рынке в устье р. Бе вблизи г. Нячанг (Вьетнам) в феврале 2007 г. Объем материала – 214 желудков, в 59 из них была пища, и лишь у пяти особей они были полными. Такой объем материала соответствует критерию достаточности (минимальному количеству желудков, гарантирующему, что в них будет встречено не менее 80% пищевых объектов указанного вида). По данным Картес и Сарда [4], минимальное число желудков с пищей для достижения этого уровня – 30. Степень их наполнения авторы не обсуждают.

Крабы зафиксированы 70%-ным этанолом.

Для изучения состава пищи использована методика Буруковского [5–7]. После вскрытия желудка сначала определялась степень его наполнения по 4-балльной шкале:

0 – желудок пустой;

1 – пища занимает менее половины объема желудка;

2 – пища занимает примерно половину (от одной до двух третей) объема желудка;

3 – желудок полный.

Затем пищевой комок помещали в каплю воды в чашке Петри. Идентификация таксономической принадлежности жертв по их остаткам, как правило, проводилась с точностью до класса или отряда (например, Gastropoda или Bivalvia, Mysidacea, Polychaeta или Amphipoda). Установление таксономической принадлежности жертвы до вида далеко не всегда возможно, но это и не было самоцелью. Важнее установление принадлежности жертвы к определенной жизненной форме – пелагической, донной, сидячей, зарывающейся и т.д.

Компоненты пищевого комка, поддающиеся подсчету и измерению, пересчитывались и измерялись с точностью до 0,01 мм с помощью линейки окуляра-микрометра бинокулярной лупы МБС-10. Поскольку крабы сильно измельчают свою добычу, определить размеры жертвы целиком удается редко, поэтому обычно измеряли те части её тела, прежде всего скелетные элементы, которые поддаются этому.

Состав содержимого идентифицировали во всех желудках с пищей независимо от степени их наполнения. Кроме того, в полных желудках объем компонентов пищевого комка определяли визуально с точностью до 10% от объема всего пищевого комка. Это позволяет избежать воздействия на результат оценки разной степени перевариваемости пищевых остатков в желудках, опорожненных в той или иной степени. Весовой метод определения соотношения пищевых объектов в полных желудках для такого мелкого вида, как *L. perplexa*, оказался неприменим. Масса тела у самых крупных особей этого вида не достигает 6 г [3]. Кроме того, все десятиногие раки сильно измельчают пищу околоротовыми придатками, в результате чего сортировка фрагментов отдельных пищевых объектов для взвешивания невыполнима.

Пищевые и несъедобные компоненты, составляющие менее 10 % от объема пищевого комка, просто перечисляли. Затем определяли частоту встречаемости (процент встреч данного компонента пищи от общего числа исследованных желудков с пищей) и рассчитывали коэффициент Фроермана (среднее количество пищевых объектов в желудке без учета песка и других несъедобных компонентов пищевого комка) [5]. Для этого суммируют все частоты встречаемости пищевых объектов и делят полученную сумму на 100.

По данным, полученным при анализе полных желудков, рассчитывали реконструированный усредненный (виртуальный) пищевой комок (т. е. среднюю долю каждого компонента пищевого комка в его объеме, выраженную в процентах) [5]. Под названием «компоненты пищевого комка» подразумеваются и живые, и неживые остатки, встреченные в желудках, в отличие от «пищевых объектов», т. е. тех компонентов, которые используются крабом непосредственно в качестве пищи.

Исследование содержимого желудков состоит из трех этапов. (1) Описание самих остатков, что позволяет оценить характеристики биотопа, где происходило питание, способ потребления пищи и ее состояние. (2) Определение частоты встречаемости пищевых объектов во всех желудках с пищей независимо от количества последней в них. (3) Расчет объемных соотношений пищевых компонентов в полных желудках и реконструкция среднего (виртуального) пищевого комка, реальная оценка роли каждого пищевого объекта в питании краба.

Эти характеристики дополняют друг друга. По отдельности они дают одностороннее представление о питании изучаемого объекта. Так, частота встречаемости фораминифер может достигать 60-70 %, но их доля в объеме виртуального пищевого комка обычно не превышает 0,1-0,2 %. Появляется некий поведенческий аспект отношения между крабом и объектами его питания, в данном случае фораминиферами. При анализе онтогенетических изменений ЧВ и соотношения компонентов виртуального пищевого комка, например, частота встречаемости жертвы с изменением размеров крабов может уменьшиться, а доля жертвы в виртуальном пищевом комке увеличиться. Следовательно, краб питается данной жертвой реже, но в больших количествах. Все термины приводятся по [5–7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследованные нами крабы имели общую длину тела 26,7-40,9 мм при ширине карапакса 15,2-25 мм. Среди них преобладали особи с шириной карапакса 18 мм. Время сбора материалов (февраль) приходится на период активного нереста [2,3]. Две трети исследованных нами крабов (74,9 %) были с пустыми желудками. Среди прочих преобладали особи со следами пищи в желудках (14,9 %). Примерно в два раза меньшее число крабов имели желудки, наполненные съеденным наполовину их объема (7,9 %), и лишь у пяти особей желудки были полными (2,3 %) (рисунок).

Компоненты пищевого комка *L. perplexa* мы подразделили на следующие группы: песчинки, «грунт», детрит, детритоподобная масса, остатки растительного происхождения, неопределимые остатки животного происхождения и, наконец, остатки животных, чей таксономический статус можно определить хотя бы до класса или отряда.

Песчинки были встречены всего четыре раза только в составе детрита и лишь единичными экземплярами (их частота встречаемости (ЧВ) 7,4 %). Размеры песчинок 0,05-0,07 мм, у одной песчинки – 0,7 мм.

Под «грунтом» мы понимаем минеральную составляющую пищевого комка наименьших размеров (песчинки не относим к «грунту»). Ранее «чистый грунт» встречался в желудках исследованных нами десятиногих раков редко (преимущественно у креветок: [5]). Он хорошо отличим от детрита, и его удельный вес ( $\rho$ ), вероятно, больше. Это выявляется, потому что «грунт» быстро оседает на дно сосуда, тогда как детрит взвешен в воде над дном и имеет все же хлопьевидную консистенцию. Фактически «грунт» встречается чуть ли не в каждом желудке у бентофагов, но в ничтожных количествах. Из-за этого мы обычно оставляли его за рамками, не учитывая вместе с другими пищевыми компонентами. У *L. perplexa* «грунт» имеет темно-темно-серый цвет и включения карбонатного состава. Он был встречен в трех желудках (ЧВ 6,8 %). Возможно, это результат «неаккуратно-го питания».

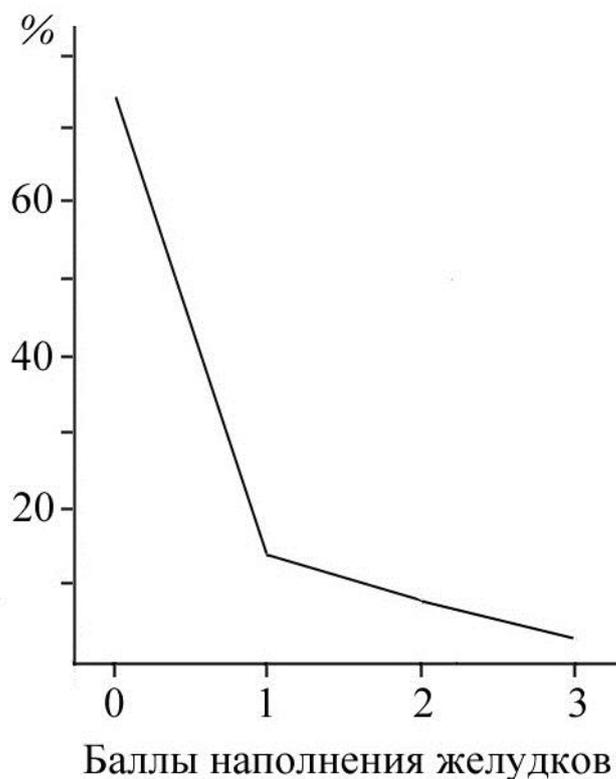


Рис. Интенсивность питания *L. perplexa*  
 Fig. Feeding rate of *L. perplexa*

*Общая характеристика пищевых объектов*

Детрит был встречен в восьми полупустых желудках (ЧВ 13,6 %). Он имел почти черную окраску и рыхлую консистенцию. В нем всегда содержались скелетные остатки пищевых объектов (см. ниже).

Кроме «грунта» и детрита, во всех желудках, имевших балл наполнения 1 («следы пищи»), был обнаружен лишь компонент пищевого комка, названный нами детритоподобной массой. Она представляла собой гомогенную и относительно вязкую субстанцию, в падающем свете имеющую серовато-коричневый цвет. Как правило, кроме нее в желудке не было других компонентов пищевого комка. Она располагалась вентрально в задней части кардиального отдела желудка, вблизи кардио-пилорического клапана. Мы предполагаем, что это полупереваренные остатки от пищевых объектов предыдущего акта питания, не успевшие поступить в пилорический отдел желудка. Такая масса была встречена в 35 желудках (ЧВ 59,3 %).

Остатки растительного происхождения были встречены трижды. Один раз – в виде очень мелкого обрывка клетчатки, принадлежавшего какому-то представителю высших растений (ЧВ 1,7 %). Еще дважды (ЧВ 3,4 %) попадались клубки нитей, напоминающие мертвые ризомы водоросли анфельции [8].

Неидентифицированные остатки животного происхождения можно разделить на две группы. К первой относятся бесформенные обрывки хитина. Среди них имеются очень тонкие пленки и относительно толстые бесформенные куски,

принадлежавшие, видимо, каким-то ракообразным, на что указывает совпадение частоты встречаемости их и остатков ракообразных, поддающихся идентификации хотя бы до отряда (ЧВ 18,6 и см. ниже).

Ко второй группе относятся объекты, при взгляде сверху создающие впечатление, что они примерно веретеновидной формы, и напоминающие динофлагеллят. В их наиболее расширенном месте даже имеется поперечный желобок. Однако в поперечном сечении одна сторона их выпуклая, а другая – слегка вогнутая. Кроме того, они значительно крупнее. Длина их варьирует от 0,23 до 1,6 мм, чаще всего 0,8 мм и больше. Обычно они попадались поодиночке, но в отдельных желудках их число достигало 6 экз.

Среди пищевых объектов выделяются рыба, ракообразные, прежде всего десятиногие раки, и моллюски. Первая в желудках представлена сильно измельченными костями. Лишь по одному разу попались позвонок длиной 0,5 мм и хрусталик глаза диаметром 1,3 мм. Один из желудков был целиком заполнен кашицей из мягких тканей, размельченных костей, среди которых попались несколько циклоидных чешуек длиной 1,5 мм. Вероятно, был съеден малек.

Десятиногие раки были представлены обрывками конечностей и головогруды. Среди них выделялись пенеидные креветки, хорошо идентифицируемые по жабрам дендробранхиям. Попадались и трихобранхии, которые встречаются у самых разных групп декапод, в том числе у мелких лангустов (*Scyllaridae*), раковотшельников и др. Были обнаружены и плеоподы крабов. Размеры жертв не поддавались измерению. По состоянию остатков определить, съедены ли эти жертвы живыми или нет, невозможно.

Из других ракообразных по одному разу были найдены торакопода амфиподы и целая остракода длиной 1 мм.

Из прочих членистоногих в одном из желудков был найден фрагмент передней части тела насекомого. Судя по этому фрагменту, длина целой жертвы должна была составлять 5-6 мм. Видимо, была съедена мертвая особь, попавшая в воду.

Моллюски в желудках *L. perplexa* были представлены брюхоногими, относящимися к одному виду, судя по осколкам раковин. В тех случаях когда возможно было приблизительно реконструировать форму и размер по обломкам, это были раковины очень тонкостенных моллюсков примерно сферической формы величиной около 1,5 мм. Дважды желудки были заполнены фрагментами мягких тканей моллюска. Сопоставление формы обломков, их тонкостенности и формы фрагментов мягких тканей позволяет нам предположить, что жертвами краба была молодь моллюска *Hydatina physis* (L. 1758).

Кроме того, были встречены мельчайшие осколки перламутра, заключенные в детрите. К какой группе моллюсков они принадлежали, выяснить было невозможно.

Наконец, в желудках попадались отдельные яйца сферической формы, фрагменты кладок, а также скорлупа яиц. Возможно, это были яйца каких-то мелких гастропод.

Тоже заключенные в детрит, были найдены типичные скелетные элементы рук офиур и очень мелкие фораминиферы (0,07-0,2 мм). Они встречались поодиночке.

*Частота встречаемости и доля пищевых объектов в виртуальном пищевом коме (таблица)*

По частоте встречаемости в желудках *L. perplexa* полностью доминирует детритоподобная масса (59,3 %), что почти совпадает с долей желудков с баллом наполнения 1. Собственно, в этих желудках, как правило, кроме такой массы ничего не было. Среди пищевых объектов примерно с одинаковой частотой встречаются рыба (ЧВ 20,3 %), десятиногие раки (ЧВ 18,6 %) и моллюски (ЧВ 18,6 %). Им сопутствует детрит (ЧВ 13,6 %), наличие которого, скорее всего, является результатом «неаккуратного питания». Прочие объекты питания, вероятно, можно отнести к спорадическим и случайным жертвам.

Таблица. Состав пищи краба *Lyphira perplexa* Gallil, 2009 из залива Нячанг (Вьетнам)

Table. Food composition of crab *Lyphira perplexa* Galil, 2009 from the Nha Trang Bay (South Vietnam)

| Пищевые объекты        | Частота встречаемости, % | Виртуальный пищевой комок, % |
|------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Рыба                   | 20,3                     | 32,0                         |
| Десятиногие раки       | 18,7                     | 20,0                         |
| В том числе креветки   | 3,4                      | –                            |
| Моллюски               | 18,7                     | 40,0                         |
| Детрит                 | 13,6                     | –                            |
| Яйца и их скорлупа     | 8,5                      | 8,0                          |
| Офиура                 | 8,5                      | –                            |
| Фораминиферы           | 6,8                      | –                            |
| Амфипода               | 3,4                      | –                            |
| Насекомое              | 1,7                      | –                            |
| Остракода              | 1,7                      | –                            |
| Высшее растение        | 1,7                      | –                            |
| Фрагменты ризома       | 3,4                      | –                            |
| Детритоподобная масса  | 59,3                     | –                            |
| Неопределенные остатки | 18,6                     | –                            |
| Песчинки               | 6,8                      | –                            |
| Субстрат               | 6,8                      | –                            |
| Коэффициент Фроермана  | 1,10                     | –                            |
| Число желудков         | 59                       | 5                            |

Виртуальный пищевой комок сформирован тремя наиболее часто встречающимися пищевыми объектами: моллюсками (40 %), рыбой (32 %) и десятиногими раками (20 %). Роль моллюсков в питании становится еще более очевидной, если яйца, встреченные в желудках *L. perplexa*, действительно принадлежат моллюскам.

Можно заключить, что *L. perplexa* – бентофаг, в феврале 2007 г. в заливе Нячанг питающийся прежде всего молодью рыб, десятиногих раков и брюхоногих моллюсков.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о распространении *L. perplexa* ограничены в основном музейными материалами, использованными Галил в ревизии семейства Leucosiidae [1]. Надерлоо в атласе крабов Персидского залива [9] подтвердил обитание *L. perplexa* там. В 2014 г. он был обнаружен в водах западной Индии (район Калькутты, штат Кочин) [10]. Исходя из этого, можно было заключить, что *L. perplexa* – обитатель Индийского океана, известный в Персидском и Оманском заливах, водах Пакистана и Индии. Наши материалы, собранные в водах залива Нячанг (Вьетнам), заметно отодвигают восточную границу его ареала за пределы этого океана [11]. Значит, можно считать, что *L. perplexa* относится к типичным индо-восточноазиатским видам. Он обитает на сублиторали на глубинах от 7 до 85 м, на песчаных и илистых грунтах [1, 9, 10]. Нами не найдено сведений по питанию крабов сем. Leucosiidae. Вероятно, данное сообщение представляет собой первую информацию об этом. Вот почему и обсуждение ограничено лишь нашими собственными результатами. Прежде всего, бросается в глаза абсолютное преобладание крабов с пустыми желудками. Это явление довольно характерно для хищников. Самый яркий пример – креветка *Glyphus marsupialis* Fihol 1884 (нападающий хищник), при исследовании более чем 1000 её желудков обнаружено, что лишь 29 из них содержали пищу, а всего 10 – были полными. Напротив, у детритофага *Nematocarcinus africanus* Crosnier, Forest 1973 все 379 желудков содержали пищу, а 177 из них были полными [5]. Примерно то же самое наблюдается у креветки *Alpheus lobidens* De Naan 1849 (мико-, фито- и детритофага), у неё из 872 исследованных желудков в 861 была пища, причем 602 из них были полными [12, 13].

Такая же закономерность проявляется и в среднем количестве пищевых объектов в желудке (коэффициент Фроермана  $K_{\phi}$  [7]).  $K_{\phi}$  у нападающих хищников меньше двух, у пасущихся хищников – близок к двум, у хищников-собирателей и собирателей (детритофагов-некрофагов) – к трем-четырем [5–7]. У *L. Perplexa*, даже если считать пищевым объектом детритоподобную рыхлую массу, ЧВ которой 59,3 % (таблица), коэффициент Фроермана будет меньше двух. На самом же деле описанный выше эффект не что иное, как артефакт, т.е. эффект, вызванный случайным или преднамеренным воздействием на естественный процесс (аналоги [14]). Об этом в какой-то степени свидетельствует и распределение частоты встречаемости желудков с различной степенью наполненности пищей (рисунок). В данном случае таким воздействием стал промежуток времени между поимкой крабов и их фиксацией, поскольку они были пойманы ночью, а куплены рано утром на рыбном рынке в месте выгрузки уловов (устное сообщение В. А. Спиридонова) и лишь после этого зафиксированы раствором этанола. Три четверти крабов, желудки которых были полностью лишены всяких признаков пищи, вероятно, были пойманы раньше всех остальных. Примерно у 15 % особей в желудках была обнаружена рыхлая масса вблизи пилорического клапана – полупереваренная пища, готовая к поступлению в пилорический фильтр желудка. И лишь около 10 % особей имели в желудках вполне различимые пищевые объекты. Вероятно, именно эти крабы были пойманы в последнюю очередь и не успели переварить своих жертв. Судя по содержимому полных желудков, крабов все-таки можно предварительно отнести к хищникам-собирателям или даже нападающим хищникам (классификация – по [7]), питающимся наиболее обычными представи-

телями донных или околодонных гидробионтов (мальками рыб, молодью моллюсков и десятиногих раков).

### БЛАГОДАРНОСТИ

Материал для данной работы был передан нам И. Н. Мариным, сотрудником Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова. Техническую помощь при обработке материала оказали К. А. Кобяков и Е. А. Поддуева. Ч. М. Нигматуллин и В. А. Спиридонов читали рукопись и сделали ряд замечаний. Им всем мы выражаем искреннюю благодарность за оказанную помощь.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Galil, B. S. An examination of the genus *Philyra* Leach, 1817 (Crustacea, Decapoda, Leucosiidae) with descriptions of seven new genera and six new species / B. S. Galil // *Zoosystema*, 2009. – Vol. 31(2). – P. 279-320.
2. Поддуева, Е. А. Размерная, половая структура и созревание крабов *Lyphira perplexa* Galil. – 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) залива Нячанг Южно-Китайского моря / Е. А. Поддуева // ЭКОБИО-2018: V научно-практическая молодежная конференция: сборник материалов (8-11 окт. 2018 г.). – 2018. – Севастополь. – С. 128-131.
3. Судник, С. А. Репродуктивная биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) залива Нячанг Южно-Китайского моря // С. А. Судник, Е. А. Поддуева // VI Международный Балтийский морской форум: материалы (3-6 сент. 2018 г.), 2018. – Т. 3. Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов. – Калининград. – С. 266-277.
4. Cartes, J. E., Sarda F. Feeding ecology of the deep-water aristeid crustacean *Aristeus antennatus* / J. E. Cartes, F. Sarda // *Marine Ecology Progress Series*, 1989. – Vol. 54. – P. 229-238.
5. Буруковский, Р. Н. Питание и пищевые взаимоотношения креветок: моногр. / Р. Н. Буруковский. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. – 408 с.
6. Буруковский, Р. Н. О питании креветки *Crangon crangon* (Decapoda, Crangonidae) в Кандалакшском заливе Белого моря в июле и сентябре 2004 года / Р. Н. Буруковский, А. В. Трунова // Морские промысловые беспозвоночные и водоросли (биология и промысел). К 70-летию со дня рождения Б. Г. Иванова. – Москва: ВНИРО, 2007. – Т. 147. – С. 181-203.
7. Буруковский, Р. Н. Креветки западноафриканских вод (географическое распространение, закономерности горизонтального и вертикального распределения, жизненные формы и экологическая структура таксоценов): моногр. / Р. Н. Буруковский. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2017. – 512 с.
8. Флора и фауна Белого моря: атлас / под ред. А. Б. Цетлина, А. Э. Жадан, Н. Н. Марфенина. – Москва: Т-во научных изданий КМК, 2010. – 471 с.
9. Naderloo, R. 2017. Atlas of crabs of the Persian Gulf. 443 p. [Электронный ресурс]. Код доступа: <https://books.google.ru/books?id=XB4xDwAAQBAJ&pg=PA96&dq=Lyphira+perplexa&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiOzsugoZLFAh>

ХКСуwKHaCqBbYQ6wEIKzAA#v=onpage&q=Lyphira%20perplexa&f=false (Дата последнего обновления 09.12.2018).

10. Jijith, S. S., Manjusha S., Saravannane N., Suresh K. U., Ajmal K. S., Sanjeevan V. N. First record of the *Liphira perplexa* (Crustacea: Decapoda: Leucosiidae) in Indian waters, with DNA barcoding data / S. S. Jijith, S. Manjusha, N. Saravannane, K. U. Suresh, K. S. Ajmal, V. N. Sanjeevan // Journ. Biodiversity and Environmental Scie. (JBES), 2014. – Vol. 4. – No. 5. – P. 25-37.

11. Фэйрбридж, У. Индийский океан / У. Фэйрбридж // Океанографическая энциклопедия, 1974. – Ленинград: Гидрометеиздат. – С. 174-175.

12. Буруковский, Р. Н. Состав пищи у креветки *Alpheus lobidens* (Decapoda: Crustacea: Alpheidae) с литорали Оманского моря / Р. Н. Буруковский, З. Ансари, А. Махсудлю // Invertebrate Zoology, 2018. – Т. 15 (4). – P. 383-401.

13. Буруковский, Р. Н. Глубоководные креветки семейства Nematocarcinidae: история изучения, систематика, географическое распространение, биологическая характеристика / Р. Н. Буруковский: моногр. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2012.– 287 с.

14. Артефакт. 2018. [Электронный ресурс] Код доступа: (Дата последнего обновления: 30.12.2018 г.).

#### REFERENCES

1. Galil B. S. An examination of the genus *Philyra* Leach, 1817 (Crustacea, Decapoda, Leucosiidae) with descriptions of seven new genera and six new species. *Zoosystema*. 2009, vol. 31(2), pp. 279-320.

2. Podduyeva Ye. A Razmernaya, polovaya struktura i sozrevaniye krabov *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) zaliva Nyachang Yuzhno-Kitayskogo morya [Dimensional, sexual structure and ripening of crabs *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) Nha Trang Bay of the South China Sea]. *Sbornik materialov V nauchno-prakticheskoy molodezhnoy konferentsii "EKOBIO-2018" 8-11 oktyabrya 2018 goda* [Proceedings of the 5th scientific and practical youth conference "ECOBIO-2018" October 8-11], 2018, Sevastopol, pp. 128-131.

3. Sudnik S. A., Podduyeva Ye. A. Reproductivnaya biologiya krabov *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) zaliva Nyachang Yuzhno-Kitayskogo morya [Reproductive biology of crabs *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) Nha Trang Bay of the South China Sea]. *Materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 3-6 sentyabrya 2018 g., 2018. Tom 3. Vodnyye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoyemov* [Proceedings of the VI International Baltic Maritime Forum, September 3-6, 2018. Vol. 3. Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water reservoirs]. 2018, Kaliningrad, pp. 266-277.

4. Cartes J. E., Sarda F. Feeding ecology of the deep-water aristeid crustacean *Aristeus antennatus*. *Marine Ecology Progress Series*, 1989, vol. 54, pp. 229-238.

5. Burukovsky R. N. *Pitaniye i pishchevyye vzaimootnosheniya krevetok* [Feeding and food relationships of shrimp]. Kaliningrad, Publishing house FGOU VPO KSTU, 2009, 408 p.

6. Burukovskiy R. N., Trunova A. V. O pitanii krevetki *Crangon crangon* (Decapoda, Crangonidae) v Kandalakshskom zalive Belogo morya v iyule i sentyabre 2004 goda [On the feeding of shrimp *Crangon crangon* (Decapoda, Crangonidae) in the Kandalaksha Bay of the

White Sea in July and September 2004]. *Morskiye promyslovyye bespozvonochnyye i vodorosli (biologiya i promysel). K 70-letiyu so dnya rozhdeniya B. G. Ivanova* [Marine commercial invertebrates and algae (biology and fishing). To the 70th anniversary of the birth of B. G. Ivanova]. Moscow, 2007, vol. 147, pp. 181-203.

7. Burukovskiy R. N. *Krevetki zapadnoafrikanskikh vod (geograficheskoye rasprostraneniye, zakonmernosti gorizontalnogo i vertikal'nogo raspredeleniya, zhiznennyye formy i ekologicheskaya struktura taksotsenov)* [West African shrimp waters (geographical distribution, patterns of horizontal and vertical distribution, life forms and ecological structure of taxocenes)]. Saint-Petersburg, Prospekt nauki, 2017, 512 p.

8. *Flora i fauna Belogo morya: atlas, pod red. Tsetlina A. B., Zhadan A. E., Marfenina N. N.* [Flora and fauna of the White Sea, ed. Tsetlin, A. B., Zhadan A. E., Marfenin N. N.] Moscow, t-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 471 p.

9. Naderloo R. Atlas of crabs of the Persian Gulf. 2017, 443 p. Available at: <https://books.google.ru/books?id=XB4xDwAAQBAJ&pg=PA96&dq=Lyphira+perplexa&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiOzsugoZLfAhXKCywKHaCqB-bYQ6wEIKzAA#v=onepage&q=Lyphira%20perplexa&f=false> (Accessed 09 December 2018).

10. Jijith S. S., Manjusha S., Saravannane N., Suresh K. U., Ajmal K. S., Sanjeevan V. N. First record of the *Liphira perplexa* (Crustacea: Decapoda: Leucosidae) in Indian waters, with DNA barcoding data. *Journ. Biodiversity and Environmental Scie. (JBES)*, 2014, vol. 4, no. 5, pp. 25-37.

11. Feyrbridzh U. *Indiyskiy okean [Indian Ocean]. Okeanograficheskaya entsiklopediya* [Oceanographic Encyclopedia]. L., Gidrometeoizdat, 1974, pp. 174-175.

12. Burukovskiy R. N., Ansari Z., Makhsyudlyu A. Sostav pishchi u krevetki *Alpheus lobidens* (Decapoda: Crustacea: Alpheidae) s litorali Omanskogo morya [Food composition of *Alpheus lobidens* shrimp (Decapoda: Crustacea: Alpheidae) from the littoral of the Oman Sea]. *Invertebrate Zoology*, 2018, vol. 15 (4), pp. 383-401.

13. Burukovskiy R. N. *Glubokovodnyye krevetki semeystva Nematocarcinidae: istoriya izucheniya, sistematika, geograficheskoye rasprostraneniye, biologicheskaya kharakteristika* [Deep-water shrimp of the Nematocarcinidae family: history of research, systematics, geographical distribution, biological characteristics]. Saint-Petersburg, Prospekt nauki, 2012, 287 p.

14. *Artefakt*. 2018. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D1%82%D0%B5%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82> (Accessed 30 December 2018).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Буруковский Рудольф Николаевич* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор кафедры ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: burukovsky@klgtu.ru

*Burukovskiy Rudolf Nikolaevich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Sciences; Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology; E-mail: burukovsky@klgtu.ru

УДК 551.463

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ  
ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

М. А. Котлярова, Т. В. Буканова

VARIABILITY OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE  
IN THE SOUTH-EASTERN BALTIC SEA FROM SATELLITE IMAGERY

M. A. Kotlyarova, T. V. Bukanova

Работа посвящена исследованию межгодовой, сезонной и пространственной изменчивости температуры поверхности юго-восточной части Балтийского моря, в том числе в Куршском и Калининградском заливах. Для анализа использованы спутниковые данные инфракрасного диапазона, полученные при помощи спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках Aqua и Terra, за период с 2003 по 2016 гг. Средняя температура поверхности моря (ТПМ) за время исследования для открытой части моря составляла 11,5, в Куршском заливе - 13,6, в Калининградском - 13,9<sup>0</sup>С. На основе временных рядов данных для 77 произвольно выбранных экспериментальных точек рассчитаны линейные тренды сезонного и межгодового изменения температуры поверхности моря за рассматриваемый период. Установлено, что ТПМ юго-восточной части Балтийского моря ежегодно увеличивается. В открытой его части рост температуры происходит в два раза быстрее, чем в Куршском и Калининградском заливах. Темпы роста ТПМ в открытой части акватории составляют 0,02<sup>0</sup>С/год (уровень значимости  $p > 0,05$ ), а в Куршском и Калининградском заливах - 0,01<sup>0</sup>С /год (уровень значимости  $p > 0,05$ ). Максимальный рост температуры в открытой части моря отмечен в июне, в заливах - в мае; понижение ТПМ характерно в октябре для всей акватории исследования. Сезонные тенденции роста ТПМ в открытом море и заливах совпадают. За 14-летний период исследования в открытой части моря ТПМ выросла на 0,3<sup>0</sup>С, а в Куршском и Калининградском заливах - на 0,1.

*температура поверхности моря, MODIS, Балтийское море, сезонная изменчивость, линейный тренд*

The work is devoted to the study of the interannual, seasonal, and spatial variability of sea surface temperature (SST) in the south-eastern part of the Baltic Sea, the Curonian and Vistula lagoons. Satellite infrared data derived from MODIS spectroradiometer, installed on Aqua and Terra satellites, for the period from 2003 to 2016 were used for the analysis. The average SST for the open part of the sea is 11.5 degrees C, in the Curonian Lagoon - 13.6<sup>0</sup>С, in the Vistula Lagoon - 13.9<sup>0</sup>С. The linear trends of seasonal and interannual SST change were calculated using the time series for 77 randomly selected experimental points. The annual increase of SST was revealed in the south-eastern part of the Baltic Sea. SST rises 2 times faster in the open part of the sea than in

the lagoons. The rate of SST increase is  $0.02^{\circ}\text{C}$  per year ( $p\text{-value} > 0.05$ ) in the open part of the sea and  $0.01^{\circ}\text{C}$  per year in the Curonian and Vistula lagoons. The maximum rise of SST in the open part of the sea is observed in June, while in the lagoons - in May. The decrease of SST occurs in October for the whole study area. Seasonal trends of SST in the open part of the sea and in the lagoons correspond. During the 14-year study period SST increased by  $0.3^{\circ}\text{C}$  in the open part of the sea, and by  $0.1^{\circ}\text{C}$  in the Curonian and Vistula lagoons.

*sea surface temperature, MODIS, Baltic Sea, seasonal variability, linear trend*

## ВВЕДЕНИЕ

Балтийское море является акваторией, чувствительной к изменчивости климата вследствие своих физико-географических особенностей (мелководность, широтная протяженность, глубокая врезанность в материк и слабый водообмен с Атлантическим океаном) [1-3]. В связи с этим важно исследовать изменчивость температуры поверхности моря - одного из ключевых параметров, который может быть использован для выявления климатических изменений, расчета потоков на границе вода-воздух и ассимиляции в моделях океана или атмосферы [4, 5]. Согласно исследованию [6] за 1982–2006 гг. ТПМ в Балтике увеличилась на  $1,35^{\circ}\text{C}$ , а темпы роста согласно оценкам [7, 8] в южной части Балтийского моря составляют  $0,6\text{--}0,8^{\circ}\text{C}/10$  лет. За 1982-2012 гг. линейный тренд ТПМ в Балтийском море  $0,0418^{\circ}\text{C}/\text{год}$  [9].

Юго-восточная часть Балтийского моря включает наиболее чувствительные к климатическим изменениям районы: прибрежную зону, мелководные заливы (Куршский и Калининградский), районы стока рек (вынос р. Вислы, сток из вышеперечисленных заливов через Балтийский и Клайпедский проливы). В этих районах особенно критично сказывается повышение температуры поверхности воды в зимний и весенний периоды: затрудняются процессы конвекции, что приводит к нарушению перераспределения питательных веществ и, следовательно, негативно влияет на структуру морских сообществ и их биопродуктивность.

Для исследования изменчивости температуры поверхности морей и океанов широко используется спутниковая информация: данные о радиояркостной температуре, измеряемой СВЧ-радиометрами, и данные сканеров видимого диапазона с дополнительным каналом в ИК-диапазоне, которые дают ежедневные карты ТПМ всего Мирового океана с достаточно высоким пространственным разрешением. Однако восстановление полей ТПМ на основе спутниковой информации осложняется рядом факторов: спутниковые измерения обладают более низкой точностью по сравнению с измерениями *in situ*, а облачность является помехой для ИК-радиометров, что значительно снижает количество и качество получаемых данных [10].

Цель данной работы – анализ пространственного распределения ТПМ в юго-восточной Балтике (ЮВБ), оценка ее сезонной и межгодовой изменчивости, выявление тенденций ее изменения на основе линейных трендов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи использовались данные с изображений спутникового спектрометра MODIS (на спутниках Aqua и Terra) в формате

NetCDF из архива OceanColor NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>), полученные при обработке в программе SeaDAS (версия 7.4).

В связи с климатическими особенностями региона количество спутниковых изображений, которые удалось задействовать, ограничено - наличие облачного покрова во все сезоны, особенно в холодное время года, препятствует прохождению сигнала со спутников.

Массивы данных по температуре поверхности моря в ЮВБ были составлены для 77 произвольных экспериментальных точек (66 в открытой части моря, 6 - в Куршском заливе, 5 - в Калининградском) (рис. 1). Отобран и обработан 1561 спутниковый снимок (дневные изображения; пространственное разрешение 1 км; уровень обработки - 2; точность измерения ТПМ  $0,5^{\circ}\text{C}$ ; периодичность наблюдений 1-2 раза в сутки) за период с 2003 по 2016 гг. Выборка данных составила 83127 значений. Наибольшее количество значений получено для весенних и летних месяцев (май, июнь - более 10300), наименьшее - для осенних и зимних (ноябрь, январь - менее 3000).

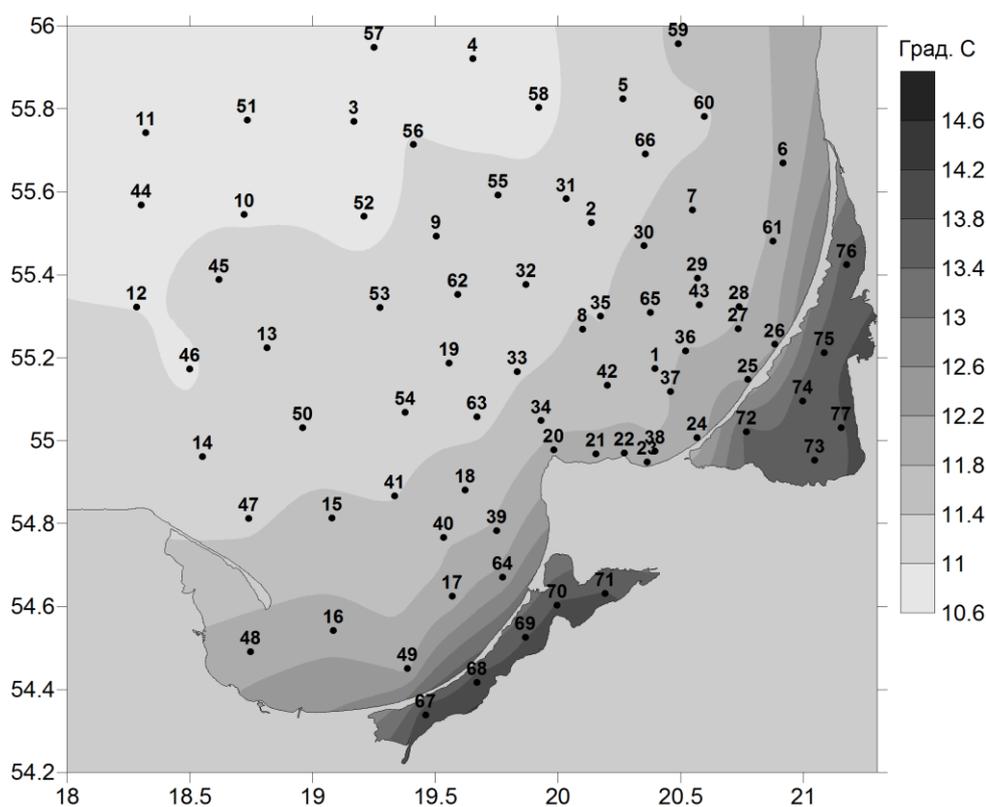


Рис. 1. Экспериментальные точки в юго-восточной части Балтийского моря. Средняя ТПМ за 2003-2016 гг.

Fig. 1. Experimental points in the south-eastern part of the Baltic Sea. The average SST for 2003-2016

Для расчета трендов изменения ТПМ использовалась линейная аппроксимация временных рядов методом наименьших квадратов. Значимость коэффициентов линейной зависимости оценивалась по t-критерию Стьюдента. Общий тренд и статистики по сезонам неаддитивны.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано, что наиболее высокие значения ТПМ наблюдаются в прибрежной зоне и заливах (рис. 1). С удалением от берега температура равномерно падает, что является типичным явлением для большинства шельфовых морей и прибрежных районов океана. Прибрежные точки демонстрируют повышенные значения ТПМ (выше  $12^{\circ}\text{C}$ ), в открытом море ТПМ не превышает  $11^{\circ}\text{C}$ . Средняя ТПМ за период исследования для открытой части моря составляет 11,5, в Куршском заливе - 13,6, в Калининградском -  $13,9^{\circ}\text{C}$  (рис. 1). Повышенные значения ТПМ в заливах обусловлены их мелководностью и замкнутостью, а также тем, что для объектов малых пространственных масштабов определяющими являются локальные гидрометеорологические условия, поэтому тенденция изменения ТПМ в заливах отличается от средней ситуации в Юго-Восточной Балтике.

В течение рассматриваемого периода максимальная среднемесячная ТПМ отмечена в июле и августе, минимальная - в январе, феврале и марте (рис. 2, таблица). В открытой части акватории максимум ТПМ отмечен в августе ( $19^{\circ}\text{C}$ ), в свою очередь, заливы прогреваются раньше, начиная с мая, и их ТПМ достигают пика, превышающего  $20^{\circ}\text{C}$ , в июле. В самый холодный период (январь-март) температура поверхности моря варьирует в пределах 2,6–3,5 в открытой части моря и  $1-2,1^{\circ}\text{C}$  в заливах (рис. 2, таблица). Пониженные значения ТПМ в заливах в зимний период обусловлены их мелководностью и регулярным образованием ледового покрова.

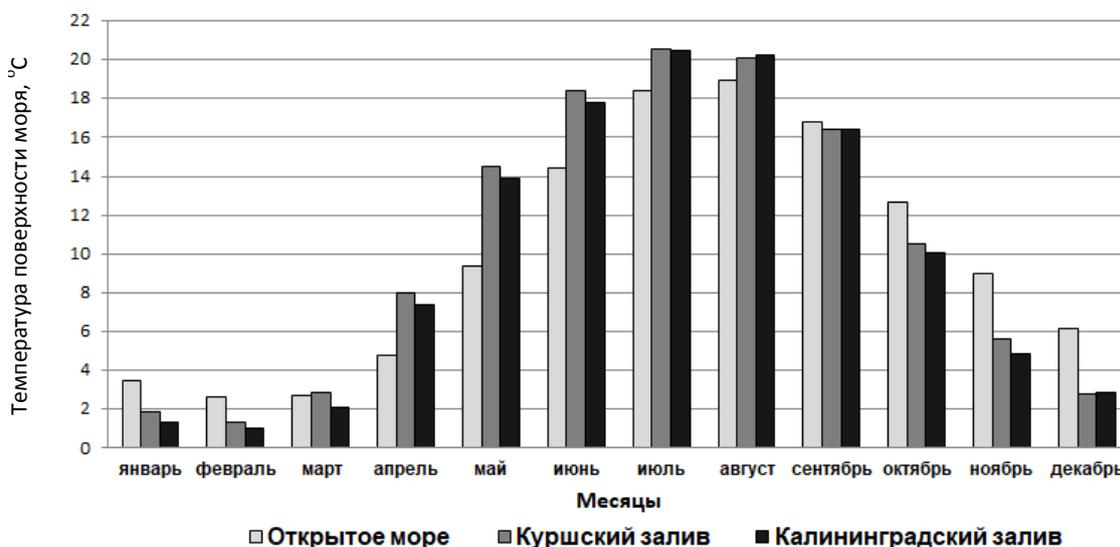


Рис. 2. Сезонная изменчивость ТПМ за 2003-2016 гг.

Fig. 2. Seasonal variability of SST for 2003-2016

Выявлен рост ТПМ в теплый период года (лето и весна) и понижение температуры в холодный период (зима и осень) как в открытой части моря, так и в заливах. Наибольшее ее повышение в открытой части ЮВБ отмечено в июне ( $2,1^{\circ}\text{C}$  /14 лет), в свою очередь, максимум роста ТПМ в Калининградском и Куршском заливах зафиксирован ранее в мае ( $1,7$  и  $3,0^{\circ}\text{C}$  /14 лет соответственно). В холодный период года (зима и осень) наблюдается понижение ТПМ с мини-

мальными значениями в октябре: минус 1,6 °С /14 лет для открытого моря, минус 3,0 и минус 2,6 °С /14 лет для Калининградского и Куршского заливов соответственно. Указанные величины трендовых приращений в октябре показывают высокий уровень значимости (уровень значимости  $p \leq 0,05$ ). Соответствующие величины средних значений ТПМ и трендовых приращений приведены в таблице.

Таблица. Среднемесячные значения и скорость изменения ТПМ за 2003-2016 гг. в открытой части ЮББ и заливах

Table. Monthly mean values of SST and the rate of SST change for 2003-2016 in the open part of the south-eastern Baltic Sea and lagoons

| Месяцы   | Открытое море   |                        | Калининградский залив |                        | Куршский залив  |                        |
|----------|-----------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
|          | Средняя ТПМ, °С | Приращение, °С /14 лет | Средняя ТПМ, °С       | Приращение, °С /14 лет | Средняя ТПМ, °С | Приращение, °С /14 лет |
| Январь   | 3,5             | 0,3                    | 1,9                   |                        | 1,4             |                        |
| Февраль  | 2,7             | 0,9                    | 1,3                   |                        | 1,1             |                        |
| Март     | 2,6             | 1,1                    | 2,9                   | 1,0                    | 2,1             | 1,4                    |
| Апрель   | 4,8             | 0,8                    | 8,0                   | 0,8                    | 7,4             | 1,2                    |
| Май      | 9,4             | 0,8                    | 14,5                  | 1,7*                   | 13,9            | 3,0*                   |
| Июнь     | 14,4            | 2,1                    | 18,4                  | 1,3                    | 17,8            | 1,2                    |
| Июль     | 18,4            | 1,0                    | 20,5                  | 1,2                    | 20,5            | 1,0                    |
| Август   | 19,0            | 0,0                    | 20,1                  | 0,5                    | 20,2            | 0,4                    |
| Сентябрь | 16,8            | 1,4*                   | 16,4                  | 1,6                    | 16,4            | 1,5                    |
| Октябрь  | 12,7            | -1,6*                  | 10,5                  | -3,0*                  | 10,1            | -2,6*                  |
| Ноябрь   | 9,0             | -0,4                   | 5,6                   | -1,6                   | 4,9             | 0,2                    |
| Декабрь  | 6,1             | 0,5                    | 2,8                   | -0,5                   | 2,9             | -0,4                   |

Примечание. \* уровень значимости  $p \leq 0,05$

Установлена слабopоложительная тенденция роста ТПМ в открытой части района исследования, составляющая 0,02 °С /год (уровень значимости  $p > 0,05$ ), и 0,01 °С /год в заливах (рис. 3-5). Линейные тренды статистически незначимы ввиду недостаточной длины временного ряда.

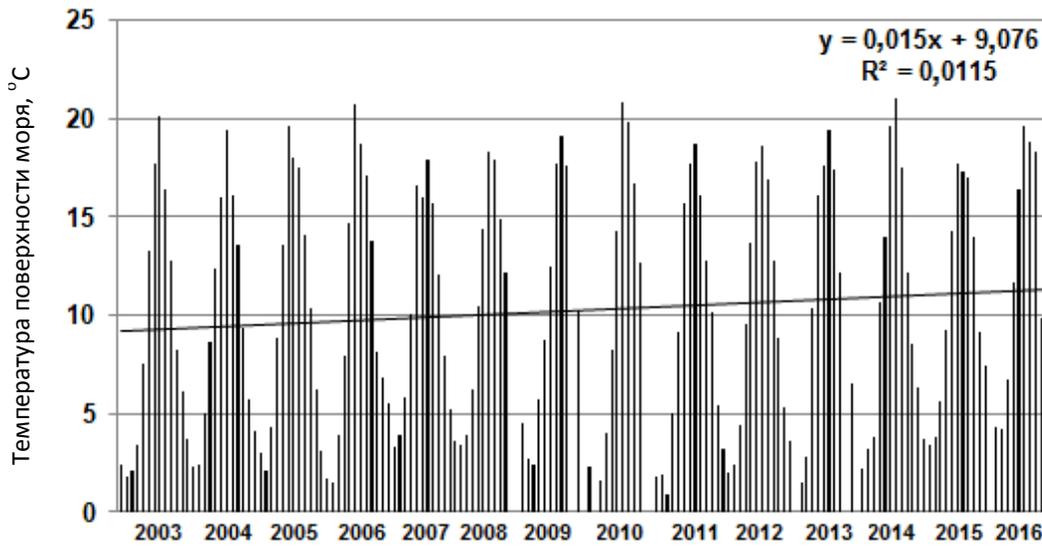


Рис. 3. Межгодовая изменчивость среднемесячных значений ТПМ в юго-восточной части Балтийского моря за 2003-2016 гг. Линейный тренд показан черной линией (уровень значимости  $p > 0,05$ )

Fig. 3. Interannual variability of monthly mean values of SST in the south-eastern part of the Baltic Sea for 2003-2016. The linear trend is indicated by the black line ( $p$ -level  $> 0.05$ )

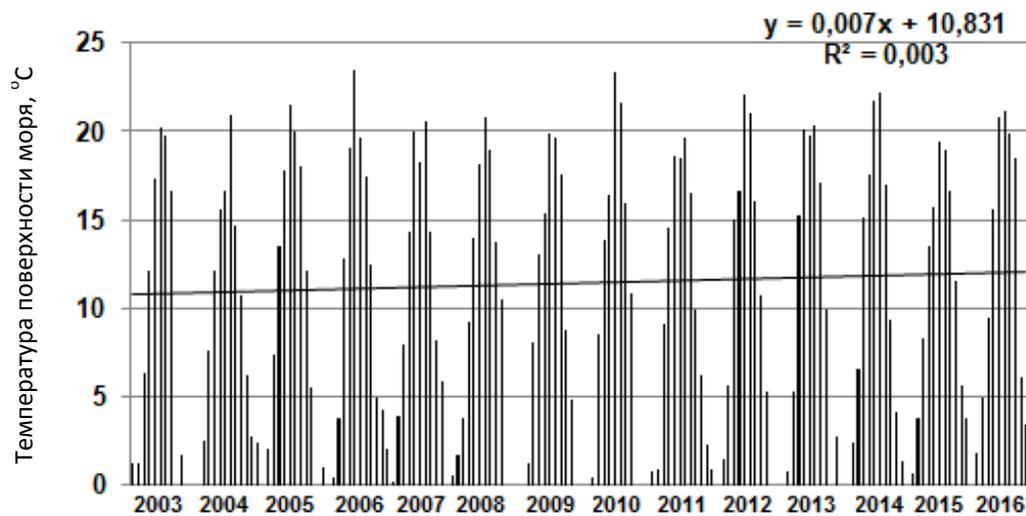


Рис. 4. Межгодовая изменчивость среднемесячных значений ТПМ в Куршском заливе за 2003-2016 гг. Линейный тренд показан черной линией (уровень значимости  $p > 0,05$ )

Fig. 4. Interannual variability of monthly mean values of SST in the Curonian Lagoon for 2003-2016. The linear trend is indicated by the black line ( $p$ -level  $> 0.05$ )

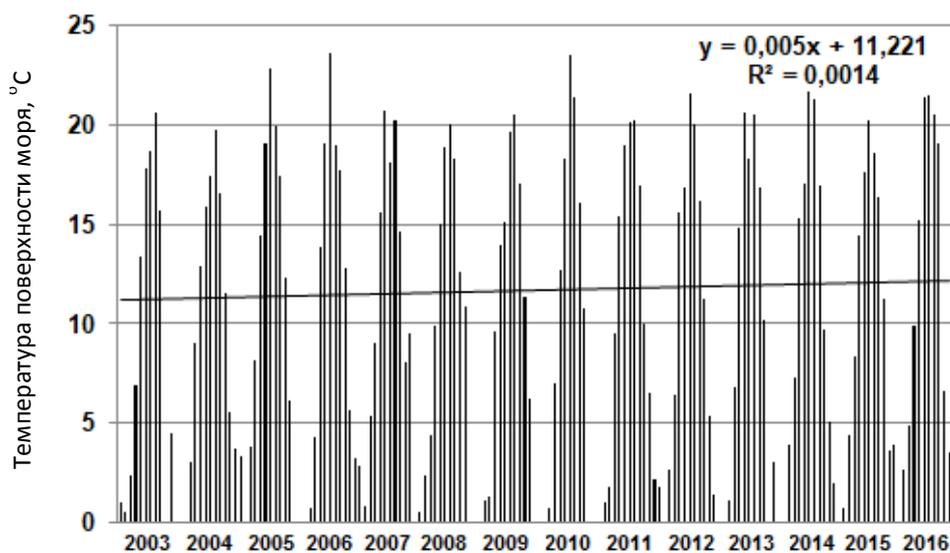


Рис. 5. Межгодовая изменчивость среднемесячных значений ТПМ в Калининградском заливе за 2003-2016 гг. Линейный тренд показан черной линией (уровень значимости  $p > 0,05$ )

Fig. 5. Interannual variability of monthly mean values of SST in the Vistula Lagoon for 2003-2016. Linear trend is indicated by a black line ( $p$ -level  $> 0.05$ )

Таким образом, рост ТПМ в открытой части моря происходит в два раза быстрее, чем в заливах. Пониженные темпы роста ТПМ в них обусловлены меньшим теплозапасом мелководных водоёмов по сравнению с глубокими частями моря и меньшей тепловой инерцией. В результате хорошо прогретые мелководные заливы испаряют больше влаги в атмосферу. Вероятно, высокие значения испарения с поверхности воды ведут к большей термической стабильности заливов.

В рамках проведенного исследования установлено, что положительный тренд ТПМ в юго-восточной части Балтийского моря обусловлен интенсивным ростом температуры поверхности воды в теплый период года (лето и весна). Одним из факторов изменения температуры поверхности моря в регионе является температура воздуха. Ранее было выявлено ежегодное увеличение температуры воздуха в районе исследования по среднесуточным данным, полученным с автономной гидрометеорологической станции, установленной в 27 м над поверхностью воды в открытой части Юго-Восточной Балтики [11]. Также наблюдается совпадение сезонных тенденций роста и снижения ТПМ и температуры воздуха [12]. Несмотря на указанные ранее трудности в получении данных со спутниковых изображений и недостаточно высокий уровень регистрируемого сигнала в холодное время года, проведенное ранее в работе [13] сопоставление спутниковых данных о ТПМ с данными измерений термоксы (на глубине 1 м), установленной на морской стационарной платформе Д-6, показывает, что средняя разность (систематическая ошибка) по ряду данных за 2015-2017 гг. составляет  $+0,25$  °C, а после исключения случаев сильного дневного прогрева тонкого верхнего слоя эта разница уменьшается до  $+0,14$  °C (среднеквадратическое отклонение  $0,38$  °C).

Тем не менее для достижения более точных результатов в будущем планируется дополнить проведенное исследование сопоставлением спутниковых дан-

ных с данными натурной съемки. Мы считаем нецелесообразным сравнивать спутниковые данные ТПМ со значениями температуры тонкого поверхностного слоя (скин-слоя), поскольку для Юго-Восточной Балтики характерны частые случаи сильного волнения (особенно в зимние месяцы), при котором датчик фактически измеряет среднюю температуру слоя, толщина которого зависит от силы волнения. Поэтому предлагается сравнивать спутниковые данные со средним значением температуры на некотором горизонте верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), оптимальную глубину которого необходимо определить при помощи статистического анализа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания № 0149-2019-0013.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. Температура поверхности моря Юго-Восточной Балтики ежегодно увеличивается, причем в открытой части моря это увеличение происходит в два раза быстрее, чем в Куршском и Калининградском заливах. Тенденция потепления неоднородна в пространстве, главным образом, за счет влияния локальных орографических и гидрометеорологических факторов.

2. В увеличение среднегодовой ТПМ наиболее существенный вклад вносят максимумы трендовых приращений в летний период (май, июнь). Максимальное снижение отмечается осенью (в октябре). Сезонные тенденции изменения ТПМ в открытой части моря и заливах совпадают по знаку.

3. Слабый рост ТПМ в открытой части моря происходит на фоне одновременного роста температуры воздуха в регионе [14], что доказывает тенденцию потепления в ЮВБ.

4. Полученные результаты подтверждают и дополняют результаты предыдущих работ за счет увеличения временного ряда данных и количества экспериментальных точек в районе исследования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Backhaus, J.O. Climate-sensitivity of European marginal seas, derived from the interpretation of modelling studies / J.O. Backhaus // *Journal of Marine Systems*. - 1996. - № 7. - P. 361-382.

2. Hordoir, R. Effect of climate change on the thermal stratification / R. Hordoir, Meier H.E.M. // *Climate Dynamics*. - 2011. - № 38. - P. 1-11.

3. Omstedt, A. Response of Baltic Sea ice to seasonal, interannual forcing and Climate change / A. Omstedt, L. Nyberg // *Tellus*. - 1996. - № 48A (5). - P. 644-662.

4. Donlon, C. Successes and challenges for the modern sea surface temperature observing system / C. J. Donlon, K. S Casey, C. Gentemann, P. LeBorgne, I. S. Robinson, R. W Reynolds, C. Merchant, D. Llewellyn-Jones, P. J. Minnett, J. F. Piolle, P. Cornillon, N. Rayner, T. Brandon, J. Vazquez, E. Armstrong, H. Beggs, I. Barton, G. Wick, S. Castro, J. Hoeyer, D. May, O. Arino, D. J. Poulter, R. Evans, C. T. Mutlow, A. W. Bingham, A. Harris // *Community White Paper for OceanObs*. - 2009. - V. 9. - P. 1-9.

5. Hollmann, R. The ESA climate change initiative: Satellite data records for essential climate variables / R. Hollmann, C. J. Merchant, R. Saunders, C. Downy, M. Buchwitz, A. Cazenave, E. Chuvieco, P. Defourny, G. De Leeuw, R. Forsberg et al // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2013.-V.94.- № 10. - P. 1541-1552.
6. Belkin, I.M. Rapid warming of Large Marine Ecosystems / I.M. Belkin // *Progress in Oceanography*. - 2009. - № 81. - P. 207-213.
7. Bradtke, K. Spatial and inter-annual variations of seasonal sea surface temperature patterns in the Baltic Sea / K. Bradtke, Herman A., Urbański J. A. // *Oceanologia*. - 2010. - V. 3. - № 52. - P. 345-362.
8. Lehmann, A. Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009 / A. Lehmann, Getzlaff K., Harlaß. J. // *Climate Research*. - 2011. - № 46. - P. 186-195.
9. Høyer, J.L. Sea Surface Temperature Climate Data Record for the North Sea and Baltic Sea / J.L. Høyer, Karagali I. // *Journal of Climate*. - 2016. - V. 29. - № 7. - P. 2529-2541.
10. Костяной, А. Г. Спутниковый мониторинг климатических параметров океана. Ч. 1 / А. Г. Костяной // *Фундаментальная и прикладная климатология*. - 2017. - Т. 2. - С. 63-85.
11. Стонт, Ж. И. Современные тенденции изменчивости температуры воздуха над акваторией Юго-Восточной Балтики / Ж. И. Стонт, А. Н. Демидов // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. - 2015. - № 2. - С. 50-58.
12. Буканова, Т. В. Изменчивость температуры поверхности моря в Юго-Восточной Балтике по данным MODIS / Т. В. Буканова, Ж. И. Стонт, О. А. Гущин // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. - 2015. - Т. 12. - №4. - С. 86-96.
13. Мысленков, С. А. Анализ температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по спутниковым данным и измерениям / С. А. Мысленков, В. А. Кречик, Д. М. Соловьев // *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*. - 2017. - № 364. - С. 159-169.

#### REFERENCES

1. Backhaus J. O. Climate-sensitivity of European marginal seas, derived from the interpretation of modelling studies. *Journal of Marine Systems*, 1996, no. 7, pp. 361-382.
2. Hordoir R., Meier H. E. M. Effect of climate change on the thermal stratification. *Climate Dynamics*, 2011, no. 38, pp. 1-11.
3. Omstedt A., Nyberg L. Response of Baltic Sea ice to seasonal, interannual forcing and Climate change. *Tellus*, 1996, vol. 5, no. 48A, pp. 644-662.
4. Donlon C. et al. Successes and challenges for the modern sea surface temperature observing system. *Community White Paper for OceanObs*, 2009, vol. 9, pp. 1-9.
5. Hollmann R. et al. The ESA climate change initiative: Satellite data records for essential climate variables. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2013, vol. 94, no. 10, pp. 1541-1552.
6. Belkin I. M. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 2009, no. 81, pp. 207-213.

7. Bradtke K., Herman A., Urbański J. A. Spatial and inter-annual variations of seasonal sea surface temperature patterns in the Baltic Sea. *Oceanologia*, 2010, vol. 3, no. 52, pp. 345-362.

8. Lehmann A., Getzlaff K., Harlaß. J. Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009. *Climate Research*, 2011, no. 46, pp. 186-195.

9. Høyer J. L., Karagali I. Sea Surface Temperature Climate Data Record for the North Sea and Baltic Sea. *Journal of Climate*, 2016, vol. 29, no. 7, pp. 2529-2541.

10. Kostyanoy A. G. Sputnikovyy monitoring klimaticheskikh parametrov okeana. Chast' 1 [Satellite monitoring of the ocean climate parameters. Part 1]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 2017, vol. 2, pp. 63-85.

11. Stont Zh. I., Demidov A. N. Sovremennye tendentsii izmenchivosti temperatury vozdukhа nad akvatoriey Yugo-Vostochnoy Baltiki [Current trends in air temperature variability over the aquatic area of the South-Eastern Baltic Sea]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2015, no. 2, pp. 50-58.

12. Bukanova T. V., Stont Zh. I., Gushchin O. A. Izmenchivost' temperatury pov-  
erkhnosti morya v Yugo-Vostochnoy Baltike po dannym MODIS [Variability of sea sur-  
face temperature in the South-Eastern Baltic Sea from MODIS data]. *Sovremennye prob-  
lemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, vol. 12, no. 4, pp. 86-96.

13. Myslenkov S. A., Krechik V. A., Solov'ev D. M. Analiz temperatury vody v  
pribrezhnoy zone Baltiyskogo morya po sputnikovym dannym i izmereniyam termo-  
kosa [Water temperature analysis in the coastal zone of the Baltic Sea based on thermis-  
tor chain observations and satellite data]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-  
issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii*, 2017, no. 364, pp. 159-169.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Котлярова Марина Андреевна* – Балтийский федеральный университет имени  
Иммануила Канта (г. Калининград); студент-магистрант кафедры географии  
океана; E-mail: magisna39@gmail.com

*Kotlyarova Marina Andreevna* – Immanuel Kant Baltic Federal University  
(Kaliningrad); Graduate student; Institute of Environmental Management,  
Urban Development and Spatial Planning; E-mail: magisna39@gmail.com

*Буканова Татьяна Васильевна* – Институт океанологии имени П. П. Ширшова  
РАН (г. Москва); кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории  
геоэкологии; E-mail: tatiana.bukanova@gmail.com

*Bukanova Tatiana Vasilyevna* – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy  
of Sciences (Moscow); Candidate of Geographic Sciences; researcher of the Laboratory  
of Geocology; E-mail: tatiana.bukanova@gmail

УДК 551.468.1:551.465.75(261.24)

ШТОРМОВАЯ АКТИВНОСТЬ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД  
2018-2019 ГГ. В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Ж. И. Стонт, М. О. Ульянова, Е. В. Крек, Д. А. Чурин, Д. Е. Губарева

STORM ACTIVITY DURING AUTUMN-WINTER PERIOD  
OF 2018-2019 IN THE SOUTH-EASTERN BALTIC SEA

Zh. I. Stont, M. O. Ulyanova, E. V. Krek, D. A. Churin, D. E. Gubareva

Особенность географического положения Юго-Восточной Балтики – это открытость для проникновения западных транзитных воздушных масс. Транзит атлантических циклонов происходит при отсутствии орографических препятствий, что и определяет местную специфику ветрового режима. Обычно самые сильные штормы приходят на Калининградскую область с юго-запада и запада. Порождаемым ими волнам присуща сравнительно небольшая длина разгона. При этом побережье, имеющее северную экспозицию, оказывается в зоне ветровой и волновой тени. В проведенном исследовании показаны общие черты и различия разрушительных штормов осенне-зимнего сезона 2018-2019 гг. Используются данные уровнемера, установленного у г. Светлогорска, и метеорологические данные, получаемые на морской нефтяной платформе D-6. Проанализированы причины возникновения шторма и последствия разрушения берегов севера Самбийского полуострова и Куршской косы. Показано, что более слабый по силе шторм января 2019 г. нанес гораздо больший ущерб (в порту г. Пионерского затонуло судно, в г. Светлогорске разрушен променад, произошел прорыв прикорневой части косы), чем осенний шторм 2018 г. Ветер северных румбов 1-2 января 2019 г. способствовал стремительному подъему уровня моря на 1 м, тем самым увеличил интенсивность штормового нагона, разрушительного для береговой зоны. За последние 15 лет скорость сильных ветров практически не изменилась, и наблюдается тенденция к увеличению «северных» штормов. Для минимизирования ущерба от таких штормов необходимо проводить мероприятия по укреплению берегов северного побережья Самбийского полуострова.

*Балтийское море, штормовая активность, климатические изменения, ветровое волнение, уровень моря*

Peculiarities of the geographical location of the South-Eastern Baltic is the openness for the penetration of western transit air masses. The transit of Atlantic cyclones occurs in the absence of orographic obstacles, which determines the local specifics of the wind regime. The strongest storms usually come to the Kaliningrad region from the southwest and west. The waves generated by them have a relatively small acceleration length. However, the coast, which has a northern exposure, is in the zone of wind and wave shadow. The study shows the general features and differences of the destructive storms of the autumn-winter season 2018-2019. The data of the gauge

installed at Svetlogorsk and meteorological data obtained on the offshore oil platform D6 were used. We have analyzed the causes of the storm and the consequences of the destruction of the northern shores of the Sambian Peninsula and the Curonian Spit. It has been shown that the weaker storm of January 2019 caused more damage (the ship sank in the port of Pionerskiy, the promenade was destroyed in Svetlogorsk, a root part of the spit broke through) than the autumn storm in 2018. North winds on January 1-2, 2019 contributed to the rapid rise of sea level by 1 m, thereby increasing the intensity of the storm surge, which is destructive for the coastal zone. Over the past 15 years, the speed of strong winds has not practically changed, and there is a tendency to an increase in "northern" storms. To minimize the damage from such storms, it is necessary to take measures to strengthen the shores of the northern coast of the Sambian Peninsula.

*Baltic Sea, storm activity, climate change, wind swell, sea level*

## ВВЕДЕНИЕ

Климатические изменения приобретают во всем мире все более глобальные масштабы. Проявляясь на региональном уровне в виде экстремальных природных явлений, они напрямую затрагивают, а зачастую и создают угрозу условиям жизни людей [1-5].

Прибрежная зона Калининградской области уязвима к воздействию климатических изменений. К негативным последствиям ожидаемых изменений климата относятся рост повторяемости экстремальных осадков, подтоплений, штормов, которые могут привести к переувлажнению почвы, усилению абразии берегов. Краткосрочная изменчивость уровня моря, являющаяся результатом гидрометеорологических процессов, наиболее сильно влияет на прибрежную зону. Высокий уровень моря может увеличивать интенсивность штормовых нагонов, разрушительных для береговой зоны, изменяющих конфигурацию береговой черты, а также способствует поступлению морских вод в устьевые зоны, что негативно влияет на характер гидрологического режима прибрежных водоемов и заливов.

Исходя из особенностей конфигурации Балтийского моря, северные ветры и связанное с ними волнение имеют максимальный разгон (около 1000 км) и обладают наибольшей потенциальной энергией. Этим ветрам открыт северный берег Самбийского п-ова. Западный берег, простираясь с севера на юг, экспонирован западным ветрам. Длина разгона волн, вызванная ими, составляет около 300 км. Берега Куршской косы открыты ветрам от западного до северного направления и, соответственно, волнению от этих румбов [6].

Особое значение имеет оперативный контроль уровня моря. За последние 25 лет значительно уменьшился объем регулярных гидрологических работ в море, а также объем информации с метеостанций и постов Росгидромета. Для анализа использовалось оборудование, установленное Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН при поддержке БФУ им. И. Канта.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы среднечасовые данные по скорости и направлению ветра, полученные автоматической гидрометеостанцией МиниКРАМС-4, установленной на нефтяной платформе D-6 (22 км от морского побережья

Куршской косы). Данные по уровню моря получены мареографом Valeport «Tide Master» с гидростатическим датчиком давления, установленным в шахте водозабора ФГКУ «Санаторно-курортный комплекс "Западный"» МО РФ Филиал «Светлогорский военный санаторий» в г. Светлогорске (рис. 1). Детальность записей позволяет поминутно отслеживать изменения уровня моря, а сопоставление с метеорологическими данными дает возможность комплексного анализа опасных штормовых ситуаций.



Рис. 1. Расположение гидрометеостанции и уровнемера (показано треугольниками)

Fig. 1. Location of the meteorological station and the level gauge (shown in triangles)

Оптические спутниковые изображения высокого пространственного разрешения (10 м) Юго-Восточной Балтики и данные по концентрации взвеси (разрешение 60 м) получены со спутника Европейского космического агентства Sentinel-2A (MSI). Такая спутниковая информация доступна в безоблачную погоду в дневное время суток.

Для анализа распространения волнения использовались прогностические карты сайта [www.meteo.pl](http://www.meteo.pl).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим характеристики штормового периода октября 2018 – января 2019 гг.

«Подготовительный период» шторма 2019 г. начался осенью 2018 г., когда на акваторию Балтики обрушивались глубокие циклоны со штормовыми ветрами. В октябре 2018 г. активные атлантические циклоны определяли погоду в юго-восточной части Балтийского моря. Скорость северо-западного ветра в течение 19 ч была более 20 м/с (максимальная скорость 25 м/с наблюдалась 5 ч). Сформировалось волнение высотой до 4 м от северо-запада (рис. 2). На северном побережье Самбийского полуострова наблюдался подъем уровня на 0,4-0,6 м (рис. 3).

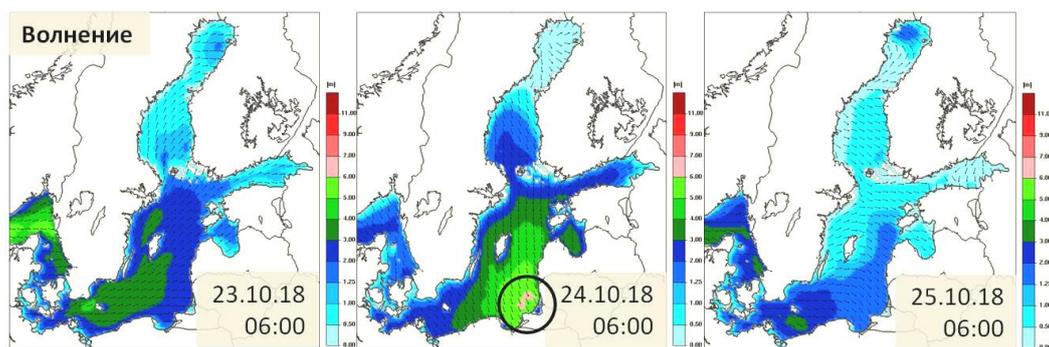


Рис. 2. Распространение зоны высоких волн, образовавшейся в конце октября 2018 г. на западе Балтики и достигшей побережья Калининградской области (www.meteo.pl)

Fig. 2. Spread of the high-wave zone formed at the end of October 2018 in the western Baltic Sea and reached the coast of the Kaliningrad region (www.meteo.pl)

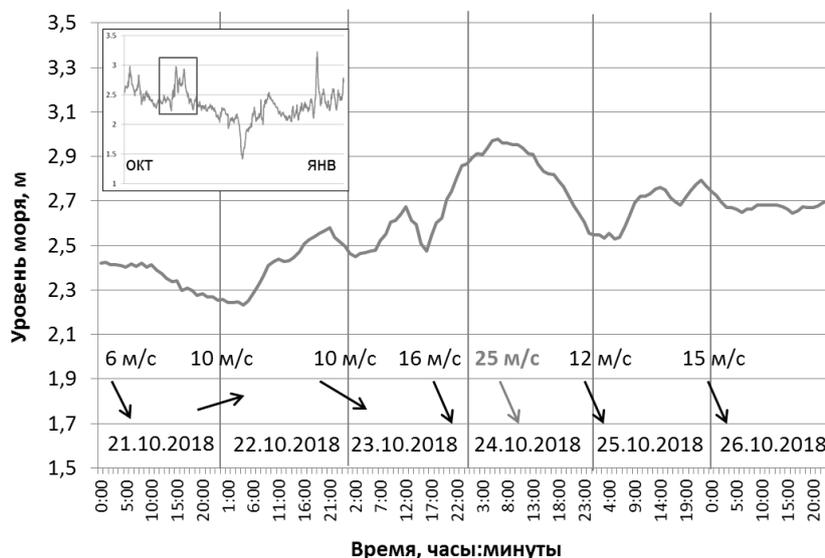


Рис. 3. Относительное изменение уровня моря под влиянием ветра 21-26.10.2018 г. Стрелками показаны скорость и направление ветра

Fig. 3. Relative sea level change under the influence of the wind on 21-26 October 2018. The arrows indicate the wind speed and direction

В ноябре 2018 г. Юго-Восточная Балтика находилась под влиянием антициклонов с ветрами восточных и южных румбов, что вызвало понижение уровня (сгон) (см. рис. 3, врезка). Последующая декабрьская серия неглубоких циклонов с западными сильными ветрами вызвала штормовую погоду, нагон и поднятие уровня у берегов Юго-Восточной Балтики.

2-3 января 2019 г. в градиентной зоне между тыловой ветреной частью северного циклона "Альфрида" (985 гПа), смещающегося с Ботнического залива на Беларусь, и антициклоном 1044 гПа на западе наблюдалось усиление северного ветра (350–10°). В течение 10 ч северное побережье Самбийского полуострова,

включая порт Пионерский, подвергалось воздействию штормового северного ветра, который усиливался до 23 м/с. Сформировалось ветровое волнение от севера высотой до 7-8 м (рис. 4).

Для западной части Северной Балтики 1-2 января 2019 г. наблюдался устойчивый ветер со скоростью 32 и 41 м/с (ураган, 12 б по шкале Бофорта). Средняя высота волны в южной части Ботнического залива составила 7,9 и максимальная – 14 м, что является наивысшим показателем за весь период наблюдений. У Аландских островов были зарегистрированы порывы ветра до 41, у о. Готланд – до 35, близ Стокгольма – до 38 м/с. На Балтийском море был объявлен красный уровень опасности (информация с портала Финского метеорологического института <https://en.ilmatieteenlaitos.fi>).

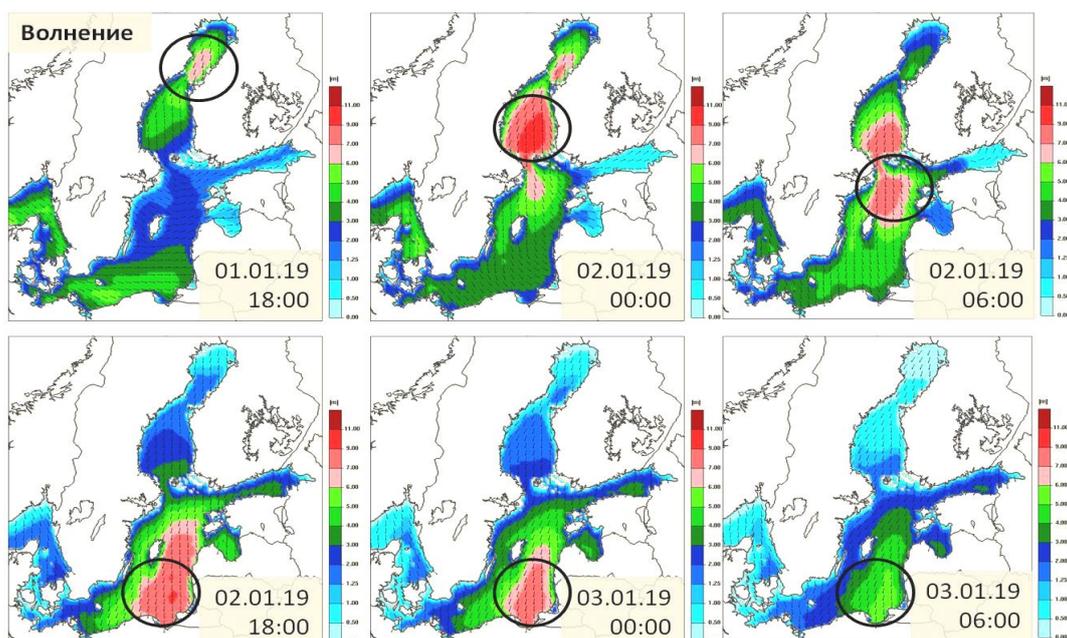


Рис. 4. Распространение зоны высоких волн (выделено кругом), образовавшейся 1 января на севере Балтики, смещающейся от Ботнического залива до юго-восточной части Балтики, в том числе побережья Калининградской области (по данным [www.meteo.pl](http://www.meteo.pl))

Fig. 4. Spread of the high wave zone (shown by round) formed on January 1 in the north of the Baltic Sea, shifting from the Gulf of Bothnia to the southeastern part of the Baltic Sea, including the coast of the Kaliningrad region (according to [www.meteo.pl](http://www.meteo.pl))

Для бесприливных берегов Балтики разрушительная сила волн зависит от сочетания силы волнения и высоты стояния уровня моря в момент прохождения шторма. В январский шторм 2019 г. волны приходили от севера, имели максимальную для Балтийского моря длину разгона и, соответственно, обладали высокой потенциальной энергией. Утром 1 января 2019 г. начался стремительный подъем уровня моря, за двое суток он поднялся на 1 м 10 см и достиг максимума 2 января 2019 г. в 14 ч (зафиксирован уровнем постом на побережье в г. Светлогорске) (рис. 5).

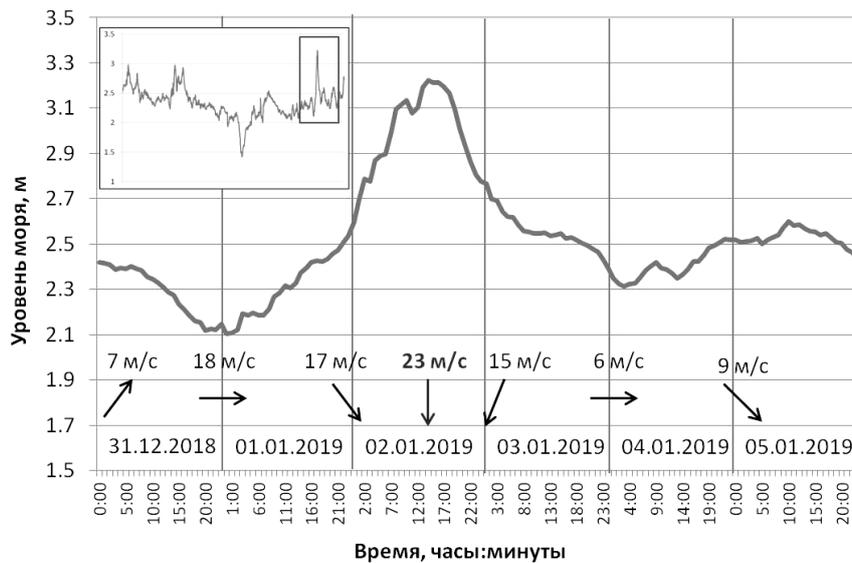


Рис. 5. Относительное изменение уровня моря под влиянием ветра 31.12.2018 – 05.01.2019 гг. Стрелками показаны скорость и направление ветра  
 Fig. 5. Relative sea level change under the influence of wind on 31 December 2018 – 5 January 2019. The arrows show the wind speed and direction

В результате стихии в регионе было повалено более 40 деревьев, несколько населенных пунктов остались без света. Основной удар стихии пришёлся на северное побережье. В порту Пионерского затонуло судно, а в Светлогорске был частично разрушен променада (рис. 6).



Рис. 6. Обрушение променада в г. Светлогорске. 04.01.2019 г.  
 Фото Е. Пономаренко  
 Fig. 6. The collapse of the promenade in Svetlogorsk. 01/04/2019.  
 Photo by E. Ponomarenko

В прикорневой части Куршской косы произошел прорыв авандюны, и эта часть косы была полностью затоплена морской водой, в том числе автомобильная трасса (рис. 7). Самые уязвимые участки национального парка «Куршская коса» загородили мешками с песком, но вода все равно затопила лес.



(а)

(б)

Рис. 7. Прорыв авандюны в прикорневой части Куршской косы (а) и затопление косы морской водой (б). 05.01.2019 г. Фото А. Крека

Fig. 7. Breakthrough of the embankment in the root part of the Curonian Spit (a) and flooding of the spit with sea water (b). 01/05/2019. Photo by A. Krek

03.01.2019 г. при северном ветре скоростью до 17 м/с наблюдалось повышение концентрации взвешенного вещества в прибрежной зоне северного побережья Самбийского полуострова (рис. 8а). Это является последствием размыва береговых склонов и авандюны у корня Куршской косы и перемещением песка вдоль северного побережья под воздействием ветра и волн. Также на траверзе пос. Рыбачье наблюдался участок акватории с высоким содержанием взвеси. Вероятно, это часть песка, отнесенная от прикорневого участка Куршской косы за предыдущие два дня, когда преобладал западный ветер. На рис. 8б показана штилевая ситуация, когда поступление взвешенного вещества в береговую зону минимально.

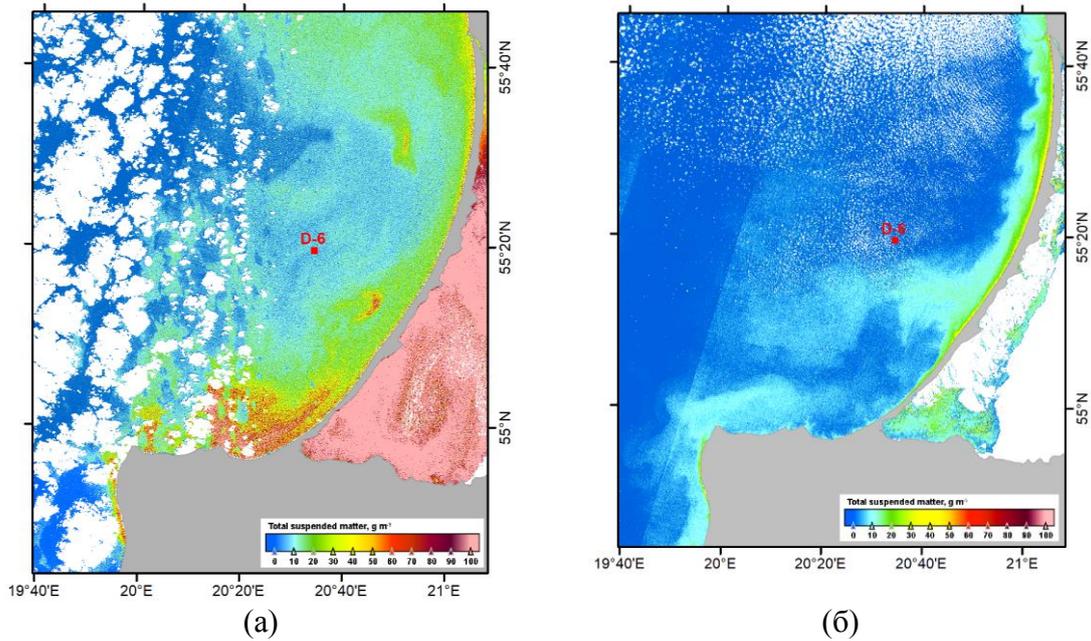


Рис. 8. Концентрация взвешенного вещества (а) по данным Sentinel-2A (MSI). 03.01.2019 г. (09:54 UTC) и (б) по данным Sentinel-2B (MSI) 23.01.2019 г. (09:53 UTC)

Fig. 8. Suspended matter concentration (a) according to Sentinel-2A (MSI) 03.01.2019 (09:54 UTC) and (b) according to Sentinel-2B (MSI) 01/23/2019 (09:53 UTC)

В то время, когда стихия разрушала северную часть Самбийского полуострова, на западе происходило надувание песочной массы в районе пос. Янтарного (рис. 9). Местами уровень песка поднялся на 20-30 см.



Рис. 9. Променада на пляже в пос. Янтарный, засыпанный песком. 03.01.2019 г. Фото Л. Кулешовой

Fig. 9. Promenade on the beach in the Yantarniy settl., covered with sand. 01/03/2019. Photo by L. Kuleshova

## ОБСУЖДЕНИЕ

По материалам наблюдений середины XX в. [7] число дней с сильным ветром ( $\geq 15$  м/с) в узкой прибрежной зоне составляло 28-38 за год, в отдельные годы до 60 дней; на осенне-зимний период (ноябрь-январь) приходилось до половины штормовых дней. Сила наблюдаемых штормов обычно составляла 7-8 баллов (12-18 м/с), изредка 9-10 (18-25 м/с), в исключительных случаях ветер достигал силы 11-12 баллов ( $>25$  м/с).

По данным [8] для Юго-Восточной Балтики в 1966-1985 гг. ежегодно отмечалось в среднем 26 случаев штормов (при скоростях ветра более 12 м/с продолжительностью не менее 6 ч). Наименьшее их количество (8-10) наблюдалось в 1979 и 1982 гг., наибольшее (66) – в 1984 г. Термобарические условия возникновения штормовых ветров в регионе подробно рассматривались в [7, 9]. Выделено восемь типов траекторий барических образований, и дана характеристика штормов при различных направлениях ветра.

По данным автоматической гидрометеорологической станции, установленной на морской платформе D-6, за период 2004-2018 гг. (15 лет – климатический полупериод) отмечено 412 штормов, в среднем  $27 \pm 6$  в год. Максимальное количество штормов наблюдалось в 2004 г. и в 2007 г., 36 и 35 штормов соответственно. Минимальное количество штормов отмечалось в 2006, 2009 и 2013 гг. (до 20 ежегодно). Рассчитанное приращение по тренду составило – 2,0 шторма/за период ( $R^2 = 0,01$ ).

Штормовые ветры (скорость  $\geq 15$  м/с) оказывают значительное влияние на формирование берегового рельефа, вызывая разрушительные процессы в прибрежных районах. Расчет трендов для максимальной скорости ветра в Юго-Восточной Балтике за период 2004-2018 гг. показал, что максимальные скорости практически не изменились: для скоростей  $\geq 15$  м/с трендовое приращение составило – 0,05 м/с/период (при значимом коэфф. Стьюдента).

Произошли изменения в структуре основных направлений: количество преобладающих юго-западных ветров уменьшилось (тренд -0,24 % в год), западных (-0,19), южных (-0,05), также уменьшилось количество восточных (-0,05 % в год) ветров, которые по силе редко относятся к штормовым. Но увеличилось количество ветров северных румбов: приращение северо-западных ветров составило +3,8 %, северных +1,8 % и северо-восточных +0,4 % за 2004-2018 гг.

Учитывая тот факт, что наблюдается тенденция к увеличению количества ветров северных румбов, возможно повторение чрезвычайной ситуации 2 января 2019 г.

Обычно самые сильные штормы приходят на Калининградскую область с юго-запада и запада. Порождаемые ими волны имеют сравнительно небольшую длину разгона. При этом побережье, имеющее северную экспозицию, оказывается в зоне ветровой и волновой тени. Поэтому октябрьские штормы 2018 г. с ветрами бóльшей силы и продолжительности не вызвали такого разрушения, как в начале января 2019 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Шторм января 2019 г. был одним из самых разрушительных в начале XXI в. Аналогичная ситуация сложилась в январе 2012 г. Шторм 14 января

оказался разрушительным для всего побережья Юго-Восточной Балтики, особенно для северного берега Самбийского полуострова. На Куршской косе максимальные разрушения с прорывом авандюны и затоплением лесного массива были в прикорневой части, в районе Зеленоградска [6]. Шторм 2-3 января 2019 г. также нанес значительный экономический ущерб северному побережью Калининградской области: произошли прорыв авандюны в прикорневой части Куршской косы и затопление участка косы, разрушена часть променада в Светлогорске, в порту г. Пионерского затонуло судно.

В связи с тем, что за последние 15 лет скорость сильных ветров практически не изменилась и наблюдается тенденция к увеличению «северных» штормов, для минимизирования ущерба необходимо провести ряд мероприятий по укреплению аккумулятивных берегов северного побережья Самбийского полуострова.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. S. D. Solomon [et al.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. – 996 p.
2. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. R.K. Pachauri and L.A. Meyer. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. – 151 p.
3. Росгидромет, 2008: Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. А. И. Бедрицкого [и др.]. – Москва, 2008. – Т. 1 (230 с.), Т. 2 (291 с.).
4. Росгидромет, 2014: Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова, С. М. Семенова. – Москва, 2014. – 1009 с.
5. Росгидромет, 2017: Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. – Москва, 2017. – 70 с.
6. Бобыкина, В. П. О зимней штормовой активности 2011–2012 гг. и ее последствиях для побережья Юго-Восточной Балтики / В. П. Бобыкина, Ж. И. Стонт // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42. – № 3. – С. 322-328.
7. Справочник по климату СССР. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. – Вып.6: Литовская ССР, Калининградская область РСФСР; ч. 3: Ветер. – 92 с.
8. Гидрометеорологические условия. Проект «Моря СССР». – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. – Т. III. Балтийское море, вып. 1. – 450 с.
9. Тупикин, С. Н. Структурный анализ штормовых ветров в Юго-Восточной Балтике и Калининградской области // Комплексное изучение бассейна Атлантического океана: сб. науч. тр. – Калининград, 2003. – С. 59-63.

## REFERENCES

1. IPCC 2007: *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed.: S. D. Solomon (et al.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p.
2. IPCC 2014: *Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Eds.: R. K. Pachauri and L. A. Meyer. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.
3. *Otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii, pod redaktsiyey Bedritskogo A. I. i dr.* [Assessment report on climate change and its effects on the territory of the Russian Federation, ed. A. I. Bedritskiy at all]. Moscow, Rosgidromet, 2008, vol. 1 (230 p.), vol. 2 (291 p.).
4. *Vtoroy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii, pod redaktsiyey Kattsova V. M., Semyonova S. M.* [Second assessment report on climate change and its effects on the territory of the Russian Federation, ed. V. M. Kattsov, S. M. Semenov]. Moscow, Rosgidromet, 2014, 1009 p.
5. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2016 god* [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2016]. Moscow, Rosgidromet, 2017, 70 p.
6. Bobykina V. P., Stont Zh. I. O zimney shtormovoy aktivnosti 2011–2012 gg. i yeye posledstviyakh dlya poberezh'ya Yugo-Vostochnoy Baltiki [About winter storm activity of 2011–2012 and its consequences for the coast of the South-Eastern Baltic]. *Vodnyye resursy*, 2015, vol. 42, no. 3, pp. 322–328.
7. *Spravochnik po klimatu SSSR. Litovskaya SSR i Kaliningradskaya obl. RSFSR. Veter* [Handbook of climate of the USSR. Lithuanian SSR and the Kaliningrad region. RSFSR. Wind]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1966, iss. 6, part 3, 90 p.
8. *Gidrometeorologicheskiye usloviya. Proyekt "Morya SSSR". Baltiyskoye more* [Hydrometeorological conditions. The project "Sea of the USSR". The Baltic Sea]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, vol. 3, iss. 1, 1992, 450 p.
9. Tupikin S. N. Strukturnyy analiz shtormovykh vetrov v Yugo-Vostochnoy Baltike i Kaliningradskoy oblasti [Structural analysis of storm winds in the South-Eastern Baltic and the Kaliningrad region]. *Kompleksnoye izucheniye basseyna Atlanticheskogo okeana: Sb. nauch. trudov* [Proc. "Comprehensive Study of the Atlantic Ocean Basin"]. Kaliningrad, 2003, pp. 59–63.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Стонт Жанна Ивановна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук; кандидат географических наук; ученый секретарь, старший научный сотрудник; E-mail: ocean\_stont@mail.ru

*Stont Zhanna Ivanovna* – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; PhD in Geographical Sciences; Scientific Secretary, Senior Researcher; E-mail: ocean\_stont@mail.ru

*Ульянова Марина Олеговна* – Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук; кандидат географических наук; ведущий научный сотрудник; E-mail: marioches@mail.ru

*Ulyanova Marina Olegovna* – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; PhD in Geographical Sciences; Leading Researcher; E-mail: marioches@mail.ru

*Крек Елена Владимировна* – Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук; научный сотрудник АО ИО РАН; E-mail: elena321@mail.ru

*Krek Elena Vladimirovna* – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; Researcher; E-mail: elena321@mail.ru;

*Чурин Дмитрий Александрович* – Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук; кандидат географических наук; научный сотрудник; E-mail: dedoxis@mail.ru

*Churin Dmitry Aleksandrovich* – Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; PhD in Geographical Sciences; Researcher; E-mail: dedoxis@mail.ru

*Губарева Диана Евгеньевна* – Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта; студент-бакалавр кафедры географии, природопользования и пространственного развития; E-mail: gubdi97@gmail.com

*Gubareva Diana Evgenievna* – Immanuel Kant Baltic Federal University; Bachelor Student; Department of Geography, Nature Management and Spatial Planning; E-mail: gubdi97@gmail.com

## **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



УДК 664.9.022

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ФОРМЫ ДВУХКРОМОЧНОГО НОЖА БЕЗ БОКОВЫХ ГРАНЕЙ ПРИ РЕЗАНИИ РЫБЫ

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

MATHEMATICAL SIMULATION OF PROFILE RESISTANCE FORCE OF DOUBLE-EDGED KNIFE WITHOUT SIDE EDGES DURING FISH CUTTING

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

Показана актуальность исследования процесса резания рыбы и моделирования сил вредных сопротивлений. Мышечная ткань рыбы описана реологической моделью Максвелла-Томсона. Приняты условия стесненного сжатия материала по ширине и отсутствия стесненного сжатия по направлению движения ножа. На основе энергетического подхода сила сопротивления формы ножа представлена как деформационная сила трения на макроскопическом масштабном уровне при условии гладкости поверхности граней. Разработаны математические модели для размерной и безразмерной сил сопротивления формы ножа без боковых граней. Установлена зависимость размерной силы от углов заточки, толщины ножа, реологических свойств материала и скорости резания. Зависимость силы от скорости резания является немонотонной с явно выраженным максимумом. Показана зависимость безразмерной силы от безразмерной скорости резания и меры эластичности мышечной ткани. Выполнен сравнительный анализ сил сопротивления формы ножа с прямым обухом и двухкромочных ножей. Показано, что использование двухкромочного ножа без боковых граней обеспечивает существенное снижение силы вредных сопротивлений и сокращение энергетических затрат на резание рыбы. При углах заточки задних наклонных граней 5; 10; 20; 50° максимумы силы составляют 0,317; 0,306; 0,288; 0,274 Н соответственно. При значениях мгновенного модуля упругости  $1,5 \cdot 10^5$ ;  $2 \cdot 10^5$ ;  $2,5 \cdot 10^5$ ;  $3 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> максимумы силы 0,310; 0,411; 0,513; 0,614 Н соответственно. При значениях меры эластичности 4; 7; 11; 15 максимумы безразмерной силы сопротивления формы ножа с боковыми гранями составляют 1,959; 3,166; 4,774; 6,381, без боковых граней – 1,193; 1,864; 2,764; 3,663 соответственно.

*рыба, резание, сила, сопротивление, форма, нож, грань, реология, вязкоупругость*

The relevance of researching the process of fish cutting fish and modeling forces of harmful resistance is shown. The fish muscular tissue rheological properties are described by a Maxwell-Thomson model. The conditions of constrained compression of the material across the width and the absence of constrained compression in the direction of movement of the knife are accepted. On the basis of the energy approach, the profile resistance force of the double-edged knife has been interpreted as deformational force of the friction at the macroscopic scale level, provided that the surface of the faces

is smooth. The mathematical models for dimensional and dimensionless profile resistance forces of the knife without side edges has been developed. The dependence of the dimensional force on the sharpening angles, knife thickness, rheological properties and cutting speed has been established. The dependence of the force on the cutting speed is non-monotonic with a pronounced maximum. The dependence of the dimensionless force on the dimensionless cutting speed and measure of the muscle tissue elasticity has been shown. The profile resistance forces of flat-back knife and double-edged knives has been analyzed. Using of double-edged knife without side edges provides a significant reduction in the strength of harmful resistances and a reduction in the energy consumption during fish cutting. With sharpening angle of back edges of 5; 10; 20; 50 degrees force maximums are 0.317; 0.306; 0.288; 0.274, respectively. When the values of instantaneous modulus of elasticity  $1.5 \cdot 10^5$ ;  $2 \cdot 10^5$ ;  $2.5 \cdot 10^5$ ;  $3 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup> the maximums of the specified force are 0.310; 0.411; 0.513; 0.614 N, respectively. With the values of elasticity measure of 4; 7; 11; 15 dimensionless force maximums of flat-back knife are 1.959; 3.166; 4.774; 6.381 and without side edges – 1.193; 1.864; 2.764; 3.663, respectively.

*fish, cutting, force, resistance, profile, knife, edge, rheology, viscoelasticity*

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение ресурсосбережения при резании рыбы предусматривает тщательный анализ сил сопротивления [1]. Снижение силы вредного сопротивления предполагает минимизацию её составляющих – силы сопротивления формы и силы трения [2].

Математическое моделирование процесса резания пищевых продуктов является актуальным научным направлением и привлекает внимание исследователей в России и за рубежом. В работах [3, 4] установлена экспериментальная зависимость между силой сопротивления разрушения волокнистого материала и скоростью движения ножа. В статье [5] проанализировано влияние угла заточки лезвия на параметры указанного процесса. В работе [6] исследованы закономерности высокоскоростной обработки вязкоупругих материалов в широком диапазоне скоростей: от 0,001 до 10 м/с. Статья [7] описывает конечно-элементное моделирование процесса разрушения вязкоупругого продукта. В работах [8, 9] показан подход к определению оптимальной геометрии ножа путем минимизации нормальной составляющей результирующего сопротивления (максимизации «скользящего» резания).

Однако, несмотря на ценность известных работ, в настоящее время отсутствует аналитическое описание сил вредных сопротивлений, действующих на рабочий орган при резании рыбы. В то же время для оптимизации геометрии ножа по критерию минимального сопротивления резанию требуется математическое моделирование сил, действующих на его грани.

## МАТЕРИАЛ

В работах [10, 11] обоснован выбор реологических моделей мышечной ткани рыбы. Рассмотрены дифференциальные уравнения моделей с их решениями для трех различных условий нагружения. Изложены результаты экспериментальных испытаний мышечной ткани ставриды, скумбрии, сардинеллы атлантической на пря-

мую ползучесть, релаксацию и обратную ползучесть. Установлено, что мышечная ткань рыбы до разрушения проявляет ограниченное течение под нагрузкой, релаксирует при постоянной нагрузке до равновесного состояния, полностью восстанавливается при полной разгрузке. Показано, что результатам проведенных экспериментальных испытаний приближенно соответствует трехэлементная реологическая модель Максвелла–Томсона.

## МЕТОДЫ

Цель математического моделирования – определение силы сопротивления формы, возникающей при резании рыбы двухкромочным ножом без боковых граней (ножом с ромбовидным профилем). Указанная сила является проекцией реактивной вязкоупругой силы на направление движения ножа.

Согласно современным представлениям трибологии [12, 13] сила сопротивления формы интерпретирована как деформационная сила трения на макроскопическом масштабном уровне. На данном уровне следует решать задачу определения силы трения скольжения штампа (ножа как абсолютно твердого гладкого тела) по деформируемому вязкоупругому материалу (разрезанной мышечной ткани рыбы). При этом шероховатость поверхности ножа не учитывается, поскольку определяющей является геометрическая форма профиля режущего рабочего органа.

Задачу нахождения деформационной силы трения при скольжении ножа по вязкоупругому материалу на макроскопическом уровне (силы сопротивления формы) целесообразно решать на основе энергетического подхода. Такой подход является более общим и основан на определении потерь энергии, обусловленных вязкоупругой деформацией материала. Энергетический подход подробно рассмотрен в работах [14, 15], которые отличаются ясностью постановки и конструктивными результатами. Он справедлив для штампа произвольной формы, что позволяет применять его к ножам с различными профилями.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Согласно энергетическому подходу при скольжении штампа диссипация энергии в вязкоупругом материале происходит за счет вязкого трения в демпфере элемента Кельвина-Фойгта модели Максвелла-Томсона [10]. Воспользуемся результатами работ [14, 15] для расчета силы сопротивления формы ножа при резании рыбы.

В [14] удельная деформационная сила трения штампа при скольжении по вязкоупругому основанию дана в следующем виде:

$$F = \int_a^b [g'(y) \cdot p(y)] dy + \frac{1}{2 \cdot E_0} \cdot [p^2(b) - p^2(a)], \quad (1)$$

где  $p(y)$  – нормальное контактное давление на штамп со стороны материала;  $g(y)$  – функция, определяющая геометрию штампа (форму профиля ножа);  $g'(y)$  – производная указанной функции;  $a, b$  – координаты по оси  $(0, y)$  крайних точек штампа произвольной формы. Функция  $g(y)$  соответствует разности координат точки профиля штампа с координатой  $y$  и точки профиля с нулевой координатой, так что  $g(0) = 0$ .

Таким образом, на основе уравнения (1) представляется возможным определить силу сопротивления формы, используя величину нормального контактного давления материала в точках соответствующих граней. Применим данное уравнение для расчета силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней. Для этого рассмотрим движение в мышечной ткани рыбы элементарного ножа, изображенного на рис. 1. Центр подвижной декартовой системы координат  $Oxy$  находится в точке  $O$ .

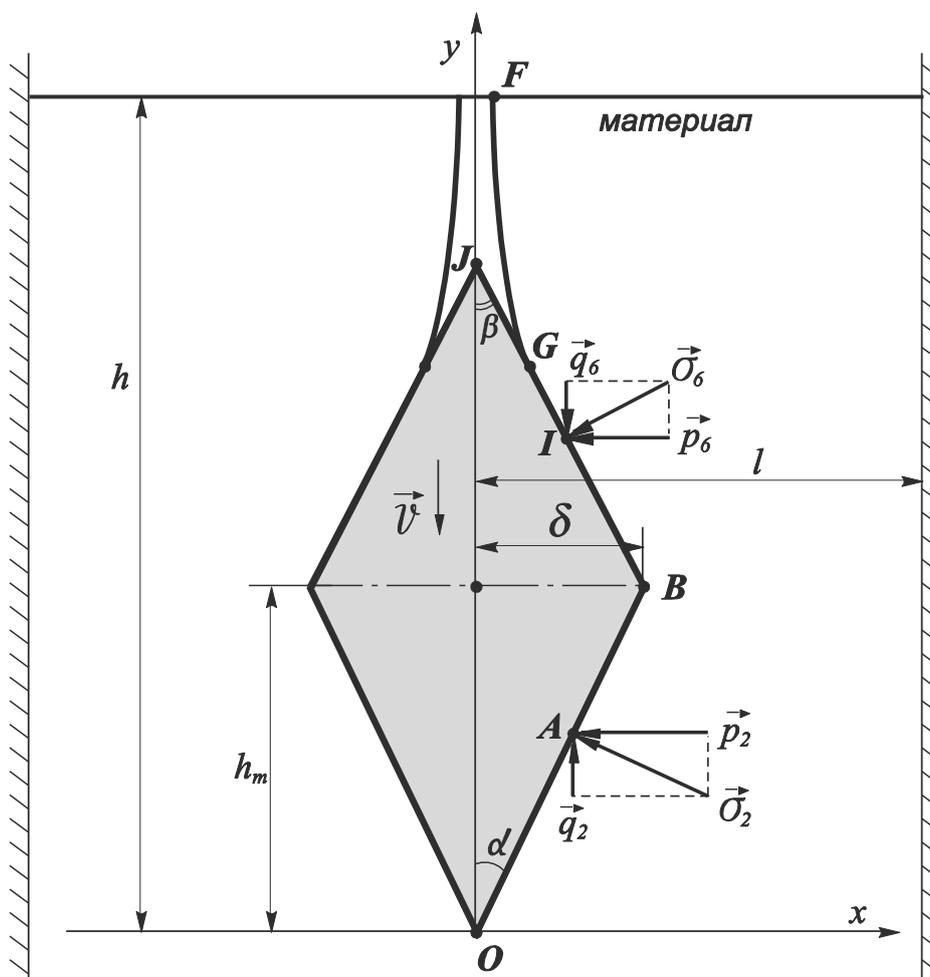


Рис. 1. Схема движения двухкромочного ножа без боковых граней при резании рыбы

Fig. 1. The scheme of movement of double-edged knife without side edges during fish cutting

В квазистатической постановке считаем, что в любой момент времени нож находится в состоянии равновесия. При резании лезвие совершает в материале прямолинейное равномерное движение. Материал находится в условиях стесненного сжатия по оси  $Ox$ , а резание осуществляется без сжатия материала в направлении движения ножа по оси  $Oy$  (высота образца материала много больше его ширины). На рис. 1 обозначены:  $\vec{p}_2$  – контактное давление горизонтального эле-

ментарного волокна  $dy$  в точке  $A$ , нормальное к направлению движения ножа;  $\bar{q}_2$  – встречное сопротивление материала движению точки  $A$ , обусловленное деформацией указанного волокна по оси  $Ox$ ;  $\bar{\sigma}_2$  – контактное давление материала на переднюю наклонную грань в точке  $A$ ,  $\bar{p}_6$  – нормальное контактное давление горизонтального элементарного волокна  $dy$  в точке  $I$  задней наклонной грани ножа;  $\bar{q}_6$  – попутное контактное давление в точке  $I$  задней наклонной грани ножа;  $\bar{\sigma}_6$  – контактное давление материала на заднюю наклонную грань в точке  $I$ .

Введем следующие обозначения:  $E_0$  – мгновенный модуль упругости мышечной ткани рыбы (модуль Юнга);  $E_1$  – запаздывающий (высокоэластичный) модуль упругости мышечной ткани рыбы;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости мышечной ткани рыбы;  $e_{01} = E_0/E_1$  – мера эластичности мышечной ткани рыбы;  $l_k$  – длина кромки лезвия;  $\delta$  – половинная толщина ножа;  $\alpha$  – половинный угол заточки передней кромки ножа;  $\beta$  – половинный угол заточки задней кромки ножа;  $t_{\alpha\beta} = \operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \beta$ ;  $h_m$  – высота передней наклонной грани;  $l$  – половинная ширина материала в состоянии равновесия;  $v$  – скорость ножа;

$\xi = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1} = \frac{E_0}{1 + E_0/E_1}$  (квазистатический модуль упругости);  $k = -\frac{E_0 + E_1}{\eta \cdot v}$ ;

$\mu = 1 - \exp\left(\frac{k \cdot \delta}{\operatorname{tg} \alpha}\right)$ ;  $\chi = \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha}{E_1^2 \cdot \delta}$ ;  $\bar{F}_1$  – размерная сила сопротивления формы;

$\bar{F}_1$  – безразмерная сила сопротивления формы.

Правая половина двухкромочного (обоюдоострого) ножа (рис. 1) имеет две крайние контактные точки: точку  $O(0,0)$  и точку  $G(\delta - \check{y}_G / \operatorname{tg} \beta, \check{y}_G)$ , а также одну угловую точку  $B(\delta, h_m)$ . Таким образом, в выражении (1)  $a = 0$ ,  $b = \check{y}_G$ . В связи с этим, сила сопротивления формы двухкромочного ножа согласно (1) определяется следующим выражением:

$$\bar{F}_1 = l_k \cdot \left( \int_0^{\check{y}_G} g'(y) \cdot p(y) dy + \frac{1}{2 \cdot E_0} \cdot [p^2(0) - p^2(y_G)] \right). \quad (2)$$

Запишем граничные условия контакта ножа с материалом в следующем виде:  $p(0) = 0$ ;  $p(\check{y}_G) = 0$ . Представим интеграл в выражении (2) в виде суммы интегралов. Тогда с учетом граничных условий выражение (2) имеет следующий вид:

$$\bar{F}_1 = l_k \cdot \left( \int_0^{h_m} g'(y) \cdot p_2(y) dy + \int_{h_m}^{\check{y}_G} g'(y) \cdot p_6(y) dy \right). \quad (3)$$

Форма профиля двухкромочного ножа без боковых граней определяет вид функций  $g(y)$  и  $g'(y)$ :

$$g(y) = \begin{cases} tg\alpha \cdot y; y \in (0, h_m) \\ -y \cdot tg\beta; y \in (h_m, \check{y}_G) \end{cases}; g'(y) = \begin{cases} tg\alpha; y \in (0, h_m) \\ -tg\beta; y \in (h_m, \check{y}_G) \end{cases}. \quad (4)$$

Подставим в (3) выражения для нормальных контактных давлений  $p_2(y)$  и  $p_6(y)$  на переднюю и заднюю наклонные грани и координаты  $\check{y}_G$  крайней точки контакта  $G$ , полученные в работах [2, 16, 17] путем последовательного решения дифференциального уравнения первого порядка модели Максвелла-Томсона [10, 11] в областях  $OB$  и  $BG$ . Используем формулу Ньютона-Лейбница и запишем выражение для силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней:

$$\begin{aligned} \check{F}_1 = & \frac{l_k \cdot \xi \cdot tg^2\alpha}{l} \cdot \left[ \frac{h_m^2}{2} + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v}{E_1^2} \cdot \left( h_m + \frac{1 - \exp(k \cdot h_m)}{k} \right) \right] - \\ & - \frac{l_k \cdot \xi \cdot tg^2\beta}{l} \cdot \left( \frac{h_\beta \cdot \chi - \frac{e_{01}}{k} + h_m}{k} \cdot (\exp(k \cdot [\check{y}_G - h_m]) - 1) + \left( h_\beta + \frac{e_{01}}{k} \right) \cdot (\check{y}_G - h_m) - \frac{\check{y}_G^2 - h_m^2}{2} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Введем безразмерную скорость ножа:  $\bar{v} = \frac{v}{h_m} \cdot \frac{\eta}{(E_0 + E_1)}$ . Тогда с учетом

$\check{F}_1 = F_0 \cdot \check{F}_1$ ;  $F_0 = (\delta^2 \cdot l_k \cdot \xi) / l$ ;  $\xi = E_0 / (1 + e_{01})$ ;  $\check{y}_G = \check{y}_G / h_m$  (безразмерная координата точки  $G$ );  $t_{\alpha\beta} = tg\alpha / tg\beta$  выражение для безразмерной силы сопротивления формы двухкромочного ножа имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \check{F}_1 = \check{F}_1 / F_0 = & [0,5 + \bar{v} \cdot e_{01} \cdot (1 + (\exp(-1/\bar{v}) - 1) \cdot \bar{v})] - \\ & - \frac{1}{t_{\alpha\beta}^2} \cdot \left\{ [t_{\alpha\beta} \cdot \chi - e_{01} \cdot \bar{v} - 1] \cdot \left( \exp\left(\frac{1 - \check{y}_G}{\bar{v}}\right) - 1 \right) \cdot \bar{v} + (t_{\alpha\beta} - e_{01} \cdot \bar{v}) \cdot (\check{y}_G - 1) - \frac{\check{y}_G^2 - 1}{2} \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2-6 приведены результаты моделирования силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней. Сила  $F_1$  соответствует ножу с прямым обухом,  $\hat{F}_1$  – с боковыми гранями,  $\check{F}_1$  – без боковых граней.

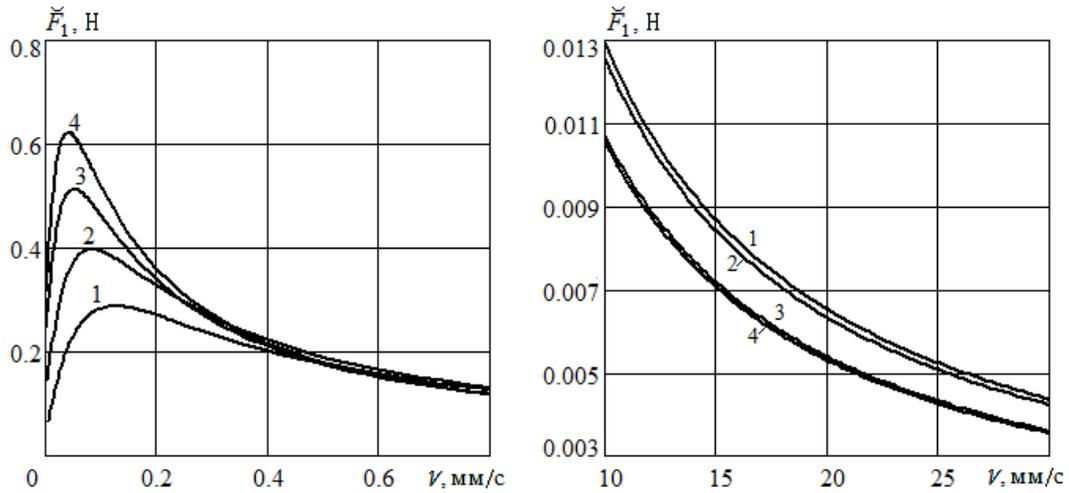


Рис. 2. Зависимость силы сопротивления формы от скорости резания при различных реологических свойствах материала ( $\alpha = 5^\circ$ ;  $\beta = 15^\circ$ ;  $\delta = 3$  мм;  $l = 50$  мм;  $L = h_m = 12$  мм):

1 –  $E_0 = 1,5 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>,  $E_1 = 0,1 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>; 2 –  $E_0 = 2 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>,  $E_1 = 0,3 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;  
 3 –  $E_0 = 2,5 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>,  $E_1 = 0,6 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>; 4 –  $E_0 = 3 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>,  $E_1 = 0,8 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>

Fig. 2. Dependence of the profile resistance force on the cutting speed at different rheological properties of the material

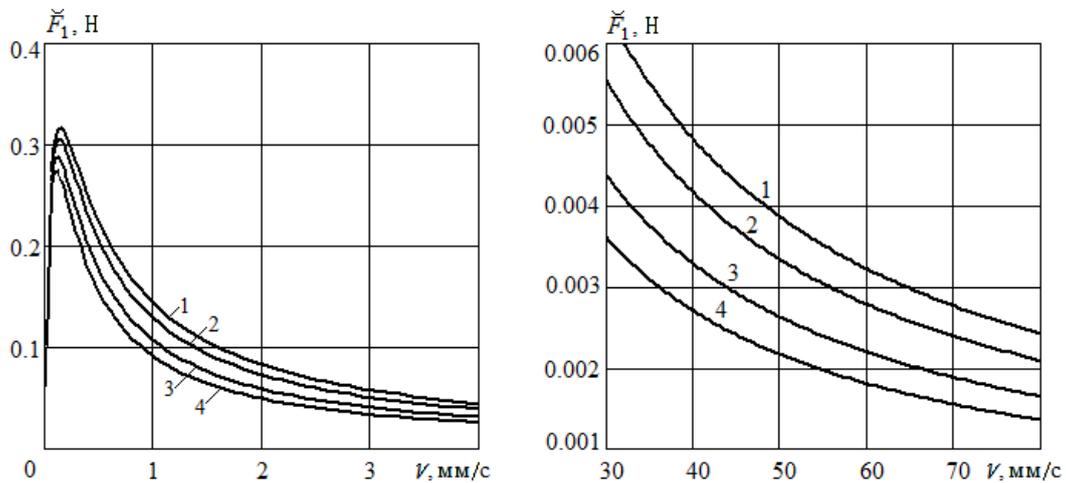


Рис. 3. Зависимость силы сопротивления формы от скорости резания при различных половинных углах заточки задней наклонной грани ( $E_0 = 3 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;  $e_{01} = 3,75$ ;  $\delta = 3$  мм): 1 –  $\beta = 5^\circ$ ; 2 –  $\beta = 10^\circ$ ; 3 –  $\beta = 20^\circ$ ;  
 4 –  $\beta = 50^\circ$

Fig. 3. Dependence of the profile resistance force on the cutting speed at different sharpness half-angle  $\beta$  of the back inclined edge

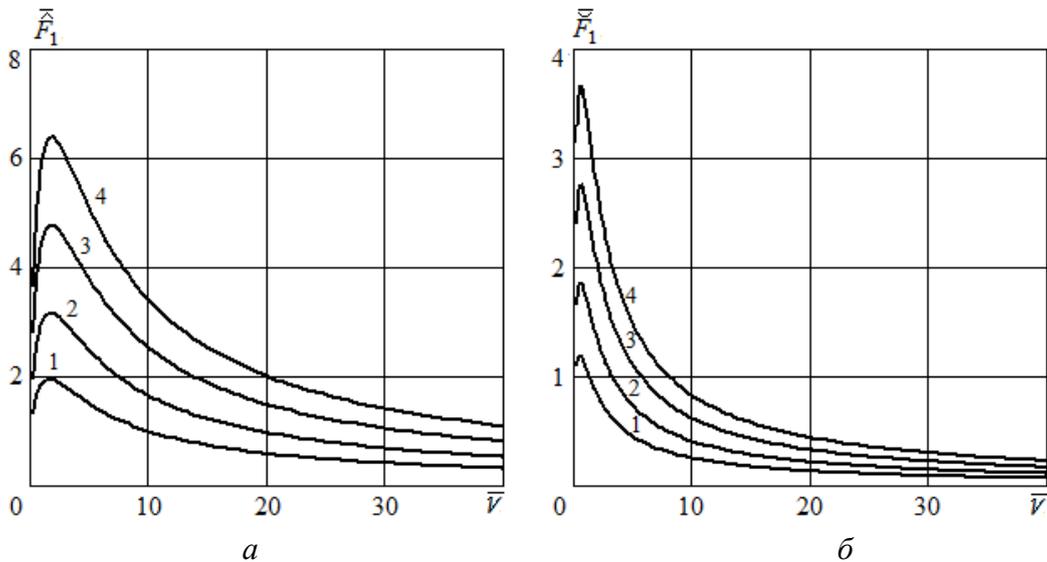


Рис. 4. Зависимости безразмерных сил сопротивления формы двухромбического ножа с боковой гранью (а) и ножа без боковых граней (б) от безразмерной скорости резания при различных значениях меры эластичности материала ( $t_{\alpha\beta} = 0,8$ ): 1 –  $e_{01} = 4$ ; 2 –  $e_{01} = 7$ ; 3 –  $e_{01} = 11$ ; 4 –  $e_{01} = 15$

Fig. 4. Dependencies of the dimensionless profile resistance force of double-edged knife with side edges (a) and knife without side edges (b) on the dimensionless cutting speed at different values of elasticity measure

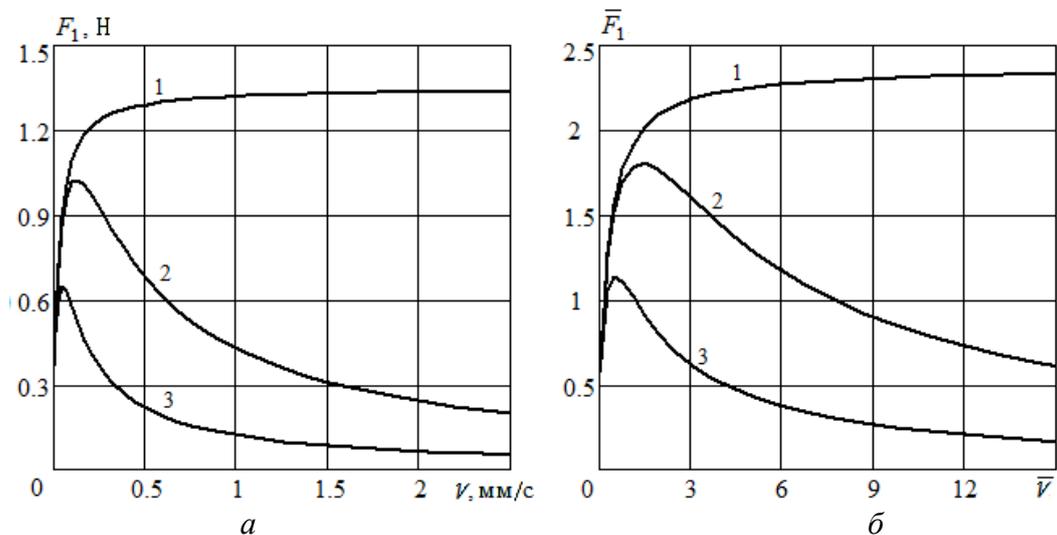


Рис. 5. Зависимости размерных (а) и безразмерных (б) сил сопротивления формы от безразмерной скорости движения ножа:

$a - E_0 = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2, E_1 = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2; \eta = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2; \alpha = 5^\circ; \delta = 3 \text{ мм};$

$1 - F_1, 2 - \hat{F}_1, 3 - \check{F}_1; \bar{b} - e_{01} = 3,75; t_{\alpha\beta} = 0,8; 1 - \bar{F}_1, 2 - \hat{\bar{F}}_1, 3 - \check{\bar{F}}_1$

Fig. 5. Dependencies of the dimension (a) and dimensionless (b) profile resistance force on the dimensionless cutting speed

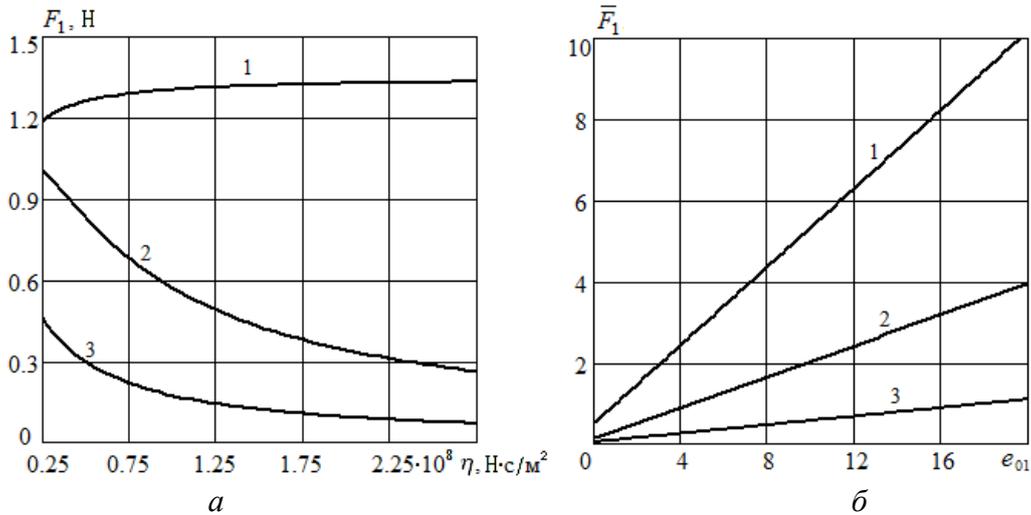


Рис. 6. Размерные (*a*) и безразмерные (*б*) силы сопротивления формы:  
*a* – зависимость размерных сил от коэффициента динамической вязкости

$$(v = 1 \text{ мм/с}): 1 - F_1, 2 - \hat{F}_1, 3 - \check{F}_1;$$

*б* – зависимость безразмерных сил от меры эластичности материала

$$(\bar{L} = 3; \bar{v} = 10; t_{\alpha\beta} = 0,8): 1 - \bar{F}_1, 2 - \hat{\bar{F}}_1, 3 - \check{\bar{F}}_1$$

Fig. 6. dimension (*a*) and dimensionless (*б*) profile resistance force.

*a* – dependence of dimension forces on coefficient of dynamic viscosity of the material;

*б* – dependence of dimensionless forces on elasticity measure

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для сокращения затрат энергии на резание необходимо стремиться к снижению сил сопротивления. В связи с этим, проанализируем влияние различных параметров на размерную и безразмерную силы сопротивления формы двухкромочного (обоюдоострого) ножа без боковых граней (рис. 1). В данном случае процесс обратной ползучести материала протекает без промежуточной релаксации напряжений при постоянной деформации мышечной ткани. Рис. 2 показывает, что с монотонным ростом упругих свойств материала максимум силы существенно увеличивается и достигается при очень малых скоростях резания. При дальнейшем повышении скорости резания с усилением жесткости мышечной ткани сила сопротивления формы ножа снижается. Рис. 3 демонстрирует, что при отсутствии у ножа боковых граней существенным является влияние на указанную силу угла заточки задних наклонных граней. С увеличением указанного угла заточки при малых скоростях резания максимум силы снижается, причем при больших скоростях сила также уменьшается. При углах заточки 5; 10; 20; 50° максимумы рассматриваемой силы составляют 0,317; 0,306; 0,288; 0,274 Н соответственно.

Заметное влияние на силу сопротивления формы оказывает коэффициент динамической вязкости материала. Увеличение вязкости материала способствует более быстрому достижению максимума силы, причем значение максимума не изменяется. Усиление вязких свойств мышечной ткани сопровождается существенным снижением силы сопротивления при росте скорости ножа. Это сопутствует увеличению жесткости материала и объясняется сокращением диссипатив-

ных потерь в материале, благодаря чему большее количество вязкоупругой энергии сохраняется в материале и превращается в механический вид, сообщая ножу кинетическую энергию и снижая результирующую силу сопротивления. При этом значения силы сопротивления формы ножа без боковых граней заметно ниже соответствующих значений таковой для ножа с боковыми гранями. При значениях мгновенного модуля упругости  $1,5 \cdot 10^5$ ;  $2 \cdot 10^5$ ;  $2,5 \cdot 10^5$ ;  $3 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> максимумы указанной силы составляют 0,310; 0,411; 0,513; 0,614 Н соответственно.

Рис. 4 показывает, что отсутствие релаксации напряжений при постоянной деформации материала боковыми гранями обуславливает существенное снижение безразмерной силы сопротивления формы при прочих равных условиях. При значениях меры эластичности 4; 7; 11; 15 максимумы безразмерной силы сопротивления формы ножа с боковыми гранями составляют 1,959; 3,166; 4,774; 6,381, без боковых граней – 1,193; 1,864; 2,764; 3,663 соответственно. В целом рис. 2-4 демонстрируют, что с ростом скорости резания сила асимптотически стремится к нулевому значению.

Рис. 5, 6 иллюстрируют, что наибольшая сила сопротивления формы возникает в случае резания рыбы ножом с прямым обухом, а наименьшая соответствует двухкромочному ножу без боковых граней, который при принятых допущениях является наиболее эффективным рабочим органом.

Зависимости размерных и безразмерных сил от модулей упругости, меры эластичности и коэффициента динамической вязкости материала монотонные. При значениях мгновенного модуля упругости  $3 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>; запаздывающего модуля упругости  $0,8 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>; коэффициента динамической вязкости  $1,5 \cdot 10^7$  Н·с/м<sup>2</sup>; половинном угле заточки передних наклонных граней 5° и половинной толщине ножа 3 мм предел силы сопротивления формы ножа с прямым обухом составляет 1,345 Н, максимумы сил сопротивления формы ножей с боковыми гранями и без них равны 1,025 Н и 0,646 Н соответственно. При значениях меры эластичности материала 3,75 и отношения тангенсов углов заточки 0,8 предел безразмерной силы сопротивления формы ножа с прямым обухом составляет 2,367, максимумы безразмерных сил сопротивления формы ножей с боковыми гранями и без них равны 1,804 и 1,136 соответственно.

С усилением вязкости материала сила сопротивления формы ножа с прямым обухом возрастает и асимптотически стремится к предельному значению, в то время как силы сопротивления формы двухкромочных ножей снижаются и асимптотически стремятся к нулевому. При этом из рис. 4-6 видим, что минимальная размерная сила возникает при резании рыбы ножом без боковых граней. С ростом меры эластичности материала наименьшая безразмерная сила также соответствует указанному двухкромочному ножу.

## ВЫВОДЫ

1. Сила сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней существенно зависит от реологических свойств рыбы – модулей упругости и коэффициента динамической вязкости. С увеличением жесткости сырья указанная сила существенно снижается при средних и высоких скоростях резания.

2. Зависимость силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней от скорости резания является немонотонной с явно выраженным максимумом. Указанная сила с ростом скорости асимптотически стремится к ну-

левому значению, что отличает ее от силы сопротивления однокромочного ножа, которая при тех же условиях монотонно возрастает и асимптотически стремится к своему предельному значению.

3. Влияние на силу сопротивления формы оказывает геометрия ножа. Половинные углы заточки передней и задней наклонных граней влияют на размерную силу, что обуславливает целесообразность постановки и решения задачи оптимизации профиля ножа по критерию минимальной силы вредного сопротивления. Половинная толщина ножа сказывается на мгновенно-упругой и высокоэластичной составляющих силы сопротивления.

4. Отсутствие боковых граней обуславливает отсутствие потерь вязкоупругой энергии при релаксации напряжений, что приводит к существенному сокращению силы сопротивления формы. Это позволяет заключить, что для ножей с прямыми гранями при прочих равных условиях наименьшие затраты энергии на резание обеспечиваются при резании двухкромочным ножом без боковых граней. Это подтверждается современными тенденциями при разработке рабочих органов зарубежных филетировочных машин [1].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на наклонные грани ножа при резании рыбы / О. В. Агеев [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 47. – С. 80-96.
3. Dowgiallo A. Cutting force of fibrous materials. *Journal of Food Engineering*, 2005, no. 66, pp. 57-61.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Atkins T. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. *Engineering Fracture Mechanics*, 2006, no. 73, pp. 2523-2531.

9. 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.

10. Агеев, О. В. Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Самойлова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 49. – С. 75-91.

11. 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.

12. Горячева, И. Г. Механика фрикционного взаимодействия / И. Г. Горячева. – Москва: Наука, 2001. – 478 с.

13. Popov V. L. Contact Mechanics and Friction. Physical Principles and Applications. Berlin, Springer Verlag GmbH, 2017, 391 p.

14. Солдатенков, И. А. К расчету деформационной составляющей силы трения для стандартного вязкоупругого основания / И. А. Солдатенков // Трение и износ. – 2008. – № 1. – Т. 29. – С. 12-21.

15. Солдатенков, И. А. Расчет трения индентора с фрактальной шероховатостью о вязкоупругое основание / И. А. Солдатенков // Трение и износ. – 2015. – № 3. – Т. 36. – С. 257-262.

16. Агеев, О. В. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на боковые грани ножа при резании пищевых материалов / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2017. – № 4. – С. 27-42.

17. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на грани двухкромочного ножа при резании рыбы / О. В. Агеев [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 50. – С. 81-102.

## REFERENCES

1. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya pervichnoy 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.

2. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samoylova N. V. *Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na naklonnyye grani nozha pri rezanii ryby* [Mathematical simulation of forces of normal contact pressure of inclined knife edges during fish processing]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2017, no. 47, pp. 80-96.

3. Dowgiallo A. Cutting force of fibrous materials. *Journal of Food Engineering*, 2005, no. 66, pp. 57-61.

4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Atkins T. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. *Engineering Fracture Mechanics*, 2006, no. 73, pp. 2523-2531.
9. 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.
10. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Samoylova N. V. Vybor i identifikatsiya reologicheskoy modeli strukturno-mekhanicheskikh svoystv myshechnoy tkani ryby [Selection and identification of rheological model of the structural-mechanical properties of muscular fish tissue]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no. 49, pp. 75-91.
11. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A., Samoilova N. V. Analiz sootvetstviya reologicheskikh modeley strukturno-mekhanicheskimi svoystvami ryby [Correspondence of rheological models to the structural-mechanical properties of fish]. *Nauchnyy zhurnal Sankt-Peterburgskogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta informacionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. Seriya: Processy i apparaty pishhevyykh proizvodstv*, 2018, no. 2(36), pp. 34-43.
12. Goryacheva I. G. *Mekhanika frikcionnogo vzaimodeystviya* [Mechanics of frictional interaction]. Moscow, Nauka, 2001, 478 p.
13. Popov V. L. *Contact Mechanics and Friction. Physical Principles and Applications*. Berlin, Springer Verlag GmbH, 2017, 391 p.
14. Soldatenkov I. A. K raschetu deformatsionnoy sostavlyayushchey sily treniya dlya standartnogo vyazkouprugogo osnovaniya [On calculation of deformation component of friction force for standard viscoelastic foundation]. *Trenie i iznos*, 2008, no. 1, vol. 29, pp. 12-21.
15. Soldatenkov I. A. Raschet treniya indentora s fraktal'noy sherohovatost'yu o vyazkouprugoe osnovanie [Calculation of friction force for indenter with fractal roughness in sliding on viscoelastic foundation]. *Trenie i iznos*, 2015, no. 3, vol. 36, pp. 257-262.
16. Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Yu. A. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na bokovye grani nozha pri rezanii pishhevyykh materialov [Mathematical simulation of forces of normal contact pressure on side knife edges during cutting of food materials]. *Nauchnyy zhurnal Sankt-Peterburgskogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta informacionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. Seriya: Processy i apparaty pishhevyykh proizvodstv*, 2017, no. 4(34), pp. 27-42.

17. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Samoilova N. V. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na grani dvuhkromochnogo nozha pri rezanii ryby [Mathematical simulation of forces of normal contact pressure on the facets of double-edge knife during fish cutting] *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*, 2018, no. 50, pp. 81-102.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*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

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

*Naumov Vladimir Arkadievich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of technical sciences, Chairman of Water Resources and Water Management Department; E-mail: van-old@rambler.ru

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

*Fatykhov Juriy Adgamovich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of technical sciences, Chairman of Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: elina@klgtu.ru

*Самойлова Наталья Владимировна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: procyon@mail.ru

*Samoylova Natalia Vladimirovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Postgraduate student of Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: procyon@mail.ru

УДК 641.51/54

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МУКИ  
В РЕЦЕПТУРЕ ТЕСТОВОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ БЛИНЧИКОВ

О. В. Анистратова, Л. Т. Серпунина, А. С. Кобзарева

JUSTIFICATION OF THE USE OF DIFFERENT TYPES OF FLOUR  
IN THE FORMULATION OF THE DOUGH SHELL FOR PANCAKES

O. V. Anistratova, L. T. Serpunina, A. S. Kobzareva

Обоснована необходимость расширения ассортимента кулинарной продукции на основе блинного теста с использованием второстепенных видов муки. Целью работы стало изучение применения смесей муки в рецептуре блинчиков. Проведен сравнительный анализ химического состава, и определена биологическая ценность различных видов муки (пшеничная, гречневая, овсяная, ржаная, амарантовая). Показано, что сумма незаменимых аминокислот (НАК) второстепенных видов муки больше (36,7 - 46,4), чем пшеничной (33,6), и превышает их уровень в белке-эталоне ФАО/ВОЗ (36,0). В отличие от белка пшеничной муки, имеющего целый ряд лимитирующих аминокислот (валин, изолейцин, лизин, треонин), белок второстепенных видов характеризуются дефицитом единичных эссенциальных аминокислот: овсяной муки – лизина, ржаной – лейцина, лизина и треонина, гречневой – метионина + цистеина, амарантовой муки – только лейцина. Дегустационная оценка выявила две рациональные рецептуры блинчиков: с использованием смеси ржаной, пшеничной, гречневой муки в соотношении 40/40/20 (образец 1) и пшеничной, овсяной и ржаной муки в соотношении 30/35/35 (образец 2). Установлено сходство опытной партии блинчиков с контрольной по показателю массовой доли влаги (59,8 и 59,2% соответственно). Отличия зафиксированы по значению массовой доли клейковины: 7,0% в образце 2 против 27,4% в контроле. Но блинное тесто, изготовленное на базе смеси ржаной, овсяной и пшеничной муки, обладает большей вязкостью, определяемой с помощью ротационного вискозиметра, по сравнению с контролем при аналогических вариациях скоростей шпинделя этого устройства. Этот факт свидетельствует о высокой водопоглотительной способности усовершенствованной смеси муки, благодаря чему увеличивается вязкость теста. Новая рецептура блинчиков обеспечивает понижение в продукте гликемического индекса, повышенный уровень пищевых волокон и ряда витаминов. Указанные характеристики позволяют рекомендовать данную продукцию для диетического питания, в том числе больных сахарным диабетом.

*мука, пшеничная, ржаная, гречневая, овсяная, амарантовая, гликемический индекс, диетическое питание, аминокислотный скор, рецептура, вязкость теста*

The paper studies the necessity of expanding the range of culinary products based on pancake dough, using secondary types of flour. A comparative analysis of the

chemical composition of various types of flour (wheat, buckwheat, oat, rye, amaranth) has been carried out, and their biological value has been assessed. It has been shown that the amount of essential amino acids in minor types of flour is higher (36.7 -46.4) than in wheat (33.6) and exceeds their level in the FAO / WHO reference protein (36.0). Unlike protein in wheat flour, which has a number of limiting amino acids (valine, isoleucine, lysine, threonine), minor species are characterized by deficiency of essential amino acids. As part of oat-meal protein, this is lysine, rye flour - leucine, lysine and threonine, in buckwheat flour - methionine + cysteine, in amaranth flour- only leucine. The tasting assessment revealed 2 rational recipes for pancakes: using rye, wheat, buckwheat flour in a ratio of 40/40/20 (sample 1), and using wheat, oatmeal and rye flour in the ratio of 30/35/35 (sample 2). The experimental batches of pancakes were found to be similar to the control group in terms of the mass fraction of moisture (59.8 and 59.2%, respectively). Differences have been recorded in the mass fraction of gluten: 7.0% in sample 2 vs. 27.4% in the control. Pancake dough made using a mixture of rye, oatmeal and wheat flour has a higher viscosity with similar variations in the speed measured with a rotation viscometer. This indicates a high water absorption capacity of the improved flour mixture, and thanks to this viscosity of the dough increases. A new pancake recipe will allow obtaining food products with a low glycemic index, enriched with dietary fiber and vitamins. This allows us to recommend this product for the diet.

*wheat, rye, buckwheat, oatmeal, amaranth flour, glycemic index, diet food, amino acid score, recipe, dough viscosity*

## ВВЕДЕНИЕ

Пищевые продукты специализированной направленности, изготовленные в условиях промышленного производства или на предприятиях общественного питания, все более завоевывают отечественный рынок продовольствия. Мучные изделия традиционного состава не в полной мере удовлетворяют концепции функционального питания. Основным их компонентом является пшеничная мука, которая имеет большое количество быстроусвояемых углеводов. Соответственно, продукты, произведенные на основе данного вида муки, не пригодны для людей, нацеленных на здоровое питание и потребление пищевой продукции функциональной направленности с высоким содержанием пищевых волокон и низким гликемическим индексом [1].

Совершенствование рецептур мучной продукции на основе современных гигиенических подходов может улучшить структуру рационов, повысить их пищевую ценность и обеспечить специализированным и диетическим питанием отдельные категории потребителей [2]. Замена пшеничной муки на второстепенные виды или комбинирование этих видов активно внедряются в производство не только хлебобулочных и кондитерских, но и мучных кулинарных изделий. В частности, разработаны рецептуры мучных полуфабрикатов для специализированного питания потребителей, страдающих целиакией [3]. Поиск технологических решений по разработке безглютеновых рецептур блинчиков и оладьев выполнен применительно к сухим смесям. Для исключения из продукта глютена было предложено использовать рисовую и амарантовую муку. Кроме того, авторы, изучая органолептическую сочетаемость второстепенных видов муки в сухих смесях, исключили возможность использования соевой муки по причине ухудше-

ния показателей качества готовых изделий. При изучении возможности введения льняной, амарантовой и пшеничной муки в тесто для безглютеновых кулинарных и кондитерских изделий выявили ряд недостатков (привкус горечи, низкое качество клейковины), что послужило основанием ограничить замену пшеничной муки только мукой из проса на 50-100% [4].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью проведенного исследования явилось изыскание возможного уровня замены пшеничной муки на второстепенные виды в рецептурных смесях для приготовления бездрожжевого блинного теста.

С целью обоснования введения в классическую рецептуру блинчиков второстепенных видов муки часть пшеничной муки заменяли на ржаную, гречневую, овсяную, амарантовую муку или их смеси. Контрольная партия блинчиков была выработана на основе пшеничной муки согласно действующим нормативным документам [5].

Подготовку и отбор проб для лабораторных испытаний осуществляли согласно единой методике в соответствии с требованиями, указанными в нормативной документации [6]. Органолептическая оценка контрольных и экспериментальных блинчиков проводилась по разработанной 5-балльной шкале. Степень согласованности мнений экспертов оценивалась по значению величины коэффициента конкордации Кендалла (W). Количественный анализ содержания клейковины в образцах проведен стандартным методом [7]. Вязкость теста определяли при помощи ротационного вискозиметра Брукфильда DV-II + Pro.

Сравнительный анализ опубликованных данных химического состава второстепенных видов муки показал, что овсяная, гречневая, амарантовая, ржаная обладают повышенной пищевой и биологической ценностью (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав различных видов муки [8]

Table 1. Chemical composition of various types of flour [8]

| Показатель                          | Виды муки |         |        |           |             |
|-------------------------------------|-----------|---------|--------|-----------|-------------|
|                                     | пшеничная | овсяная | ржаная | гречневая | амарантовая |
| Белки, %                            | 10,6      | 13,0    | 10,7   | 12,6      | 8,9         |
| Жиры, %                             | 1,3       | 6,8     | 1,9    | 1,2       | 1,7         |
| Углеводы, %                         | 68,3      | 64,9    | 58,6   | 71,9      | 61,7        |
| Вода, %                             | 14,0      | 9,0     | 14,0   | 9,0       | 14,0        |
| Пищевые волокна, %                  | 4,9       | 4,5     | 13,3   | 10,8      | 6,7         |
| Энергетическая ценность, ккал/100 г | 331,0     | 369,0   | 293,0  | 353,0     | 298,0       |
| Гликемический индекс                | 85        | 45      | 40     | 50        | 45          |

Указанные виды муки, в отличие от пшеничной, характеризуются низким значением гликемического индекса, повышенным содержанием клетчатки (исключение – овсяная), что позволяет использовать их в специализированном питании.

При проектировании рецептур современных продуктов питания целесообразно руководствоваться задачей по достижению высокой биологической ценности. Для изучения рассматриваемого растительного сырья был проведен расчет сбалансированности белкового состава по аминокислотному скору (табл. 2).

Таблица 2. Оценка биологической ценности различных видов муки  
Table 2. Evaluation of the biological value of various types of flour

| Наименование незаменимой аминокислоты | Эталон<br>ФАО/ВОЗ,<br>г/100 г<br>белка | Виды муки            |                        |                      |                        |                      |                        |                      |                        |                      |                        |
|---------------------------------------|--|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|                                       |  | пшеничная            |                        | овсяная              |                        | ржаная               |                        | гречневая            |                        | амарантовая          |                        |
|                                       |  | АК, г/100 г<br>белка | Аминокислотный скор, % |
| Валин                                 | 5,0                                    | 4,2                  | 84,0                   | 6,3                  | 126,0                  | 5,2                  | 104,0                  | 6,5                  | 130,0                  | 5,6                  | 112,0                  |
| Изолейцин                             | 4,0                                    | 3,6                  | 90,0                   | 4,5                  | 112,5                  | 4,0                  | 100,0                  | 4,7                  | 117,5                  | 4,4                  | 110,0                  |
| Лейцин                                | 7,0                                    | 7,1                  | 101,4                  | 7,1                  | 101,4                  | 6,9                  | 98,6                   | 7,9                  | 112,8                  | 6,0                  | 85,7                   |
| Лизин                                 | 5,5                                    | 2,3                  | 41,8                   | 4,7                  | 85,5                   | 3,6                  | 65,4                   | 6,4                  | 116,3                  | 9,8                  | 178,2                  |
| Метионин + цистеин                    | 3,5                                    | 4,0                  | 114,3                  | 4,5                  | 128,5                  | 3,6                  | 102,9                  | 3,4                  | 97,1                   | 4,0                  | 114,3                  |
| Треонин                               | 4,0                                    | 2,8                  | 70,0                   | 4,3                  | 107,5                  | 3,2                  | 80,0                   | 4,8                  | 120,0                  | 5,0                  | 125,0                  |
| Триптофан                             | 1,0                                    | 1,3                  | 130,0                  | 2,2                  | 220,0                  | 1,3                  | 130,0                  | 1,8                  | 180,0                  | 2,8                  | 280,0                  |
| Фенилаланин + тирозин                 | 6,0                                    | 8,3                  | 138,3                  | 10,9                 | 181,2                  | 8,9                  | 148,3                  | 7,3                  | 121,7                  | 8,8                  | 146,7                  |
| Сумма НАК                             | 36,0                                   | 33,6                 |                        | 44,5                 |                        | 36,7                 |                        | 42,8                 |                        | 46,4                 |                        |

Результаты проведенных расчетов показали, что сумма незаменимых аминокислот исследованных видов муки больше, чем пшеничной (36,7 - 46,4), и превышает их уровень в белке-эталоне ФАО/ВОЗ (36,0). В составе различных видов муки фиксируется наличие лимитирующей аминокислоты. Так, в пшеничной муке – валин, изолейцин, лизин и треонин. Белок гречневой муки имеет дефицит серосодержащих аминокислот – метионина+цистеина. В составе эссенциальных аминокислот амарантовой муки отмечен недостаток только одной аминокислоты – лейцина, а овсяной – лизина.

Биологическая оценка белкового состава растительного сырья может быть выражена коэффициентом различия аминокислотного сора (КРАС). Результаты биологической ценности белка по рассматриваемому критерию приведены на рис. 1.

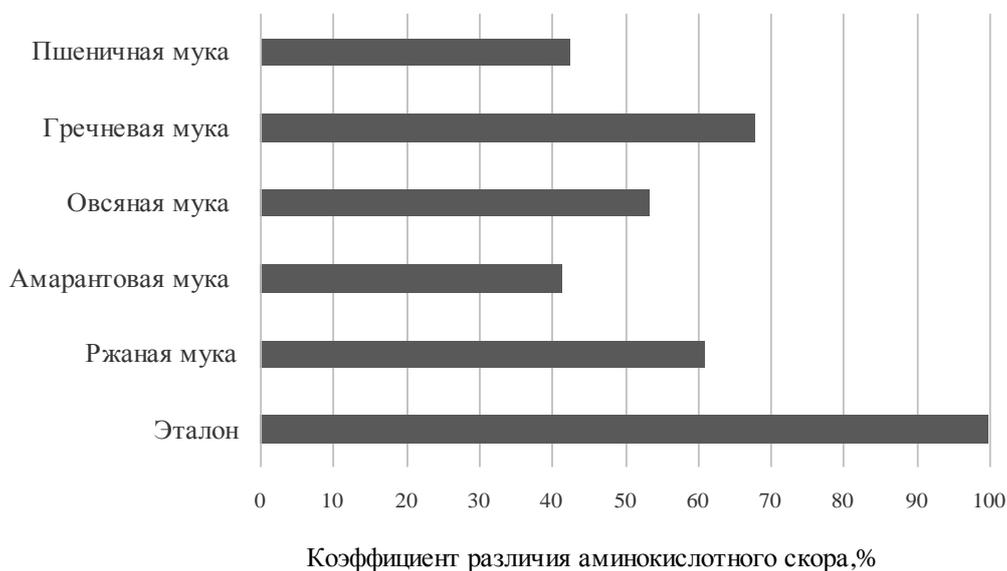


Рис. 1. Биологическая ценность белков различных видов муки по величине КРАС  
 Fig. 1. Biological value of proteins of various types of flour in terms of amino-acid score dissimilarity factor

Расчеты КРАС показали, что наиболее приближены к эталону по биологической ценности белков гречневая, ржаная и овсяная мука. На основе проведенной оценки пищевой ценности были разработаны четыре рецептуры блинного теста с различными композициями указанных второстепенных видов муки. Рецепт 1 состояла из смеси гречневой, пшеничной и ржаной муки; 2 – пшеничной, ржаной и овсяной; 3 – гречневой, пшеничной и амарантовой; 4 – пшеничной, амарантовой и овсяной. Согласованность мнений экспертов при органолептической оценке определялась с помощью коэффициента конкордации Кендалла. Каждому из исследуемых образцов блинчиков присваивался ранг, при этом количество рангов равнялось числу вариаций мучной смеси. Образцу с высокими органолептическими показателями соответствовал ранг 1, с низкими – наибольший ранг 4. Результаты подсчета коэффициента Кендалла свидетельствуют о согласованности мнений экспертов, так как полученное его значение близко к единице (табл. 3, 4).

Наилучшие ранги просматриваются в рецептурах с использованием ржаной, пшеничной, гречневой муки в соотношении 40/40/20 и пшеничной, овсяной и ржаной в соотношении 30/35/35. Другие варианты рецептурных смесей муки (пшеничная, гречневая, амарантовая и пшеничная, ржаная, амарантовая) получили низкую экспертную оценку. Таким образом, последние рецептуры исключаются из дальнейшего эксперимента. По результатам оценки лучших мучных смесей были разработаны рецептуры блинного теста.

Таблица 3. Органолептическая оценка блинчиков на основе мучных смесей

Table 3. Organoleptic evaluation of pancakes based on flour mixtures

| Номер образца           | Соотношение рецептурных компонентов, % | Характеристика смеси муки    |   |   |   |   |                            |   |   |   |   |                              |      |                        |  |                                    |                        |  |                                    |
|-------------------------|--|------------------------------|---|---|---|---|----------------------------|---|---|---|---|------------------------------|------|------------------------|--|------------------------------------|------------------------|--|------------------------------------|
|                         |  | пшеничная, ржаная, гречневая |   |   |   |   | пшеничная, ржаная, овсяная |   |   |   |   | пшеничная, ржаная, гречневая |      |                        | пшеничная, ржаная, овсяная               |                                    |                        |  |                                    |
|                         |  | Экспертная оценка            |   |   |   |   |                            |   |   |   |   | Анализ полученных данных     |      |                        |  |                                    |                        |  |                                    |
|                         |  | А                            | Б | В | Г | Д | Е                          | А | Б | В | Г | Д                            | Е    | сумма баллов, $\sum x$ | отклонение от суммы баллов, $x - x_{cp}$ | квадрат отклонения суммы баллов, S | сумма баллов, $\sum x$ | отклонение от суммы баллов, $x - x_{cp}$ | квадрат отклонения суммы баллов, S |
| 1                       | 30/35/35                               | 2                            | 1 | 2 | 2 | 2 | 1                          | 1 | 1 | 1 | 1 | 1                            | 1    | 10                     | -5,75                                    | 33,1                               | 6                      | -9,0                                     | 81,0                               |
| 2                       | 20/50/30                               | 4                            | 4 | 4 | 4 | 4 | 3                          | 4 | 4 | 4 | 3 | 4                            | 4    | 23                     | 7,25                                     | 52,6                               | 23                     | 8,0                                      | 64,0                               |
| 3                       | 30/50/20                               | 3                            | 3 | 4 | 3 | 4 | 4                          | 3 | 3 | 3 | 4 | 4                            | 3    | 21                     | 5,25                                     | 27,6                               | 20                     | 5,0                                      | 25,0                               |
| 4                       | 40/40/20                               | 2                            | 1 | 2 | 1 | 2 | 1                          | 2 | 2 | 2 | 2 | 1                            | 2    | 9                      | -6,75                                    | 45,6                               | 11                     | -4,0                                     | 16,0                               |
| Сумма                   |  |                              |   |   |   |   |                            |   |   |   |   |                              | 63   |                        | 158,9                                    | 60                                 |                        | 186,0                                    |                                    |
| Коэффициент Кендалла, W |  |                              |   |   |   |   |                            |   |   |   |   |                              | 0,88 |                        |  | 1,03                               |                        |  |                                    |

Таблица 4. Органолептическая оценка блинчиков на основе мучных смесей

Table 4. Organoleptic evaluation of pancakes based on flour mixtures

| Номер образца           | Соотношение рецептурных компонентов, % | Характеристика смеси муки         |   |   |   |   |                                |   |   |   |   |                                   |      |                        |  |                                    |                        |  |                                    |
|-------------------------|--|-----------------------------------|---|---|---|---|--------------------------------|---|---|---|---|-----------------------------------|------|------------------------|--|------------------------------------|------------------------|--|------------------------------------|
|                         |  | пшеничная, гречневая, амарантовая |   |   |   |   | пшеничная, ржаная, амарантовая |   |   |   |   | пшеничная, гречневая, амарантовая |      |                        | пшеничная, ржаная, амарантовая           |                                    |                        |  |                                    |
|                         |  | Экспертная оценка                 |   |   |   |   |                                |   |   |   |   | Анализ полученных данных          |      |                        |  |                                    |                        |  |                                    |
|                         |  | А                                 | Б | В | Г | Д | Е                              | А | Б | В | Г | Д                                 | Е    | сумма баллов, $\sum x$ | отклонение от суммы баллов, $x - x_{cp}$ | квадрат отклонения суммы баллов, S | сумма баллов, $\sum x$ | отклонение от суммы баллов, $x - x_{cp}$ | квадрат отклонения суммы баллов, S |
| 1                       | 40/30/30                               | 4                                 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3                              | 2 | 2 | 3 | 2 | 2                                 | 2    | 21                     | -1,8                                     | 3,1                                | 13                     | -8,5                                     | 72,3                               |
| 2                       | 20/50/30                               | 5                                 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5                              | 4 | 5 | 5 | 4 | 4                                 | 30   | 7,3                    | 52,6                                     | 27                                 | 5,5                    | 30,3                                     |                                    |
| 3                       | 30/50/20                               | 5                                 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4                              | 4 | 5 | 4 | 4 | 5                                 | 5    | 27                     | 4,3                                      | 18,1                               | 27                     | 5,5                                      | 30,3                               |
| 4                       | 40/40/20                               | 2                                 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3                              | 3 | 3 | 4 | 3 | 3                                 | 3    | 13                     | -9,8                                     | 95,1                               | 19                     | -2,5                                     | 6,3                                |
| Сумма                   |  |                                   |   |   |   |   |                                |   |   |   |   |                                   | 91,0 |                        | 168,9                                    | 86,0                               |                        | 139,2                                    |                                    |
| Коэффициент Кендалла, W |  |                                   |   |   |   |   |                                |   |   |   |   |                                   | 0,88 |                        |  | 0,78                               |                        |  |                                    |

Сравнительный расчет энергетической и пищевой ценности показал, что разработанные смеси обогащают продукт пищевыми волокнами, а также частично белком и целым рядом минеральных веществ (фосфором, магнием, кальцием) (табл. 5).

Таблица 5. Характеристика модифицированных рецептов блинчиков на 100 г продукта

Table 5. Specification of modified pancake recipes per 100 g of product

| Показатель                                  | Образец |        |             |
|---|---------|--------|-------------|
|   | № 1     | № 2    | контрольный |
| Белки, %                                    | 6,42    | 6,55   | 6,23        |
| Жиры, %                                     | 3,52    | 4,19   | 3,43        |
| Углеводы, %                                 | 32,28   | 31,96  | 33,59       |
| Пищевые волокна, %                          | 3,78    | 3,03   | 2,03        |
| Энергетическая ценность<br>ккал/100 г       | 186,48  | 191,66 | 190,15      |
| Минеральные вещества, мг на 100 г продукта: |         |        |             |
| Натрий                                      | 294,04  | 296,28 | 294,22      |
| Калий                                       | 260,65  | 268,49 | 227,90      |
| Кальций                                     | 122,55  | 124,26 | 117,89      |
| Магний                                      | 34,81   | 41,45  | 29,33       |
| Фосфор                                      | 177,46  | 189,71 | 142,71      |
| Железо                                      | 1,60    | 1,54   | 1,10        |
| Витамины, мг                                |         |        |             |
| Тиамин                                      | 0,19    | 0,18   | 0,14        |
| Рибофлавин                                  | 0,23    | 0,22   | 0,21        |
| Пиридоксин                                  | 0,16    | 0,14   | 0,14        |
| Фолацин                                     | 0,04    | 0,04   | 0,03        |
| Ниацин                                      | 0,90    | 0,73   | 1,00        |
| Токоферол                                   | 1,53    | 1,47   | 1,36        |

Разработанные рецепты обеспечивают в исследуемой продукции повышенное содержание витаминов группы В, а также витамина Е. Кроме того, замена в рецептуре блинчиков пшеничной муки на два вида муки с низким гликемиче-

ским индексом может служить основанием для апробации продукта в питании больных сахарным диабетом.

Изготовленные по разработанным рецептурам блинчики оценивались по органолептическим показателям по разработанной 5-балльной шкале, характеризующей внешний вид, консистенцию и вкусоароматические параметры (рис. 2).

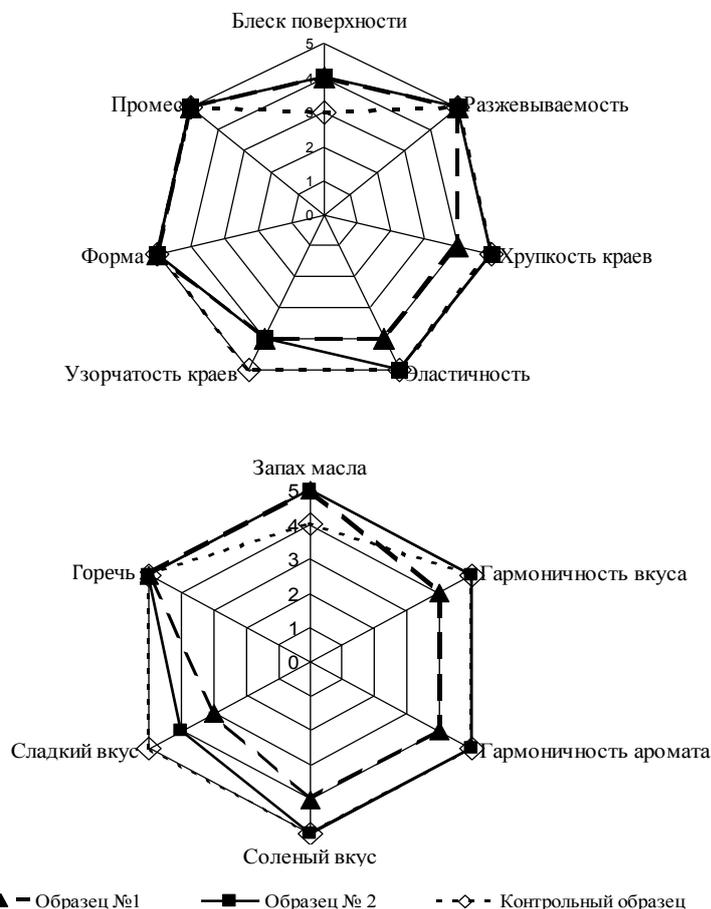


Рис. 2. Органолептическая оценка исследуемых блинчиков  
 Fig. 2. Organoleptic evaluation of the pancakes under investigation

Итоги дегустационной оценки позволили установить, что оба экспериментальных образца блинчиков обладали интенсивным ароматом. При этом в образце 1 отмечен гармоничный гречневый аромат и вкус, а образец 2 обладал специфическим приятным ржано-овсяным привкусом. Дегустаторы отметили горчинку опытных вариантов блинов, соответствующую вкусу ржаной муки. Вместе с тем в образцах не зафиксированы посторонние привкусы и ароматы, соленость была умеренная, отсутствовал сладкий вкус ввиду исключения сахара из рецептуры. Наиболее высоко дегустаторы оценили органолептические показатели образцов, произведенных по второй рецептуре.

С учетом проведенных исследований было установлено, что рецептурная композиция, состоящая из смеси из пшеничной, ржаной и овсяной муки (образец 2)

в соотношении 30:35:35, является оптимальной при производстве блинчиков для специализированного питания.

Сравнительная оценка физико-химических показателей образцов блинчиков представлена в табл. 6.

Несмотря на низкое содержание клейковины в опытном образце 2, эластичность теста, произведенного из данной смеси, не уступает контрольному из-за наличия большого содержания слизей гумми (камеди) и поглощающих при набухании воду пентозанов. Количество водорастворимых пентозанов в ржаной муке в два раза больше, чем в пшеничной. Именно эти вещества и отвечают за липкость и вязкость теста. Также ферментативная активность  $\beta$ -амилазы у ржаной муки более выражена, следовательно, процесс клейстеризации происходит быстрее.

Таблица 6. Физико-химические показатели блинчиков

Table 6. Physical and chemical indicators of the pancakes

| Показатель, %               | Образец     |          |
|-----------------------------|-------------|----------|
|                             | контрольный | № 2      |
| Массовая доля влаги         | 59,2±0,7    | 59,8±0,9 |
| Массовая доля сухих веществ | 40,8±0,7    | 40,2±0,9 |
| Массовая доля клейковины    | 27,4±0,1    | 6,96±0,1 |

Контроль вязкости блинного теста производился на вискозиметре DV-II + с использованием шпинделя RV/HA/HB-2. Рассматриваемые образцы блинного теста поочередно оценивали по показателю вязкости, изменяя скорость вращения шпинделя (рис. 3).

Проведенные исследования по оценке вязкости позволили выявить различия опытного и контрольного образцов. Зафиксировано, что модифицированный вариант теста на основе ржаной, овсяной и пшеничной муки обладает значительно большей вязкостью в сравнении с контрольным образцом. Следовательно, для приготовления теста с необходимой вязкостью требуется значительно меньшее количество смеси ржаной, овсяной и пшеничной муки в установленном соотношении. Несмотря на отсутствие клейковины в ржаной и овсяной муке, полученные результаты говорят о высокой водопоглотительной способности, прежде всего, ржаной муки, благодаря которой и увеличивается вязкость теста.

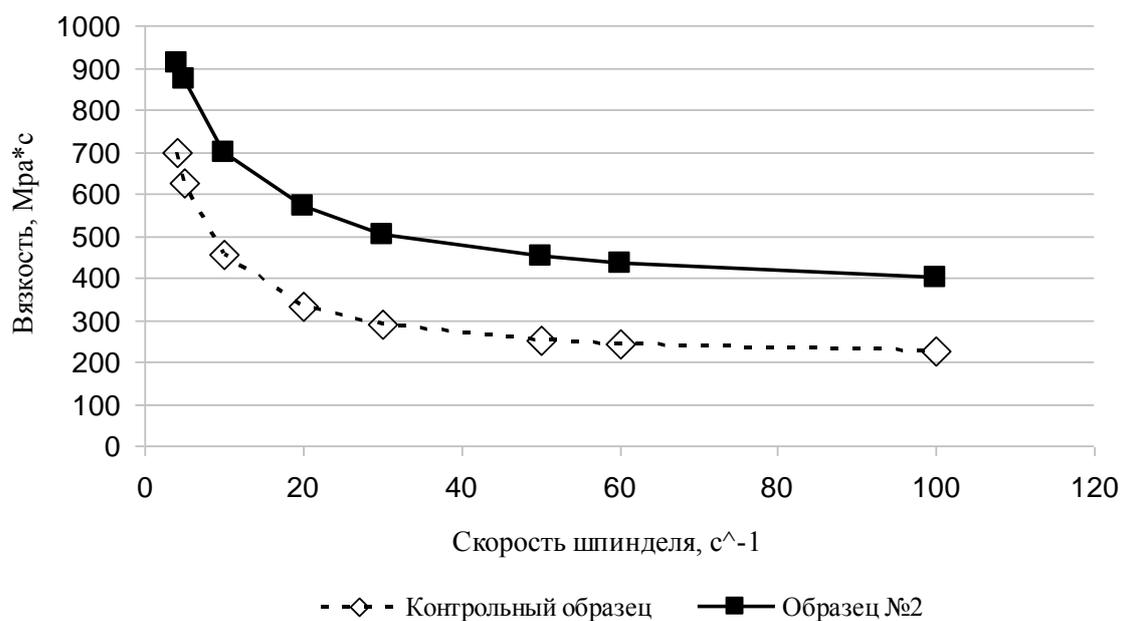


Рис. 3. Результаты вязкости исследуемых образцов  
 Fig. 3. Viscosity results of the samples

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка пищевой и биологической ценности различных видов муки позволила обосновать целесообразность включения в рецептуру блинного теста, наряду с пшеничной мукой, композиции на основе гречневой, ржаной, овсяной муки. Разработаны смеси, которые дают возможность обогатить продукт пищевыми волокнами, белком, минеральными веществами и витаминами. Экспериментально подтверждена эффективность замены в составе рецептурных композиций теста для блинчиков части пшеничной муки на второстепенные сорта, а именно ржаную и овсяную. Определено оптимальное их соотношение в смеси в следующей пропорции 30:35:35. Реологические характеристики тестовых оболочек блинчиков из указанной смеси муки свидетельствовали о высокой вязкости, водопоглотительной способности и отличных органолептических показателях готового продукта в сравнении с образцом, произведенным на основе только пшеничной муки. Разработанная поликомпонентная смесь пшеничной и второстепенных видов муки для блинного теста позволяет расширить ассортимент мучных кулинарных полуфабрикатов для различных категорий потребителей, в том числе специализированного питания.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крюкова, Е. В. Моделирование органолептических показателей качества мучных изделий из второстепенных видов муки / Е. В. Крюкова, О. В. Чугунова, В. М. Тиунов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2016. – №3 (38). – С. 88-92.

2. Пастушкова, Е. В. Некоторые аспекты фактора питания и здоровья человека / Е. В. Пастушкова, Д. С. Мысаков, О. В. Чугунова // *Здоровье и образование в XXI веке*. – 2016. – № 4. – С. 67-72.
3. Баженова, Т. С. Исследование зерна и муки селекционных сортов проса для создания мучных кондитерских и кулинарных изделий специализированного назначения / Т. С. Баженова, И. А. Баженова, Э. Э. Сафонова // *Ползуновский вестник*. – 2018. – № 1. – С. 32-36.
4. Тиунов, В. М. Исследование органолептических и физико-химических показателей качества блинчиков, полученных из полуфабрикатов сухих смесей / В. М. Тиунов, О. В. Чугунова // *Actualscien*. – 2016. – Т. 2. – № 10. – С. 88-89.
5. Голунова, Л. Е. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания / Л. Е. Голунова. – Москва: Профи-информ, 2005. – 640 с.
6. Порядок отбора проб и физико-химические методы испытаний: методические указания по лабораторному контролю качества продукции общественного питания. – Москва: Стандартинформ, 1991.
7. ГОСТ 27839-2013 Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 17 с.
8. Химический состав российских пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. – Москва: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

#### REFERENCES

1. Kryukova E. V., Chugunova O. V., Tiunov V. M. Modelirovanie organolepticheskikh pokazateley kachestva muchnykh izdeliy iz vtorostepennykh vidov muki [Modeling of the organoleptic parameters of the quality of flour products from minor types of flour]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov*, 2016, no. 3 (38), pp. 88-92.
2. Pastushkova E. V., Mysakov D. S., Chugunova O. V. Nekotorye aspekty faktora pitaniya i zdorov'ya cheloveka [Some aspects of nutrition and human health]. *Zdorov'e i obrazovanie v 21 veke*, 2016, no. 4, pp. 67-72.
3. Bazhenova T. S., Bazhenova I. A., Safonova E. E. Issledovanie zerna i muki selektsionnykh sortov prosa dlya sozdaniya muchnykh konditerskikh i kulinarykh izdeliy spetsializirovanogo naznacheniya [Study of grain and flour of millet selection varieties to create flour confectionery and culinary products for special purposes]. *Polzunovskiy vestnik*, 2018, no. 1, pp. 32-36.
4. Tiunov V. M., Chugunova O. V. Issledovanie organolepticheskikh i fiziko-himicheskikh pokazateley kachestva blinchikov, poluchennykh iz polufabrikatov sukhikh smesey [Study of organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of pancakes obtained from semi-finished dry mixes]. *Actualscien*, 2016, no. 10, pp. 88-89.
5. Golunova L. E. *Sbornik retseptur blyud i kulinarykh izdeliy dlya predpriyatiy obshchestvennogo pitaniya* [Collection of recipes of dishes and culinary products for catering]. Moscow, 2005, 640 p.
6. Metodicheskie ukazaniya po laboratornomu kontrolyu kachestva produktsii obshchestvennogo pitaniya. Poryadok otbora prob i fiziko-himicheskie metody is-

pytaniy [Guidelines for laboratory quality control of catering products. Sampling procedure and physico-chemical test methods]. Moscow, Standartinform, 1991.

7. GOST 27839-2013 “Muka pshenichnaya”. Metody opredeleniya kolichestva i kachestva kleykoviny [GOST 27839-2013 Wheat flour. Methods for determining the quantity and quality of gluten]. Moscow, Standartinform, 2013, 17 p.

8. Skurikhina I. M. *Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov* [Chemical composition of Russian food]. Moscow, VO “DeLi print”, 2002, 236 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

*Anistratova Oksana Vyacheslavovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology; E-mail: [anistratova1981@mail.ru](mailto:anistratova1981@mail.ru)

*Серпунина Любовь Тихоновна* – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания; E-mail: [serpunina@mail.ru](mailto:serpunina@mail.ru)

*Serpunina Lubov Tihonovna* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Professor of the Department of Food Products Technology; E-mail: [serpunina@mail.ru](mailto:serpunina@mail.ru)

*Кобзарева Алёна Сергеевна* – ООО «Молочная фабрика» (г. Нестеров Калининградской обл.); мастер цельномолочного цеха; E-mail: [kobzareva.94@mail.ru](mailto:kobzareva.94@mail.ru)

*Kobzareva Alyona Sergeevna* – ООО «Molochnaya fabrika» (Nesterov, Kaliningrad region); Master of whole milk production; E-mail: [kobzareva.94@mail.ru](mailto:kobzareva.94@mail.ru)

УДК 664.8:664.953

УСТАНОВЛЕНИЕ СРОКОВ ГОДНОСТИ РЫБНОГО КУЛИНАРНОГО  
ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ПОКАЗАТЕЛЕЙ

А. С. Божко, И. М. Титова

ESTABLISHING THE SHELF LIFE OF FISH CULINARY PRODUCTS BASED  
ON THE STUDY OF A SET OF INDICATORS

A. S. Bozhko, I. M. Titova

Проживание в неблагоприятной экологической обстановке требует более тщательного подбора рациона питания в части содержания в нем нутриентов, оказывающих профилактическое воздействие на состояние здоровья населения. По результатам медицинских исследований была доказана взаимосвязь проявления ряда неинфекционных заболеваний с недостатком в рационе витаминов группы В. Их дефицит в организме человека может быть устранен за счет совершенствования рациона питания и употребления продуктов, обогащенных данной группой витаминов. Рыбное сырье является наиболее предпочтительной матрицей для обогащения за счет его высокой пищевой ценности. В статье представлено обоснование технологии и рецептуры рыбных запеченных паштетов с повышенным содержанием витаминов группы В. Обогащение кулинарных изделий производится за счет внесения автолизата пивных дрожжей (АПД), что позволяет создавать новые функциональные продукты и решать задачи снижения дефицита пищевых компонентов, витаминов, микроэлементов и других эссенциальных веществ. Исследованы изменения показателей качества и безопасности замороженных кулинарных изделий в процессе хранения. Проведена оценка и подтверждена стабильность органолептических показателей в процессе хранения на основе профильного метода. Научно обоснованы сроки и условия хранения кулинарных изделий «паштеты рыбные, запеченные» из карася серебряного, обогащенных витаминами группы В.

*рыба, карась серебряный, автолизат пивных дрожжей, АПД, обогащенные продукты, витамины группы В, пивные дрожжи, побочные продукты пивоваренных производств, рыбные продукты*

Unfavorable environmental situation requires more careful selection of the diet in terms of nutrient content, which has a preventive effect on the health of the population. The results of medical research have proved the interrelation of popular diseases with the lack of nutrition in vitamin B complex. Their deficiency in the human body can be eliminated by improving the diet and eating foods enriched with this group of vitamins. Fish raw material is the most preferred matrix for enrichment due to its high nutritional value. The article presents the rationale for the technology and formulation of baked fish pastes with a high content of vitamin B complex. Enrichment of food products is made by introducing of brewer's yeast autolyzate (BYA) that allows you to cre-

ate new functional foods and meet the challenges of reducing nutrient deficiency of vitamins, minerals and other essential substances. Changes in the quality and safety indicators of frozen culinary products during storage have been investigated. Stability of the organoleptic characteristics during storage based on the profile method has been evaluated and confirmed. The terms and conditions of storage of culinary products called “Baked fish pastes” made of silver carp and enriched with vitamin B complex have been scientifically grounded.

*fish, silver carp, brewer's yeast autolyzate, BYA, enriched products, vitamin B complex, brewer's yeast, brewing by-products, fish products*

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность совершенствования технологий производства продуктов питания из рыбного сырья с повышенной пищевой и биологической ценностью связана с ежегодно растущей тенденцией и заинтересованностью современного потребителя в здоровой пище. И в то же время – с ухудшением и без того неблагоприятной экологической обстановки и растущим количеством заболеваний, связанных с недостатком нутриентов в рационе взрослого человека. Проживание в неблагоприятной экологической обстановке требует более тщательного подбора рациона в части содержания в нем нутриентов, оказывающих профилактическое воздействие на состояние здоровья населения [1]. Одними из таких нутриентов являются витамины группы В. По результатам медицинских исследований была доказана взаимосвязь проявления часто встречающихся заболеваний неинфекционного характера с недостатком в рационе питания витаминов группы В [2]. Их дефицит в организме человека может быть устранен путем совершенствования рациона, увеличения объема потребления продуктов, обогащенных данной группой витаминов. По результатам анализа различных источников было установлено, что витамины именно этой группы в большом количестве содержатся в остаточных пивных дрожжах – вторичном сырье пивоваренных производств, составляющем до 15% всех отходов пивоварения. Применение автолизата пивных дрожжей (АПД) и недоиспользуемого рыбного сырья в качестве основных компонентов разрабатываемого продукта позволит повысить пищевую и биологическую ценность продукта, с одной стороны, и увеличить спрос на недоулавливаемые объекты рыбного промысла за счет расширения области их применения - с другой.

Многочисленные исследования рынка кулинарной продукции подтверждают ежегодный рост спроса на продукцию высокой степени готовности, а также на продукцию в категории здорового питания с натуральными ингредиентами и без внесения в рецептуру искусственных пищевых добавок.

Таким образом, разработка технологии обогащенных кулинарных изделий из рыбы, в свою очередь, позволит удовлетворить потребность населения в быстром и здоровом питании за счет сбалансированности состава и содержания натуральных компонентов.

Лидирующими отечественными производителями рыбной продукции являются компании ЗАО «Балтийский берег» (Санкт-Петербург), ОАО «ПКП «Меридиан» (Москва), ПАО «Океанрыбфлот» (г. Владивосток), ЗАО «Русская рыбная компания» (Москва), СП «Санта Бремор» (Москва), ОАО РОК-1 (Санкт-Петербург), ООО «Вичюнай-Русь» (г. Советск Калининградской области). На те-

кущий момент выпускаемая ими рыбная продукция высокой степени готовности в основном представлена замороженными полуфабрикатами; котлетами; филе; сурими; консервами рыбными; икорными продуктами; спредами и суфле. При этом рыбные паштеты занимают небольшую часть ассортимента, несмотря на высокий потенциал его расширения, обусловленный структурными свойствами паштетов.

Компания ЗАО «Балтийский берег» производит линейку рыбных паштетов под одноименным брендом: «Паштет рыбный», «Паштет рыбный с кусочками кальмара и древесными грибами», «Паштет рыбный с кусочками сельди и овощами». Однако рецептуры производимых компанией паштетов едва ли можно назвать удачными. В состав паштетов входят стабилизаторы, соевый белок, а также усилители вкуса и аромата.

Ассортимент группы «масла и паштеты» ЗАО «Балтийский берег» дополнили пасты из морепродуктов: «Паста из морепродуктов Crème Le Mare Сливочная» и «Паста из морепродуктов Crème Le Mare с чесноком». Недостатки данной продукции - ее состав и высокая стоимость. В рецептуре используются загустители, стабилизаторы, структураторы и консерванты.

Относительно недавно ОАО ПКП "Меридиан" представил потребителю новый продукт под торговой маркой «Меридиан-ЭКО» – рыбные запеченные паштеты «Риеты» из лосося и скумбрии с различными добавками из овощей, творога и орехов. Основным недостатком рассматриваемой продуктовой линейки является стоимость готового продукта. Риеты производятся из ценных пород рыб и рыбы горячего копчения и поставляются в стеклянных банках, за счет чего цена за 100 г готового продукта в несколько раз превышает стоимость подобной продукции конкурентов, что, несомненно, отражается на конкурентоспособности деликатеса.

Недостатки описанной продукции - сложность технологического процесса из-за необходимости внесения большого количества компонентов, высокая их стоимость, незначительное содержание витаминов в готовом продукте. Рассмотренная выше продукция из разных ценовых категорий является закуской - она подходит для употребления на бутербродах на завтрак или в качестве небольшого перекуса, но в то же время неуместна для системного питания либо оказывает негативное влияние на организм потребителя.

Задача исследования заключалась в разработке новой для российского рынка функциональной продукции - рыбных паштетов, способной заполнить неосвоенную нишу, расширить ассортимент, с одной стороны, и содействовать в решении задачи снижения дефицита пищевых веществ, витаминов, микроэлементов и других эссенциальных компонентов - с другой стороны.

Целью работы являлась разработка технологии производства натуральных продуктов категории «эконом» без консервантов, красителей, искусственных добавок и усилителей вкуса. А стоявшая задача обеспечения массового производства продукции с заданными функциональными свойствами по приемлемой цене диктовала необходимость учесть и экономическую составляющую в части себестоимости используемого сырья. В связи с чем и был выбран путь подбора сырья, который обеспечит низкую ценовую категорию готовых продуктов при сохранении высоких органолептических характеристик.

В качестве сырья для получения рыбного фарша возможно использовать различные породы рыб как океанического промысла, так и пресноводные, в том

числе объекты аквакультуры. В связи с необходимостью при выборе источника сырья учитывать ряд факторов, одним из которых является себестоимость разрабатываемой технологии, в качестве основного его вида был предложен карась серебряный (*Carassius gibelio*), относящийся к недоиспользуемым видам сырья, добываемым в Новосибирской области. Мышечная ткань карася обладает высоким биологическим потенциалом и содержит полноценный белок, при этом данное сырье не пользуется популярностью ни у населения, ни у переработчиков. Связано это, прежде всего, с особенностями строения, а именно наличием большого количества внутримышечных костей. Производство пищевой продукции на основе такого сырья целесообразно путем получения фарша [1].

Оценивая потенциально возможные источники витаминов группы В, выбранных в качестве обогащающего элемента, установили, что вторичные продукты пивоварения, такие как дрожжи, являются прекрасным натуральным источником данной группы витаминов [1]. В настоящее время АПД используется в качестве компонента БАД, однако он не получил широкой популярности в связи с неприятными органолептическими характеристиками (кислый, дрожжевой вкус и аромат). Несмотря на это, АПД может служить источником аминокислот, пептидов и белков, находящихся в легкоусвояемой форме, что также повышает его биопотенциал. Анализ содержания витаминов группы В в АПД показал, что оно многократно превышает суточную физиологическую потребность человека [2].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследований выступили кулинарные изделия: паштеты рыбные запеченные, выработанные по разработанной рецептуре из карася серебряного с добавлением АПД.

Определение сроков годности паштетов рыбных запеченных осуществлялось на основании методических указаний МУК 4.2.1847–04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов», определяющих порядок проведения и методологию санитарно-эпидемиологической оценки обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Нормативный документ, регламентирующий объем необходимых испытаний: Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Рыбные паштеты подвергались тепловой обработке до состояния кулинарной готовности, после чего замораживались и хранились при температуре минус  $18^{\circ}\text{C}\pm 1$ , с учетом установленного для нескоропортящихся продуктов коэффициента резерва 1,15, в течение 108 сут.

Методы отбора пробы регламентированы соответствующими ГОСТами.

На основании продолжительности экспериментального срока годности рыбных паштетов и их специфики была установлена периодичность испытаний отобранных проб кулинарных изделий [3]. В процессе их хранения определяли КМАФАнМ, БГКП, стафилококки, сульфитредуцирующие клостридии, плесени и дрожжи в сумме, патогенные бактерии и листерию.

Степень кулинарной готовности устанавливали арбитражным методом, основанным на фотометрическом определении в продукте интенсивности развивающейся окраски при взаимодействии с реактивом Фолина, зависящей от остаточной активности кислой фосфатазы, выраженной массовой долей фенола.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для составления рецептуры предварительно были проведены маркетинговые и другие исследования: математическое моделирование, оценка органолептических характеристик, по результатам которых был осуществлен качественный подбор компонентов рецептуры, который в конечном итоге позволил выйти на линейку рецептур, значительно расширяющую ассортимент вырабатываемой продукции.

Линейка рецептур рыбных запеченных паштетов разрабатывалась с целью расширения ассортимента, с одной стороны, и соблюдения принципов пищевой комбинаторики - с другой. Предлагаемые растительные компоненты содержат пищевые волокна и природные антиоксиданты, что существенно повышает биопотенциал запеченных паштетов. С использованием таких хорошо зарекомендовавших себя компонентов, как карри и имбирь, появилась возможность придать рыбной продукции новые вкусовые оттенки. Кроме того, данные компоненты не только обеспечили яркую вкусовую гамму, но и, что отмечали дегустаторы, «замаскировали» характерный рыбный и дрожжевой вкус. Разработанные рецептуры представлены в табл. 1.

Таблица 1. Состав рецептур, выбранных по результатам органолептической оценки, %

Table 1. Composition of the selected recipes, according to the results of sensory evaluation, %

| Компонент                  | Рецептура, %                  |                                       |                             |                                       |               |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------|
|                            | с карамелизированной морковью | с карамелизированной морковью и карри | с карамелизированной грушей | с карамелизированной грушей и имбирем | с черносливом |
| Рыба                       | 53,0                          | 53,0                                  | 53,0                        | 53,0                                  | 53,0          |
| Лук репчатый пассерованный | 10,0                          | 10,0                                  | 10,0                        | 10,0                                  | 10,0          |
| Масло растительное         | 8,0                           | 8,0                                   | 8,0                         | 8,0                                   | 8,0           |
| Соль, перец                | 0,75                          | 0,75                                  | 0,75                        | 0,75                                  | 0,75          |
| АПД                        | 6,25                          | 6,25                                  | 6,25                        | 6,25                                  | 6,25          |
| Карамелизованная морковь   | 22,0                          | 21,5                                  | -                           | -                                     | -             |
| Смесь «Карри»              | -                             | 0,5                                   | -                           | -                                     | -             |
| Карамелизованная груша     | -                             | -                                     | 22,0                        | 20,0                                  | -             |
| Имбирь                     | -                             | -                                     | -                           | 2,0                                   | -             |
| Чернослив                  | -                             | -                                     | -                           | -                                     | 22,0          |

Весь ассортимент запеченных паштетов получил высокие баллы и одобрение дегустационной комиссии. Определили, что все пять рецептур целесообразно рекомендовать для внедрения в производство, так как каждая обладает особенностями вкусовой гаммы и может найти своего потребителя.

Для производства паштета из карася серебряного используют мороженую или охлажденную рыбу. Замороженную рыбу дефростируют в воде температурой не выше 15 - 20 °С при соотношении рыбы и воды не менее 1:2 до достижения в

толще мяса температуры не выше минус 1 °С. Подготовленные тушки рыб чистят, разделяют, зачищают брюшную полость и промывают. Для получения продукта используют все съедобные части рыбы.

В связи с такой спецификой сырья, как наличие большого количества мелких костей, тушки рыб пропускают через рыбный сепаратор (неопресс) с отверстиями диаметром 5 мм для отделения мяса от костей и кожи с одновременным его измельчением. Затем - через волчок с диаметром отверстий решетки не более 3 мм для получения тонкого растертого мяса. Лук репчатый очищают, моют, измельчают на крупные куски. Измельченный лук пассеруют в рафинированном растительном масле (подсолнечном) до золотисто-коричневого цвета (расход масла - 5% к массе сырого лука). Затем пассерованный лук измельчают на волчке с диаметром отверстий решетки 4-5 мм. Выход жареного лука - 50% от массы сырого и масла.

Морковь или грушу в зависимости от рецептуры моют, чтобы удалить с поверхности сырья остатки земли, следы ядохимикатов, снизить обсемененность микроорганизмами. Для мойки используют питьевую воду. Мытые ингредиенты очищают от кожуры, снова ополаскивают в проточной воде и нарезают соломкой. Полученную стружку направляют для дальнейшей карамелизации при температуре 100-120 °С в течение 3-5 мин в зависимости от размера куска.

Имбирь моют, очищают от кожуры, затем измельчают на протирочной машине.

Чернослив моют, замачивают в горячей воде при температуре 90-95 °С в течение 30 мин для размягчения и упрощения процесса измельчения. Размякший чернослив измельчают на протирочной машине.

Смесь специй «Карри», АПД, соль поваренную пищевую и перец черный молотый просеивают и направляют на перемешивание вместе с остальными ингредиентами в куттер.

Измельченный рыбный компонент смешивают с подготовленными ингредиентами и растительным маслом в соответствии с рецептурой (табл. 1) и технологической схемой (рис. 1). Массу плотно укладывают в формы, смазанные растительным маслом, не допуская образования пустот и пор. Формы вместимостью 100 г с паштетом устанавливают в жарочный шкаф, где запекают в течение 25 мин при температуре 180 °С. Запекание считается законченным, когда температура в центре массы достигает 70 °С.

Обработка паштетов при температуре 180 °С позволяет обеспечить равномерное снижение влажности в центре и микробиальной обсемененности готового продукта, снижение температуры запекания приводит к увеличению продолжительности процесса, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на качестве готового продукта и повышает энергозатраты на производство. Повышение температуры запекания более 180 °С способствует пригоранию массы к формам, на ее поверхности образуется корочка, которая препятствует выделению влаги из массы, при этом паштет имеет жидкую консистенцию внутри и сухую корочку на поверхности, паштетная масса не держит форму при выкладывании и разрезании. Запекание ведется до достижения температуры в центре паштетной массы 70 °С. Такая температура обеспечивает уничтожение патогенной микрофлоры и достижение требуемой влажности продукта. Небольшая масса продукта (100 г) позволяет сократить время тепловой обработки до 25 мин.

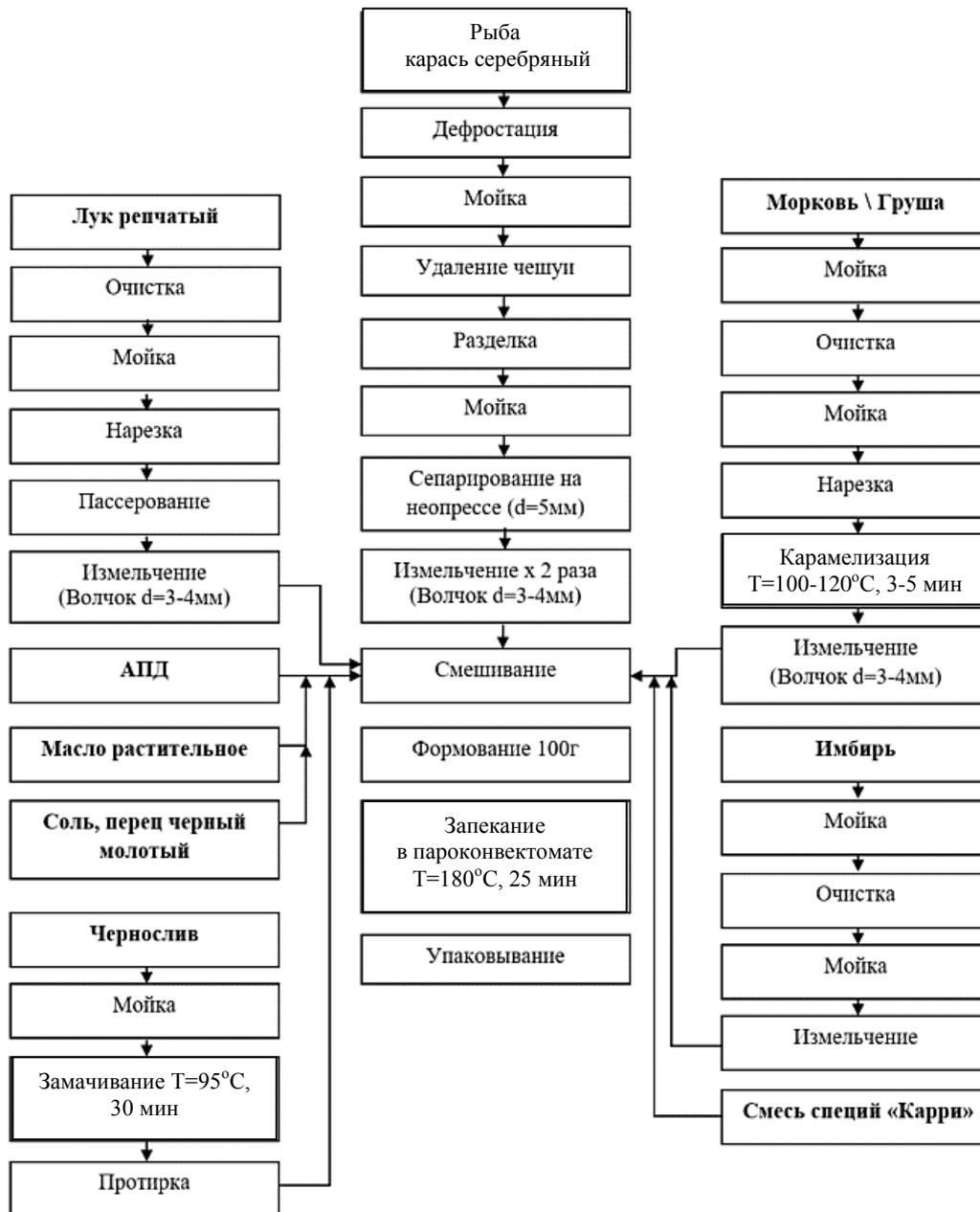


Рис. 1. Технологическая блок-схема производства паштетов рыбных, обогащенных АПД

Fig. 1. Technological block diagram of the production of fish pastes, enriched with BYA

Обработка в течение более 25 мин нецелесообразна, так как температура в массе поднимается выше 70 °С, что приводит к более глубоким денатурационным изменениям, а также изменениям химического состава и отрицательно сказывается на пищевой ценности готового продукта. Обработка менее 25 мин не позволяет достичь требуемой температуры, при этом паштет имеет высокую влажность.

Оценку степени кулинарной готовности определяли, помимо органолептического метода, по остаточной активности кислой фосфатазы.

Для установления сроков годности замороженных обогащенных паштетов из карася серебряного было выработано пять партий продукции по пяти рецептурам (табл. 1). Паштеты герметично упаковывали и хранили при температуре не выше минус 18 °С. Масса каждой порции паштета составляла 100 г.

Для определения сроков годности и условий хранения в соответствии с требованиями методических указаний МУК 4.2.1847–04 [3] были проведены санитарно-микробиологические и органолептические исследования.

Обязательные контролируемые показатели безопасности зафиксированы в ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». На основе приведенных технических регламентов был составлен перечень контролируемых микробиологических показателей и показателей безопасности при проведении исследований [4, 5].

Для получения подробной микробиологической характеристики и подтверждения стабильности продукта в процессе хранения при предполагаемом сроке годности в санитарно-микробиологические исследования были включены как обязательные показатели безопасности, так и дополнительные. Сроки складывания на хранение определяли с учетом коэффициента резерва 1,15, установленного для нескоропортящихся продуктов. Принимая во внимание коэффициент резерва и предполагаемый срок годности паштетов, составляющий 3 мес., хранение исследуемых образцов кулинарных изделий из рыбного фарша необходимо осуществлять в течение 108 сут.

Результаты санитарно-микробиологических исследований в течение экспериментального срока хранения кулинарных изделий из рыбного фарша, подвергнутых тепловой обработке и замороженных, приведены в табл. 2-5.

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод о доброкачественном микробиологическом состоянии продукта в течение экспериментального срока хранения: за указанный период в 108 дней у замороженного продукта не наблюдается превышения допустимого уровня по всем исследуемым показателям.

Помимо микробиологических показателей продукции, при определении сроков хранения также большое значение имеют ее органолептические показатели. Для оценки качественных изменений рыбных паштетов в каждой точке отбора проб на санитарно-микробиологические показатели при помощи профильного метода осуществляли анализ органолептических характеристик образцов кулинарной продукции [6, 7]. Отслеживали их изменения в процессе хранения по разработанной 5-балльной шкале, включающей такие показатели, как внешний вид, вид на разрезе, вкус, запах и консистенция.

Таблица 2. Изменение микробиологических показателей контрольного образца кулинарного изделия «Паштет рыбный запеченный» с содержанием АПД 3,5% в процессе хранения при температуре минус  $18 \pm 1$  °С

Table 2. Changes in microbiological indicators of the control sample of the culinary product called “Baked fish paste” with a BYA content of 3,5% during storage at a temperature of minus  $18 \pm 1$  °С

| Показатель,<br>в соответствии<br>с МУК 4.2.1847-04 | Допустимые уровни<br>(ТР ЕАЭС 040/2016) | Период хранения, сут |                  |                  |             |                  |                  |                  |
|--|---|----------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|
|  |   | Фон                  | 18               | 36               | 54          | 72               | 90               | 108              |
| КМАФАнМ, КОЕ/г                                     | Не более $1,0 \cdot 10^4$               | $2,3 \cdot 10^2$     | $3,0 \cdot 10^2$ | $2,6 \cdot 10^2$ | Менее<br>15 | $4,3 \cdot 10^2$ | $2,8 \cdot 10^2$ | $1,3 \cdot 10^2$ |
| БГКП (колиформы)                                   | Не допускаются в 1г                     | Не обнаружены        |                  |                  |             |                  |                  |                  |
| <i>Staphylococcus aureus</i>                       | Не допускается в 1г                     | Не обнаружены        |                  |                  |             |                  |                  |                  |
| Сульфитредуцирующие<br>кlostридии                  | Не допускаются в 1г                     | Не обнаружены        |                  |                  |             |                  |                  |                  |
| Плесени и дрожжи в<br>сумме, КОЕ/г                 | Не более 100 КОЕ/г                      | Не обнаружены        |                  |                  |             |                  |                  |                  |
| Патогенные бактерии, в<br>т. ч. <i>Salmonella</i>  | Не допускаются в<br>25г                 | Не обнаружены        |                  |                  |             |                  |                  |                  |
| <i>Listeria monocytogenes</i>                      | Не допускается в 25г                    | Не обнаружены        |                  |                  |             |                  |                  |                  |

Таблица 3. Изменение микробиологических показателей кулинарного изделия «Паштет рыбный с карамелизированной морковью запеченный» с содержанием АПД 3,5% в процессе хранения при температуре минус  $18 \pm 1$  °С

Table 3. Changes in microbiological indicators of the culinary product called “Baked paste with caramelized carrots” with a BYA content of 3,5% during storage at a temperature of minus  $18 \pm 1$  °С

| Показатель,<br>в соответствии<br>с МУК 4.2.1847-04 | Допустимые уровни<br>(ТР ЕАЭС 040/2016) | Период хранения, сут |                  |                  |                  |                  |                  |             |
|--|---|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
|  |   | Фон                  | 18               | 36               | 54               | 72               | 90               | 108         |
| КМАФАнМ, КОЕ/г                                     | Не более $1,0 \cdot 10^4$               | $2,4 \cdot 10^2$     | $1,0 \cdot 10^2$ | $5,7 \cdot 10^2$ | $4,7 \cdot 10^2$ | $6,0 \cdot 10^2$ | $5,2 \cdot 10^2$ | Менее<br>40 |
| БГКП (колиформы)                                   | Не допускаются в 1г                     | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |                  |             |
| <i>Staphylococcus aureus</i>                       | Не допускается в 1г                     | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |                  |             |
| Сульфитредуцирующие<br>кlostридии                  | Не допускаются в 1г                     | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |                  |             |
| Плесени и дрожжи в<br>сумме, КОЕ/г                 | Не более 100 КОЕ/г                      | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |                  | Менее<br>10 |
| Патогенные бактерии,<br>в т. ч. <i>Salmonella</i>  | Не допускаются в 25г                    | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |                  |             |
| <i>Listeria monocytogenes</i>                      | Не допускается в 25г                    | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |                  |             |

Таблица 4. Изменение микробиологических показателей контрольного образца кулинарного изделия «Паштет рыбный запеченный» с содержанием АПД 6,25% в процессе хранения при температуре минус  $18 \pm 1$  °С

Table 4. Changes in microbiological indicators of the control sample of the culinary product called “Baked fish paste” with a BYA content of 6,25% during storage at a temperature of minus  $18 \pm 1$  °С

| Показатель, в соответствии с МУК 4.2.1847-04   | Допустимые уровни (ТР ЕАЭС 040/2016) | Период хранения, сут |          |                  |                  |                  |                  |                  |
|--|--------------------------------------|----------------------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|  |                                      | Фон                  | 18       | 36               | 54               | 72               | 90               | 108              |
| КМАФАнМ, КОЕ/г                                 | Не более $1,0 \cdot 10^4$            | $1,9 \cdot 10^2$     | Менее 10 | $2,9 \cdot 10^2$ | $1,6 \cdot 10^2$ | $3,1 \cdot 10^2$ | $3,4 \cdot 10^2$ | $1,4 \cdot 10^2$ |
| БГКП (колиформы)                               | Не допускаются в 1г                  | Не обнаружены        |          |                  |                  |                  |                  |                  |
| <i>Staphylococcus aureus</i>                   | Не допускается в 1г                  | Не обнаружены        |          |                  |                  |                  |                  |                  |
| Сульфитредуцирующие клостридии                 | Не допускаются в 1г                  | Не обнаружены        |          |                  |                  |                  |                  |                  |
| Плесени и дрожжи в сумме, КОЕ/г                | Не более 100 КОЕ/г                   | Не обнаружены        |          |                  |                  |                  |                  |                  |
| Патогенные бактерии, в т. ч. <i>Salmonella</i> | Не допускаются в 25г                 | Не обнаружены        |          |                  |                  |                  |                  |                  |
| <i>Listeria monocytogenes</i>                  | Не допускается в 25г                 | Не обнаружены        |          |                  |                  |                  |                  |                  |

Таблица 5. Изменение микробиологических показателей кулинарного изделия «Паштет рыбный с карамелизированной морковью запеченный» с содержанием АПД 6,25% в процессе хранения при температуре минус  $18 \pm 1$  °С

Table 5. Changes in microbiological indicators of the culinary product called “Baked fish pate with caramelized carrots” with a BYA content of 6,25% during storage at a temperature of minus  $18 \pm 1$  °С

| Показатель, в соответствии с МУК 4.2.1847-04   | Допустимые уровни (ТР ЕАЭС 040/2016) | Период хранения, сут |                  |                  |                  |                  |          |                  |
|--|--------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------|------------------|
|  |                                      | Фон                  | 18               | 36               | 54               | 72               | 90       | 108              |
| КМАФАнМ, КОЕ/г                                 | Не более $1,0 \cdot 10^4$            | $3,3 \cdot 10^2$     | $1,3 \cdot 10^2$ | $4,8 \cdot 10^2$ | $6,0 \cdot 10^2$ | $7,8 \cdot 10^2$ | Менее 40 | $8,0 \cdot 10^2$ |
| БГКП (колиформы)                               | Не допускаются в 1г                  | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |          |                  |
| <i>Staphylococcus aureus</i>                   | Не допускается в 1 г                 | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |          |                  |
| Сульфитредуцирующие клостридии                 | Не допускаются в 1 г                 | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |          |                  |
| Плесени и дрожжи в сумме, КОЕ/г                | Не более 100 КОЕ/г                   | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |          |                  |
| Патогенные бактерии, в т. ч. <i>Salmonella</i> | Не допускаются в 25 г                | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |          |                  |
| <i>Listeria monocytogenes</i>                  | Не допускается в 25 г                | Не обнаружены        |                  |                  |                  |                  |          |                  |

Профилограммы, полученные по результатам органолептической оценки кулинарных изделий, представлены на рис. 2, 3.

В течение 108 суток хранения наблюдается незначительное снижение оценки по таким показателям, как консистенция, вкус и внешний вид. Данные изменения связаны с усушкой за счет удаления влаги с поверхности замороженных образцов в процессе хранения, а компоненты паштетов, в свою очередь, теряют яркость вкуса.

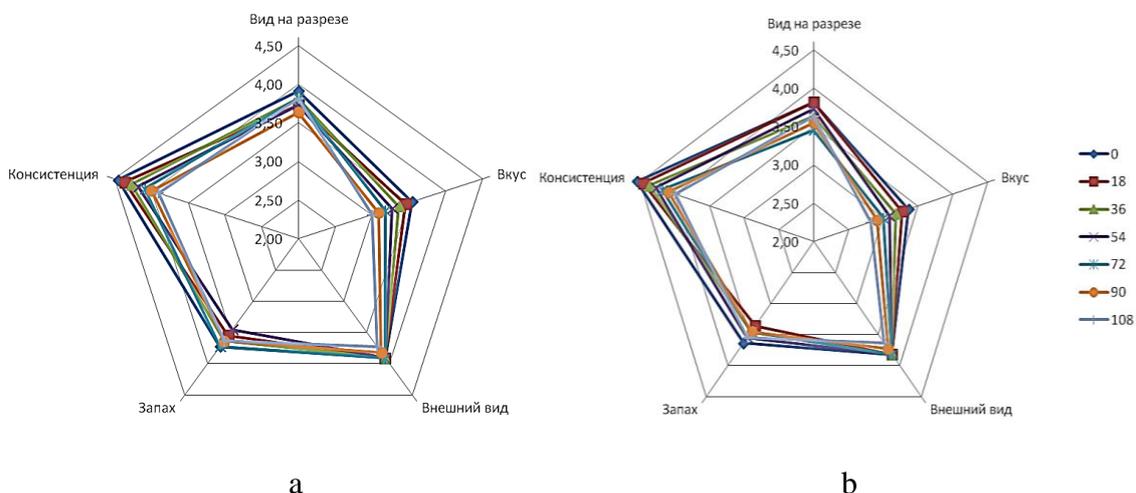


Рис. 2. Профилограмма органолептической оценки контрольного образца «Паштет рыбный запеченный» с содержанием АПД : а - 3,5; б - 6,25%  
 Fig. 2. Profile diagram of the organoleptic evaluation of the control sample of «Baked fish paste» with the content of BYA: a - 3.5; b - 6.25%

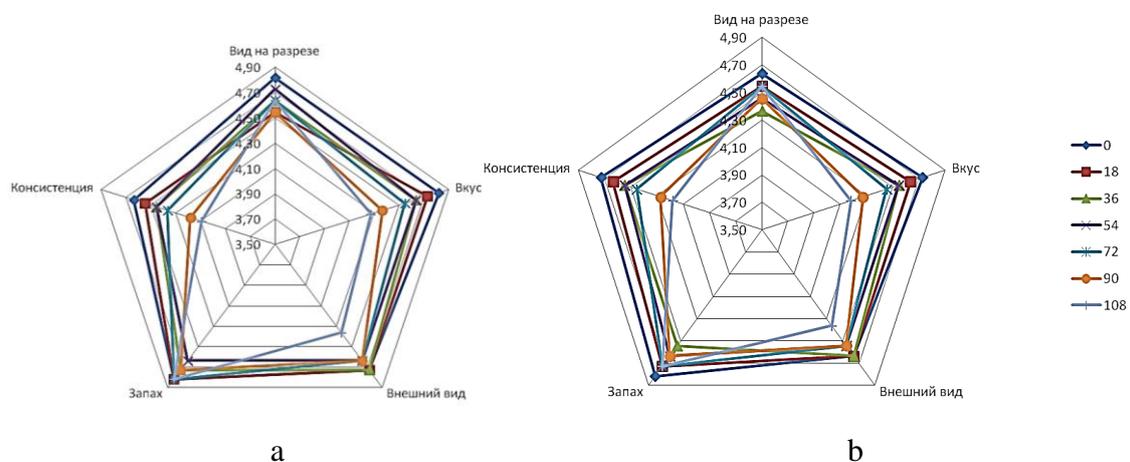


Рис. 3. Профилограмма органолептической оценки паштета рыбного с карамелизированной морковью запеченного с содержанием АПД:  
 а - 3,5; б - 6,25%  
 Fig. 3. Profile diagram of the organoleptic evaluation of «Baked fish paste with caramelized carrots» with the content of BYA: a - 3.5; b - 6.25%

На протяжении всего периода хранения образцы кулинарных изделий имели высокие органолептические характеристики, что подтверждается данными, представленными на профилограммах.

Полученные результаты микробиологических и органолептических исследований обуславливают ограничение сроков хранения кулинарных изделий – не более 3 мес. при температуре хранения минус  $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных маркетинговых и других исследований: математического моделирования, оценки органолептических характеристик был осуществлен качественный подбор рецептуры, который в конечном итоге позволил выйти на линейку рецептур, состоящую из пяти кулинарных изделий «Паштеты рыбные запеченные». Данная продукция обогащена витаминами группы В, что значительно расширяет ассортимент, с одной стороны, и соблюдение принципов пищевой комбинаторики - с другой. Также разработана технология производства паштетов рыбных, обогащенных АПД, апробированная на кухнях-фабриках предприятий общественного питания.

По результатам проведенных исследований сделано заключение о санитарно-гигиенической безопасности кулинарных изделий из карася серебряного «Паштеты рыбные запеченные» в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016.

На основании комплекса исследований установлены рекомендуемые сроки годности кулинарной продукции без существенной потери органолептических характеристик - в течение 3 мес. при холодильном хранении с температурой не выше минус  $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Божко, А. С. К вопросу о возможности использования вторичного сырья пивоваренных производств с целью создания продукции, обогащенной витаминами группы В / А. С. Божко, И. М. Титова // Инновации в технологии продуктов здорового питания: сб. науч. тр. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2017. – С. 176–180.
2. Божко, А. С. Научно-экспериментальное обоснование рецептур обогащенных рыбных продуктов для обеспечения уровня физиологической потребности в витаминах группы В / И. М. Титова, Н. А. Проневич // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский. - 2018. – № 46. – С. 29–34 с.
3. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. — Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. - 31 с.
4. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утвержден решением комиссии Таможенного Союза от 9 декабря 2011 г. № 880. - 2011. - 242 с.
5. Технический регламент Евразийской экономической комиссии ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»: принят Решением

Совета Евразийской экономической комиссии от 18.10.2016 г. № 162. - Москва, 2016. - 140 с

6. Родина, Т. Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров / Т. Г. Родина. - Москва: Академия, 2006. – 208 с.

7. Prasol, I., Golembovskaya, N., Slobodyanyuk, N., Ochkolyas, E. Sensory analysis of semi-finished minced fish products by the flavour profile method. // Scientific Messenger LNUVMB. 2017. 19 (80). p. 83–87.

#### REFERENCES

1. Bozhko A. S., Titova I. M. К вопросу о возможности использования вторичного сырья пивоваренных производств с целью создания продукции, обогашенной витаминами группы В. [On the possibility of using secondary raw materials of breweries in order to create products enriched with B vitamins]. *Sbornik nauchnykh trudov «Innovatsii v tekhnologii produktov zdorovogo pitaniya»* [Innovations in healthy food technology]. Kaliningrad, 2017, pp. 176–180.

2. Bozhko A. S., Titova I. M. Naучно-eksperimental'noe obosnovanie retseptur obogashchennykh rybnykh produktov dlya obespecheniya urovnya fiziologicheskoy potrebnosti v vitaminakh grupy В. [Scientific and experimental substantiation of the formulations of enriched fish products to ensure the level of physiological needs for vitamin B complex]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no. 46, pp. 29–34.

3. *Sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka obosnovaniya srokov godnosti i usloviy khraneniya pishchevykh produktov* [Sanitary-epidemiological assessment of justification of shelf life and food storage conditions]. Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004, 31 p.

4. *Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo Soyuzа TR TS 021/2011 «O bezopasnosti pishchevoy produktsii»* [Technical regulations of the Customs Union TR TS 021/2011 «About food safety»]. Utverzhden resheniem komissii Tamozhennogo Soyuzа 9 dekabryа 2011, no. 880, 242 p.

5. *Tekhnicheskiy reglament Evraziyskoy ekonomicheskoy komissii TR EAES 040/2016 «O bezopasnosti ryby i rybnoy produktsii»* [Technical Regulations of the Eurasian Economic Commission TR EAES 040/2016 «About Safety of Fish and Fishery Products»]. Prinyat Resheniem Soveta EEK 18.10.2016, no. 162, 140 p.

6. Rodina T. G. *Sensorny analiz prodovol'stvennykh tovarov* [Sensory analysis of food products]. Moscow, Akademiya, 2006, 208 p.

7. Prasol I., Golembovskaya N., Slobodyanyuk N., Ochkolyas E. Sensory analysis of semi-finished minced fish products by the flavour profile method. Scientific Messenger LNUVMB, 2017, no. 19 (80), pp. 83–87.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Божко Антон Сергеевич* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры технологии продуктов питания;  
E-mail: bozhkoanton@mail.ru

*Bozhko Anton Sergeevich* – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Food Products Technology; E-mail: bozhkoanton@mail.ru

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

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

УДК 663.053

ЗАВИСИМОСТЬ СТЕПЕНИ ГИДРОЛИЗА БЕЛКА И ИНТЕНСИВНОСТИ  
ДЕПРОТЕИНИЗАЦИИ ПАНЦИРЬСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ  
ОТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО СУСПЕНЗИРОВАНИЯ  
ХИТИНО-МИНЕРАЛЬНОГО СУБСТРАТА

М. В. Самсонов, М. Л. Винокур

DEPENDENCE OF THE DEGREE OF PROTEIN HYDROLYSIS  
AND DEPROTEINIZATION INTENSITY OF CRUSTACEANS WASTE  
FROM PRELIMINARY SUSPENSION OF CHITINOUS-MINERAL SUBSTRATE

M. V. Samsonov, M. L. Vinokur

Существующие технологии переработки панцирьсодержащих отходов (ПСО) позволяют получать белковые концентраты для дальнейшего производства кормов или пищевых (в меньшей степени) продуктов. Ограниченность применения белковых экстрактов пищевого назначения связана в первую очередь со значительной концентрацией липидов (на сухое вещество) или высокой стоимостью технологии их выделения. Возможное решение существующих проблем связывается с внедрением на начальном технологическом этапе предварительного суспензирования, проходящего при 10 град. С, и применением утилитарных протеолитических модификаторов хитино-минерального сырья, где в качестве недорогого ферментного препарата микробиологического происхождения предлагается использовать Протосубтилин Г3х-70 нейтральный. Снижение массовой доли липидов в получаемых концентратах возможно при достижении необходимой степени протеолитической деструкции белковых взвесей, отщеплённых от ПСО, вследствие чего происходит ослабление белково-липидных связей с последующим высвобождением жира. Однако высокая степень протеолитической деструкции извлечённого из ПСО белка увеличивает дальнейшие технологические издержки на осаждение компонентов гидролизата (пептидов, астаксантина). В работе показано, что применение предварительного суспензирования не только улучшает последующую депротеинизацию хитино-минерального субстрата, но и гарантирует необходимую степень протеолитической деструкции отщеплённых белковых взвесей уже в течение первых 120 мин протеолиза. Невысокая температура проведения суспензирования обеспечивает выделяемый белковый концентрат большим содержанием астаксантина. Внедрение предварительного суспензирования перед протеолизом позволяет удалять легкодоступные белки клеточного слоя ПСО, что в дальнейшем дает возможность косвенно регулировать воздействие протеолитического модификатора на часть отщеплённого от ПСО белка.

*протеолиз, азот концевых аминогрупп, белок, гидролизат, панцирные отходы креветок, предварительное суспензирование*

Existing technologies of processing crustaceans waste allow to obtain protein concentrates for further production of feed or food (to a lesser extent) products. The limited use of protein extracts for food purposes are primarily associated with a significant concentration of lipids (on a dry basis) or high cost of its (extract) isolation technology. A possible solution of the existing problems is to introduce at the initial technological stage of pre-suspension passing at 10 degrees C and the use of inexpensive proteolytic modifiers of chitin-mineral raw materials, where as an inexpensive enzyme preparation of microbiological origin, it is proposed to use Protosubtilin G3x-70 neutral. The decrease in the mass fraction of lipids in the resulting concentrates are possible while still achieving the desired degree of proteolytic degradation of the protein suspensions cleaved from the crustaceans waste, resulting in the weakening of protein-lipid relations, with the subsequent release of fat. However, a high degree of proteolytic destruction of the protein extracted from the crustaceans waste increases the technological costs of precipitation of the components of the hydrolysate. It has been shown that the use of pre-suspension not only improves the subsequent deproteinization of the chitin-mineral substrate, but also provides a significant degree of proteolytic destruction of the separated protein suspensions during the first 120 minutes of proteolysis. The low temperature of the suspension allows provision of the released protein concentrate with a high content of astaxanthin. Introduction, before proteolysis, of pre-suspension will remove readily available proteins of the cell layer of the crustaceans waste, which in the future will indirectly regulate the effect of the proteolytic modifier on the part of the protein separated from the crustaceans waste.

*Proteolysis, nitrogen of amino end-groups, protein, hydrolysate, shell waste of shrimps, preliminary suspension*

## ВВЕДЕНИЕ

Современные направления развития рыбоперерабатывающего комплекса включают внедрение ресурсосберегающих и комплексных технологий переработки водно-биологических ресурсов. Особый интерес представляет переработка белково-минерального сырья, полученного при разделке панцирьсодержащих гидробионтов. Подобное сырьевое ориентирование позволяет получать высококонцентрированные питательные вещества (обезвоженные белковые гидролизаты, пищевые астаксантиносодержащие белковые концентраты, астаксантин и т.д.), обладающие заданными свойствами, в том числе и функциональными [1].

Существующие технологии переработки ПСО позволяют получать обезвоженные белковые гидролизаты и изоляты. Однако конечные концентраты могут характеризоваться высоким содержанием жира (до 5-6 % от массы сухого вещества), что значительно снижает направления их дальнейшего применения в пищевой промышленности, в том числе для выработки функциональных продуктов [2]. Технологии повышения степени обезжиренности концентратов могут включать физические (воздействие температуры, давления), химические (применение органических/неорганических растворителей) и биохимические (применение ферментных препаратов или специальных штаммов м/о) воздействия на субстрат [3]. Существенным недостатком таких способов являются дополнительные затраты на технологические операции (нагрев, мембранное фильтрование) или расходные материалы (органические/неорганические растворители, ферменты), а также

частичная и полная потеря нутриентов (астаксантина, жирорастворимых витаминов, частично белка) посредством температурной деструкции, окисления или «вымывания» их спиртами/кислотами/щелочами [4].

Один из возможных вариантов решения существующих проблем – применение недорогого протеолитического модификатора сырья микробного происхождения и внедрение предварительного суспензирования ПСО перед протеолизом [5-7].

Использование подобных методов при проведении протеолиза ПСО позволяет сократить затраты, связанные с дополнительными технологическими операциями и материалами. Внедрение предварительного суспензирования в технологию протеолиза позволит обеспечить лучшую депротеинизацию ПСО и необходимую степень гидролиза отщеплённых (от ПСО) белковых взвесей. Степень гидролиза и интенсивность депротеинизации влияют на массовые соотношения и распределения основных компонентов протеолиза (белок, липид, астаксантин) после разделения на фракции (центрифугирования), так как часть компонентов протеолиза может находиться в дисперсной, водородной или Ван-дер-Ваальсовой связи. При увеличении степени протеолитической деструкции белковых взвесей происходит оптимальное ослабление белково-липидных связей на участках боковых цепей аминокислот и гидрофобных частей липидов [8, 9], тем самым улучшается обезжиренность нижней фракции (белковой пасты) после центрифугирования. Введение суспензирования на начальном этапе протеолиза ПСО позволит получать белок с большей степенью протеолитической деструкции, так как часть легкодоступного белка (слабо связанного с хитино-минеральным матриксом) удаляется посредством гидромеханического извлечения. Однако глубокий уровень протеолиза отщеплённых белковых взвесей снижает молекулярный вес длинноцепочечных азотсодержащих веществ (АСВ), снижая возможность их дальнейшего концентрирования в нижнем слое при центрифугировании, что объясняется возможным их переходом в растворенное состояние или в состав эмульгированных образований среднего слоя (образовавшегося после центрифугирования). Ещё одна проблема существующих технологий выделения белковых концентратов – это проведение предварительного суспензирования при относительно высоких температурах – 45-50°С (при таких температурных значениях улучшается водорастворимость некоторых белков с параллельным уменьшением вязкости липидов), подобные режимы не способствуют сохранности некоторых компонентов протеолиза (астаксантина, витаминов) в конечном обезвоженном концентрате.

Следовательно, цель исследовательской работы заключается в изучении влияния низкотемпературного предварительного суспензирования на интенсивность депротеинизации ПСО и степень гидролиза отщеплённых от ПСО белковых взвесей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись панцирные отходы северной креветки (ТУ 10.20.31–296–00472093–2018), полученные в результате механической очистки варено-мороженых креветок (ГОСТ 51496-99). Размораживание ПСО осуществлялось в воздушной среде при температуре 6°С. Измельчение панцирных отходов производилось на волчковом устройстве. Продолжительность предварительного суспензирования ПСО составляла 4-5 мин при температуре 10°С, соот-

ношение воды и ПСО – 5/1. Концентрация протезы – 0,5 % от массы белка ПСО, гидромодуль – 10:1. Скорость вращения ротора центрифуги – не менее 5000 об/мин, продолжительность – 10-15 мин. Использовался ферментативный препарат микробиологического происхождения – Протосубтилин ГЗх нейтральный фирмы «СибБиоФарм» с протеолитической активностью 70 ед/г.

Определение концентрации азотистых веществ осуществлялось по методу Кьельдаля. Концентрация протеина в 1 г исследуемого сырья вычислялась по формуле (1):

$$Б = \frac{0A \times 6,25}{n} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $n$  – навеска веществ, г; 6,25 – коэффициент пересчёта.

Определение формольно-титруемого азота (ФТА) проводилось по методике Черногорцева. Содержание ФТА в мг на 100 г продукта вычислялось по формуле (2):

$$ФТА = \frac{(a-b-c) \times K \times 1,4 \times V}{m \times V_1} \times 100, \quad (2)$$

где  $a$  – количество щелочи, пошедшей на титрование первой колбы, мл;  $b$  – количество щелочи, пошедшей на титрование второй колбы, мл;  $c$  – количество щелочи, пошедшей на титрование третьей колбы, мл;  $K$  – поправочный коэффициент для 0,1 н раствора щелочи; 1,4 – количество азота, эквивалентное 1 мл точно 0,1 н раствора щелочи, мг;  $V$  – объем колбы разведения, мл;  $V_1$  – объем фильтрата, взятый на титрование;  $m$  – масса навески, г.

Количество небелкового азота (НБА) определялось по соответствующей формуле (3):

$$НБА = \frac{2 \times a \times K \times 0,028 \times V}{m \times V_1} \times 100, \quad (3)$$

где 2 – коэффициент, учитывающий разведение вытяжки трихлоруксусной кислотой;  $a$  – количество определённого азота, мл;  $K$  – поправочный коэффициент; 0,028 – количество азота, эквивалентное 1 мл точно 0,02 н раствора щелочи, мг;  $V$  – объем колбы разведения, мл;  $V_1$  – объем фильтрата, взятый для минерализации, мл;  $m$  – масса навески, г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для установления возможного влияния низкотемпературного предварительного суспензирования на интенсивность депротеинизации измельчённых ПСО определена интенсивность накопления белковых взвесей (АСВ), отщеплённых от ПСО и перешедших в отфильтрованный от панциря гидролизат (рис. 1).

Обработанные результаты (рис. 1) показывают, что применение предварительного суспензирования (образец 2) снижает дальнейшую протеолитическую экстракцию АСВ из ПСО (по сравнению с образцом 1), так как под воздействием

гидромеханических сил при предварительном суспензировании происходит частичное удаление эпителиально-клеточного слоя с поверхности хитино-минерального матрикса.

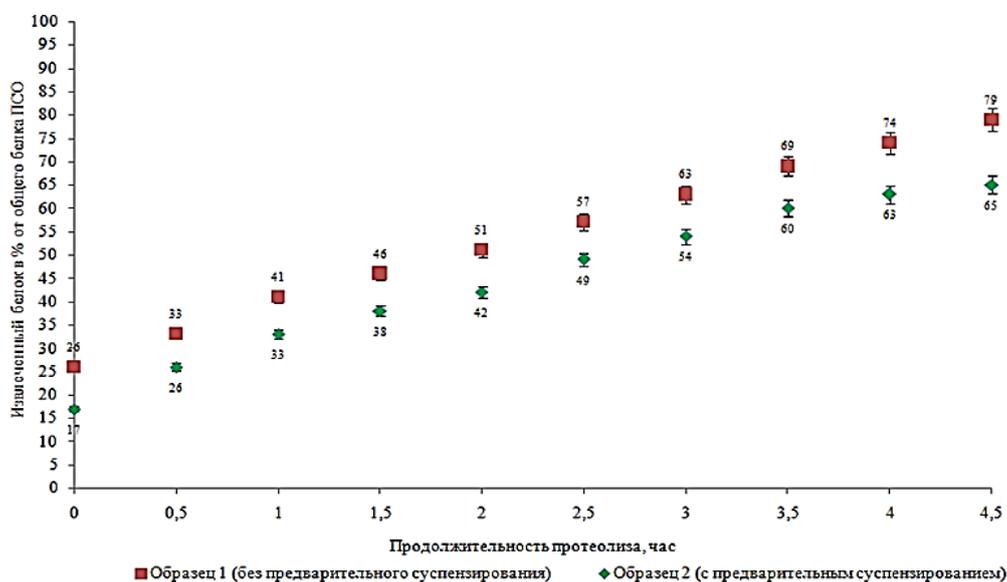


Рис. 1. Динамика накопления АСВ в отфильтрованном гидролизате  
 Fig. 1. Dynamics of accumulation of nitrogen-containing substance  
 in the filtered hydrolysate

Интенсивность перехода и накопления АСВ в гидролизате для образца 1 можно характеризовать четырьмя этапами. Первый этап (до 1 ч протеолиза) – это частичное разрушение связей эпителиального слоя ПСО и хитино-минеральной основы посредством механического измельчения. Второй этап (1,5-2 ч протеолиза) – значительное отщепление белка, 55-60 % от ПСО (полное снятие клеточного слоя посредством протеолитической модификации ПСО) с последующим накоплением АСВ в гидролизате. На третьем этапе (2,5-3,5 ч протеолиза) происходит частичное распределение раствора протеазы по внутренним слоям кутикулы ПСО до пигментного слоя, предположительно, за счёт диффузионно-осмотических процессов, где в качестве транспортирующего пространства используются поровые каналы и частично гидролизованые плотноупакованные фибриллы, а смещение кинетического параметра в сторону кинетического или диффузионно-кинетического характера гидролиза косвенно отображает возможное распределение ПГЗх по внутренним слоям кутикулы. Четвёртый этап (3,5-4,5 ч протеолиза) характеризуется замедлением динамики извлечения и накопления АСВ, что объясняется дальнейшей невозможностью протеолиза внутренних слоёв ПСО, так как последующему распределению раствора ПГЗх препятствуют особенности гистохимического строения панциря кутикулы [9, 10].

Накопление АСВ в гидролизате образца 2 можно характеризовать тремя стадиями. На первой стадии (от 0 до 2 ч протеолиза) происходит отщепление АСВ от ПСО и их последующее накопление в гидролизате. Данный промежуток протеолиза характеризуется полной депротеинизацией поверхностного слоя кути-

кулы (т. е. полностью удаляется эпителиально-клеточный слой). Вторая стадия (2-3,5 ч протеолиза) описывается последующим распределением протеазы по внутренним слоям ПСО [10], при этом динамика извлечения АСВ из ПСО и их накопления в гидролизате замедляются. На третьей стадии (3,5-4,5 ч протеолиза) слабеет (до минимального уровня) интенсивность накопления АСВ в гидролизате, так как снижается дальнейшее проникновение и распределение раствора протеазы по слоям хитино-минерального субстрата.

Сравнительная характеристика гидролизатов двух образцов показала прямую зависимость применения предварительного суспензирования и интенсивности депротеинизации ПСО. Предварительно суспензированные ПСО уже на втором часу протеолиза были «очищены» от эпителиально-клеточного (белкового) слоя. Дальнейшая протеолитическая модификация внутренних слоёв ПСО (пигментного слоя, эндо- и экзокутикулы) способствует извлечению каротинопротеинов и липидокаротиноидов и их накоплению в гидролизате.

Необходимо учитывать, что накопление в гидролизате высокомолекулярных АСВ, связанных с липидами (недисперсные образования), не обеспечивает необходимую локализацию жира в верхней фракции, при центрифугировании, что, в свою очередь, не способствует выработке конечного пищевого продукта, обладающего приемлемой концентрацией липидов. Для лучшего разделения и фракционирования АСВ и липидов необходимо определить степень протеолитической деструкции белка гидролизата. По достижении необходимого уровня протеолиза белковых взвесей происходит высвобождение липидов и их последующая миграция в верхний слой при центрифугировании.

Определение степени протеолитической деструкции белка также осуществлялось при сопоставлении показателей гидролизатов с предварительным суспензированием измельчённых ПСО и без него (рис. 2).

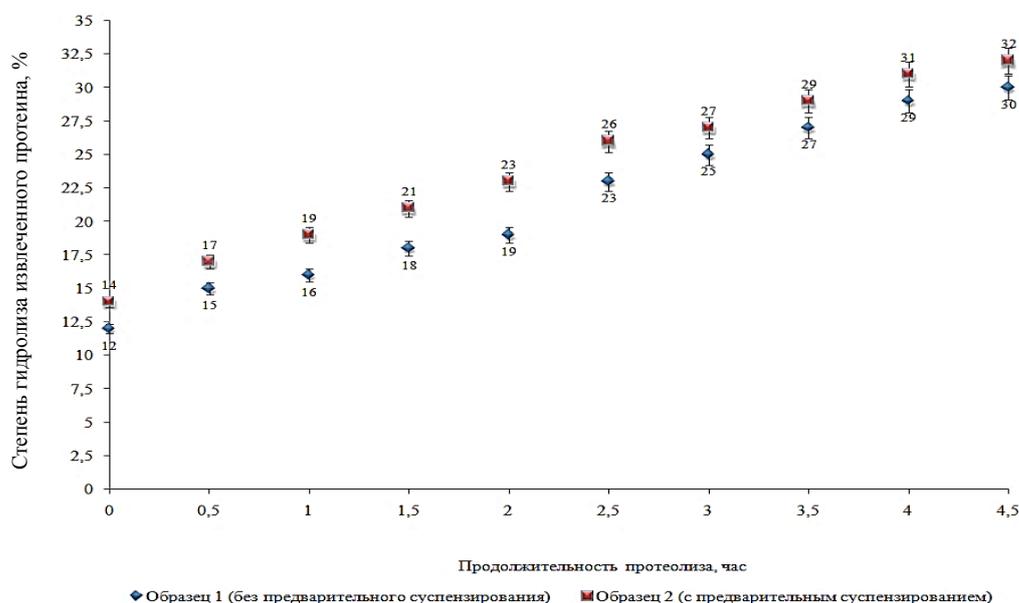


Рис. 2. Степень гидролиза белка, перешедшего в отфильтрованный от хитино-минеральных взвесей гидролизат

Fig. 2. The degree of hydrolysis of the protein converted into a hydrolysate filtered from chitin-mineral suspensions

Результаты изучения степени гидролиза белка получаемых образцов косвенно отображают зависимость использования предварительного суспензирования и уровня протеолитической деструкции извлекаемых АСВ отфильтрованного гидролизата. Протеолиз предварительно суспензированных ПСО (образец 2) обеспечивает лучшую степень протеолитической деструкции извлекаемых белков по сравнению с образцом, где предварительное суспензирование не проводилось. При равнозначной концентрации ПГЗх (на белок) и гидромодуле (10/1) соотношение легко извлекаемых высокомолекулярных АСВ в образце 1 выше, так как часть доступных белков не удаляется предварительным суспензированием, как в образце 2, и как следствие –большой расход протеазы на депротеинизацию несуспензированных ПСО и параллельный гидролиз белка, перешедшего в жидкий гидролизат.

При достижении необходимых значений степени протеолиза белков отфильтрованного гидролизата и уровня депротеинизации хитино-минерального матрикса также увеличивается концентрация НБА по отношению к ОА в гидролизате (рис. 3), что, в свою очередь, снижает возможность дальнейшего фракционирования и концентрирования нутриентов (разноцепочечных пептидов) посредством центрифугирования или с применением осаждающих агентов.

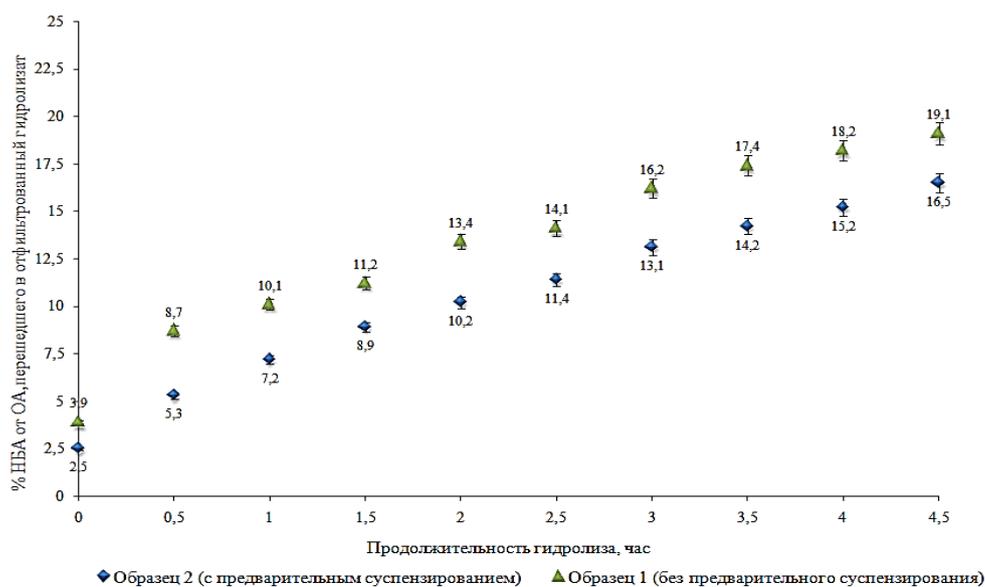


Рис. 3. Динамика накопления НБА к ОА в отфильтрованном гидролизате при протеолизе хитино-минерального субстрата

Fig. 3. Dynamics of accumulation of non-protein nitrogen to total nitrogen in the filtered hydrolysate at proteolysis of chitin-mineral substrate

Результаты сопоставления значений НБА к ОА отфильтрованного гидролизата для всех образцов можно разделить на две ступени. На первой (от 0 до 2 ч протеолиза) наблюдалось медленное накопление НБА к ОА (с 2,5 до 7,6 % для образца 2 и с 6,1 до 13,4 % для образца 1), что объясняется невысокой степенью протеолитической деструкции белков, отщеплённых ферментом от ПСО, и интенсивностью депротеинизации ПСО.

На второй ступени (от 2 до 4,5 ч протеолиза) отмечалось более интенсивное, по сравнению с первой ступенью, накопление НБА к ОА (с 7,6 до 12,2 % для образца 2 и с 13,4 до 19,1 % для образца 1). Вторая ступень характеризовалась более интенсивной протеолитической деструкцией разноцепочечных пептидов, пришедших в отфильтрованный гидролизат, так как на данном временном интервале снижается количество легкодоступных пептидов клеточного слоя ПСО, а освободившаяся от протеолиза ПСО часть ПГЗх гидролизует белок, перешедший в отфильтрованный гидролизат.

Однако несмотря на схожие динамики накопления НБА к ОА на первой и второй ступенях протеолиза, в образце 2 часть белка удаляется посредством предварительного суспензирования, что напрямую влияет на концентрацию ПГЗх (в соотношении к легкодоступным белкам клеточного слоя), степень гидролиза и интенсивность накопления разноцепочечных пептидов при сопоставлении с образцом 1. Следовательно, вносимый в образец 2 ПГЗх в равной степени тратится на депротеинизацию ПСО и на протеолитическую модификацию протеинов, перешедших в отфильтрованный от панцирей гидролизат.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение предварительного суспензирования (при 10° С и гидромодуле 4/1) перед протеолизом ПСО обеспечивает интенсивную депротеинизацию хитино-минерального субстрата и позволяет получать пищевой белковый концентрат с лучшей степенью обезжиренности при последующем центрифугировании и концентрировании. Увеличение степени протеолитической деструкции отщеплённых взвесей ослабляет связи между белками и липидами, тем самым улучшая разделяемость компонентов гидролизата (при центрифугировании). Внедрение низкотемпературного предварительного суспензирования в технологию протеолитической модификации ПСО позволит снизить интенсивность накопления НБА в гидролизате, что окажет положительное влияние на массовые значения осаждаемых разноцепочечных пептидов при дальнейшем центрифугировании. Применение невысокой температуры суспензирования измельчённых ПСО позволит сократить потерю астаксантина, что, в свою очередь, повысит функциональную составляющую выделяемых белковых экстрактов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пашенко, В. Л. Разработка технологии функционального продукта с применением коллагенового гидролизата / В. Л. Пашенко, С. А. Сторублевцев // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 4. – С. 127-135.
2. Неклюдов, А. Д. Свойства и применение белковых гидролизатов (обзор) / А. Д. Неклюдов, А. Н. Иванкин, А. В. Бердугина // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2000. – Т. 30, № 4. – С. 225-334.
3. Строкова, Н. Г. Биотехнологические аспекты комплексной переработки ракообразных / Н. Г. Строкова, А. В. Подкорытова // *Биотехнология: состояние и перспективы: IV Московский междунар. конгресс: материалы*. – 2011. – Ч. 2. – С. 241-242.

4. Неклюдов, А. Д. Получение и очистка белковых гидролизатов / А. Д. Неклюдов, А. Н. Иванкин, А. В. Бердугина // Прикладная биохимия и микробиология. – 2000. – Т. 36, № 4. – С. 371-379.
5. Немцев, С. В. Получение низкомолекулярного водорастворимого хитозана / С. В. Немцев // Биотехнология. – 2001. – № 6. – С. 37-42
6. Самсонов, М. В. Использование протосубтилина G3x для предотвращения образований микроэмульсий при гидролизе панцирных отходов северной креветки / М. В. Самсонов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – №47. – С. 123-134.
7. Самсонов, М. В. Выделение каротинопротеинового концентрата из панцирных отходов варено-мороженых креветок / М. В. Самсонов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 50. – С. 103-114.
8. Мухин, В. А. Ферментативные белковые гидролизаты тканей морских гидробионтов: получение, свойства и практическое использование / В. А. Мухин, В. Ю. Новиков // Изд-во ПИПРО. – 2001. – С. 101-102.
9. Dendinger, J. E. Mechanical properties in relation to chemical constituents of postmolt cuticle of the blue crab, *Callinectes sapidus* / J.E.Dendinger, A. Alterman // *Comp. Biochem. arid Physiol. A.* – 1983. – 75, N 3. – P. 421-424.
10. Самсонов, М. В. Исследование процесса гидролиза панцирных отходов варёной креветки с использованием протосубтилина / М. В. Самсонов, М. Л. Винокур, М. П. Андреев // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – №46. – С.90-101.

#### REFERENCES

1. Pashchenko V. L. *Razrabotka tekhnologii funktsional'nogo produkta s primeneniem kollagenovogo gidrolizata* [Development of functional product technology with the use of collagen hydrolysate]. Moscow, 2011, no. 4, pp. 127-135.
2. Neklyudov A. D. Svoystva i primeneniye belkovykh gidrolizatov [Properties and application of protein hydrolysates]. *Applied biochemistry and Microbiology*, 2000, no. 4, pp. 225-334.
3. Strokova N. G. Biotehnologicheskie aspekty kompleksnoy pererabotki rakoobraznykh [Biotechnological aspects of complex processing of crustaceans]. *Biotechnology: status and prospects*, 2011, no. 2, pp. 241-242.
4. Neklyudov A. D. Poluchenie i ochistka belkovykh gidrolizatov [Preparation and purification of protein hydrolysates]. *Applied biochemistry and Microbiology*, 2000, no. 4, pp. 371-379.
5. Nemcev S. V. Poluchenie nizkomolekulyarnogo vodorastvorimogo khitozana [Preparation of low molecular weight water-soluble chitosan]. *Biotechnology*, 2001, no. 6, pp. 37-42.
6. Samsonov M. V. Ispol'zovanie protosubtilina G3h dlya predotvrashcheniya obrazovaniy mikroemul'siy pri gidrolize pantsirnykh othodov severnoy krevetki [The use of protosubtilin G3x for the prevention of micro-emulsions formation during hydrolysis of crustacean waste of Northern shrimp]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 47, pp.123-134.

7. Samsonov M. V. Vydelenie karotinoproteinovogo konsentrata iz pantsirnykh otkhodov vareno-morozhenykh krevetok [Recovery of carotene protein concentrate from the shell waste of boiled and frozen shrimp]. *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 50, pp.103-114.

8. Muhin V. A. *Fermentativnye belkovye gidrolizaty tkaney morskikh gidrobi-ontov: poluchenie, svoystva i prakticheskoe ispol'zovanie* [Enzymatic protein hydrolysates of marine hydrobiont tissues: preparation, properties and practical use]. PINRO, 2001, pp. 101-102.

9. Dendinger J. E. Mechanical properties in relation to chemical constituents of postmolt cuticle of the blue crab, *Callinectes sapidus* (Russ. Ed: Dendinger YU. E. Mekhanicheskie svoystva v otnoshenii khimicheskikh sostavlyayushchikh posle linki kutikula sinego kraba, *Callinectes sapidus*. Comp. Biochem. arid Physiol. A., 1983, no. 3, pp. 421-424).

10. Samsonov M. V. Issledovanie processa gidroliza pancirnykh otkhodov varyonoy krevetki s ispol'zovaniem protosubtilina [Study of the process of hydrolysis of shell wastes of boiled shrimp using protosubtilin]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 46, pp. 90-101.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Самсонов Максим Вячеславович* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Технология продуктов питания»;  
E-mail: Samsonov-Sk@ya.ru

*Samsonov Maxim Vyacheslavovich* – Kaliningrad State Technical University;  
Postgraduate student of the Department of Food Products Technology;  
E-mail: Samsonov-Sk@ya.ru

*Винокур Михаил Леонидович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: VinokurML@mail.ru

*Vinokur Mikhail Leonidovich* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD, Associate Professor of the Department of Food Products Technology;  
E-mail: VinokurML@mail.ru

УДК 665.211

ПРИМЕНЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ  
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КИСЛОТНОГО ЧИСЛА ЖИРА ГИДРОБИОНТОВ

В. В. Соклаков, Н. А. Рачкова

APPLICATION OF POTENTIOMETRIC TITRATION IN DETERMINATION  
OF ACID VALUE OF HYDROBIONT FAT

V. V. Soklakov, N. A. Rachkova

Одним из факторов, негативно влияющих на результаты определений химических показателей пищевых продуктов, представляется визуальное определение точки эквивалентности при использовании титриметрических методов. Кислотное число жира гидробиионтов применяется как браковочный критерий как по безопасности продукции, так и по возможности её использования в качестве медицинской, пищевой, ветеринарной или технической. Анализ применяемых методов определения этого показателя в пищевой промышленности показал возможность использования помимо титриметрии также и потенциометрии, ИК-спектроскопии и ЯМР-спектроскопии. При решении задачи по модернизации существующего стандартизированного метода посредством приборного детектирования, доступного большинству потенциальных пользователей, был выбран метод титрования с потенциометрической индикацией. Стандартизированная в ГОСТ 7636 методика, предполагающая растворение навески жира в нейтрализованном бинарном растворителе и её титрование раствором щёлочи, была дополнена потенциометрической индикацией точки эквивалентности по скачку потенциала или по дифференциальной кривой титрования. Апробация предлагаемой методики предполагала использование образцов жиров различной окрашенности из пресноводных и океанических рыб. Образцы были получены из мороженого сырья, а также представляли собой коммерческие продукты с различными периодами хранения. Сравнительные определения кислотного числа предлагаемой и стандартизированной методик показали, что полученные результаты не выходят за установленный в ГОСТ 7636 предел повторяемости, что может свидетельствовать о валидности потенциометрической индикации. В случае сложности определения точки окончания титрования по кривой титрования из-за физико-химических свойств жира предлагается использовать в её качестве значение рН 12,75.

*кислотное число, жиры гидробиионтов, потенциометрический метод*

When using titrimetric methods, visual determination of the equivalence point is one of the negative factors affecting the quality of chemical indicators determination in foodstuffs. The acid value of hydrobiont fat is used as a rejection criterion both in terms of product safety and its usability as medical, food, veterinary or technical. Analysis of the methods that are used in order to determine this indicator in the food industry has shown the possibility of using apart from titrimetry, also potentiometry,

IR-spectroscopy and NMR-spectroscopy. When solving the problem of modernization of the existing standardized method by means of instrument detection, available to most potential users, the titration method with potentiometric indication has been chosen. A technique that has been standardized in GOST 7636, involving dissolution of a fat sample in a neutralized binary solvent and its titration with an alkali solution, has been supplemented with a potentiometric indication of the equivalence point by a difference of potential or a differential titration curve. Approbation of the proposed technique involves the use of fat samples of different colors of freshwater and oceanic fish. The samples have been obtained from frozen raw materials, as well as commercial products with different storage periods. Comparative determination of the acid value with the proposed and standardized techniques has showed that the results do not exceed the repeatability limit established in GOST 7636, which may argue for validity of the potentiometric indication. In the case of the difficulty in determining the titration end point at a titration curve due to the physico-chemical properties of fat, we suggest using a pH value of 12.75.

*acid value, hydrobiont fat, potentiometric method*

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества результатов определений посредством снижения погрешности представляется постоянной задачей, стоящей перед исследователями. Одним из способов видится замена визуального определения точки эквивалентности при традиционном титровании на приборное детектирование, не зависящее от цветовосприятия аналитика, замутнённости или окрашенности титруемого раствора, приводящих к возникновению несистематической ошибки определения. В данной работе рассматривается модернизация стандартизированной методики определения кислотного числа жира гидробионтов – показателя, отражающего прежде всего гидролизные изменения, протекающие в результате технологических операций и в течение хранения сырья и готовой продукции.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### Постановка задачи

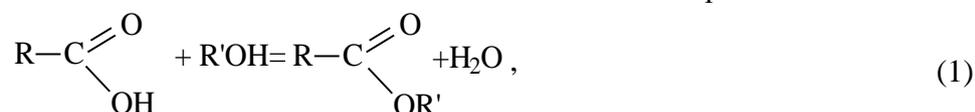
Анализ существующих стандартизированных и предлагаемых исследователями в научных работах и патентах методик показал, что для пищевых продуктов применяется не более четырёх различных методов определения кислотного числа. Так, распространяющийся на жиры гидробионтов ГОСТ 7636 предполагает использование только титриметрического метода [1]. В других пищевых продуктах данный показатель определяется как аналогичным методом [2-16], так и с использованием потенциометрии [9, 10, 15, 17-23], спектрометрии в инфракрасной области [24, 25] и метода ядерного магнитного резонанса [26, 27].

В качестве цели работы рассматривалось усовершенствование существующей методики для возможности её дальнейшего применения. Усовершенствование должно было заключаться с целью перехода от визуального определения точки эквивалентности при титровании к приборному, при этом желательным результатом являлось внесение как можно меньшего количества изменений в используемый на практике стандартизированный метод.

Классические титриметрические определения, не предполагающие автоматизацию, нами не рассматривались как содержащие в своей основе те же предпосылки для возникновения несистематической погрешности, что и ГОСТ 7636 – а именно субъективное восприятие цвета исследователем. Метод инфракрасной спектроскопии представляется нам крайне трудоёмким в части подготовки градуировочных зависимостей, которые будут необходимы для жиров практически из каждого отдельного биологического вида, чтобы учесть нативные видовые различия липидных фракций. Метод ядерного магнитного резонанса нами не рассматривался также ввиду крайне высокой себестоимости для рутинных определений и необходимости высокой квалификации у аналитика, проводящего данные исследования.

Потенциометрический метод представляется наиболее подходящим для достижения нашей цели, поскольку:

- существуют стандартизированные методики для других пищевых продуктов;
- основываясь на кислотном-основном типе химических реакций –



определение кислотного числа предусматривает использование аналитического оборудования, имеющегося практически в каждой лаборатории;

- могут не потребоваться существенные изменения в части используемых реактивов;
- доступен для применения большинству аналитиков.

Все методы косвенного потенциометрического определения кислотного числа без титрования основываются на единой модели [18], предполагающей изменение рН в зависимости от кислотного числа, в соответствии со стандартной кинетической моделью первого порядка.

Методика, предложенная В. Е. Акулиным, О. Е. Рувинским и С. Я. Шарудиной [23], основана на изменении величины рН 95-97 % массового водного раствора н-бутанола в зависимости от массы добавляемой олеиновой кислоты. Авторы используют растворы известных концентраций олеиновой кислоты в 95%-ном водном растворе н-бутанола для получения опорных значений рН, измерения рН исследуемого растительного масла в смеси с указанным раствором и расчёта кислотного числа по эмпирической формуле, учитывающей характеристики известной кинетической модели.

Теми же авторами предложена методика определения кислотного числа [22], предполагающая растворение навески исследуемого растительного масла в этаноле, подщелоченном гидроксидом лития до рН 7,5-7,8, измерение рН системы, добавление в качестве стандартной добавки раствора уксусной кислоты, повторное измерение рН системы и определение кислотного числа с помощью разницы измеренных значений рН.

Методика по ГОСТ 26597 [20] основана на изменении величины рН раствора стеариновой кислоты в спиртоэфирной смеси в зависимости от концентрации указанной кислоты. Используя градуировочную зависимость, построенную в полупологарифмических координатах, определяют кислотное число подсолнечного масла.

Однако, на наш взгляд, подобное косвенное потенциметрическое определение с помощью изложенных методов достаточно сложно реализуемо в случае жиров гидробионтов по причине широкой вариабельности их жирнокислотного состава. Так, если подсолнечное масло может содержать до 90,7 % олеиновой кислоты и до 6,2 % стеариновой кислоты [28], то для липидов гидробионтов, как правило, характерно наличие не абсолютно доминирующей жирной кислоты, а нескольких жирных кислот с удельным содержанием свыше 20 % по массе, к которым, помимо олеиновой, можно отнести лауриновую, миристоолеиновую, пальмитиновую, пальмитоолеиновую, линолевую, гондоиновую, эруковую, тимнодоновую и цервоновую – т. е. кислоты как с большим, так и с меньшим количеством атомов углерода по сравнению с олеиновой и стеариновой. При этом колебания содержания насыщенных жирных кислот в липидах гидробионтов в зависимости от биологического вида сырья, сезона вылова, используемой для получения жира части тела и других факторов могут достигать 16-42 %, мононенасыщенных кислот – 11-71, а полиненасыщенных кислот – 12-62 % [29]. Уксусная же кислота не характерна для жиров гидробионтов и может образовываться исключительно как вторичный продукт окисления [29]. Изложенные обстоятельства делают на практике необоснованно сложным моделирование системы, позволяющее проводить прямое потенциметрическое определение кислотного числа жира гидробионтов.

Е. Н. Выскубова предложила методику редокс-потенциметрического определения кислотного числа [19], согласно которой навеску исследуемого масла растворяют в смеси этанола и раствора йодида калия, добавляют раствор йода калия и измеряют первое равновесное значение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП); далее вносят раствор йода и измеряют второе равновесное значение ОВП. Затем проводят расчёт кислотного числа.

Данная методика предполагает как использование дополнительных по сравнению с ГОСТ 7636 реагентов, так и измерение ОВП, осуществляемое с помощью пары платиновый – хлор-серебряный электрод, что делает невозможным применение для её реализации получивших распространение портативных рН-метров, оснащённых комбинированным стеклянным хлор-серебряным электродом и рассчитанных исключительно на измерение концентрации ионов водорода в исследуемых системах.

Методики потенциметрического титрования представляются наиболее подходящими для решения поставленных задач. М. Tubino и J. A. Aricetti предложили заменить спиртоэфирный или спиртохлороформенный растворитель смесью воды и этанола в соотношении 1:1 и продемонстрировали работоспособность методики на таких образцах, как масло сои, канолы, кукурузы, подсолнечника, льна, касторовое масло, свиной ляд [17]. Данная методика несомненно заслуживает дальнейшего изучения, поскольку позволяет сократить количество реагентов, исключая применение этилового эфира, однако при этом она будет нуждаться в тщательной валидации, поскольку предполагает использование только этанола, который может в недостаточной степени обеспечивать растворение липидов некоторых гидробионтов.

Методика по ГОСТ Р 50457, регламентирующая косвенное потенциметрическое определение кислотного числа жиров животных и масел растительных, предполагает титрование гидроксидом калия навески жиров или масел, растворённой в метилизобутилкетоне, до точки эквивалентности, близкой к рН=10 и опреде-

ляемой графическим путём на кривой нейтрализации, либо определяемой как максимум первого дифференциала колебания рН от функции объёма титранта [10].

Использование указанного растворителя усложняет действующую методику [1], применение же зависимости дифференциала рН от объёма титранта может явиться полезным инструментом в случае наличия нескольких точек эквивалентности у сильно гидролизованных или окисленных жиров.

Ранее предлагалась методика [21], согласно которой навеска жира растворялась в нейтрализованной спиртохлороформенной смеси (соотношение 1:3) и титровалась раствором гидроксида калия до значения ЭДС электродов в щелочном буферном растворе – таким образом, предварительно измеренная ЭДС электродов в щелочном буферном растворе являлась априорной точкой окончания титрования.

Данная методика не позволяет использовать портативные рН-метры, которые не способны работать в режиме милливольтметра, единственной их функцией является измерение рН. Тем не менее, она послужила отправным пунктом для настоящей работы, а целью проводимого исследования стало подтверждение или опровержение ряда теоретических допущений, сделанных в упомянутой работе ранее.

Методика по ОФС.1.2.3.0004.15 [15] близка к ГОСТ 7636, отличаясь лишь равным соотношением объёмов этанола и эфира в бинарном растворителе, а также потенциометрическим титрованием окрашенных жиров.

Методика по ГОСТ 31933, также регламентирующая косвенное потенциометрическое определение кислотного числа растительных масел, наиболее близка в части подготовки пробы к измерению и в части используемых реактивов к ГОСТ 7636. Отличительными особенностями являются возможность применения в качестве растворителя спиртохлороформенной смеси и титрование до точки эквивалентности, лежащей в интервале рН 11-13 и определяемой по скачку потенциала [9].

Именно данная методика была взята нами за основу в настоящей работе, при этом одной из задач стало определение возможности использования конкретного значения рН в качестве точки эквивалентности.

#### Методы исследования

Для получения исследованных образцов тканевого жира различной нативной окрашенности 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 [30]. 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.

Также в качестве образцов брали коммерческий рыбный жир и продукцию различных производителей и сроков хранения на его основе:

- 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.

Навеску жира массой 1 г (для окисленного образца жира) или 2 г (для всех остальных образцов) взвешивали с точностью до 0,01 г, растворяли в нейтральном по фенолфталеину спиртоэфирном растворителе (соотношение этанол – этиловый эфир 1:2) объёмом 30 – 100 см<sup>3</sup> в зависимости от ожидаемого расхода титранта, объём которого должен был быть в пять раз меньше внесённого в пробу этанола для предотвращения образования мыла в ходе выполнения определения. Поскольку ГОСТ 7636 допускает использование как калиевой, так и натриевой щёлочи, пробу при потенциметрической индикации титровали при помощи микробюретки до скачка потенциала раствором 0,1 моль/дм<sup>3</sup> гидроксида натрия. Поправочный коэффициент титранта определяли по янтарной кислоте [31].

Для измерений использовали рН-метр рН-150М производства РУП «Гомельский завод измерительных приборов», вспомогательный хлор-серебряный электрод ЭВЛ-1М4 и измерительный стеклянный электрод ЭСЛ-15-11. Калибровку потенциометра осуществляли с помощью стандартных буферных растворов по ГОСТ 8.135 [32] с рН 4,01 и 12,43. Измерения каждого образца проводили в двух параллелях в режиме термокомпенсации с использованием автоматического термокомпенсатора ТКА-8М.

Параллельно проводили сравнительное титрование по ГОСТ 7636 с применением в качестве индикатора тимолфталеина – для окрашенных жиров (мойвы и окисленного жира) и фенолфталеина – для остальных образцов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты показаны на рисунке, где помимо интегральных кривых титрования представлены дифференциальные кривые по первой производной. Средние значения рН точек эквивалентности представлены в таблице.

Следует отметить, что для всех образцов, за исключением явно окисленного жира рыбьего, произведённого по Р.71.566.48, общим значением точки эквивалентности являлось значение рН 12,75, что позволяет, на наш взгляд, рекомендовать его в качестве точки окончания титрования. Для окисленного жира понижение значения точки эквивалентности можно объяснить предполагаемым снижением содержания высокомолекулярных полиненасыщенных свободных жирных кислот, склонных к окислению в первую очередь [29] и проявляющих более слабые кислотные свойства по сравнению с остальными жирными кислотами.

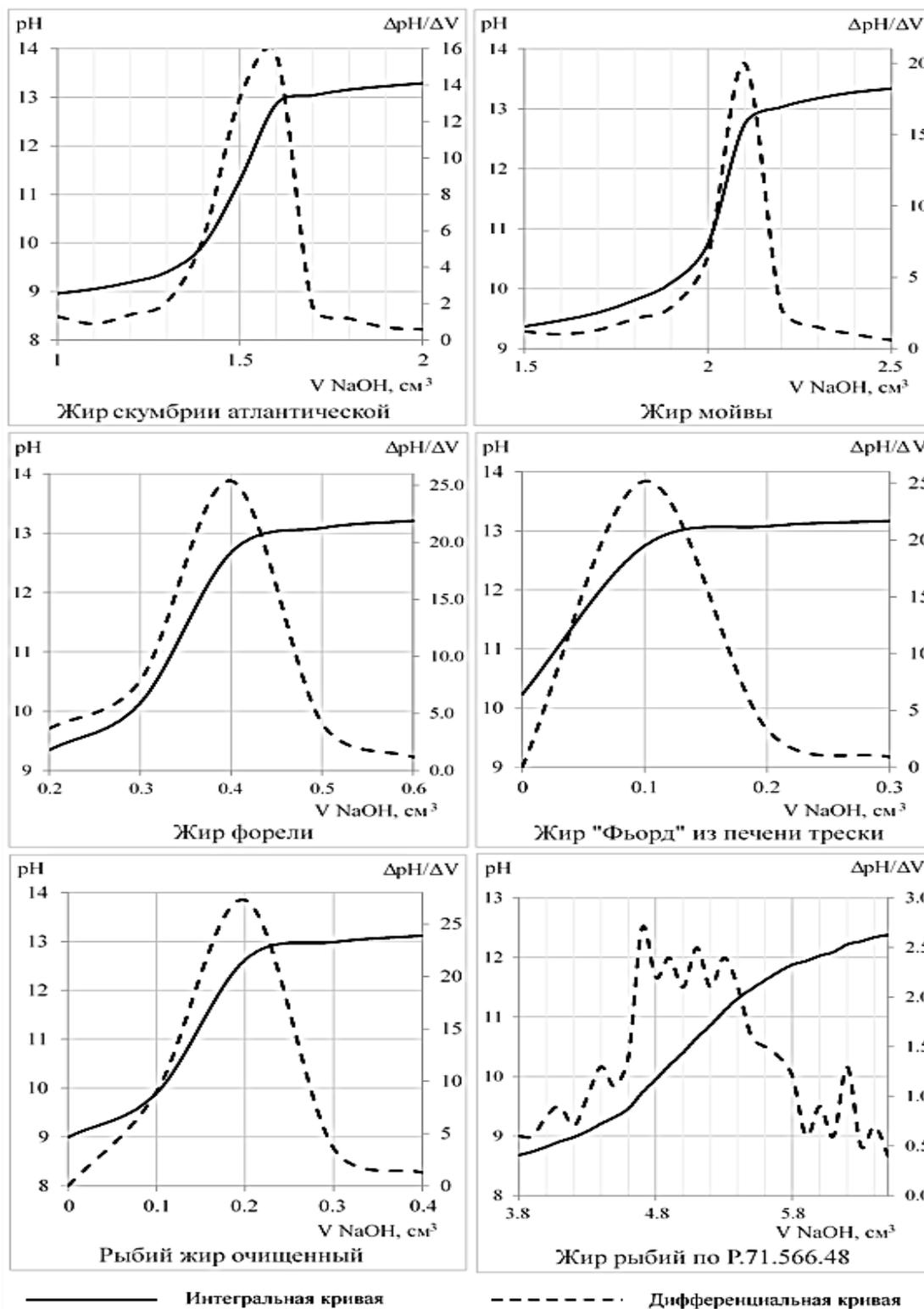


Рис. Кривые потенциометрического титрования образцов жира гидробионтов при определении кислотного числа  
 Fig. Curve lines of hydrobiont fat samples potentiometric titration when determining the acid number

Таблица. Точки эквивалентности и значения кислотных чисел при анализе жиров гидробионтов

Table. Points of equivalence and acid values in the analysis of hydrobiont fats

| Образец                      | рН         | Кислотное число, мг КОН/г жира |                        |
|------------------------------|------------|--------------------------------|------------------------|
|                              |            | потенциометрический метод      | титриметрический метод |
| Скумбрия атлантическая       | 12,59±0,28 | 4,45±0,00                      |                        |
| Мойва                        | 12,69±0,06 | 11,04±0,06                     |                        |
| Форель                       | 12,81±0,13 | 1,05±0,05                      | 1,12±0,01              |
| Жир «Фьорд» из печени трески | 12,73±0,02 | 0,27±0,01                      |                        |
| Рыбий жир очищенный          | 12,74±0,11 | 0,54±0,01                      |                        |
| Жир рыбий по Р.71.566.48     | 12,19±0,15 | 34,07±0,05                     | 33,21±0,05             |

Именно изменением жирнокислотного состава вследствие окислительных процессов можно объяснить и наличие при его титровании нескольких точек эквивалентности, каждая из которых характеризует накопление отдельной свободной жирной кислоты или нескольких кислот со схожими кислотными свойствами, отличающимися от силы кислотных свойств другой жирной кислоты.

Полученные результаты подтверждают возможность использования ранее предлагавшегося метода [21], в котором реперным веществом служил стандартный щелочной буфер – насыщенный раствор гидроксида кальция; ошибка при его применении возникнет только при исследовании окисленного рыбьего жира.

Определение значения полученного кислотного числа проводили по формуле

$$X = \frac{4,00 \cdot K \cdot V}{m}, \quad (2)$$

где X – кислотное число, мг NaOH на 1 г жира; 4,00 – количество гидроксида натрия, соответствующее 1 см<sup>3</sup> точного раствора 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, мг; K – коэффициент пересчёта на точный раствор 0,1 моль/дм<sup>3</sup> гидроксида натрия; V – объём раствора гидроксида натрия 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на титрование, см<sup>3</sup>; m – масса исследуемого жира, г.

Для пересчёта полученных значений в мг гидроксида калия использовали зависимость

$$KЧ = 1,4025X, \quad (3)$$

где KЧ – кислотное число, мг КОН на 1 г жира; 1,4025 – коэффициент пересчёта результатов, полученных в мг гидроксида натрия, в результаты, выраженные в мг гидроксида калия.

Фактические результаты измерения кислотного числа также представлены в таблице.

Разница между параллельными измерениями кислотного числа, осуществлёнными предлагаемым методом косвенной потенциометрии, не превышала предел повторяемости, регламентированный для титриметрического метода

ГОСТ 7636. Сходимость между результатами, полученными на одних и тех же образцах параллельно потенциометрическим и титриметрическим методами, также не превышала указанного предела повторяемости.

### ВЫВОДЫ

Предложенный метод определения кислотного числа жира гидробионтов предполагает, в отличие от действующего стандартизированного, потенциометрическую индикацию. В качестве точки окончания титрования жиров фармацевтического, пищевого и ветеринарного качества предлагается использовать  $pH=12,75\pm 0,05$ .

Поскольку потенциометрический метод показал допустимые расхождения с аттестованной методикой при параллельных измерениях кислотного числа в исследованных образцах, целесообразно рассмотреть возможность его применения в качестве альтернативы регламентированному в ГОСТ 7636.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем сердечную признательность коллегам:

- доценту кафедры химии Г. Е. Степанцовой за исходный посыл, послуживший толчком для исследований;
- заведующей кафедрой технологии продуктов питания И. М. Титовой и заведующему кафедрой химии Б. Ю. Воротникову за содействие в организации работ;
- доценту кафедры химии А. Г. Булычёву за конструктивную критику и ценные советы при изложении полученных результатов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 7636-85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 87 с.
2. Revised Method for Determination of Acid Value in Oils and Fats // Clause 11 of FSSAI Manual of Methods of Analysis of Foods – Oils & Fats. – New Delhi: Food Safety and Standards Authority of India, 2018. – 3 p.
3. Использование усовершенствованного метода определения кислотного числа жира в продуктах из молотого зерна при их ветеринарно-санитарной оценке / Н. М. Богатко [и др.] // Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького. – Т. 16, № 3, ч. 3. – 2014. – С. 278 – 285.
4. ГОСТ 8285-91 Жиры животные топленые. Правила приёмки и методы испытания. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 12 с.
5. ГОСТ 10858-77 Семена масличных культур. Промышленное сырьё. Методы определения кислотного числа масла. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 7 с.
6. ГОСТ 30143-94 Масла эфирные и продукты эфиромасличного производства. Метод определения кислотного числа. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 10 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 31700-2012 Зерно и продукты его переработки. Метод определения кислотного числа жира. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 9 с.
9. ГОСТ 31933-2012 Масла растительные. Методы определения кислотного числа. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 11 с.
10. ГОСТ Р 50457-92 Жиры и масла животные и растительные. Определение кислотного числа и кислотности. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 7 с.
11. ГОСТ Р 51413-99 Продукты переработки зерна. Определение кислотного числа жира. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 9 с.
12. ГОСТ Р 55480-2013 Мясо и мясные продукты. Метод определения кислотного числа. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 8 с.
13. ГОСТ Р ЕН 14104-2009 Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение кислотного числа. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 11 с.
14. Методика выполнения измерений кислотного числа жира рыбной продукции титриметрическим методом: Свид. об атт. № 2420/72-98. – Санкт-Петербург: Гипрорыбфлот, 1998. – 7 с.
15. ОФС.1.2.3.0004.15 Кислотное число // Государственная фармакопея Российской Федерации; XIV издание: в 4 т. – Москва, 2018. – Т. 1. – С. 998-999.
16. Приезжева, Л. Г. Метод определения кислотного числа жира в продуктах переработки зерна / Л. Г. Приезжева, А. Ф. Шухнов // Пищевая промышленность. – 2010. – № 3. – С. 61- 63.
17. Tubino M., Aricetti J. A. A Green Potentiometric Method for Determination of the Acid Number of Oils and Fats // J. Braz. Chem. Soc. – 2013, Vol. 24. – No. 10. – P. 1691 – 1696.
18. Tur'yan Ya. I. Theory of indirect potentiometric determination of the acid number with the use of single-component reagent without titration // Russian Journal of Electrochemistry. – 2015, Vol. 21. – No. 2. – P. 142 – 148.
19. Выскубова, Е. Н. Электрохимические методы определения кислотного числа растительных пищевых и эфирных масел на основе йодат-йодидной окислительно-восстановительной системы: автореф. ... дисс. канд. хим. наук: 02.00.02 / Выскубова Елена Николаевна; КубГТУ. – Краснодар, 2000. – 21 с.
20. ГОСТ 26597-89 Подсолнечник. Метод определения кислотного числа масла с применением рН-метрии. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 14 с.
21. Способ определения кислотного числа липидов гидробионтов и продуктов их переработки: заявка на патент РФ № 2001120302/13 МПК G01N 33/02 / Г. Е. Степанцова, В. В. Соклаков (Россия); Федеральное государственное предприятие «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия)». – Заявл. 19.07.2001, опубл. 20.07.2003.
22. Способ определения кислотного числа растительных масел: заявка на патент РФ № 97108379/13 МПК G01N 33/03 / О. Е. Рувинский, С. Я. Шарудина, В. Е. Акулинин (Россия); Кубанский государственный технологический университет (Россия). – Заявл. 20.05.1997, опубл. 27.01.1999.

23. Способ определения кислотного числа растительных масел: патент РФ 2119161 МПК G01N 33/03, G01N 33/02 / В. Е. Акулинин, О. Е. Рувинский, С. Я. Шарудина (Россия); Кубанский государственный технологический университет (Россия). – Заявка № 97108380/13, заявл. 20.05.1997, опубл. 20.09.1998.
24. Rao Y. et al. Quantitative and qualitative determination of acid value of peanut oil using near-infrared spectrometry / Y. Rao, B. Xiang, X. Zhou, Z. Wang, S. Xie, J. Xu. // *Journal of Food Engineering*. – 2009, Vol. 93. – No. 2. – P. 249 – 252.
25. ГОСТ 33441-2015 Масла растительные. Определение показателей качества и безопасности методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 11 с.
26. Разработка способа определения кислотного числа масла, содержащегося в подсолнечных фосфолипидах, на основе метода ЯМР / Е. П. Викторова [и др.] // *Новые технологии*. – 2018. – № 2. – С. 13-17.
27. Способ потенциометрического определения кислотного числа растительного масла: патент РФ 2187796 МПК G01N 24/08 / Б. Я. Витюк, С. М. Прудников, И. А. Гореликова, Л. В. Зверев, Т. Е. Джиев (Россия); Б. Я. Витюк, С. М. Прудников, И. А. Гореликова, Л. В. Зверев, Т. Е. Джиев (Россия). – Заявка № 2000122163/28, заявл. 21.08.2000, опубл. 20.08.2002, Бюл. № 23.
28. ГОСТ 30623-2018 Масла растительные и продукты со смешанным составом жировой фазы. Метод обнаружения фальсификации. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 19 с.
29. Ржавская, Ф. М. Жиры рыб и морских млекопитающих / Ф. М. Ржавская. – Москва: Пищевая промышленность, 1976. – 470 с.
30. Сборник технологических инструкций по обработке рыбы: в 2 т. / ВНИРО; Утв. Приказом Минрыбхоза СССР от 05.09.91 г. № 272. – Москва, 1994. – Т. 2. – 590 с.
31. ГОСТ 25794.1-83 Реактивы. Методы приготовления титрованных растворов для кислотно-основного титрования. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 12 с.
32. ГОСТ 8.135-2004 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандарт-титры для приготовления буферных растворов – рабочих эталонов pH 2-го и 3-го разрядов. Технические и метрологические характеристики. Методы их определения. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 11 с.

## REFERENCES

1. GOST 7636-85 Ryba, morskie mlekopitayushchie, morskie bespozvochnnye i produkty ikh pererabotki. Metody analiza [Fish, marine mammals, invertebrates and products of their processing. Methods of analysis]. Moscow, Standartinform, 2010. 87 p.
2. Revised Method for Determination of Acid Value in Oils and Fats. Clause 11 of FSSAI Manual of Methods of Analysis of Foods – Oils & Fats. New Delhi: Food Safety and Standards Authority of India, 2018. 3 p.
3. Bogatko N. M. et al. Ispol'zovanie usovershenstvovannogo metoda opredeleniya kislotnogo chisla zhira v produktakh s molotogo zerna pri ikh veterinarno-sanitarnoy otsenke [Use of the improved method of determination of fat acid value in

ground grain products at their veterinary and sanitary assessment]. *Naukoviy visnik LNUVMBT imeni S. Z. Gzhits'kogo*. 2014, vol. 16, no. 3, part 3, pp. 278 – 285.

4. GOST 8285-91 Zhiry zhivotnye toplenye. Pravila priemki i metody ispytaniya [Grease. Acceptance rules and test methods]. Moscow, Standartinform, 2008. 12 p.

5. GOST 10858-77 Semena maslichnykh kul'tur. Promyshlennoe syr'e. Metody opredeleniya kislotnogo chisla masla [Oil seeds. Industrial raw materials. Methods for acid value determination]. Moscow, Standartinform, 2010. 7 p.

6. GOST 30143-94 Masla efirnye i produkty efiromaslichnogo proizvodstva. Metod opredeleniya kislotnogo chisla [Essential oils and products of essential oil production. Method for acid value determination]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, 1996. 10 p.

7. GOST 31470-2012 Myaso ptitsy, subprodukty i polufabrikaty iz myasa ptitsy. Metody organolepticheskikh i fiziko-khimicheskikh issledovaniy [Poultry meat, by-products and semi-processed products. Methods for organoleptic and physico-chemical examinations]. Moscow, Standartinform, 2013. 43 p.

8. GOST 31700-2012 Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya kislotnogo chisla zhira [Grain and grain products. Method for determination of acid number of fat]. Moscow, Standartinform, 2013. 9 p.

9. GOST 31933-2012 Masla rastitel'nye. Metody opredeleniya kislotnogo chisla [Vegetable oils. Methods for acid value determination]. Moscow, Standartinform, 2014. 11 p.

10. GOST R 50457-92 Zhiry i masla zhivotnye i rastitel'nye. Opredelenie kislotnogo chisla i kislotnosti [Animal and vegetable fats and oils. Determination of acid value and acidity]. Moscow, Standartinform, 2006. 7 p.

11. GOST R 51413-99 Produkty pererabotki zerna. Opredelenie kislotnogo chisla zhira [Milled cereal products. Determination of fat acidity]. Moscow, Standartinform, 2006. 9 p.

12. GOST R 55480-2013 Myaso i myasnye produkty. Metod opredeleniya kislotnogo chisla [Meat and meat products. Method for acid value determination]. Moscow, Standartinform, 2014. 8 p.

13. GOST R EN 14104-2009 Proizvodnye zhirov i masel. Metilovye efiry zhirnykh kislot (FAME). Opredelenie kislotnogo chisla [Fat and oil derivatives. Fatty acid methyl esters (FAME). Determination of acid value]. Moscow, Standartinform, 2010. 11 p.

14. *Metodika vypolneniya izmereniy kislotnogo chisla zhira rybnoy produktsii titrimetricheskim metodom* [Method of measuring acid value of fish oil products by titrimetric method]. Cert. of attest. No. 2420/72-98. Saint-Petersburg, Giproribflot, 1998. 7 p.

15. OFS.1.2.3.0004.15 Kislotnoe chislo [Acid value]. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii: XIV edition*. Moscow, 2018, vol. 1, pp. 998 – 999.

16. Priezzheva L. G., Shukhnov A. F. Metod opredeleniya kislotnogo chisla zhira v produktakh pererabotki zerna [Method for determination of fat acid value in grain products]. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2010, no. 3, pp. 61 – 63.

17. Tubino M., Aricetti J. A. A Green Potentiometric Method for Determination of the Acid Number of Oils and Fats. *J. Braz. Chem. Soc.* 2013, vol. 24, no. 10, pp. 1691 – 1696.

18. Tur'yan Ya. I. Theory of indirect potentiometric determination of the acid number with the use of single-component reagent without titration. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2015, vol. 21, no. 2, pp. 142 – 148.

19. Vyskubova E. N. *Elektrokhimicheskie metody opredeleniya kislotnogo chisla rastitel'nykh pishchevykh i efirnykh masel na osnove yodat-yodidnoy okislitel'no-vosstanovitel'noy sistemy. Avtoreferat diss. kand. khim. nauk* [Electrochemical methods of acid value determination of vegetable food and essential oils on the basis of iodate-iodide redox system. Abstract of PhD.diss.]. Krasnodar, 2000. 21 p.

20. GOST 26597-89 Podsolnechnik. Metod opredeleniya kislotnogo chisla masla s primeneniem pH-metrii [Sunflower. Method for determination of acid number of oil using pH-meter]. Moscow, Standartinform, 2010. 14 p.

21. Sposob opredeleniya kislotnogo chisla lipidov gidrobiontov i produktov ikh pererabotki: zayavka na patent RF No. 2001120302/13 [Method of determining acid value of hydrobiont lipids and their products of processing: RF patent application No. 2001120302/13]. G. E. Stepansova, V. V. Soklakov (RU); FSE Atlantic scientific and research institute for fishery and oceanography (RU). Appl. 19.07.2001, publish. 20.07.2003.

22. Sposob opredeleniya kislotnogo chisla rastitel'nykh masel: zayavka na patent RF No. 97108379/13 [Method for determining acid value of vegetable oils: RF patent application No. 97108379/13]. O. E. Ruvinskiy, S. Ya. Sharudina, V. E. Akulinin (RU); Kuban state technological university (RU). Appl. 20.05.1997, publish. 27.01.1999.

23. Sposob opredeleniya kislotnogo chisla rastitel'nykh masel: patent RF 2119161 [Method for determining acid value of vegetable oils: RF patent 2119161]. V. E. Akulinin, O. E. Ruvinskiy, S. Ya. Sharudina (RU); Kuban state technological university (RU). Appl. No. 97108380/13, 20.05.1997, publ. 20.09.1998.

24. Rao Y. et al. Quantitative and qualitative determination of acid value of peanut oil using near-infrared spectrometry. *Journal of Food Engineering*. 2009, vol. 93, no. 2, pp. 249 – 252.

25. 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.

26. Viktorova E. P. et al. Razrabotka sposoba opredeleniya kislotnogo chisla masla, sodержashchegosya v podsolnechnykh fosfolipidakh, na osnove metoda YaMR [Development of a method for determining the acid value of oil contained in sunflower phospholipids based on the NMR]. *Novye tekhnologii*. 2018, no. 2, pp. 13 – 17.

27. Sposob potentsiometricheskogo opredeleniya kislotnogo chisla rastitel'nogo masla: patent RF 2187796 [Method of potentiometric determination of vegetable oil acid value: RF patent 2187796]. B. Ya. Vityuk, S. M. Prudnikov, I. A. Gorelikova, L. V. Zverev, T. E. Dzhioev (RU); B. Ya. Vityuk, S. M. Prudnikov, I. A. Gorelikova, L. V. Zverev, T. E. Dzhioev (RU). Appl. No. 2000122163/28, 21.08.2000, publ. 20.08.2002, Bul. No. 23.

28. GOST 30623-2018 Masla rastitel'nye i produkty so smeshannym sostavom zhировой фазы. Metod obnaruzheniya fal'sifikatsii [Vegetable oils and blended fat products. Falsification detection method]. Moscow, Standartinform, 2018. 19 p.

29. Rzhavskaya F. M. *Zhiry ryb i morskikh mlekopitayushchikh* [Fats of fish and marine mammals]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1976. 470 p.

30. *Sbornik tehnologicheskikh instruktsiy po obrabotke ryby* [Book of technology guidelines for fish processing]. VNIRO, vol. 2. Auth. by order of Minrybhoz of USSR, 05.09.91. No. 272. Moscow, 1994. 590 p.

31. GOST 25794.1-83 *Reaktivy. Metody prigotovleniya titrovannykh rastvorov dlya kislotno-osnovnogo titrovaniya* [Reagents. Methods of preparation of standardized volumetric solutions for acid-base titration]. Moscow, ИПК Izdatel'stvo standartov, 2008. 12 p.

32. GOST 8.135-2004 *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Standart-titry dlya prigotovleniya bufernykh rastvorov – rabochikh etalonov pH 2-go i 3-go razryadov. Tekhnicheskie i metrologicheskie kharakteristiki. Metody ikh opredeleniya* [State system for ensuring measurement uniformity. Weight amounts of the standard materials for preparation of the buffer solutions - operational pH standards of 2-nd and 3-rd classes. The technical and the metrological characteristics. Methods of their determination]. Moscow, Standartinform, 2008. 11 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 of Food Science, Associate Professor, Department of Food Products Technology; E-mail: vladimir.soklakov@klgtu.ru

*Рачкова Наталья Анатольевна* – Калининградский государственный технический университет; ассистент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

*Rachkova Natalya Anatolievna* – Kaliningrad State Technical University; Assistant Lecturer, Department of Food Products Technology; E-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

УДК 665.213.9:664.959.5:664.959.2

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ ГИДРОЛИЗАТОВ  
ИЗ ГОЛОВ КОПЧЕНОЙ КИЛЬКИ В ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННЫХ  
КРЕКЕРОВ

Е. Б. Сумина, О. Я. Мезенова

STUDIES ON THE PREPARATION AND USE OF HYDROLYSATES  
FROM THE HEADS OF SMOKED SPRATS IN THE TECHNOLOGY  
OF ENRICHED CRACKERS

E. B. Sumina, O. Ya. Mezenova

Исследован биопотенциал голов кильки балтийской горячего копчения (отходов от производства шпрот с рыбоперерабатывающих предприятий) для использования в технологии пищевых гидролизатов. Разработана белково-липидной добавки из голов копченой кильки на основе процесса гидротермолиза. В головах копченой кильки содержится большое количество полезных биологически активных веществ: белки с незаменимыми аминокислотами, жиры с полиненасыщенными жирными кислотами, витамины группы В и др. Показано рациональное использование белково-липидной добавки в производстве крекеров, в рецептуры которых вместо жира растительного происхождения и воды была введена разработанная добавка на основе шпротного гидролизата. Добавка обогатила состав крекеров ценными жирами и белками, коптильными и водорастворимыми азотистыми компонентами копченых голов кильки. Усовершенствование технологии пищевой добавки заключалось в использовании только термического метода, отсутствие центрифугирования придавало желаемое присутствие натурального килечного жира. Белково-липидная добавка не подвергалась декантированию (не разделялась), а использовалась как белково-липидный комплекс, тем самым повышая органолептические свойства продукта. Пищевая добавка применялась в жидкой и сухой формах. Обогащенные крекеры имеют повышенную пищевую ценность, приятные органолептические характеристики. Пищевая добавка придает продукту приятный запах копчености с рыбным (шпротным) оттенком. Определен химический состав белково-липидной добавки и обогащенных крекеров, описаны преимущества ее изготовления на основе шпротного гидролизата и применения в составе пищевых продуктов. Крекеры с белково-липидной добавкой рекомендуется употреблять здоровым людям без заболевания желудочно-кишечного тракта.

*пищевая добавка, белково-липидный гидролизат, рыбные отходы, головы копченой кильки, термогидролиз, крекеры, обогащенный продукт*

The paper examines biological potential of Baltic hot-smoked sprat heads (waste from the production of sprat from fish processing enterprises) for use in hydrolysate technology. The technology of protein-lipid supplement made of smoked sprat heads

has been developed on the basis of the hydrothermolysis process. Smoked sprat heads contain a large number of useful biologically active substances: proteins with essential amino acids, fats with polyunsaturated fatty acids, B vitamins and others. It shows the rational use of protein-lipid supplements in the production of crackers, in the formulations of which the developed additive has been introduced instead of vegetable fat and water. The additive enriched the composition of crackers with valuable fats and proteins, smoke and water-soluble nitrogenous components of sprat. Improving the technology of the food additive meant only the use of the thermal method; lack of centrifugation gave the desired presence of natural sprat fat. The protein-lipid additive was not decanted (not separated), but was used as a protein - lipid complex, thereby enhancing the organoleptic properties of the product. The food supplement was used in liquid and dry forms. Enriched crackers have an increased nutritional value and pleasant organoleptic characteristics. The food additive gives the product a pleasant smoky smell with a fish (sprat) flavour. The chemical composition of the protein-lipid supplement and enriched crackers has been determined; the advantages of its manufacturing on the basis of sprat hydrolyzate and application in food composition have been described. Crackers with a protein-lipid supplement are recommended to be used by healthy people without gastrointestinal diseases.

*food supplement, protein-lipid hydrolyzate, fish waste, smoked sprat heads, thermohydrolysis, crackers, enriched product*

## ВВЕДЕНИЕ

В Калининградской области остро стоит вопрос о переработке отходов от производства консервов «Шпроты в масле», которые вырабатываются из кильки (или салаки) горячего копчения, предварительно обезглавленной. На основных производителях консервов «Шпроты в масле» в регионе – рыбоконсервном комплексе ООО «РосКон» и СПК «Рыболовецкий колхоз “За Родину”» – за сутки накапливается от 700 кг до 2 т копченых голов кильки, а в ближайшей перспективе их количество вырастет до 6-8 т/сут. Эти отходы не подлежат переработке на рыбную муку, гидролизаты и другую кормовую продукцию, поскольку они содержат коптильные компоненты, которые противопоказаны животным и птице. Их нельзя использовать на удобрения, производство технической продукции, утилизировать сжиганием или другим способом из-за незаконности и экологической опасности [1].

В головах копченой кильки содержится большое количество биологически активных веществ: ценные белки со всеми незаменимыми аминокислотами, уникальные жиры с полиненасыщенными жирными кислотами, витамины группы B, микроэлементы, нуклеиновые кислоты, водорастворимые азотистые соединения, полезные коптильные компоненты [2, 3]. Последние выполняют в сырье функции консервантов, антиоксидантов, вкусоароматических добавок [1].

Актуальным и целесообразным представляется применение гидролизатов в технологии изготовления крекеров в качестве белково-липидной пищевой добавки, дополняющей вкусоароматические характеристики готовой продукции, энергетическую и биологическую ценность, являющейся консервантом, антиоксидантом [2].

Крекер – мучное кондитерское изделие слоистой структуры с маслянистой поверхностью, массовой долей общего сахара не более 10, массовой долей жира –

не менее 10, массовой долей влаги – не более 7 % [4, 5]. Это любимая еда детей, школьников, подростков, студентов, взрослых людей и пенсионеров. Их любят употреблять в качестве закуски к пиву, чаю, сокам и другим напиткам.

Однако в химическом составе крекеров преобладают углеводы, они бедны ценным для нашего организма белком, жирорастворимыми витаминами, полиненасыщенными жирными кислотами и не могут считаться сбалансированным продуктом [4]. В состав теста для крекеров вводят, как правило, жировые композиции на пальмовом масле, включающие гидрированные транс-жиры. Для улучшения вкуса, аромата, повышения пищевой ценности крекеров предлагается вводить вместо традиционной жировой композиции и воды в их состав пищевую белково-липидную добавку (жидкая форма), получаемую из голов копченой кильки методом термогидролиза по технологии Центра передовых технологий белка кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» [2, 3]. Данным обогащением можно не только повысить процентное содержание белка и органолептические свойства нового продукта, но и заменить жировую фракцию в составе крекеров на натуральный жир рыб, выделенный из килечных голов и содержащийся в шпротном гидролизате.

Целью работы явилось совершенствование технологии получения липидно-белковых гидролизатов из копченых голов кильки – отходов от производства шпрот и обоснование их использования для производства крекеров. Для достижения поставленной цели исследовали биопотенциал голов кильки балтийской горячего копчения и обосновывали получение из них пищевой добавки на основе процесса гидротермолиза, изучали органолептические свойства и химический состав полученной белково-липидной добавки, названной «Шпротный гидролизат», исследовали возможность ее внесения в состав рецептур традиционных крекеров.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовали белково-липидный гидролизат, в состав которого входят головы кильки копченой (СПК «Рыболовецкий колхоз «За Родину»», ООО «РосКон» – Калининградская обл.). Изготовление пищевой добавки проводили при помощи термогидролиза (рыбное сырье : вода – 2 : 1) В состав крекеров входили мука пшеничная (ОАО «Макфа», Челябинская обл.), белково-липидный гидролизат (г. Калининград), соль пищевая «Экстра» (ООО «Руссоль», г. Оренбург) и сода пищевая (АО «Башкирская содовая компания», Республика Башкортостан). Экспериментальные образцы крекеров вырабатывали с добавлением белково-липидного гидролизата в жидкой и сухой форме, а также без добавки (контрольный образец). Определение органолептических показателей проводили по общепринятым методикам. Значения показателей пищевой ценности крекеров определяли расчетным путем. Для определения белка в белково-липидном гидролизате использовали метод Кьельдаля, массовой доли жира – экстракционный способ на приборе Сокслета.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Центре передовых технологий белка кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» проводили исследования по химическому составу голов копченой кильки, взятых на

двух перерабатывающих предприятиях региона (СПК «Рыболовецкий колхоз «За Родину» и ООО «РосКон»).

Таблица 1. Химический состав голов копченой кильки [6]

Table 1. Chemical composition of smoked sprat heads [6]

| Дата взятия проб, предприятие                    | Наименование отходов            | Содержание, г на 100 г отходов |      |       |                         |                | Содержание, г на 100 г сухих веществ |       |       |                          |
|--|---------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------------|----------------|--------------------------------------|-------|-------|--------------------------|
|  |                                 | влага                          | жир  | белок | зола                    | сухие вещества | сухие вещества                       | жир   | белок | зола                     |
| 21.09.2017, от Рыболовецкого колхоза «За Родину» | Головы кильки горячего копчения | 55,6                           | 20,3 | 18,3  | 5,78, в т. ч. соль 1,82 | 44,36          | 100                                  | 45,78 | 41,19 | 13,03, в т. ч. соль 4,10 |
| 2.12.2017, от ООО «РосКон»                       | Головы кильки горячего копчения | 61,1                           | 15,8 | 18,1  | 5,07                    | 38,92          | 100                                  | 40,55 | 46,53 | 13,02                    |

Из табл. 1 видно, что головы копченой кильки содержат достаточное количество ценных для организма протеинов и липидов, которые можно использовать в качестве источника белка и жира для изготовления новой пищевой добавки.

На кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ» из копченых голов кильки была разработана пищевая добавка, названная «Шпротный гидролизат», представляющая собой жидкость с натуральными компонентами копченой кильки без химических добавок. Она может иметь две формы (сухую и жидкую). Сухая форма компактна и удобна в хранении, транспортабельна. Жидкая предназначена для непосредственного употребления и не требует дополнительной обработки. При обосновании технологии белково-липидной добавки за основу был взят традиционный способ, включающий следующие операции [2, 3]: приём и подготовка сырья; мойка, очистка от посторонних включений; измельчение; добавление воды в соотношении 2:1, подготовка к процессу; термогидролиз ( $\tau=3$  ч,  $T=130^{\circ}\text{C}$ ); фильтрация. В результате рыбное сырье распадается на две фракции – жидкую и твердую. Твердая, получаемая после фильтрации, посылалась на дегидратацию и тонкое измельчение (сухая форма добавки). Жидкая форма добавки (декантированная белково-липидная фракция) направлялась в состав рецептур крекеров.

Усовершенствование технологии добавки заключалось в отсутствии операций ферментализации, проведение гидролиза обусловило желаемое присутствие жира шпрот в жидкой форме добавки. Белково-липидная фракция не разделялась, а применялась как белково-липидный комплекс. Этим фактом можно не только повысить процентное содержание белка и органолептические свойства нового продукта, но и заменить жировую фракцию в составе крекеров на натуральный рыбий жир. На рис. 1 представлена технология изготовления белково-липидного гидролизата.

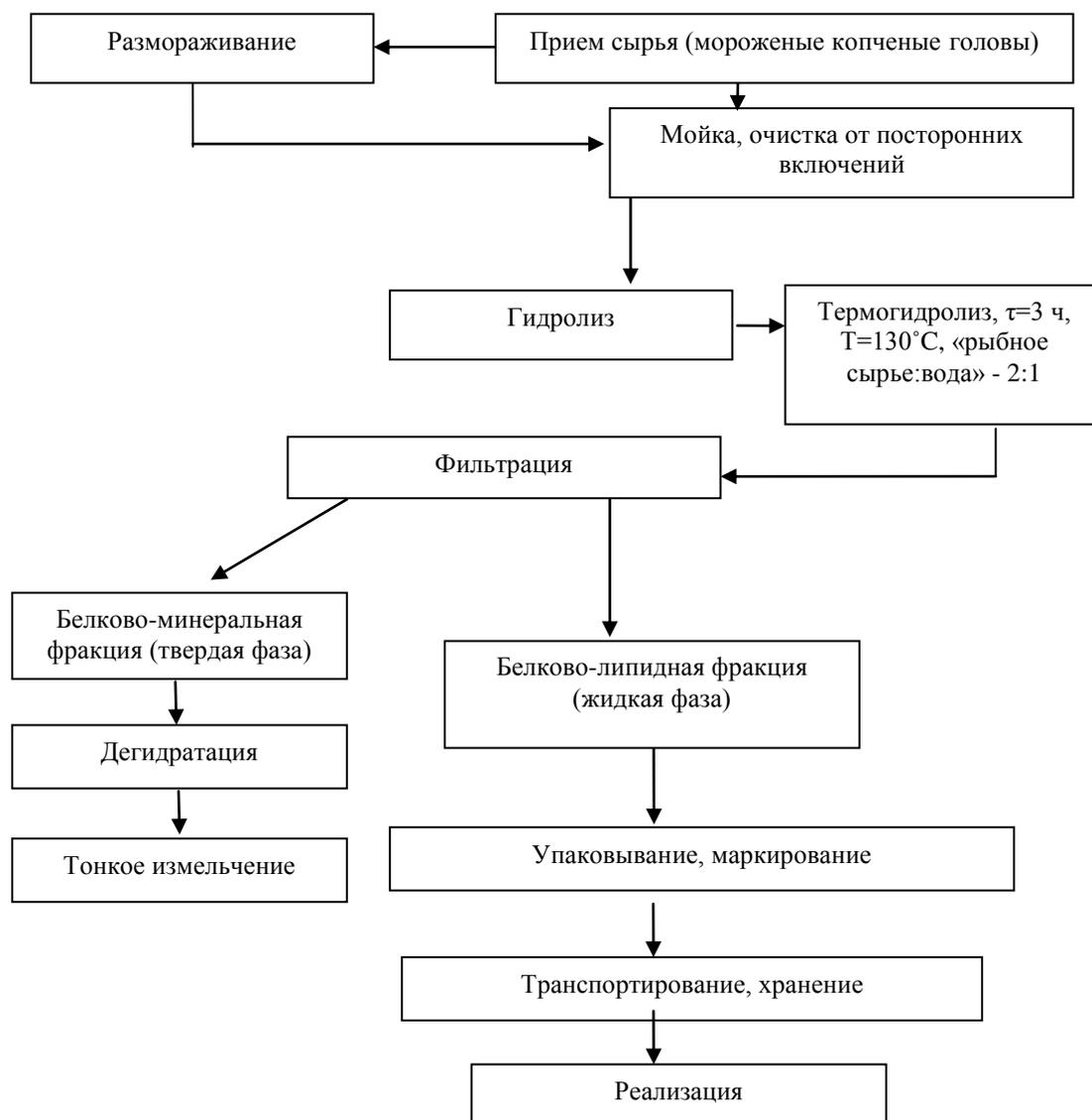


Рис. 1. Технологическая схема производства белково-липидного гидролизата  
 Fig. 1. Flow chart showing the production of protein-lipid hydrolysate

Далее была проведена органолептическая оценка качества пищевой добавки с учетом коэффициентов значимости, представленная в табл. 2 [7].

Из табл. 2 видно, что органолептическая оценка «Шпротного гидролизата», рассчитанная с учетом коэффициентов значимости, достаточно высокая и составляет 9,9 баллов. Это позволяет рекомендовать ее использование в составе рецептур оригинальных печений – соленых крекеров, в которых желательным представляется оттенок копченой рыбы. Базовая технологическая схема изготовления крекеров показана на рис. 2.

Таблица 2. Органолептическая оценка качества белково-липидного гидролизата с учетом коэффициентов значимости

Table 2. Organoleptic quality assessment of thy protein-lipid hydrolyzate, taking into account the coefficients of significance

| Эксперт  | Внешний вид | Цвет | Аромат | Вкус | Консистенция | Сумма |
|--|-------------|------|--------|------|--------------|-------|
| 1  | 5           | 5    | 5      | 4    | 5            | 23    |
| 2  | 5           | 5    | 5      | 4    | 5            | 23    |
| 3  | 5           | 5    | 5      | 4    | 5            | 24    |
| Сумма баллов   | 15          | 15   | 15     | 12   | 15           | 70    |
| Средний балл   | 5           | 5    | 5      | 4    | 5            | 23,2  |
| Коэффициент значимости                                   | 0,4         | 0,3  | 0,5    | 0,5  | 0,3          | 2     |
| Суммарная оценка с учетом коэффициента значимости, баллы | 2           | 1,5  | 2,5    | 2,4  | 1,5          | 9,9   |

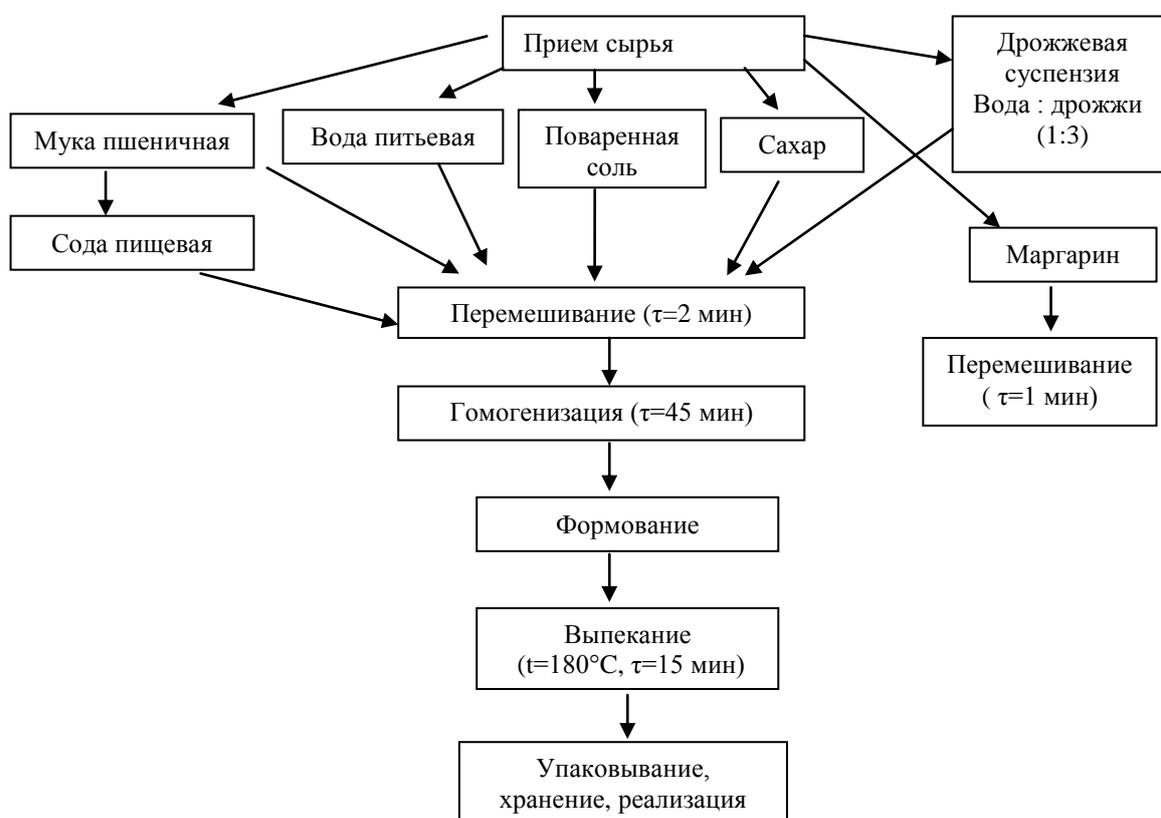


Рис. 2. Технологическая схема производства крекеров

Fig. 2. Flow chart showing the production of crackers

В экспериментальных исследованиях по разработке нового продукта из рецептуры исключили маргарин, являющийся вредным для организма человека, а также воду, и эти компоненты заменили белково-липидную добавку «Шпротный гидролизат», содержащий рыбный жир и водную фракцию, сахар, дрожжевая суспензию. Разработанное тесто для крекеров использовалось по бездрожжевому типу.

В экспериментах было изготовлено три партии образцов крекеров:  
 - образец № 1 (контрольный образец) – без внесения пищевой добавки;  
 - образец № 2 – крекеры с белково-липидной добавкой (жидкая форма);  
 - образец № 3 – крекеры с белково-липидной добавкой (сухая форма).  
 Органолептическая оценка качества образцов представлена в табл. 3.

Таблица 3. Органолептическая оценка качества экспериментальных образцов крекеров

Table 3. Organoleptic quality assessment of three crackers samples

| Наименование показателя | Характеристика   |   |   |
|-------------------------|--|---|---|
|                         | образец №1   | образец №2  | образец №3  |
| Вкус и запах            | Выраженный, свойственный вкусу и аромату, сформированному в процессе выпечки, без постороннего привкуса и запаха | Выраженный, свойственный вкусу и аромату, сформированному в процессе выпечки, с оттенком копчености, приятный, без постороннего привкуса и запаха | Выраженный, свойственный вкусу и аромату, сформированному в процессе выпечки, с оттенком копчености, без постороннего привкуса и запаха |
| Форма                   | Соответствующая данному виду изделия, в виде рыбы, без вмятин, трещин, повреждений углов и краев                 | Соответствующая данному виду изделия, в виде рыбы, без вмятин, трещин, повреждений углов и краев  | Соответствующая данному виду изделия, в виде рыбы, без вмятин, трещин, повреждений углов и краев  |
| Поверхность             | Гладкая, с наличием сквозных проколов, с незначительным наличием вздутий   | Гладкая, с наличием сквозных проколов, с незначительным наличием вздутий  | Гладкая, с наличием сквозных проколов, с незначительным наличием вздутий  |
| Цвет                    | Равномерный, светло-соломенный, более темная окраска вздутий и краев   | Равномерный, соломенный, более темная окраска вздутий и краев   | Равномерный, соломенный, более темная окраска вздутий и краев   |
| Вид на изломе           | Пропеченное изделие без следов непромеса, без рыбных компонентов   | Пропеченное изделие без следов непромеса с незначительным наличием рыбных компонентов   | Пропеченное изделие без следов непромеса с незначительным наличием рыбных компонентов   |

Как видно из табл. 3, образец № 1 обладает выраженным вкусом и ароматом, сформированным в процессе выпечки, без постороннего привкуса и запаха. Образцы крекеров, обогащенных добавкой (образцы № 2 и 3), обладают приятным привкусом копченой рыбы и соответствующими ароматическими характеристиками, имеют однородный соломенный цвет, на краях окраска более темная. У всех образцов наблюдается однородная консистенция, поверхность одинаковая, гладкая, с проколами и незначительными вздутиями. На изломе у образцов № 2 и 3 наблюдаются незначительные включения рыбных компонентов.

Также по данным табл. 3 можно наблюдать, как пищевая добавка «Шпротный гидролизат» значительно влияет на изменение органолептических свойств вкуса, показатели увеличиваются в положительную сторону, что свидетельствует

об улучшении вкусовых качеств продукта. Образцы № 2 и 3 незначительно отличаются значениями своих показателей. Из данного факта можно сделать заключение: пищевую добавку можно использовать в жидкой форме, без сушки, что существенно упростит и удешевит технологию и продукт, поскольку можно не использовать дорогостоящую леофильную сушку для получения порошка. Внесение пищевой добавки «Шпротный гидролизат» в сухом и/или жидком виде придает продукту приятный запах копчености с рыбным (шпротным) оттенком, тем самым улучшаются органолептические показатели крекеров как закусочных кулинарных мучных изделий.

На следующем этапе были проведены сравнительные исследования показателей пищевой ценности обогащенных крекеров, названных «Хрустики», изготовленных с добавлением и без добавления белково-липидной добавки. Результаты представлены в табл. 4 и 5 [6].

Таблица 4. Показатели пищевой ценности традиционных крекеров (контроль), г на 100 г

Table 4. Nutritional values of crackers (control), g per 100 g

| Наименование показателей | Содержание, г на 100 г сырья |
|--------------------------|------------------------------|
| Вода                     | 7,4                          |
| Белок                    | 9,6                          |
| Жир                      | 13                           |
| Углеводы                 | 70                           |

Таблица 5. Показатели пищевой ценности крекеров «Хрустики», обогащенных белково-липидной добавкой «Шпротный гидролизат», г на 100 г

Table 5. Nutritional values of "Khrustiki" crackers enriched with the food supplement, g per 100 g

| Наименование показателей | Содержание, г на 100 г сырья |
|--------------------------|------------------------------|
| Вода                     | 6,8                          |
| Белок                    | 10,2                         |
| Жир                      | 15                           |
| Углеводы                 | 68                           |

Из табл. 5 видно, что белково-липидная добавка повышает пищевую ценность крекеров, обогащая их белком и жиром, содержащим ценные аминокислоты и полиненасыщенные жирные кислоты. Важным фактором при этом является улучшение аромата и вкуса готовой продукции за счет привнесения привкуса насыщенности и приятного аромата копчености.

## ВЫВОДЫ

1. Белково-жировая добавка, изготовленная на основе термогидролиза голов копченой кильки и названная «Шпротный гидролизат», характеризуется высоким содержанием натурального килечного жира и рыбного белка, приятными органолептическими свойствами.

2. Усовершенствована технология крекеров, названных «Хрустики», путем внесения в состав рецептуры новой натуральной пищевой добавки «Шпрот-

ный гидролизат» вместо традиционных жировой растительной фракции (маргарина) и воды.

3. Проведена сравнительная органолептическая оценка качества обогащенных крекеров с новой добавкой в жидкой и сухой формах; установлены особенности аромата, вкуса, консистенции новой продукции; готовые крекеры обладают высокими органолептическими свойствами и повышенной пищевой ценностью, имеют приятные вкус и запах с легкими оттенками рыбной копчености.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник / под ред. О. Я. Мезеновой. – Санкт-Петербург: «Лань», 2013. – 416 с.
2. Мезенова, О. Я. Биопотенциал вторичного рыбного сырья / О. Я. Мезенова, А. Хелинг, Т. Мерзель // Известия вузов. Пищевая технология. – 2018. – № 1. – С. 11-18.
3. Мезенова, О. Я. Перспективы получения и использования протеинов из вторичного рыбного сырья / О. Я. Мезенова // Вестник Международной академии холода. – 2018. – №1. – С. 5-10.
4. Галанов, В. С. Кондитерские изделия / В. С. Галанов. – Москва: Изд-во «Вече», 2003. – 416 с.
5. ГОСТ 14033-2015 «Крекер. Общие технические условия».
6. МакКанс, Р. А. Химический состав и энергетическая ценность пищевых продуктов / Р. А. МакКанс, Э. Виддоусон: пер. с англ. / под общ. ред. д-ра мед. наук А. К. Батурина. – Санкт-Петербург: Профессия, 2006. – 416 с. [Robert Alexander McCans, Elsie Widdowson. Chemical composition and energy value of food. London: Royal Society of Chemistry, 2002. 554 p.]
7. Сафронова, Т. М. Органолептическая оценка рыбной продукции: справочник / Т. М. Сафронова. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 216 с.

#### REFERENCES

1. Mezenova O. Ya. *Biotekhnologiya racional'nogo ispol'zovaniya gidrobiontov: uchebnik* [Biotechnology of the rational use of hydrobionts]. Saint-Petersburg, Lan', 2013, 416 p.
2. Mezenova O. Ya., Heling A., Merzel' T. Biopotencial vtorichnogo rybnogo syr'ya [Biological potential of secondary fish raw materials]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2018, no. 1, pp. 11-18.
3. Mezenova O. Ya. Perspektivy polucheniya i ispol'zovaniya proteinov iz vtorichnogo rybnogo syr'ya [Prospects for the production and use of proteins from secondary fish raw materials]. *Vestnik Mezhdunarodnoy Akademii Holoda*, 2018, no. 1, pp. 5-10.
4. Galanov V. S. *Konditerskie izdeliya* [Confectionery]. Moscow, Veche, 2003, 416 p.
5. GOST 14033-2015 *Kreker. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [Crackers. General technical specifications].

6. Baturina A. K., McCance R. A., Widdowson E. Chemical composition and energy value of foods. 6<sup>th</sup> ed. London, Royal Society of Chemistry, 2002. 554 p. (Russ. Ed.: Baturina A. K., МакКанс R. A., Видузон E. M. Himicheskij sostav i ehnergeticheskaya cennost' pishchevyh produktov. Saint-Petersburg, Professiya, 2006, 416 p.).

7. Safronova T. M. *Organolepticheskaya ocenka rybnoy produktsii: spravochnik* [Organoleptic evaluation of fish products: reference book]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 216 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Сумина Елена Борисовна* – Калининградский государственный технический университет; студент; E-mail: elenasumina.95@mail.ru

*Sumina Elena Borisovna* – Kaliningrad State Technical University, student; E-mail: elenasumina.95@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

**СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**



УДК 629.5.01

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ПРИ РАЗМЕРНОМ  
АНАЛИЗЕ СУДОВЫХ МОДЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ИХ АДДИТИВНОГО  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ

П. Г. Зобов, А. В. Дектярев, В. Н. Морозов

MODERN 3D-SCANNING METHODS FOR DIMENSIONAL ANALYSIS OF SHIP  
MODELS TAKING INTO ACCOUNT THEIR ADDITIVE MANUFACTURING

P. G. Zobov, A. V. Dektyarev, V. N. Morozov

В представленной статье приводится исследование отклонений геометрических форм судовой модели, изготовленной посредством методов 3D-печати, от усадочных деформаций для последующих испытаний ее гидромеханических свойств в опытовом бассейне. Анализ отклонений геометрии производился при помощи средств 3D-сканирования (оптический 3D-сканер марки 3D Systems Sense 2<sup>nd</sup> gen) с разработкой технологической схемы описания данного процесса. При создании 3D-модели в процессе 3D-печати, а также обработки результатов 3D-сканирования, в работе использовались современные средства программного обеспечения – FreeShip, Autodesk Inventor, Cloud Compare и др.

Также в статье приводится обоснование проблемы усадочных деформаций филаментов (материалов 3D-печати на основе углеводородной химии) и краткий технологический цикл изготовления судовой модели при помощи 3D-печати согласно действующим международным требованиям по «International Towing Tank Conference Recommended Procedures» к моделям судов, подлежащих испытаниям в опытовых бассейнах.

При работе с 3D-сканером были проведены работы по подбору и обоснованию выбора оптимального режима освещения и процедуры по наиболее точной передаче геометрии физической модели с минимальными погрешностями. По результатам проведенного исследования составлены гистограммы распределения максимальных отклонений в положительном и отрицательном направлениях, эпюра отклонений геометрии в области сканирования, гистограмма распределения по Гауссу для нахождения среднеквадратичного отклонения.

Выводы – найдены и обоснованы места наибольших отклонений формы корпуса модели судна от ее компьютерной 3D-модели, рассмотрены причины их появления и проанализировано соответствие формы корпуса модели к допускам по вышеназванным рекомендациям.

*аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, 3D-сканер, судомоделизм, маломерные суда, усадка, размерный анализ*

The article presents a study of the deviations of the geometric shapes of the ship model, made by 3D-printing, from shrinkage deformations, for subsequent testing of its hydromechanical properties in the model research basin. Geometry deviation analysis

has been conducted using 3D-scanning tools (optical 3D-scanner of brand 3D Systems Sense 2<sup>nd</sup> gen) with the development of a flow chart describing this process. When developing a 3D-model, in the process of 3D-printing, as well as processing the result of 3D-scanning, we have used modern software tools – FreeShip, Autodesk Inventor, Cloud Compare etc.

In addition, the article provides a rationale for the problem of shrinkable deformations of the filaments (3D printing materials based on hydrocarbon chemistry) and a brief technological cycle for manufacturing a ship model using 3D-printing in accordance with the applicable international requirements of «International Towing Tank Conference Recommended Procedures» for models of vessels, which are a subject to testing in model research basins.

When using a 3D-scanner, works have been carried out on the selection and justification of the choice of the optimal lighting mode and procedures for the most accurate transfer of the geometry of a physical model with minimal errors. As a result, the histograms of the distribution of the maximum deviations in the positive and negative directions, the diagram of the deviations of the geometry in the scan area, the histogram to determine the standard deviation have been made.

As a result of the carried research work, the places of the largest deviations of the hull form of the ship model from its computer 3D-model have been found and justified, the reasons for their appearance have been examined and the compliance of the shape of the hull model to the tolerances according to the above recommendations has been analyzed.

*additive manufacturing, 3D-printing, 3D-printer, 3D-scanner, ship modeling, small-sized vessels, shrinkage, dimensional analysis*

## ВВЕДЕНИЕ

При изготовлении объектов методами 3D-печати следует предусматривать многие проблемы данного производства – выбор материала и способа печати, усадочные деформации, адгезию, деламинацию, физико-механические характеристики конечного изделия и т.д.

Усадочные деформации являются одними из наиболее значимых проблем при аддитивном изготовлении продукции. Под усадкой в аддитивном производстве понимается изменение размеров печатаемого объекта при его остывании. В современном машиностроении, и в том числе судостроении, при подобных процессах вводятся допуски, припуски, напуски, посадки и т. д.

Допуски нужны для определения предельных размеров изделия, при которых оно будет удовлетворять заявленным техническим требованиям и выполнять весь свой функционал. При этом все, что находится за пределом допуска, будет являться браком. Припуск – заранее предусмотренное увеличение размера конструкции сверх чертежного, необходимое для компенсации геометрических погрешностей при ее изготовлении. Основными причинами возникновения геометрических погрешностей в судостроении могут быть неточность исходной информации, метрологические ошибки, неправильное выполнение технологических операций, погрешности оборудования и оснастки.

При аддитивном изготовлении основные погрешности приходятся на усадку материала. В некоторых работах уже проводились исследования по нахожде-

нию коэффициентов усадки материалов [1-3], однако в большинстве своем они направлены на область 3D-печатного производства по созданию силиконовых форм для получения восковых моделей с целью последующего их использования при литье [4], как направления, требующего особой точности и контроля к конечным геометрическим формам продукции.

Современные методы 3D-сканирования могут позволить проанализировать отклонение геометрических форм конструкций практически любых габаритов и материалов. Стоит отметить и относительно невысокую стоимость ручных сканеров, один из которых использовался в данной работе.

В представленной работе было проведено исследование усадочных деформаций судовой модели корпуса маломерного судна методами 3D-сканирования для последующих испытаний ее гидромеханических свойств в опытовом бассейне, а также при ее аддитивном изготовлении с анализом отклонений формы геометрии корпуса с соответствием международным стандартам по испытательным моделям и дальнейших перспектив 3D-печати в судомоделизме.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве прототипа исследования была принята стеклопластиковая байдарка «Нерль» [5] со следующими габаритами:

- длина наибольшая – 5.41 м;
- длина по конструктивной ватерлинии (КВЛ) – 5.25 м;
- ширина наибольшая – 0.84 м;
- ширина по КВЛ – 0.76 м;
- осадка по КВЛ – 0.13 м.

Теоретический чертеж байдарки показан на рис. 1 (бок и полуширота) и 2 (корпус).

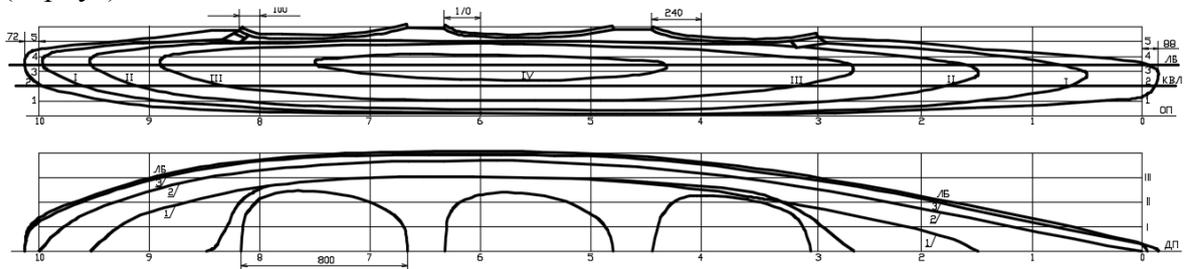


Рис. 1. Теоретический чертеж байдарки «Нерль» (проекция – бок и полуширота)  
Fig. 1. Lines plan of kayak «Nerl» (side plane and half-breadth plane)

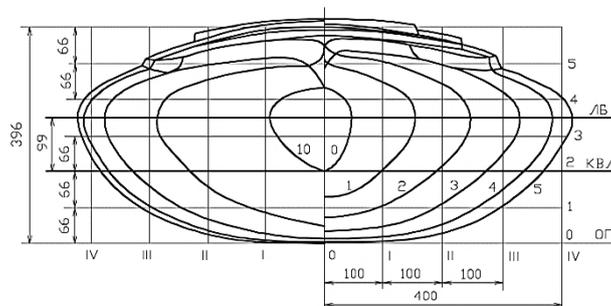


Рис. 2. Теоретический чертеж байдарки «Нерль» (проекция – корпус)  
Fig. 2. Lines plan of kayak «Nerl» (hull plane)

Разработка 3D-модели судна осуществлялась в программе FreeShip (рис. 3). Модель изготавливалась в масштабе 1:5.

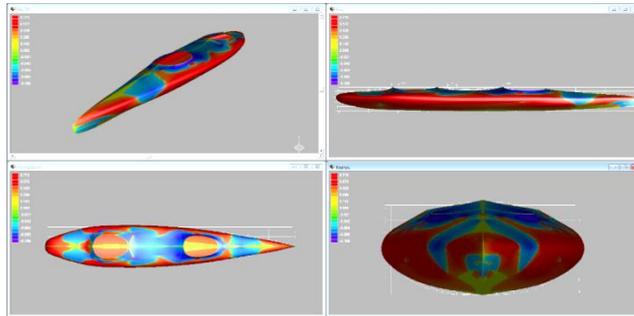


Рис. 3. 3D-модель судна  
Fig. 3. 3D-model of the ship

Печать модели исполнялась на 3D-принтере «Anet A6» из PLA-пластика.

Сканирование полученной модели производилось с помощью оптического 3D-сканера 3D Systems Sense 2<sup>nd</sup> gen. Целью трехмерного сканирования была проверка геометрии подводной части корпуса.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно рекомендациям, указанным в международных требованиях к судовым моделям, подлежащим испытаниям в опытовых бассейнах [6, 7], модели должны быть зашпаклеваны, окрашены и покрыты лаком перед самими испытаниями.

Модель была изготовлена из пяти блоков (рис. 4). После склейки блоков она показана на рис. 5, склеенная, зашпаклеванная и окрашенная модель – на рис. 6.



Рис. 4. Блоки модели  
Fig. 4. Blocks of the model



Рис. 5. Модель после склейки блоков  
Fig. 5. Model after gluing blocks



Рис. 6. Готовая к испытаниям модель  
Fig. 6. Model ready to be tested

В качестве клеевой композиции был использован клей для PLA-пластика собственного изготовления в рамках НИР по защитным покрытиям судов [8] «ДПБ 10/2», представляющий собой смесь  $C_2H_4Cl_2$ ,  $(C_8H_{14}O_2)_n$  и  $(C_3H_4O_2)_n$  (поливинилбутераль + дихлорэтан + полилактрид), соединенных по технологии ультразвук механического резонансного смешивания. Прочность шва при применении данной клеевой композиции выше прочности спайки слоев при любом заполнении структуры материала. Однако, в сущности, при отсутствии возможности производства клеев, исходя из опыта работы, любой клей на основе растворителя даст качественную склейку блоков, удовлетворяющую всем нуждам при работе с моделью судна.

Далее, было произведено сканирование полученной физической модели с помощью оптического 3D-сканера 3D Systems Sense 2<sup>nd</sup> gen при заявленном отклонении данного измерительного оборудования  $\pm 1$  мм в идеальных условиях.

Сетка-образец была получена путем сохранения исходной модели для печати в формате STL. Среднее отклонение геометрии сетки, измеренное средствами, встроенными в Autodesk Inventor, составляет  $0.4 \cdot 10^{-5}$  мм. Данный уровень точности является приемлемым для проведения сравнения сетки-образца с сеткой-сканом и превышает показатели точности измерительного оборудования.

По опыту работы со сканирующим оборудованием оптического диапазона был подобран оптимальный режим освещения – светодиодные лампы теплого света (рис. 7).

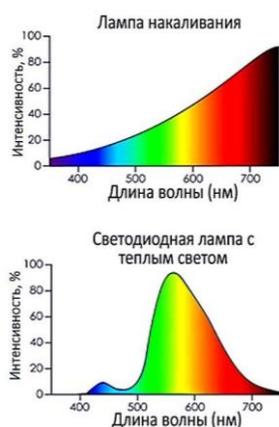


Рис. 7. Сравнение спектров ламп  
Fig. 7. Comparison of the spectra of lamps

Такой источник света дает минимум излучения в ИК-диапазоне и благоприятно влияет на точность измерения ввиду отсутствия паразитной засветки, приближая точность прибора к лазерному сканеру, работающему с полностью монохромной подсветкой, сохраняя при этом основное преимущество оптических сканеров – возможность работы с объектами практически любого цвета без заметных искажений.

Для получения наиболее детальных данных все дополнительные функции программного обеспечения Sense (текстурирование, автоматическое распознавание, ранжирование разрешения) были отключены, а разрешение и буферизация данных повышены до максимально допустимых для оборудования. Такой подход позволяет получить более точные данные о поверхности, однако увеличивает время обработки ввиду попадания посторонних объектов в область сканирования.

Погрешности, связанные с термоусадкой филамента, учтены на основании измерений в общей сложности 32 тестовых кубов в  $1 \text{ см}^3$ . Геометрическая ошибка при слайсинге модели минимальна ввиду отсутствия тонких стенок. Наиболее сложными участками обработки являются нос и корма.

Сетка, полученная после удаления шумов и фона, представлена на рис. 8. Общий объем данных сканирования составляет 4.6 Gb.

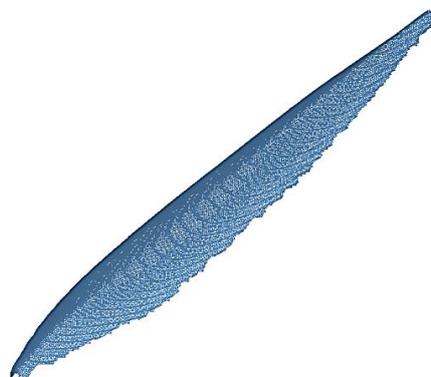


Рис. 8. Сетка-скан после предварительной обработки  
Fig. 8. Grid-scan after pre-processing

Никаких методов сглаживания сетки и автоматической очистки от шума не применялось, что гарантирует точную передачу геометрии физической модели. Сравнение отклонения сетки проводилось с помощью программного обеспечения Cloud Compare. Совмещение сетки-модели и сетки-скана производилось в два этапа – грубое начальное совмещение по пяти точкам поверхности вручную и точное совмещение с помощью инструмента «finely register meshes». Автоматическое совмещение проведено с критерием двойной точности с использованием 1500 итераций, по 4678 точкам поверхности скана и модели. Представленные настройки говорят о явной математической избыточности и исключают ошибки совмещения. Итоговая диаграмма отклонений поверхности и эпюра, полученная после совмещения, представлены на рис. 9-11.

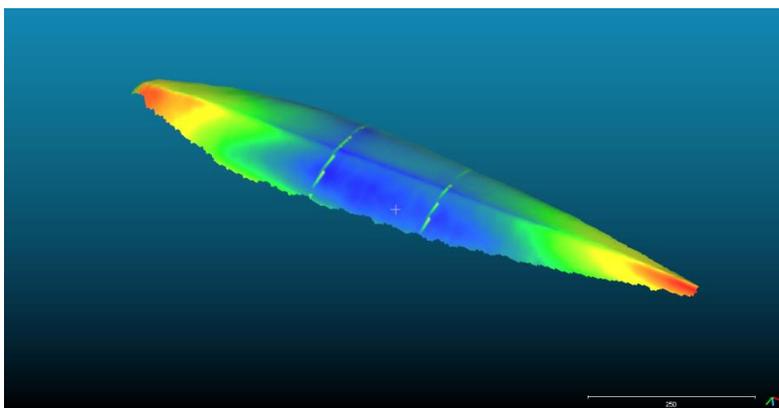


Рис. 9. Эпюра отклонений геометрии в области сканирования  
Fig. 9. Profile of geometry deviations in the scan area

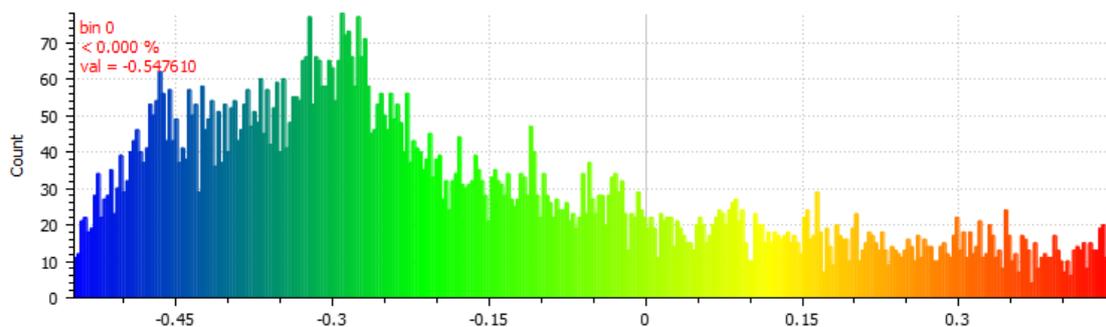


Рис. 10. Гистограмма распределения отклонений  
(показано максимальное отклонение в «←→»)  
Fig. 10. Histogram of deviations distribution  
(the maximum deviation is shown in «←→»)

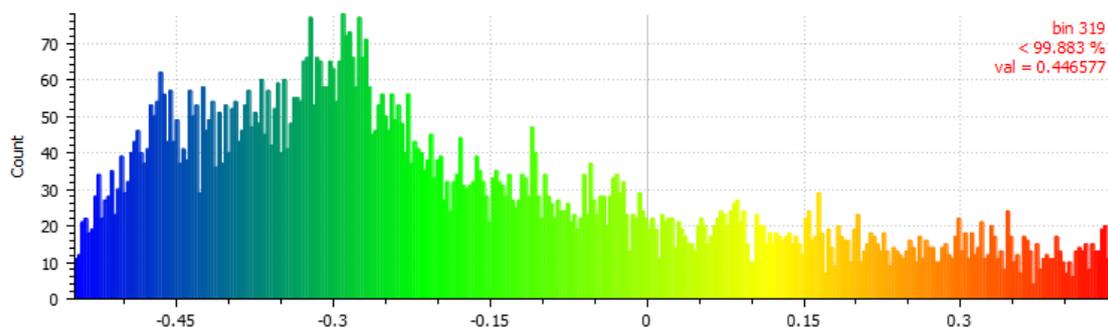


Рис. 11. Гистограмма распределения отклонений (показано максимальное отклонение в «+»)  
 Fig. 11. Histogram of deviations distribution (the maximum deviation is shown in«+»)

Обработка данных сканирования позволила определить, что максимальное отклонение в положительную сторону составляет 0.45, а в отрицательную – 0.54 мм. Для более понятной оценки приведем распределение по Гауссу (рис. 12).

Gauss: mean = -0.173902 / std.dev. = 0.252412 [97 classes]

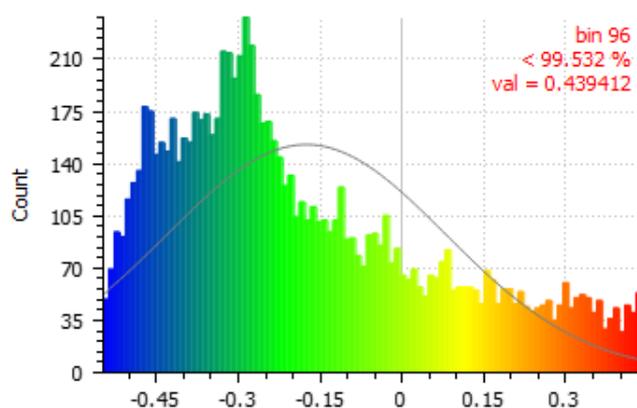


Рис. 12. Гистограмма распределения по Гауссу  
 Fig. 12. Histogram of the distribution by Gauss

Из данной диаграммы видно, что среднеквадратичное отклонение составило 0.25 мм.

Исходя из требований [6, 7], для модельных испытаний судов максимальный допуск по оси Z (по осадке) не должен быть более 1 мм. По данным гистограммы и эпюры видим, что в направлении оси Z основная плоскость днища имеет отклонение не более –0.2 мм, с учетом погрешности измерений это говорит о выполнении требований по оси Z. Допуск по длине 0.05% от длины между перпендикулярами, что в нашем случае составляет 2.7 мм, следовательно, данное требование также успешно выполняется.

## ВЫВОДЫ

1. Приведенные измерения доказывают возможность использования 3D-печати для производства моделей судов с целью гидродинамических испытаний при соблюдении всех нюансов технологии. Основные отклонения геометрии в модели объясняются швами при склейке, а также сложностью обработки и шлифовки слоев шпаклевки в носовой и кормовой оконечностях ввиду сложной кривизны поверхности.

2. Изготовление моделей для испытаний методами аддитивных технологий является менее затратной и трудоемкой процедурой по сравнению с традиционными формами судомоделизма. Усадочные деформации в рассмотренном варианте входят в поле допусков согласно международным рекомендациям по изготовлению судовых моделей и проведению гидромеханических испытаний в опытовых бассейнах и оказывают незначительное воздействие на результаты экспериментов, которыми можно пренебречь.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тигнибидин, А. В. Использование аддитивных технологий при прототипировании. Контроль геометрических характеристик детали из пластика ABS для определения исходных размеров для печати / А. В. Тигнибидин, С. В. Такаюк // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Т. 6, № 3. – С. 57-65.

2. Петрова, Г. Н. Реологические свойства термопластичной композиции на основе поликарбоната: зависимость от температуры переработки; влияние на механические характеристики и размерную стабильность объектов, созданных по FDM-технологии / Г. Н. Петрова [и др.] // Труды ВИАМ. – 2017. – № 4 (52). – С. 81-88.

3. Шумков, А. А. Анализ эволюции погрешности формы электрода инструмента с применением технологий быстрого прототипирования / А. А. Шумков [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 106-116.

4. Балякин, А. В. Применение аддитивных технологий для создания деталей камеры сгорания / А. В. Балякин, В. Г. Смелов, Н.Д. Чемпинский // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева (национального исследовательского университета). – 2012. – № 3 (34), ч. 2. – С. 47-52.

5. Ефимов, В. Стеклопластиковая байдарка «Нерль» / В. Ефимов // Катера и яхты. – 1990. – № 1 (143). – С. 44-49.

6. ИТТС, 2002. «Ship Models», 23<sup>rd</sup> International Towing Tank Conference, Vehicle, ИТТС Recommended Procedures, Procedure 7.5-01-01-01, Rev. 01.

7. ИТТС, 2002. «Resistance uncertainly analysis, example for resistance test», 23<sup>rd</sup> International Towing Tank Conference, Vehicle, ИТТС Recommended Procedures, Procedure 7.5-02-02-02, Rev. 01.

8. Зобов, П. Г. Янтарное покрытие корпуса судна / П. Г. Зобов // Управление инновационным развитием Арктической зоны Российской Федерации: сб. изб. трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 2017. – С. 276-278.

#### REFERENCES

1. Tignibidin A. V., Takayuk S. V. Ispol'zovanie additivnykh tekhnologiy pri prototipirovani. Kontrol' geometricheskikh kharakteristik detali iz plastika ABS dlya opredeleniya iskhodnykh razmerov dlya pechati [The use of additive technologies for prototyping. Inspection of the geometrical characteristics of the part made of ABS plastic for determining the initial dimensions for printing]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i ma-shin*, 2018. vol. 6, no. 3, pp. 57-65.

2. Petrova G. N., Larionov S. A., Sapego YU. A., Platonov M. M. Reologicheskie svoystva termoplastichnoy kompozitsii na osnove polikarbonata: zavisimost' ot temperatury pererabotki; vliyanie na mekhanicheskie kharakteristiki i razmernuyu stabil'nost' ob"ektov, sozdannykh po FDM-tekhnologii [Rheological properties of a thermoplastic composition based on polycarbonate: dependence on processing temperature; influence on mechanical characteristics and dimensional stability of objects created by FDM-technology]. *Trudy VIAM*, 2017. iss. 4 (52), pp. 81-88.

3. Shumkov A. A., Ablyaz T. R., Kochneva A. A., Mal'tseva YU. N., Maslennikova N. A., Matalasova V. I., Popova E. S., SHardina T. A. Analiz evolyutsii pogreshnosti formy elektroda-instrumenta s primeneniem tekhnologiy bystrogo prototipirovaniya [Analysis of the evolution of the error shape of the electrode tool using rapid prototyping technologies]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2017. vol.19, no. 2, pp. 106-116.

4. Balyakin A. V., Smelov V. G., CHempinskiy N. D. Primenenie additivnykh tekhnologiy dlya sozdaniya detaley kamery sgoraniya [The use of additive technology to create parts of the combustion chamber]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S. P. Koroleva (natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta)*, 2012. iss. 3 (34), pp. 47-52.

5. Efimov V. Stekloplastikovaya baydarka «Nerl'» [Fiberglass kayak "Nerl'"]. *Katera i yakhty*, 1990, vol. 1 (143), pp. 44-49.

6. ITTC, 2002. «Ship Models», 23rd International Towing Tank Conference, Vehicle, ITTC Recommended Procedures, Procedure 7.5-01-01-01, Rev. 01.

7. ITTC, 2002. «Resistance uncertainly analysis, example for resistance test», 23rd International Towing Tank Conference, Vehicle, ITTC Recommended Procedures, Procedure 7.5-02-02-02, Rev. 01.

8. Zobov P. G. Yantarnoe pokrytie korpusa sudna [Amber coating hull]. *Upravlenie innovatsionnym razvitiem Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii: sbornik izbrannykh trudov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Management of innovative development of the Arctic zone of the Russian Federation: a collection of selected works based on materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]. 2017, pp. 276-278.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Зобов Павел Геннадьевич* – Институт судостроения и морской арктической техники (г. Северодвинск Архангельской обл.); бакалавр; направление «Судостроение и системотехника объектов морской инфраструктуры»;  
E-mail: pavelzobov98@mail.ru

*Zobov Pavel Gennadievich* – Institute of Shipbuilding and Marine Arctic Technology (Severodvinsk, Arkhangelsk region); bachelor student of shipbuilding and system engineering of marine infrastructure; E-mail: pavelzobov98@mail.ru

*Дектярев Александр Владимирович* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения;  
E-mail: nwasanches@mail.ru

*Dektyarev Alexander Vladimirovich* – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Shipbuilding; E-mail: nwasanches@mail.ru

*Морозов Владимир Николаевич* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент; академик РАЕН;  
E-mail: mvn3613@gmail.com

*Morozov Vladimir Nikolaevich* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Science; Associate Professor; academician of RANS;  
E-mail: mvn3613@gmail.com

УДК 681.587.2

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БЕЗУДАРНОЙ  
ПЕРЕДАЧИ ГРУЗА

А. В. Кипер, И. И. Давлюд, А. А. Бавула

PHYSICAL MODEL OF THE TRACKING SYSTEM FOR CARGO TRANSFER  
WITHOUT IMPACT

A.V. Kiper, I. I. Davlyud, A. A. Bavula

Передача грузов в открытом море – одна из наиболее сложных, опасных и ответственных операций. Для повышения их безопасности необходима автоматизация процесса опускания груза. В таком режиме груз будет безопасно опущен на основание и коснется его с заданной минимальной скоростью, безударно. В статье представлена экспериментальная установка для исследования динамики погрузочных работ в ручном автоматическом режиме, а также для снятия необходимых показателей. Управление установкой производится контроллером Arduino Uno, выполненным на базе микроконтроллера ATmega328. Входными данными для следящей автоматизированной системы служат показания лазерного датчика измерения расстояния, а исполнительным устройством является асинхронный электродвигатель с редуктором. Управляется электродвигатель с помощью тиристорного драйвера управления. В статье рассмотрены основные компоненты экспериментальной установки и их характеристики, принцип работы каждого компонента и системы в целом. Также представлена математическая модель работы устройства, разработанная в среде визуального моделирования MATLAB-VisSim. Эффективность данной экспериментальной установки подтвердили многократные замеры силы удара в момент касания основания грузовой платформы: в автоматическом режиме сила удара груза при погрузке в 3 раза меньше, чем в ручном. В статье предложен вариант реализации автоматизированной системы, построенной на принципе работы экспериментальной установки, – автоматизированное устройство управления грузоподъемным краном с использованием штатных приводных электродвигателей. Рассмотренная в статье физическая модель следящей системы для безударной передачи груза может являться основой для построения автоматизированного крана, что особенно актуально при проведении погрузочных операций в сложных условиях.

*безударная погрузка, груз, автоматизированная система, модель, установка, эксперимент, микроконтроллер, микропроцессорное устройство, датчик, двигатель, управление*

The transfer of goods on the high seas is one of the most difficult, dangerous and responsible operations. To improve the safety of loading operations, it is necessary to automate the process of lowering the load. In this mode, the load will be safely lowered to the base and will touch it at a given minimum speed, without impact. The article pro-

poses an experimental setup for the study of the dynamics of loading operations in manual automatic mode, as well as the removal of the necessary indicators. The set is made by controller Arduino Uno based on ATmega328 microcontroller. The input data for the system are the readings of the laser distance measurement sensor, and the actuator is an asynchronous electric motor with a reducer. The motor is controlled by a thyristor control driver. The article describes the main components of the experimental setup and their characteristics, as well as the principle of operation of each component and the system as a whole. The mathematical model of the device operation developed in the environment of visual modeling MATLAB-VisSim is also presented. The effectiveness of this experimental setup has been confirmed by multiple measurements of the impact force at the time of touching the base of the cargo platform: in automatic mode, the impact force of the cargo during loading is 3 times less than in manual mode. Also, in the article offers a variant of realization of the automated system built on the principle of operation of the experimental installation – it is the automated control device of the load-lifting crane with the use of regular drive electric motors. The physical model of the tracking system for shock-free transfer of cargo considered in the article can serve the basis for the construction of an automated crane, which is especially important when carrying out loading operations in difficult conditions.

*shockless loading, cargo, automated system, model, installation, experiment, microcontroller, microprocessor device, sensor, engine, control*

При проведении погрузочно-разгрузочных работ с использованием грузоподъемных кранов (далее – кранов) существует вероятность повреждения груза. Самым опасным этапом при производстве данных работ является процесс опускания груза, при котором возможно повреждение дорогостоящего или опасного груза при неконтролируемом ударе о судовые конструкции вследствие различных возмущающих воздействий или ошибок персонала. При определенном стечении обстоятельств последствия удара способны привести к развитию серьезных аварийных ситуаций, что актуализирует задачу обеспечения безопасности грузовых операций.

Известны различные следящие устройства [1-3], конструктивно выполненные в виде следящих систем, стабилизирующих лебедок и прочих устройств, тем или иным способом повышающих безопасность грузовых операций. В ряде исследований установлено [4, 5], что более перспективным путем повышения безопасности и производительности грузовых операций является использование автоматических следящих систем, обеспечивающих управление движением груза на конечном этапе по заданным траектории или алгоритму.

Для разработки такой системы потребовалось создание математической модели, реализованной в среде визуального моделирования MATLAB-VisSim (рис. 1).

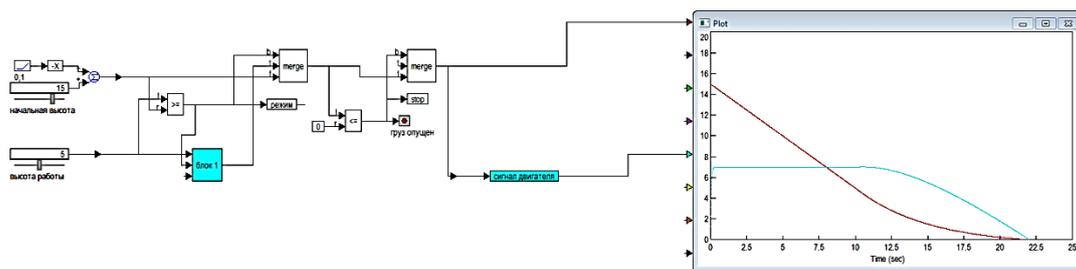


Рис. 1. Математическая модель следящей системы в среде визуального моделирования MATLAB-VisSim

Fig. 1. Mathematical model of the tracking system in the visual modeling environment MATLAB-VisSim

Для определения адекватности математической модели реальной следящей системе была разработана соответствующая физическая модель. В основу ее создания положены критерии, обеспечивающие подобие этой модели реальному грузоподъемному средству. Главные критерии подобия определены на основании математической модели методом интегральных аналогов. Они позволили рассчитать масштабные коэффициенты, определяющие параметры физической модели и условия моделирования [3].

Физическая модель (рис. 2) для безударной передачи груза 1 состоит из стрелы 2, грузовой лебедки 3, грузовой платформы 4 и системы управления 5. В свою очередь, система управления (рис. 3) содержит микроконтроллер (Arduino UNO) 1, цифровой лазерный датчик расстояния 2, измеряющий расстояние до поверхности основания расположенного на грузовой платформе асинхронного двигателя 3, платы управления двигателем 4 и джойстиком 5 для ручного управления. Работа установки состоит из двух этапов и заключается в следующем: на первом этапе груз опускается с заданной высоты с максимально возможной скоростью, которая является постоянной. Датчик непрерывно измеряет расстояние до поверхности и передает данные в микроконтроллер. Второй этап начинается при достижении грузом установленной высоты (например, 5 см), при этом скорость начинает замедляться пропорционально расстоянию до поверхности основания, чем оно меньше – тем меньше скорость, и к моменту посадки она становится минимальной, чем и обеспечивается безударная погрузка.

Контроллер Arduino Uno выполнен на базе микроконтроллера ATmega328 с тактовой частотой 16 МГц, содержащего 32 кБ флэш-памяти для хранения кода программы, 2 кБ памяти ОЗУ для хранения данных программы и 1 кБ EEPROM (энергонезависимая память). Модуль суммарно имеет 14 цифровых и 6 аналоговых вводов/выводов. Логика работы программы для работы установки записана в микроконтроллер с помощью ЭВМ на языке C++ в энергонезависимую память.

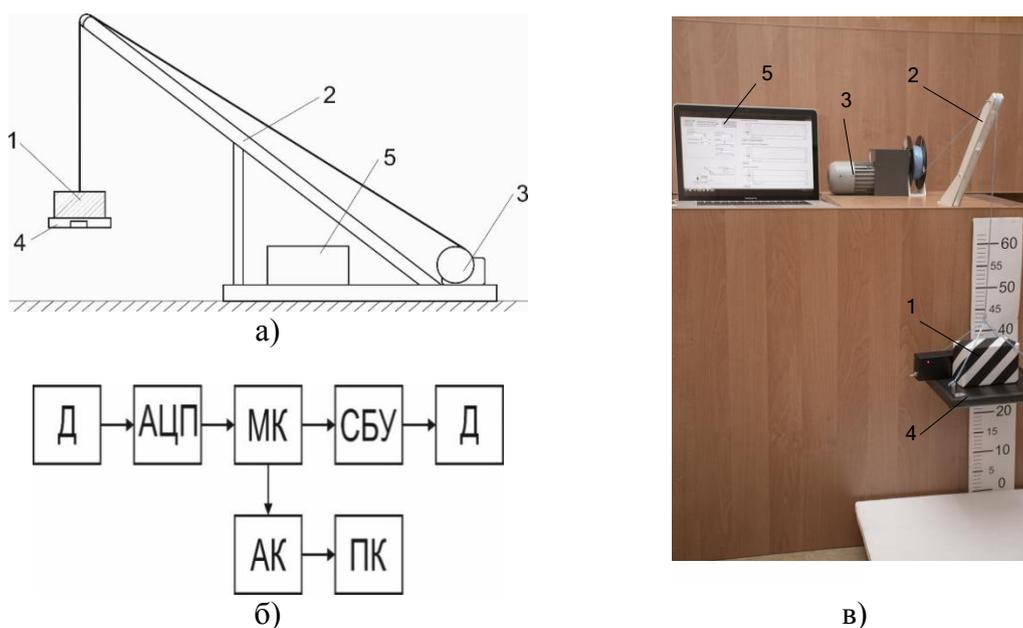


Рис. 2. Физическая модель для безударной передачи груза:  
 а – схема; б – функциональная схема; в – внешний вид; 1 – груз; 2 – стрела крана;  
 3 – грузовая лебедка; 4 – грузовая платформа; 5 – система управления; Д – датчик  
 измерения расстояния; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;  
 МК – микроконтроллер; СБУ – силовой блок управления; Д – асинхронный  
 двигатель; АК – акселерометр; ПК – персональный компьютер

Fig. 2. Physical model for shock-free transfer of cargo:  
 а – scheme; б – functional scheme; в – appearance; 1 – cargo; 2 – crane arm; 3 – cargo  
 winch; 4 – load platform; 5 – control system; Д – distance measuring sensor;  
 АЦП – analogue-digital converter; МК – microcontroller; СБУ – power control box;  
 Д – induction motor; АК – accelerometer; ПК – personal computer

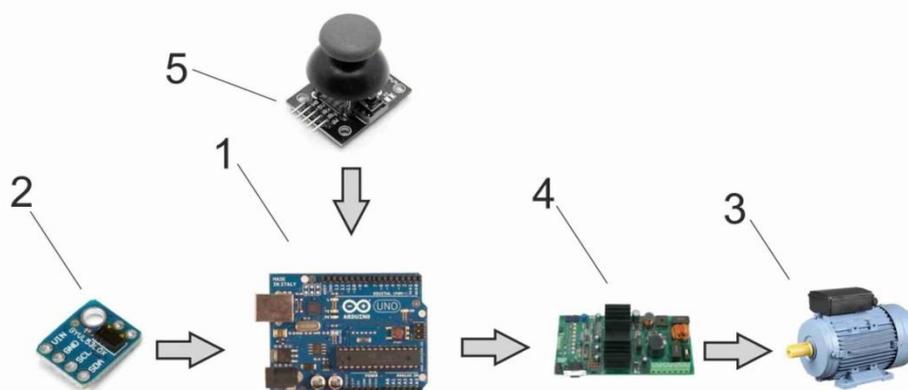


Рис. 3. Схема соединения модулей экспериментальной установки:  
 1 – контроллер Arduino Uno; 2 – лазерный датчик GY-530; 3 – асинхронный  
 двигатель; 4 – плата управления двигателем; 5 – модуль джойстика  
 Fig. 3. Connection diagram of the experimental setup modules: 1 – Arduino Uno  
 controller; 2 – laser sensor GY-530; 3 – induction motor; 4 – motor control card;  
 5 – joystick module

В качестве датчика измерения расстояния применен лазерный датчик GY-530 на чипе VL53L0X. Датчик представляет из себя поверхностно излучающий лазер с вертикальным резонатором (VCSEL) с рабочей длиной волны 940 нм и фоточувствительной матрицей на основе однофотонных лавинных диодов (SPAD). Его работа не зависит от отражающей способности поверхности, стабильна при повышенных уровнях внешнего инфракрасного излучения.

Исполнительным устройством в экспериментальной установке служит асинхронный двигатель мощностью 10Вт с редуктором, скорость вращения выходного вала которого до 300 об/мин, крутящий момент 0, 5-7 Н\*м.

Для ручного управления двигателем используется джойстик. Он позволяет реализовать двухкоординатное управление с элементом управления по третьей координате. Джойстик имеет простое техническое решение – оператор поворачивает одновременно движки двух переменных резисторов, смещая ручку управления одним движением. Это позволяет электронике отслеживать ее отклонение в любом направлении на любую величину.

Эффективность автоматизированного способа опускания груза на конечном участке подтвердили замеры силы удара в момент касания основания грузовой платформой. Эксперимент проводился с помощью данной экспериментальной установки. На платформе с грузом установлен модуль трехосевого гироскопа и акселерометра GY-521 на микросхеме MPU-6050. Для обработки информации он был подключен к микроконтроллеру. Показания акселерометра выводились через последовательный порт на компьютер.

Так, в ходе проведения серии опытов с ручным (с помощью джойстика) и автоматическим опусканием платформы с грузом были получены следующие результаты в виде графиков (рис. 4). На их основании можно сделать вывод, что сила удара при автоматическом опускании груза более чем в 3 раза меньше, чем при ручном.

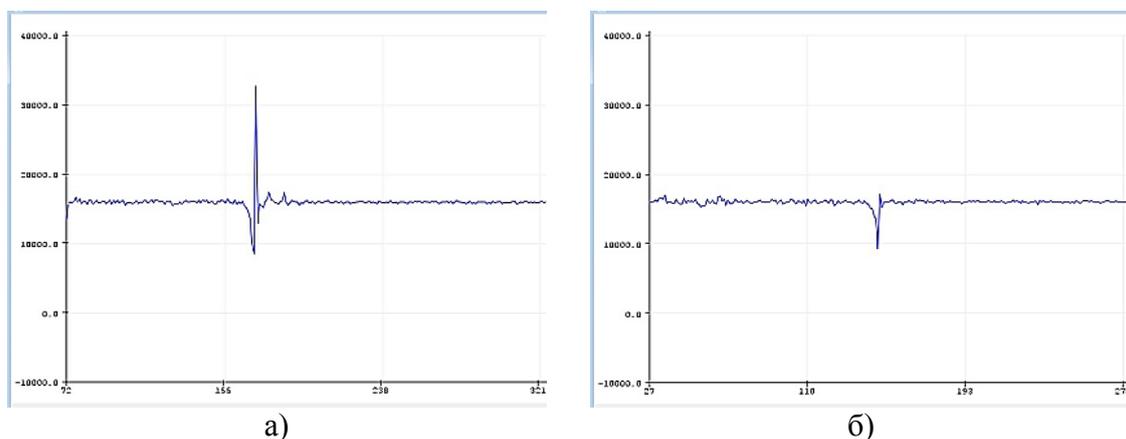


Рис. 4. Показания акселерометра GY-521 в момент посадки платформы с грузом на основание: а – при ручном опускании; б – при автоматическом опускании  
 Fig. 4. GY-521 accelerometer readings at the time of landing of the platform with a load on the ground: a – when manually lowering; б – with automatic lowering

Одним из вариантов реализации автоматизированной системы управления краном является система с использованием штатных приводных электродвигате-

лей (асинхронных с короткозамкнутым ротором) и управлением их данной установкой. Передачи управляющих сигналов от установки на приводные электродвигатели осуществляется, например, с использованием тиристорных (симисторных) регуляторов.

Таким образом, рассмотренная экспериментальная установка может быть использована в качестве основы при создании автоматизированного крана для безударной погрузки груза, что особенно актуально для опасного (разрядного) груза. При этом данный кран не требует размещения дополнительного оборудования (устройств) на принимающей поверхности, а это значительно снижает стоимость оборудования, число механизмов и повышает эффективность работы [6]. Конструкция такого крана может найти применение на судах снабжения, спасательных или исследовательских [7].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бачище, А. В. Передача грузов в море / А. В. Бачище, Н. И. Махорин. – Мурманск: Кн. изд-во, 1991. – 104 с.
2. Горшков, И. А. Передача грузов в море: справочник / И. А. Горшков, Н. И. Махорин. – Ленинград: Судостроение, 1977. – 256 с.
3. Кипер, А. В. Математическое моделирование автоматических устройств для передачи боеприпасов между кораблями в море: моногр. / А. В. Кипер. – Калининград: Изд-во БВМИ, 1999. – 129 с.
4. Романенко, Н. Г. Разработка алгоритма и модели системы управления электроприводом крана буровой платформы / Н. Г. Романенко, С. В. Ткаль // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 1. – С. 51-55
5. Обоснование конструктивного решения системы стабилизации груза крана КЭГ20031С / А. А. Арутюнян [и др.] // Морской вестник. – 2010. – № 1 (33). – С. 33-38.
6. Георгиев, А. А. Пути повышения качества грузообработки в открытом море путем оснащения судов кранами перспективных конструкций / А. А. Георгиев, И. Н. Васильев // Морской вестник. – 2014. – № 4 (52). – С. 41-44.
7. Иванова, М. А. Многофункциональный судовой кран / М. А. Иванова // Морской вестник. – 2007. – № 3 (23). – С. 62-65.

#### REFERENCES

1. Bachishche A. V., Mahorin N. I. *Peredacha gruzov v more* [Transfer of goods at sea]. Murmansk, Kn. izd-vo, 1991, 104 p.
2. Gorshkov I. A., Mahorin N. I. *Peredacha gruzov v more: spravochnik* [Transfer of goods at sea: reference book]. Leningrad, Sudostroenie, 1977, 256 p.
3. Kiper A.V. *Matematicheskoe modelirovanie avtomaticheskikh ustroystv dlya peredachi boepripasov mezhdru korablyami v more* [Mathematical modeling of automatic devices for ammunition transfer between ships at sea]. Kaliningrad, Izd-vo BVMI, 1999, 129 p.
4. Romanenko N. G., Tkal' S. V. *Razrabotka algoritma i modeli sistemy upravleniya elektroprivodom kрана burovoy platformy* [Development of an algorithm and

control system model for electric drive of a drilling platform crane]. *Vestnik AGTU*, 2011, no. 1, pp. 51-55.

5. Arutyunyan A. A., Suslov D. V., Zaviruhov V. D., Georgiev A. A. Obosnovanie konstruktivnogo resheniya sistemy stabilizatsii gruzov kрана KEHG20031S [Justification of the design solution of the crane cargo stabilization system KEHG20031S]. *Morskoy vestnik*, 2010, no. 1 (33), pp. 33-38.

6. Georgiev A. A., Vasil'ev I. N. Puti povysheniya kachestva gruzoobrabotki v otkrytom more putyom osnashcheniya sudov kranami perspektivnykh konstruktsiy [Ways to improve the quality of cargo handling on the high seas by equipping vessels with cranes of advanced designs]. *Morskoy vestnik*, 2014, no. 4 (52), pp. 41-44.

7. Ivanova M. A. Mnogofunktsional'nyy sudovoy kран [Multi-function ship crane]. *Morskoy vestnik*, 2007, no. 3 (23), pp. 62-65.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Кипер Александр Викторович* – филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (Калининград); доктор технических наук, профессор;  
E-mail: sawefew2@yandex.ru

*Kiper Aleksandr Viktorovich* – Branch of the Military Educational and Scientific Center NAVY «Naval Academy» (Kaliningrad); Doctor of Technical Sciences, Professor;  
E-mail: sawefew2@yandex.ru

*Давлюд Игорь Игоревич* – филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (Калининград); адъюнкт; E-mail: sawefew2@yandex.ru

*Davlyud Igor Igorevich* – Branch of the Military Educational and Scientific Center NAVY «Naval Academy» (Kaliningrad); Postgraduate; E-mail: sawefew2@yandex.ru

*Бавула Андрей Александрович* – филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (Калининград); кандидат военных наук, начальник отдела организации научной работы; E-mail: sawefew2@yandex.ru

*Bavula Andrey Aleksandrovich* – Branch of the Military Educational and Scientific Center NAVY «Naval Academy» (Kaliningrad); PhD of Military Sciences, Head of the Department of scientific work organization; E-mail: sawefew2@yandex.ru

УДК 532.529:536.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТИ РАСПЫЛЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

В. А. Наумов, Н. Л. Великанов

SIMULATION OF THE DROPLET MOTION IN SURFACE COOLING SYSTEMS  
BY SPRAY

V. A. Naumov, N. L. Velikanov

Рассмотрены вопросы динамики падающей испаряющейся капли применительно к условиям в системах подачи смазочно-охлаждающих жидкостей (СП СОЖ). Поставлена и решена аналитически задача динамики сферической капли в неизменных условиях вдали от нагретой поверхности. Уменьшение диаметра капли по времени описано формулой Срезневского. Установлено влияние поправки Дуковича к силе аэродинамического сопротивления на динамику падающей испаряющейся капли. Коэффициент Дуковича определяется числом Рейнольдса, рассчитанным по среднemasсовой скорости отделяющегося пара. Показано, что при неизменных условиях это число прямо пропорционально отношению плотности воздуха к плотности пара. В отдельных случаях сила аэродинамического сопротивления испаряющейся капли составляла менее 40% величины силы для неиспаряющейся капли. Был исследован частный случай, когда безразмерная интенсивность испарения равна коэффициенту Дуковича. Эта интенсивность не может задаваться произвольно, так как малые величины соответствуют столь большому отношению плотностей, что оно не может быть физически реализовано. В СП СОЖ безразмерная интенсивность испарения изменялась в диапазоне (0,45; 0,7). На основе ранее выведенной формулы для реактивной силы предложена математическая модель динамики испаряющейся капли, падающей на горизонтальную стенку, при линейном профиле температуры газа. Реактивная сила увеличивается при приближении к поверхности. Система уравнений приведена к безразмерной форме. Задача решена численным методом в среде Mathcad. Установлено, что критериями подобия задачи являются четыре безразмерные комплекса. Показано, как значения критериев подобия влияют на скорость и интенсивность испарения капли.

*смазочно-охлаждающие жидкости, динамика капли, аэродинамическое сопротивление, интенсивность испарения, критерии подобия*

The dynamics of the falling evaporating droplet has been considered in relation to the conditions in supply systems lubricating-cooling fluid supply systems (LCF SS). The problem of spherical droplet dynamics under constant conditions far from the heated surface has been set and analytically solved. The droplet diameter reduction in time has been described by Sreznevskiy's formula. The influence of the Dukowics correction to the aerodynamic drag force on the dynamics of the falling evaporating droplet has

been found. The Dukowics coefficient has been determined by the Reynolds number calculated from the average mass velocity of the separating vapor. It has been shown that under constant conditions, this number is directly proportional to the ratio of the air density to the vapor density. In some cases, the drag force of the evaporating droplet was less than 40% of the force for the non-evaporating droplet. A special case when the dimensionless evaporation rate was equal to the ratio of Dukowics was investigated. This intensity cannot be given arbitrarily, since small quantities correspond to such a large density ratio that it cannot be physically realized. In LCF SS, the dimensionless evaporation intensity varied in the range (0.45; 0.7). The mathematical model of the dynamics of the evaporating droplet falling on a horizontal wall at a linear profile of the gas temperature has been proposed on the basis of the previously derived formula for the reactive force. The reactive force increases as it approaches the surface. The system of equations has been reduced to a dimensionless form. The problem has been solved by the numerical method in Mathcad. Four dimensionless complexes are criteria of similarity of the problem. It has been shown how the values of similarity criteria affect the rate and intensity of the droplet evaporation.

*lubricating cooling fluids, dynamics of droplets, aerodynamic drag, rate of evaporation, temperature gradient, similarity criterions*

## ВВЕДЕНИЕ

Динамика движения и теплообмена испаряющейся капли жидкости в потоке газа играет важную роль при изучении процессов, происходящих в различных энергетических установках и технологических аппаратах. Это относится к распыливанию топлива в двигателях внутреннего сгорания (см., например, монографию [1], соотношения из которой до сих пор широко используются в исследовательских работах и инженерной практике), в воздушно-реактивных двигателях [2], в СП СОЖ в зону обработки материала [3] и в других процессах. При моделировании важно учитывать, что силы, действующие на испаряющуюся каплю, могут заметно отличаться от таковых в классических условиях движения твердых частиц в безграничной изотермической среде [4]. Так, в [5] Дукович предложил поправку к коэффициенту аэродинамического сопротивления для случая, когда время стабилизации пограничного слоя испаряющейся капли много меньше, чем характерные времена изменения ее диаметра и скорости (квазистационарное приближение).

При неоднородном нагреве газа испарение с поверхности капли происходит с разной интенсивностью в зависимости от локальной температуры. В [6] впервые было предложено выражение для реактивной силы, обусловленной неравномерностью испарения капли вблизи нагретой стенки. При этом была допущена ошибка в числовом коэффициенте из-за неверного использования процедуры осреднения. В [7] указанная ошибка была исправлена и получена формула для реактивной силы путем интегрирования по поверхности испаряющейся капли. В [8] на базе формулы из [7] была разработана математическая модель движения испаряющейся капли в неоднородном температурном поле. Однако при решении прикладных задач названные поправки зачастую не учитываются (см., например, [9-11]), что может привести к заметным ошибкам.

В данной статье рассмотрим динамику сферической испаряющейся капли, падающей на горизонтальную поверхность, с учетом названных поправок применительно к условиям в СП СОЖ.

### ДИНАМИКА КАПЛИ ПРИ ПОСТОЯННЫХ УСЛОВИЯХ

На первом этапе рассмотрим испаряющуюся каплю вдали от нагретой поверхности. Положим, что капля находится при температуре кипения, газ неподвижен, числа Рейнольдса при движении капли малы. Пар отделяется от капли во все стороны с одинаковой относительной скоростью и интенсивностью. Тогда реактивная сила обращается в нуль. Если условия испарения капли не изменяются, то уменьшение диаметра по времени  $\delta(t)$  описывается формулой Срезневского [1]:

$$\delta^2 = \delta_0^2(1 - N \cdot t), \quad (1)$$

где  $N$  – характеризует интенсивность испарения;  $\delta_0$  – начальный диаметр капли.

Используем поправку к коэффициенту сопротивления  $C_R$ , предложенную Дуковичем [5] (рис. 1):

$$\eta \equiv \frac{C_R}{C_R^o} = \frac{2}{3} \frac{f \cdot Re_n}{0,5 - Re_n^2 f}, \quad f = 1 - (1 + Re_n) \cdot \exp(-Re_n), \quad Re_n = \frac{V_n \delta}{\nu}, \quad (2)$$

где  $V_n$  – массовая скорость отделяющегося пара относительно капли;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости газа;  $C_R^o$  – коэффициент сопротивления сферической твердой частицы диаметром  $\delta$  [4]:

$$C_R^o = 24 / Re, \quad Re = V \cdot \delta / \nu, \quad (3)$$

где  $V$  – скорость движения центра масс капли.

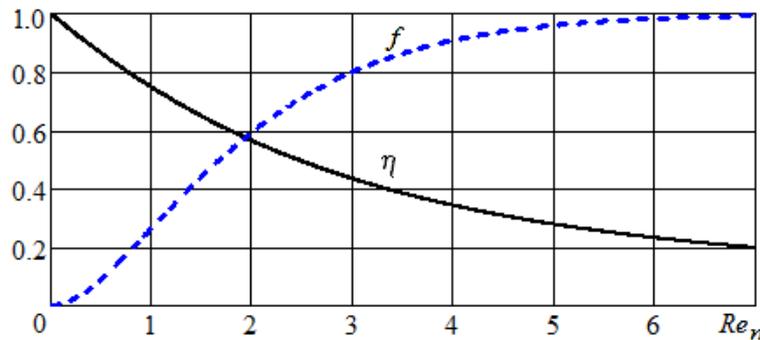


Рис. 1. Поправка Дуковича к силе аэродинамического сопротивления

Fig. 1. Dukowics correction to aerodynamic drag force

Получим формулу для вычисления числа Рейнольдса пара  $Re_n$ . Продифференцируем (1) по времени  $T$ :

$$2\delta \frac{d\delta}{dT} = -\delta_0^2 N. \quad (4)$$

Производная массы капли по времени

$$\frac{dm}{dT} = \frac{\pi}{6} \rho_p 3\delta^2 \frac{d\delta}{dT} = -\frac{\pi}{4} \delta \delta_0^2 N \rho_p, \quad (5)$$

где  $\rho_p$  – плотность капли.

Скорость отделяющегося пара найдем по его потоку массы и плотности  $V_n = G_n/\rho_n$ . Поток массы пара связан с изменением массы капли по времени

$$G_n \pi \delta^2 = -dm/dT. \quad (6)$$

Из (6) с учетом (5) следует

$$V_n = 0,25 N \frac{\delta_0^2 \rho_p}{\delta \rho_n}. \quad (7)$$

По скорости (7) вычислим число Рейнольдса пара

$$Re_n = 0,25 N \frac{\delta_0^2 \rho_p}{\nu \rho_n} = 4,5 N \frac{\delta_0^2}{18 \nu \lambda} \lambda_n = 4,5 n \lambda_n; \quad (8)$$

$$n = \frac{N}{\beta_0}, \quad \lambda_n = \frac{\rho_f}{\rho_n}, \quad \lambda = \frac{\rho_f}{\rho_p}, \quad \beta_0 = \frac{18 \nu \lambda}{\delta_0^2}.$$

Подставляя (8) в (2), получим, что коэффициент Дуковича уменьшается с ростом как безразмерной интенсивности испарения капли  $n$ , так и отношения плотностей  $\lambda_n$  (рис. 2).

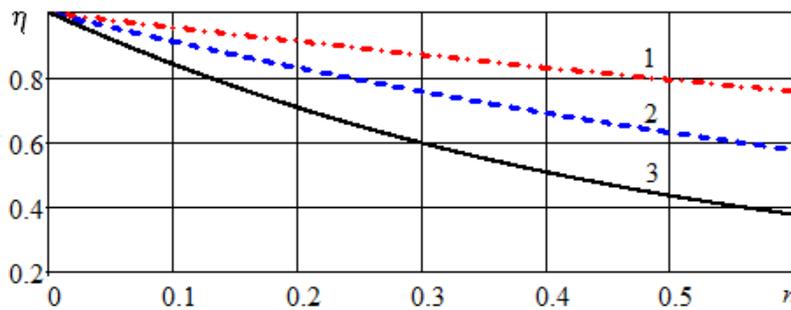


Рис. 2. Зависимость коэффициента Дуковича от интенсивности испарения при различных значениях  $\lambda_n$ : 1 –  $\lambda_n = 0,4$ ; 2 –  $\lambda_n = 0,5$ ; 3 –  $\lambda_n = 1,5$   
 Fig. 2. Dependence of the Dukowicz coefficient on the evaporation rate at different values of  $\lambda_n$ : 1 -  $\lambda_n = 0.4$ ; 2 -  $\lambda_n = 0.5$ ; 3 -  $\lambda_n = 1.5$

При рассматриваемой постановке задачи из действующих на каплю сил нужно учесть лишь силу тяжести и линейную силу гидродинамического сопротивления с поправкой Дуковича  $\eta$ :

$$\frac{dW_p}{dT} = g - \eta \frac{18 \nu \lambda}{\delta^2} W_p. \quad (9)$$

Так как  $\lambda \ll 1$ , в (9) не учитывается сила Архимеда и эффект присоединенных масс. С учетом изменения диаметра по формуле (1) из (9) получим уравнение

$$\frac{dW_p}{dT} = g - \beta_0 \frac{\eta W_p}{1 - Nt}. \quad (10)$$

Перепишем уравнение (10) в безразмерной форме

$$\frac{dw}{dt} = 1 - \frac{\eta w}{1 - nt}, \quad t = T\beta_0, \quad w = \frac{W_p \beta_0}{g}, \quad n = \frac{N}{\beta_0}. \quad (11)$$

Формула (8) показывает, что число Рейнольдса пара при испарении в неизменных условиях остается постоянным. Значит, остается постоянным и коэффициент Дуковича  $\eta$  в уравнении (11). Поэтому дифференциальное уравнение (11) является линейным и при нулевой начальной скорости  $W_p(0) = 0$  имеет следующее аналитическое решение:

$$w = \begin{cases} \left[ 1 - (1 - n \cdot t)^{(n-\eta)/n} \right] \cdot \frac{(1 - n \cdot t)^{\eta/n}}{n - \eta}, & n \neq \eta, \\ \left( t - \frac{1}{n} \right) \ln (1 - n \cdot t), & n = \eta. \end{cases} \quad (12)$$

$$z = \begin{cases} \left[ t - \frac{nt^2}{2} + \frac{(1 - nt)^{(\eta-n)/n} - 1}{n + \eta} \right] \frac{1}{n - \eta}, & n \neq \eta, \\ \left( \frac{t}{n} - \frac{t^2}{2} - \frac{1}{2n^2} \right) \ln (1 - nt) + \frac{t^3}{6} - \frac{t}{2n}, & n = \eta. \end{cases} \quad (13)$$

На рис. 3 кривые скорости падающей капли построены при  $\lambda_n = 1$  и четырех значениях безразмерной интенсивности испарения  $n$  ( $n \neq \eta$ ). Если испарение отсутствует ( $n = 0$ ), то при  $t \rightarrow \infty$  скорость капли стремится к скорости витания ( $w \rightarrow 1$ ). Чем выше безразмерная интенсивность испарения  $n$ , тем быстрее уменьшается размер капли, т. е. в уравнении (11) растет сила сопротивления среды, отнесенная к массе капли. Скорость капли достигает максимума, а затем падает до нуля, что соответствует полному испарению капли за время  $t_2 = 1/n$ . Если подставить  $t_2$  в формулу (13), то получим безразмерную высоту, на которой капля полностью испарится.

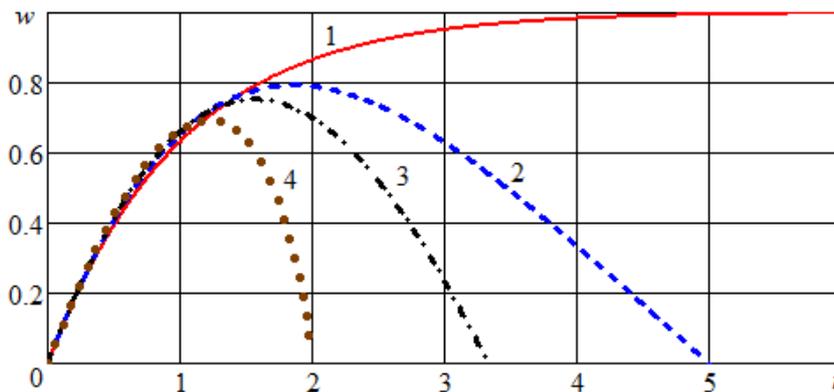


Рис. 3. Зависимость безразмерной скорости падающей испаряющейся капли от времени при  $\lambda_n = 1$  и различной интенсивности испарения:

1 -  $n = 0$ ; 2 -  $n = 0,2$ ; 3 -  $n = 0,3$ ; 4 -  $n = 0,5$

Fig. 3. Dependence of the dimensionless velocity of the falling evaporating droplet on time at  $\lambda_n = 1$  and different evaporation rates:

1 -  $n = 0$ ; 2 -  $n = 0.2$ ; 3 -  $n = 0.3$ ; 4 -  $n = 0.5$

Особо следует рассмотреть ранее не изученный случай  $n = \eta$ . На рис. 4 показана зависимость безразмерной скорости падающей испаряющейся капли от времени при малых значениях интенсивности испарения. Получается, что безразмерная скорость значительно превышает единицу, т. е. размерная скорость должна быть больше скорости витания.

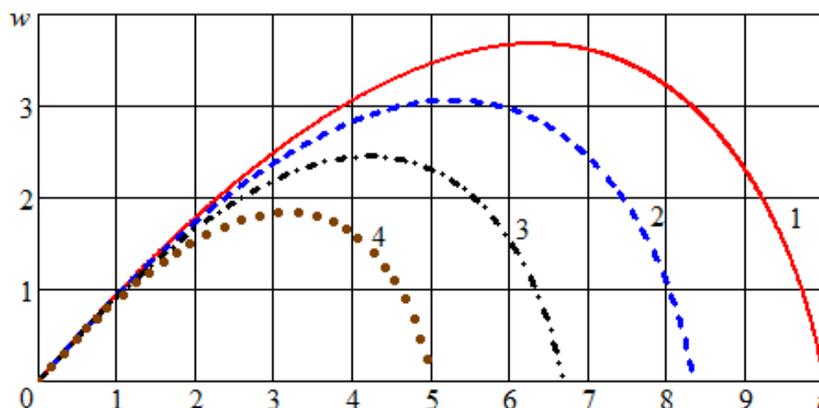


Рис. 4. Зависимость безразмерной скорости падающей испаряющейся капли от времени при  $n = \eta$ : 1 –  $n = 0,1$ ; 2 –  $n = 0,12$ ; 3 –  $n = 0,15$ ; 4 –  $n = 0,2$   
 Fig. 4. Dependence of the dimensionless velocity of the falling evaporating droplet on time at  $n = \eta$ : 1 –  $n = 0.1$ ; 2 –  $n = 0.12$ ; 3 –  $n = 0.15$ ; 4 –  $n = 0.2$

Задаваясь различными значениями  $n = \eta$ , рассчитаем по (2) соответствующие им значения  $\lambda_n$ . Результаты расчета представлены в таблице. Из нее видно, что для равенства  $n = \eta = 0,1$  отношение плотностей должно быть нереально большим  $\lambda_n = 33,7$ .

Таблица. Зависимость отношения плотностей газа и пара от интенсивности испарения капли при  $n = \eta$   
 Table. Dependence of the ratio of gas and vapor densities on the droplet evaporation rate at  $n = \eta$

| $n$         | 0,1  | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6  | 0,7  | 0,8  |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| $\lambda_n$ | 33,7 | 8,6 | 3,8 | 2,1 | 1,2 | 0,74 | 0,44 | 0,24 |

На рис. 5 показаны зависимости безразмерной скорости падающей испаряющейся капли от времени при  $0,45 \leq n \leq 0,7$ , что соответствует физически реализуемым в СОЖ отношениям плотностей  $\lambda_n$ . На рисунке видно, что безразмерная скорость остается меньше единицы (размерная скорость – меньше скорости витания).

На рис. 6 зависимости безразмерной скорости падающей испаряющейся капли от времени построены при интенсивности испарения  $n = 0,2$  и четырех значениях отношения плотности  $\lambda_n$ . Так как величина  $n$  во всех случаях одинакова, безразмерное время полного испарения равно 5. При больших значениях  $\lambda_n$  мак-

симум скорости падающей капли выше (рис. 6), поэтому капли успевают пролететь большее расстояние до полного испарения.

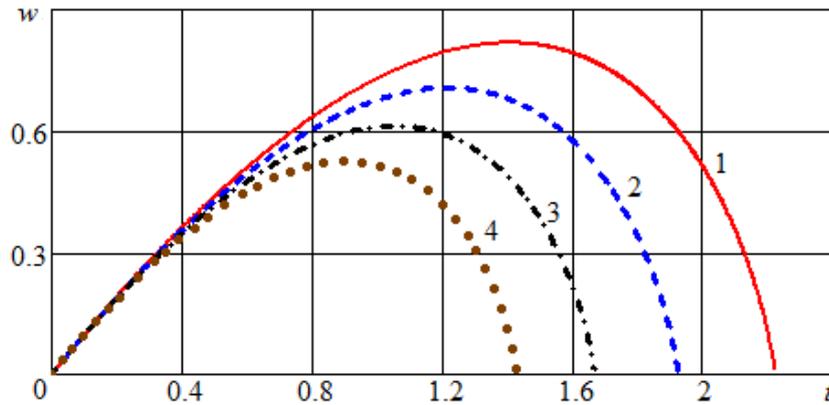


Рис. 5. Зависимость безразмерной скорости падающей испаряющейся капли от времени при  $n = \eta$ : 1 –  $n = 0,45$ ; 2 –  $n = 0,52$ ; 3 –  $n = 0,6$ ; 4 –  $n = 0,7$   
 Fig. 5. Dependence of the dimensionless velocity of the falling evaporating droplet on time at  $n = \eta$ : 1 –  $n = 0,45$ ; 2 –  $n = 0,52$ ; 3 –  $n = 0,6$ ; 4 –  $n = 0,7$

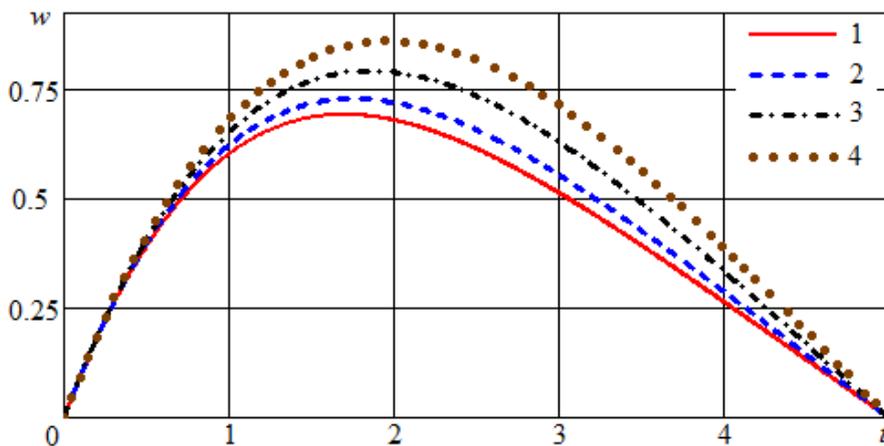


Рис. 6. Зависимость безразмерной скорости падающей испаряющейся капли от времени при  $n = 0,2$  и различных значениях  $\lambda_n$ :  
 1 –  $\lambda_n = 0,2$ ; 2 –  $\lambda_n = 0,5$ ; 3 –  $\lambda_n = 1$ ; 4 –  $\lambda_n = 1,5$

Fig. 6. Dependence of the dimensionless velocity of the falling evaporating droplet on time at  $n = 0.2$  and different values  $\lambda_n$ :  
 1 –  $\lambda_n = 0.2$ ; 2 –  $\lambda_n = 0.5$ ; 3 –  $\lambda_n = 1$ ; 4 –  $\lambda_n = 1.5$

#### ДИНАМИКА КАПЛИ ВБЛИЗИ НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

На втором этапе рассмотрим динамику падающей капли вблизи нагретой горизонтальной поверхности. Если условия испарения частицы (капли) неоднородны, то реактивная сила не равна нулю. Выражение для реактивной силы, действующей на испаряющуюся каплю, достигшую температуры кипения  $\Theta_s$ , в потоке с температурным градиентом имеет следующий вид [7]:

$$F_R = -\frac{\pi \delta Nu^2 \chi^2}{3 r^2 \rho_n} (\Theta - \Theta_s) \frac{\partial \Theta}{\partial Z}, \quad (14)$$

где  $Nu$  – число Нуссельта частицы;  $r$  – удельная теплота парообразования;  $\rho_n$  – плотность пара у поверхности капли;  $\chi$  – коэффициент теплопроводности;  $\Theta$  – температура газа.

Согласно (14) реактивная сила направлена в сторону убывания температуры газа в потоке (т. е. от нагретой поверхности). По формуле (5) интенсивность испарения

$$N = -\frac{4}{\pi \delta \delta_0^2 \rho_p} \frac{dm}{dT}. \quad (15)$$

Так как капля достигла температуры кипения, то весь тепловой поток расходуется на испарение капли:

$$\frac{dm}{dT} = -\frac{\pi \delta^2 \alpha \cdot (\Theta - \Theta_s)}{r} = -\frac{\pi \cdot \chi Nu \cdot \delta \cdot (\Theta - \Theta_s)}{r}. \quad (16)$$

Подставим (16) в (15)

$$N = \frac{4 \chi Nu \cdot (\Theta - \Theta_s)}{\delta_0^2 \rho_p r}. \quad (17)$$

Рассмотрим осаждение испаряющейся капли, достигшей температуры кипения, в неподвижном газовом слое. Высота слоя  $H$ . Пусть температура газа линейно увеличивается по координате  $Z$  (вниз), на внешней границе  $\Theta = \Theta_s$ , на поверхности  $\Theta = \Theta_w$ . Тогда градиент температуры в формуле (14) равен

$$\frac{\partial \Theta}{\partial Z} = \frac{\Theta_w - \Theta_s}{H}. \quad (18)$$

Запишем дифференциальное уравнение осаждающейся капли (9), полагая, что число Рейнольдса  $Re < 1000$  и добавив реактивную силу (14):

$$\frac{dW_p}{dT} = g - \eta \cdot c \frac{18 \nu \lambda}{\delta^2} W_p - \frac{2}{\rho_n \rho_p} \frac{\Theta_w - \Theta_s}{H} (\Theta - \Theta_s) \left( \frac{\chi \cdot Nu}{r \cdot \delta} \right)^2, \quad (19)$$

$$c(Re) = 1 + 0,15 Re^{0,687}.$$

С учетом изменения диаметра по формуле (1) из (19) получим уравнение

$$\frac{dW_p}{dT} = g - \beta_0 \frac{c \cdot \eta W_p}{1 - Nt} - A \frac{(\Theta - \Theta_s)}{1 - Nt}, \quad (20)$$

где 
$$A = \frac{2}{\rho_n \rho_p} \frac{\Theta_w - \Theta_s}{H \cdot \delta_0^2} \left( \frac{\chi \cdot Nu}{r} \right)^2. \quad (21)$$

Перепишем уравнение (20) в безразмерной форме

$$\frac{dw}{dt} = 1 - \frac{c \cdot \eta w + a \theta(z)}{1 - nt}, \quad \theta = \frac{\Theta - \Theta_s}{\Theta_w - \Theta_s}, \quad t = T \beta_0, \quad w = \frac{W_p \beta_0}{g}, \quad (22)$$

$$n = \frac{N}{\beta_0} = \frac{2 \chi Nu \cdot (\Theta - \Theta_s)}{9 \rho_f \nu \cdot r} = b \cdot \theta(z), \quad Re = \zeta \cdot w \cdot \bar{\delta}, \quad \zeta = \frac{\delta_0 g}{\beta_0 \nu}, \quad (23)$$

$$a = \frac{2}{\rho_n \rho_p} \frac{(\Theta_w - \Theta_s)^2}{g \cdot H \cdot \delta_0^2} \left( \frac{\chi \cdot Nu}{r} \right)^2, \quad b = \frac{2\chi \cdot Nu \cdot (\Theta_w - \Theta_s)}{9\rho_f \nu \cdot r}. \quad (24)$$

Начальные условия к системе уравнений движения капли:

$$w(0) = 0, \quad z(0) = 0. \quad (25)$$

Критериями подобия являются безразмерные комплексы:  $a, b, \lambda_n, \zeta$ . Задача решалась численным методом в среде Mathcad. На рис. 7-10 представлено влияние значений критериев подобия на результаты расчетов.

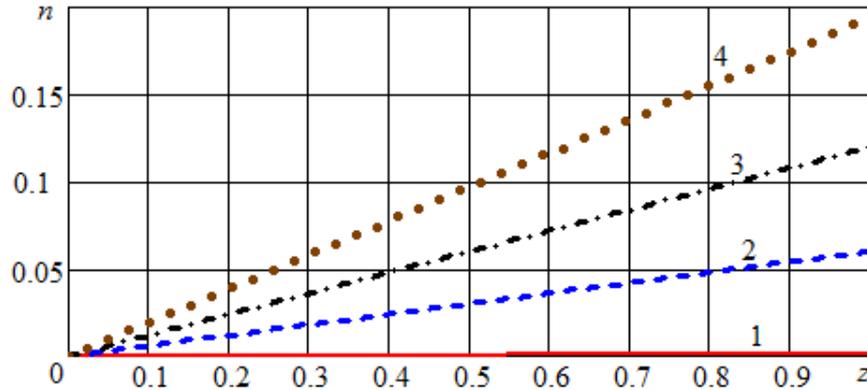


Рис. 7. Изменение безразмерной интенсивности испарения по высоте

при  $a = 0,1; \lambda_n = 1; \zeta = 20$  и различных значениях  $b$ :

1 –  $b = 0,001$ ; 2 –  $b = 0,06$ ; 3 –  $b = 0,12$ ; 4 –  $b = 0,19$

Fig. 7. Change of dimensionless evaporation rates at the height  $a = 0.1; \lambda_n = 1; \zeta = 20$  and different values of  $b$ :

1 –  $b = 0.001$ ; 2 –  $b = 0.06$ ; 3 –  $b = 0.12$ ; 4 –  $b = 0.19$

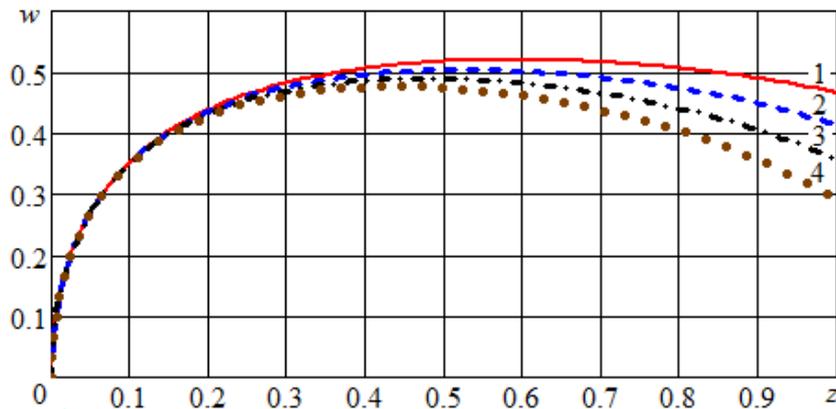


Рис. 8. Изменение безразмерной скорости капли по высоте

при  $b = 0,15; \lambda_n = 1; \zeta = 20$  и различных значениях  $a$ :

1 –  $a = 0,1$ ; 2 –  $a = 0,2$ ; 3 –  $a = 0,3$ ; 4 –  $a = 0,4$

Fig. 8. Change of dimensionless velocity of the droplet at the height

$b = 0.15; \lambda_n = 1; \zeta = 20$  and different values of  $a$ :

1 –  $a = 0.1$ ; 2 –  $a = 0.2$ ; 3 –  $a = 0.3$ ; 4 –  $a = 0.4$

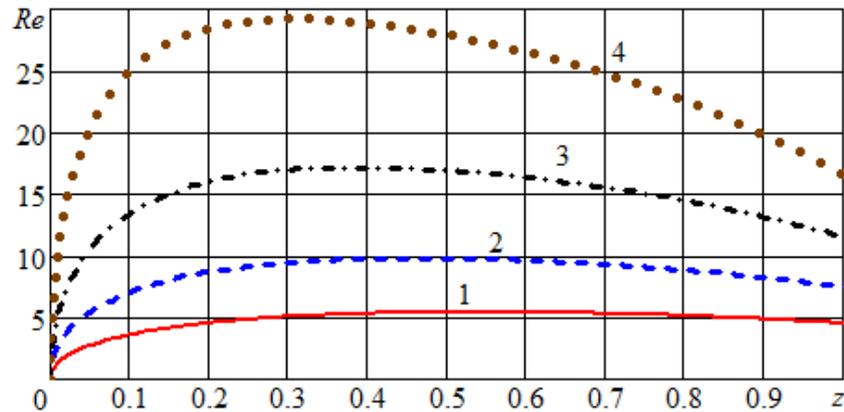


Рис. 9. Изменение числа Рейнольдса капли по высоте при  $a = 0,1$ ;  $b = 0,15$ ;  $\lambda_n = 1$  и различных значениях  $\zeta$  :  
 1 –  $\zeta = 10$ ; 2 –  $\zeta = 20$ ; 3 –  $\zeta = 40$ ; 4 –  $\zeta = 80$

Fig. 9. Change of the number of Reynolds drops at the height  $a = 0.1$ ;  $b = 0.15$ ;  $\lambda_n = 1$  and different values of  $\zeta$  :  
 1 –  $\zeta = 10$ ; 2 –  $\zeta = 20$ ; 3 –  $\zeta = 40$ ; 4 –  $\zeta = 80$

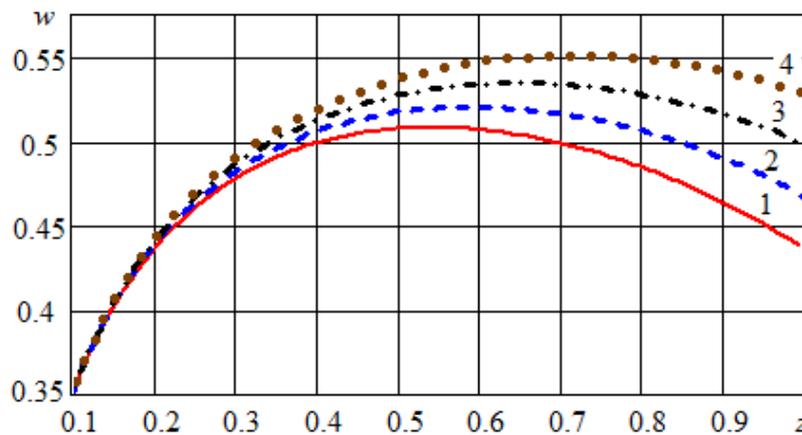


Рис. 10. Изменение безразмерной скорости капли по высоте при  $a = 0,1$ ;  $b = 0,15$ ;  $\zeta = 20$  и различных значениях  $\lambda_n$  :  
 1 –  $\lambda_n = 0,5$ ; 2 –  $\lambda_n = 1$ ; 3 –  $\lambda_n = 1,5$ ; 4 –  $\lambda_n = 2$

Fig. 10. Change of dimensionless velocity of the droplet at the height  $a = 0.1$ ;  $b = 0.15$ ;  $\zeta = 20$  and different values of  $\lambda_n$  :  
 1 –  $\lambda_n = 0.5$ ; 2 –  $\lambda_n = 1$ ; 3 –  $\lambda_n = 1.5$ ; 4 –  $\lambda_n = 2$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для условий в СП СОЖ установлено влияние поправки Дуковича к силе аэродинамического сопротивления на динамику падающей испаряющейся капли. Коэффициент Дуковича определяется числом Рейнольдса, рассчитанным по среднemasовой скорости отделяющегося пара. Показано, что при неизменных усло-

виях это число прямо пропорционально отношению плотности воздуха к плотности пара. Важную роль играет безразмерная интенсивность испарения капли смазывающей жидкости  $n$ . Когда отношение плотностей достигло значения 1,5 при  $n > 0,6$ , сила аэродинамического сопротивления испаряющейся капли составляла менее 40 % величины силы для неиспаряющейся капли.

Впервые был исследован частный случай, когда безразмерная интенсивность испарения равна коэффициенту Дуковича. Эта интенсивность не может задаваться произвольно, так как при малых величинах получается столь большое значение отношения плотностей, что оно не может быть физически реализовано. В СП СОЖ безразмерная интенсивность испарения  $n$  изменялась в диапазоне (0,45; 0,7).

На основе ранее выведенной формулы для реактивной силы предложена математическая модель динамики испаряющейся капли, падающей на горизонтальную стенку, при линейном профиле температуры газа. Система уравнений приведена к безразмерной форме. Задача решена численным методом в среде Mathcad. Установлено, что критериями подобия задачи являются четыре безразмерные комплекса. Показано, как значения критериев подобия влияют на скорость и интенсивность испарения капли.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лышевский, А. С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками / А. С. Лышевский. – Москва: Машгиз, 1963. – 180 с.
2. Акимов, В. М. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей: учебник / В.М. Акимов [и др.] / под ред. С. М. Шляхтенко. – Москва: Машиностроение, 1987. – 568 с.
3. Великанов, Н. Л. Гидравлический расчет системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону обработки материала / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов, С. И. Корягин // Вестник машиностроения. – 2017. – № 10. – С. 70-74.
4. Crowe, C.T. Multiphase Flows with Droplets and Particles / C.T. Crowe, M. Sommerfeld, Y. Tsuji. – Florida: CRC Press, 1998. – 471 p.
5. Dukowics, J.K. An exact solution for drag of sphere in a low Reynolds number flow with strong uniform suction or blowing / J.K. Dukowics // Physics of Fluids. – 1982. – V. 25, no. 7, pp. 1117-1118.
6. Ganić, E.N. On the mechanism of liquid drop deposition in two-phase dispersed flow / E.N. Ganić, W.M. Rohsenow // Journal of Heat Transfer. Transactions of the ASME. Series C. – 1979. – V. 101, no. 2, pp. 288-294.
7. Наумов, В. А. Реактивная сила, действующая на испаряющуюся каплю / В. А. Наумов // Промышленная теплотехника. – 1993. – Т. 15, № 4. – С. 62-64.
8. Наумов, В. А. Динамика дисперсной частицы в вязкой среде / В. А. Наумов // Математическое моделирование. – 2006. – Т. 18, № 5. – С. 27-36.
9. Дахин, С. В. К определению относительной скорости капли жидкости в потоке газа / С. В. Дахин, И. Г. Дроздов, Д. П. Шматов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9, № 5. – С. 86-90.
10. Волков, А. В. Расчет испарения и динамики движущихся капель топлива / А. В. Волков // Молодой ученый. – 2018. – № 51. – С. 19-30.

11. Липантьев, Р. Е. Высокотемпературная термическая подготовка сернистых мазутов к сжиганию в топках энергетических котлов: моногр. / Р. Е. Липантьев, В. П. Тутубалина. – Варшава: Изд-во iScience, 2018. – 60 с.

#### REFERENCES

1. Lyshevskiy A. S. *Processy raspylivaniya topliva dizel'nymi forsunkami* [Process of atomization of the diesel fuel injectors]. Moscow, Mashgiz Publ., 1963, 180 p.
2. Akimov V. M., Bakulev V. I., Kurziner R. I. et al. *Teoriya i raschet vozdušno-reaktivnykh dvigateley: uchebnik* [Theory and calculation of air-jet engines: textbook]. Edit. S. M. Shlyakhtenko. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 568 p.
3. Velikanov N. L., Naumov V. A., Koryagin S. I. *Gidravlicheskiy raschet sistemy podachi smazochno-ohlazhdayushchey zhidkosti v zonu obrabotki materiala* [Hydraulic calculation of the supply lubricating fluid system to the treatment zone]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2017, no. 10, pp. 70-74.
4. Crowe C. T., Sommerfeld M., Tsuji Y. *Multiphase Flows with Droplets and Particles*. Florida, CRC Press, 1998. 471 p.
5. Dukowics J. K. An exact solution for drag of sphere in a low Reynolds number flow with strong uniform suction or blowing. *Physics of Fluids*, 1982, vol. 25, no. 7, pp. 1117-1118.
6. Ganić E. N., Rohsenow W. M. On the mechanism of liquid drop deposition in two-phase dispersed flow. *Journal of Heat Transfer. Transactions of the ASME. Series C*, 1979, vol. 101, no. 2, pp. 288-294.
7. Naumov V. A. Reaktivnaya sila, deystvuyushchaya na ispariyayushchuyusya kaplyu [Reactive force acting on the evaporating drop]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 1993, vol. 15, no. 4, pp. 62-64.
8. Naumov V. A. Dinamika dispersnoy chastitsy v vyazkoy srede [Dynamics of a dispersed particle in a viscous medium]. *Matematicheskoe modelirovanie*, 2006, vol. 18, no. 5, pp. 27-36.
9. Dahin S. V., Drozdov I. G., Shmatov D. P. K opredeleniyu odnositel'noy skorosti kapli zhidkosti v potoke gaza [On determination of relative velocity of liquid drop in a gas flow]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, vol. 9, no. 5, pp. 86-90.
10. Volkov A. V. Raschet ispareniya i dinamiki dvizhushchikhsya kapel' topliva [Calculation of evaporation and the dynamics of moving fuel drops]. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 51, pp. 19-30.
11. Lipant'ev R. E., Tutubalina V. P. *Vysokotemperaturnaya termicheskaya podgotovka sernistykh mazutov k szhiganiyu v topkakh energeticheskikh kotlov* [High temperature thermal preparation of sulfur fuel oils for burning in the furnaces of power boilers]. Warsaw, iScience Publ., 2018. 60 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

*Великанов Николай Леонидович* – Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта (г. Калининград); доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой машиноведения и технических систем; E-mail: monolit8@yandex.ru

*Velikanov Nikolay Leonidovich* – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: monolit8@yandex.ru

УДК 629.576

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДЛИНЕНИЯ КРЫЛА  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭКРАННОГО  
ЭФФЕКТА АМФИБИЙНОГО СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ  
С АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКОЙ

А. В. Февральских

NUMERICAL INVESTIGATION OF WING IN GROUND EFFECT ASPECT RATIO  
INFLUENCE ON MOTION CHARACTERISTICS OF WIG HOVERCRAFT

A. V. Fevral'skikh

С использованием методов численного моделирования экранной аэродинамики, реализованных в программном обеспечении ANSYS Fluent, исследуются компоновочные варианты судна нового архитектурно-конструктивного типа – амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой (АСВП с АР). Особенностью АСВП с АР является возможность крейсерского хода как на статической воздушной подушке с гибким ограждением баллонетного типа, так и в режиме экранного полета после трансформации носового и кормового ограждения воздушной подушки. Для определения влияния удлинения крыла на характеристики ходкости и устойчивости движения АСВП с АР под действием экранного эффекта выбраны четыре подобных компоновочных варианта, отличающихся формой крыльев в плане. Результаты численного моделирования экранной аэродинамики на различных высотах движения, выраженных в долях средней аэродинамической хорды крыла соответствующей компоновки, показывают, что применение крыла большого удлинения в компоновке АСВП с АР способствует повышению аэродинамического качества судна при движении на режиме экранного полета.

В то же время использование в компоновке АСВП с АР крыла со значением удлинения более четырех-пяти единиц приводит к существенному снижению абсолютной величины производной коэффициента подъемной силы по высоте движения над экраном, рассматриваемой в качестве характеристики влияния экранного эффекта. Тем самым применение в компоновке АСВП с АР крыла со сравнительно большим значением удлинения может повлечь ухудшение характеристик продольной статической устойчивости экранного полета. Определенная по результатам численного моделирования экранной аэродинамики зависимость характеристики влияния экранного эффекта от удлинения крыла компоновки может быть использована в ходе разработки технического предложения и эскизного проекта перспективного АСВП с АР.

*амфибийное судно на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой, проектирование, экранный эффект, численное моделирование*

Using methods of numerical simulations of ground effect aerodynamics realized in ANSYS Fluent software the layout variants of the new kind of vehicle design type – wing-in-ground effect hovercraft – are investigated. The specialty of wing-in-ground effect hovercraft is the possibility of cruising both on a static air cushion with flexible balloon-like seal, and on ground effect motion mode after transformation of the bow and stern seal. To investigate the effect of wing aspect ratio on the characteristics of propulsion and stability of wing-in-ground effect hovercraft movement under the action of the ground effect, four similar layout variants were chosen, differing in the shape of the wing plane. The results of numerical simulation of ground effect aerodynamics at different heights of movement, expressed in fractions of the average aerodynamic chord of the corresponding layout, are presented here. The results show that the use of a wing with the high value of aspect ratio in the layout of wing-in-ground effect hovercraft contributes to increase the aerodynamic lift-to-drag ratio of the vessel when driving on ground flight mode. At the same time, the use in the layout of wing-in-ground effect hovercraft a wing with the aspect ratio value of more than four to five units leads to a significant decrease in the absolute value of the derivative of the lift coefficient with respect to height of movement above the ground, considered as a parameter of the screen effect. Thus, the use in the layout of wing-in-ground effect hovercraft a wing with a relatively large aspect ratio value can lead to deterioration of the characteristics of the longitudinal static stability of ground effect motion. The characteristic dependence of the ground effect influence parameter on the wing aspect ratio of the layout determined from the results of numerical simulation of ground effect aerodynamics can be used during the development of a technical proposal and draft design of a promising layout wing-in-ground effect hovercraft.

*wing in ground effect hovercraft, vehicle design, numerical investigation*

## ВВЕДЕНИЕ

Среди многообразия архитектурно-конструктивных типов судов для обеспечения транспортной доступности отдаленных районов Сибири и Дальнего Востока, а также освоения Арктики наибольший интерес вызывают суда на воздушной подушке (СВП) и экранопланы [1].

Анализ ограничений существующих типов судов с аэродинамическими принципами поддержания – СВП и экранопланов – привел к идее разработки новой концепции амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой (АСВП с АР) [2]. В отличие от других судов с аэродинамическим поддержанием, АСВП с АР имеет возможность крейсерского хода как на статической воздушной подушке, так и на режиме экранного полета. При использовании в компоновке АСВП с АР воздушной подушки с баллонетным ограждением возможно достижение преимуществ наиболее популярных в России скоростных амфибийных судов – баллонетных СВП. К преимуществам последних относится маневренность движения на воздушной подушке на малых скоростях, экономичность, безопасность, пониженные в сравнении с объектами авиации и другими видами скоростного флота требования к техническому обслуживанию и условиям базирования. На режиме экранного полета АСВП с АР может обладать высоким аэродинамическим качеством за счет влияния экранного эффекта и, соответственно, большей, чем у СВП, дальностью движения (рис. 1).



Рис. 1. Самоходная модель АСВП с АР проекта «Тунгус»

Fig. 1. Self-propelled model of wing-in-ground effect hovercraft of «Tungus» project

Однако для создания этого нового типа судов с аэродинамическим подержанием необходимо решить ряд задач концептуального проектирования, в том числе – разработать рациональную аэрогидродинамическую компоновку. Поскольку концепция АСВП с АР получила воплощение сравнительно недавно (2013 – 2015 гг.) и существует лишь в нескольких проектах, то ощущается недостаток исходных данных для построения оптимизационных многокритериальных зависимостей, актуальных для использования в проектировании перспективных образцов. Такими данными могли бы стать результаты испытаний натурных или масштабных моделей АСВП с АР различных проектов, представленные в виде пространства зависимостей аэродинамических характеристик от параметров компоновки (размерений, углов установки и других характеристик) на различных режимах движения. Однако экспериментальные исследования с масштабными моделями судов обладают известными ограничениями [3], среди которых можно выделить высокую стоимость изготовления моделей и проведения испытаний, их трудоемкость и длительность. В качестве одного из альтернативных подходов к определению аэродинамических характеристик судна, использующего влияние экранного эффекта, применяется численное моделирование экранной аэродинамики, реализованное в программном обеспечении автоматизированного проектирования ANSYS. Этот подход успешно зарекомендовал себя в ряде работ [4-6], и его использование может рассматриваться в качестве оптимального инструмента проектных исследований в ходе разработки технического предложения и эскизного проекта перспективного АСВП с АР.

#### УДЛИНЕНИЕ КРЫЛА ЭКРАНОПЛАНА И АСВП С АР

Одним из важнейших конструктивных параметров, влияющих на аэродинамические характеристики движения судна под действием экранного эффекта, является удлинение крыла. В классических компоновках экранопланов с поддувом маршевых движителей на стартовом режиме удлинение крыла  $\lambda$  не превышало 2-3 единиц [7; 8]. При использовании статической воздушной подушки, ор-

ганизованной под частью нижней поверхности крыла с помощью пневмооболочечного ограждения и поддерживаемой работой нагнетающих вентиляторов, становится возможным применение в аэродинамической компоновке составного крыла с развитыми консолями. В общем, известно, что с ростом удлинения аэродинамического крыла повышается его аэродинамическое качество при прочих равных условиях. В случае с АСВП с АР, осуществляющего движение под действием экранного эффекта и обладающего нетрансформируемыми элементами ограждения воздушной подушки (а именно бортовыми пневмобаллонами), вопрос об эффективности большого (по сравнению с традиционными экранопланами) удлинения крыла остается открытым. Кроме того, представляется актуальным установить зависимость между величиной удлинения крыла и характеристикой влияния экранного эффекта  $c_y^{\bar{h}}$  (производной коэффициента подъемной силы по высоте движения над экраном), с использованием которой определяются характеристики продольной статической устойчивости движения судна под действием экранного эффекта [9]. Критерии продольной статической устойчивости движения экраноплана, предложенные Иродовым [9], выражены в соотношениях (1).

$$\begin{aligned} \Delta \bar{X}_F &= \bar{X}_{F_h} - \bar{X}_{F_\alpha} < 0 ; \\ \Delta \bar{X}_{TF} &= \bar{X}_T - \bar{X}_{F_\alpha} < 0 . \end{aligned} \quad (1)$$

Координаты аэродинамического фокуса по высоте  $\bar{X}_{F_h}$  и аэродинамического фокуса по углу атаки  $\bar{X}_{F_\alpha}$ , а также координата положения центра тяжести  $\bar{X}_T$  в долях средней аэродинамической хорды крыла в направлении от носа к корме экраноплана определяются по соотношениям (2).

$$\begin{aligned} \bar{X}_{F_h} &= \frac{\partial m_z / \partial \bar{h}}{\partial c_y / \partial \bar{h}} = m_z^{\bar{h}} / c_y^{\bar{h}} ; \\ \bar{X}_{F_\alpha} &= \frac{\partial m_z / \partial \alpha}{\partial c_y / \partial \alpha} = m_z^\alpha / c_y^\alpha . \end{aligned} \quad (2)$$

В соотношениях (2)  $m_z$  - коэффициент момента тангажа;  $c_y$  - коэффициент подъемной силы;  $\alpha$  - угол атаки;  $\bar{h}$  - высота движения над экраном в долях средней аэродинамической хорды, определяемая как расстояние от экранирующей поверхности до задней кромки крыла;  $m_z^{\bar{h}}$  и  $c_y^{\bar{h}}$  - производные аэродинамических коэффициентов по высоте;  $m_z^\alpha$  и  $c_y^\alpha$  - производные по углу атаки.

В целях выявления влияния удлинения крыла на аэродинамическое качество АСВП с АР с использованием технологий численного моделирования выполнено исследование экранной аэродинамики четырех компоновочных вариантов. Принимается обращение движения. Постановка задачи численного моделирования экранной аэродинамики включает построение геометрических моделей исследуемых областей течения с гипотезой симметрии течения относительно диаметральной плоскости судна. Использовались гексаэдрические сеточные модели с количеством контрольных объемов около 5 млн. единиц. Для замыкания

системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, принималась модель турбулентности Ментера SST. Все геометрические и сеточные модели выполнены полноразмерными, что исключает влияние масштабного эффекта на результаты определения коэффициентов аэродинамической подъемной силы. Число Рейнольдса аэродинамического течения  $Re \sim 10^7$ . Расчетная модель области аэродинамического течения, выбранная в форме параллелепипеда, показана на рис. 2. Расстояние от нижней грани параллелепипеда (экрана) до судна определяется выбранным значением высоты движения над экраном  $\bar{h}$  в долях САХ. Объем судна вычитается из объема параллелепипеда, и таким образом задача определения аэродинамических сил, действующих на судно, сводится к задаче определения сил, действующих со стороны аэродинамического течения внутри параллелепипеда на поверхности, соответствующие поверхностям судна: вместо судна в параллелепипед включена непроницаемая полая область.

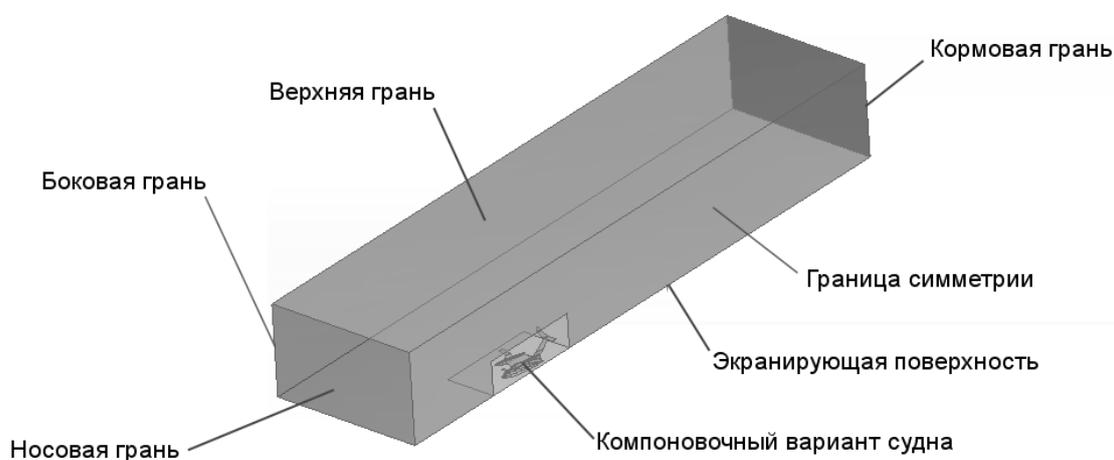


Рис. 2. Расчетная модель экранной аэродинамики АСВП с АР  
 Fig. 2. Calculation model of ground effect aerodynamics of wing-in-ground effect hovercraft

Для минимизации влияния границ параллелепипеда на результаты численного моделирования расстояние от поверхности исследуемого компоновочного варианта до носовой и верхней граней параллелепипеда составляет не менее пяти длин средней аэродинамической хорды (САХ) крыла; до боковой грани не менее 10 длин САХ. Кормовая грань параллелепипеда отнесена от поверхности компоновочного варианта не менее чем на 20 длин САХ. На носовой грани выбирается граничное условие проникновения аэродинамического течения в параллелепипед с заданной скоростью (условие типа Inlet) с точностью до знака соответствующей скорости движения АСВП с АР под действием экранного эффекта; на кормовой грани – условие свободного истечения из параллелепипеда с нулевым перепадом давления (типа Outlet). На боковой и верхней гранях задано условие свободного проникновения воздуха из и внутрь параллелепипеда, также без перепада давления (тип Opening). На экранирующей поверхности задано условие твердой стенки без прилипания с проскальзыванием (тип Wall). Границе симметрии присвоен со-

ответствующий тип граничного условия Symmetry. На поверхности судна условие типа Wall принимается без прилипания и без проскальзывания.

Один расчетный случай моделирования аэродинамического течения с заданным положением компоновочного варианта по безразмерной высоте  $\bar{h}$  относительно экрана включает построение CAD-геометрии области течения и генерацию контрольно-объемной сеточной модели в программном пакете ANSYS ICEM CFD, передачу ее в препроцессор ANSYS CFX-Pre, численное решение уравнений Навье-Стокса с использованием программы ANSYS CFX-Solver, анализ результатов решения в программе ANSYS CFD-Post. Для автоматизации численных исследований использовалась общая блочная топология для всех компоновочных вариантов, подгружаемая в ANSYS ICEM CFD, с заданным разбиением ребер блоков. Поверхностям области аэродинамического течения различных расчетных случаев присваивались одинаковые наименования в ANSYS ICEM CFD, что способствовало автоматизации задания граничных условий для разных сеточных моделей в ANSYS CFX-Pre (общий файл препроцессора). И также один файл настроек анализа результатов использовался в ANSYS CFD-Post. Структурная схема (алгоритм) численного исследования с учетом использованных возможностей автоматизации на уровне обмена файлами настроек между отдельными процессами представлен на рис. 3.

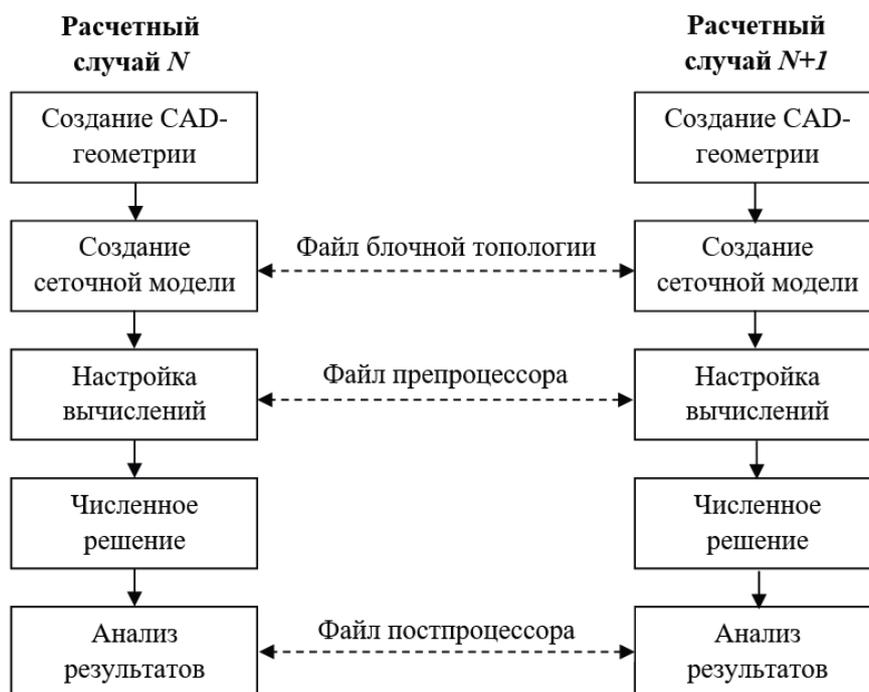


Рис. 3. Структурная схема (алгоритм) численного исследования  
 Fig. 3. Structural scheme (algorithm) of numerical research

Всего по представленной на рис. 3 схеме выполнены численные исследования для более чем двадцати расчетных случаев. При этом площадь крыла и удлинение центроплана, под которым расположена воздушная подушка, у исследованных компоновочных вариантов АСВП с АР имеют одинаковые значения. Размеры рубки, баллонетов и оперения компоновок также одинаковы. Удлинения

крыла принятых к исследованию компоновочных вариантов АСВП с АР  $\lambda$  имеют значения 2.6; 5; 6.4; 8.3. Результаты численного моделирования экранной аэродинамики в виде зависимостей аэродинамического качества  $K$  компоновок от безразмерного зазора между задней кромкой крыла и экраном  $\bar{h}$  для движения с дифферентом  $\alpha=0^\circ$ , а также зависимость  $C_y^{\bar{h}}$  от удлинения крыла  $\lambda$  для  $\bar{h} = 0.2$  приведены на рис. 4, 5.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты численных исследований показывают, что аэродинамическое качество  $K$  компоновочных вариантов АСВП с АР с удлинением крыла  $\lambda \geq 5$  выше, чем аэродинамическое качество компоновки с  $\lambda = 2.6$ , примерно в 1.8 раза и достигает значения  $K=29$  единиц (рис. 4).

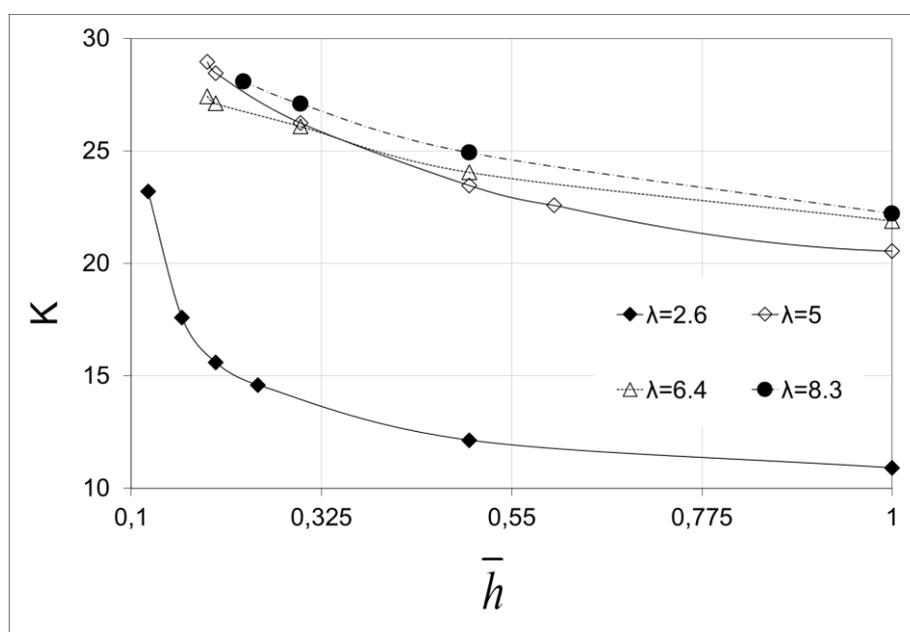


Рис. 4. Зависимости аэродинамического качества компоновочных вариантов АСВП с АР с различными значениями удлинения крыла  $\lambda$  от безразмерной высоты движения  $\bar{h}$

Fig. 4. Dependences of the lift-to-drag ratio of wing-in-ground effect hovercraft layout variants with different values of the wing aspect ratio  $\lambda$  on ground clearance  $\bar{h}$

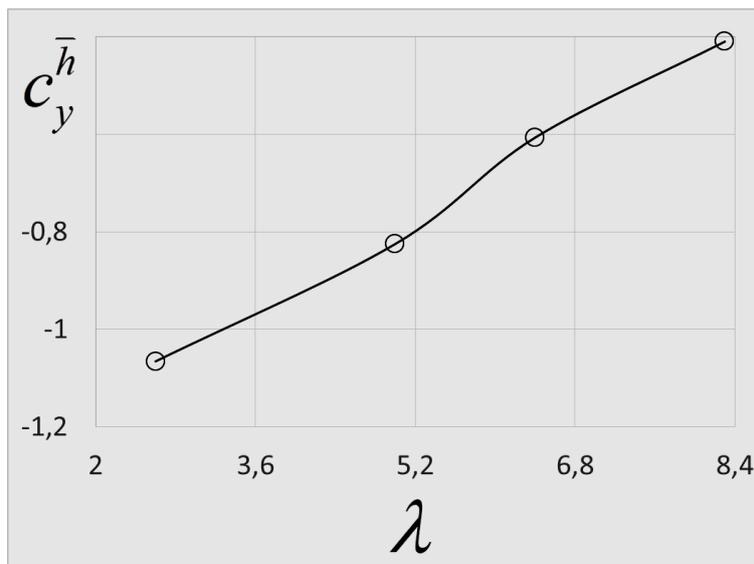


Рис. 5. Зависимость характеристики влияния экранного эффекта (производной коэффициента подъемной силы по высоте движения над экраном, вычисленной в долях средней аэродинамической хорды) от удлинения крыла  $\lambda$  компоновочных вариантов АСВП с АР для  $\bar{h} = 0.2$

Fig. 5. Dependences of the ground impact characteristic (the derivative of the lift coefficient for the height of motion above the ground, calculated in fractions of the average aerodynamic chord) on the wing aspect ratio  $\lambda$  of wing-in-ground effect hovercraft layout variants for  $\bar{h} = 0.2$

Высокое аэродинамическое качество компоновочных вариантов АСВП с АР с удлинением крыла  $\lambda \geq 5$  объясняется, с одной стороны, снижением аэродинамического сопротивления компоновки за счет устранения концевых шайб (рис. 1) и замены их на винглет, обладающий собственным значением аэродинамического сопротивления  $C_{x\_вингл} \approx 0$  (а при некоторых углах установки винглета наблюдались значения  $C_{x\_вингл} < 0$  – винглет «работал» на тягу). С другой стороны, с ростом удлинения крыла имеет место снижение индуктивной составляющей аэродинамического сопротивления, которая, несмотря на квадратичную зависимость от коэффициента подъемной силы, не превышает 5-10% величины полного аэродинамического сопротивления. При этом согласно результатам численного моделирования при увеличении удлинения  $\lambda$  крыла АСВП с АР на 40% коэффициент подъемной силы  $C_y$  растет примерно на 15%, т. е. резкий прирост аэродинамического качества компоновочных вариантов с винглетами вместо концевой шайбы связан в большей степени с изменением полного аэродинамического сопротивления.

В то же время с ростом удлинения  $\lambda$  наблюдается значительное снижение влияния экранного эффекта на характеристики движения АСВП с АР. В отличие от экранопланов с крылом  $\lambda = 2...4$ , с приближением к экрану крыла большого удлинения с  $\lambda \geq 5$  происходит менее интенсивный рост подъемной силы. Это свойство иллюстрируется зависимостью  $C_y^{\bar{h}}(\lambda)$  (рис. 5), которая имеет вид, близ-

кий к линейному. Для устойчивых по высоте режимов движения экранопланов характерны значения  $C_y^{\bar{h}} \leq -1$  на режимах с  $\bar{h} \geq 0.2$ . Анализ соотношений (1) и (2) показывает, что при гипотетически независимом от других аэродинамических коэффициентов неограниченном увеличении  $C_y^{\bar{h}}$  критерии Иродова не выполняются. Фактически же связанность поступательного и вращательного движения экраноплана в продольной плоскости зависит от ряда свойств компоновки и определяется в ходе проектирования по результатам расчета динамики движения. Следовательно, при проектировании аэрогидродинамической компоновки АСВП с АР, обладающего продольной статической устойчивостью, в соответствии с критериями Иродова и результатами настоящего численного исследования рационально выбирать крыло с удлинением  $\lambda \leq 4$ . Конкретное значение удлинения крыла проектируемого АСВП с АР определяется в процессе формирования технического предложения с учетом принятых характеристик управляемости, а также технико-экономических показателей: достигаемой дальности хода, тяговооруженности и водоизмещения. Полученные в ходе настоящего исследования зависимости аэродинамического качества и характеристики влияния экранного эффекта рекомендуются для использования в разработке перспективных вариантов аэрогидродинамической компоновки АСВП с АР.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено численное исследование аэродинамических характеристик компоновочных вариантов судна нового архитектурно-конструктивного типа - амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой (АСВП с АР). Получены зависимости аэродинамического качества от высоты движения над экраном для подобных компоновочных вариантов АСВП с АР, отличающихся значениями удлинения крыла. Определена характерная зависимость параметра влияния экранного эффекта  $C_y^{\bar{h}}$  от удлинения крыла проектируемого судна: ее вид близок к линейному. Показано, что увеличение удлинения способствует повышению аэродинамического качества, с одной стороны, и снижению абсолютной величины  $C_y^{\bar{h}}$  – с другой. Таким образом, в ходе проектирования аэрогидродинамической компоновки АСВП с АР необходимо искать баланс между требуемыми значениями аэродинамического качества, которые определяют ожидаемые характеристики дальности хода и тяговооруженности, и характеристиками продольной статической устойчивости, вычисляемыми через аэродинамическую производную коэффициента подъемной силы по высоте движения над экраном  $C_y^{\bar{h}}$ .

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Роль перспективных воздушных амфибий в развитии транспортной системы России, включая приморские регионы страны / В. П. Морозов [и др.] // Теория и практика морской деятельности – 2013. – № 24. – С. 42-60.

2. Кальясов, П. С. Математическое моделирование аэрогидродинамики амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой на режиме хода на воздушной подушке / П. С. Кальясов, А. В. Февральских, В. В. Шабаров // Проблемы прочности и пластичности – 2014. – № 76 (3). – С. 263 – 268.
3. Сравнительный анализ двух подходов к разработке аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна / М. П. Лобачев [и др.] // Морской вестник. – 2017. – № 3(63). – С. 22 - 27.
4. Сайфуллин, Т. И. Численное моделирование аэродинамики экраноплана с учетом волнения / Т. И. Сайфуллин // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. – 2013. – № 78 (362). – С. 69-74.
5. Применение методов вычислительного эксперимента для определения аэродинамических характеристик экраноплана на крейсерском режиме движения / В. Н. Блохин [и др.] // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2012. – № 3. – С. 147-154.
6. Применение механизации крыла в виде закрылка и предкрылка на взлетных режимах экранопланов со статической воздушной подушкой / П. С. Кальясов [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 2 (36). – Т. 2. – С. 9 - 15.
7. Экранопланы: транспортные суда XXI века / А. И. Маскалик [и др.]. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2005. – 576 с.
8. Rozhdestvensky, K.V. Wing-in-ground effect vehicles / K.V. Rozhdestvensky // Progress in aerospace sciences. – № 42. – 2006 – pp. 211-283.
9. Иродов, Р. Д. Критерий продольной устойчивости экраноплана при полете с постоянной скоростью вблизи экрана / Р. Д. Иродов // Ученые записки ЦАГИ. – 1970. – № 4. – Т. 1. – С. 63–74.

#### REFERENCES

1. Morozov V. P., Sokolyanskiy V. P., Zakharchenko YU. A., Dolgopolov A. A. Rol' perspektivnykh vozdushnykh amfibiyy v razvitiy transportnoy sistemy Rossii, vklyuchaya primorskie regiony strany [Role of perspective aeroamphibians in the development of Russian transport system]. *Teoriya i praktika morskoy deyatel'nosti*, 2013, no. 24, pp. 42-60.
2. Kal'yasov P. S., Fevral'skikh A. V., Shabarov V. V. Matematicheskoe modelirovanie aerogidrodinamiki amfibiynogo sudna na vozdushnoy podushke s aerodinamicheskoy razgruzkoy na rezhime khoda na vozdushnoy podushke [Mathematical modeling of aerohydrodynamic of amphibious air-cushion vehicle with aerodynamic unloading on cushion regime]. *Problemy prochnosti i plastichnosti*, 2014, no. 76 (3), pp. 263-268.
3. Lobachev M. P., Kal'yasov P. S., Luk'yanov A. I., Fevral'skikh A. V., Shabarov V. V. Sravnitel'nyy analiz dvukh podkhodov k razrabotke aerogidrodinamicheskoy komponovki skorostnogo amfibiynogo sudna [Comparative analysis of the two approaches to the development of the aero-hydrodynamic layout of a high-speed amphibious vehicle]. *Morskoy vestnik*, 2017, no. 3(63), pp. 22-27.

4. Sayfullin T. I. Chislennoe modelirovanie aerodinamiki ekranoplana s uchetom volneniya [Numerical simulation of wing-in-ground effect vehicle aerodynamics with waves]. *Trudy TSNII im. akad. A. N. Krylova*, 2013, no. 78 (362), pp. 69-74.

5. Blokhin V. N., Prokhorov V. M., Kal'yasov P. S., YAkimov A. K., Tumanin A. V., Shabarov V. V. Primenenie metodov vychislitel'nogo eksperimenta dlya opredeleniya aerodinamicheskikh kharakteristik ekranoplana na kreyserskom rezhime dvizheniya [The application of computer simulation for the determination of wing craft aerodynamic characteristics in a cruising regime]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 2012, no. 3, pp. 147-154.

6. Kal'yasov P. S., Luk'yanov A. I., Fevral'skikh A. V., Shabarov V. V. Primenenie mekhanizatsii kryla v vide zakrylka i predkrylka na vzletnykh rezhimakh ekranoplanov so staticheskoy vozduшной podushkoy [Mechanization of wing by flaps and slats on takeoff motion modes of ground effect vehicles with static air cushion]. *Morskije intellektual'nye tekhnologii*, 2017, no. 2 (36), vol. 2, pp. 9-15.

7. Maskalik A. I. *Ekranoplany: transportnye suda 21 veka* [Wing-in-ground effect vehicle: transport vessels of 21th century]. Saint-Petersburg, Sudostroenie, 2005, 576 p.

8. Rozhdestvensky K. V. Wing-in-ground effect vehicles. *Progress in aerospace sciences*, 2006, no. 42, pp. 211-283.

9. Irodov R. D. Kriteriy prodol'noy ustoychivosti ekranoplana pri polete s postoyannoy skorost'yu vblizi ekrana [Criteria of the Longitudinal Stability of the Ekranoplan]. *Uchenye zapiski TSAGI*, 1970, vol. 1, no. 4, pp. 63-74.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Февральских Андрей Владимирович* – закрытое акционерное общество «КАДФЕМ Си-Ай-Эс», г. Москва; кандидат технических наук; ведущий инженер по гидрогазодинамике; E-mail: a.fevralskih@gmail.com

*Fevralskikh Andrey Vladimirovich* – CADFEM CIS, Moscow; PhD in Technical Sciences; Lead Engineer in Aerohydrodynamics; E-mail: a.fevralskih@gmail.com

УДК 624.042: 629.5.024

ЭФФЕКТИВНАЯ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩАЯ ПОДВЕСКА  
СУДОВОГО ТРУБОПРОВОДА

И. А. Шинкаренко, В. И. Сутырин

EFFICIENT VIBRATION ISOLATING SUSPENSION  
FOR SHIP PIPELINES

I. A. Shinkarenko, V. I. Sutyurin

По неопорным связям механизма – воздушным и жидким трубопроводам, жестким кабелям может передаваться значительная вибрационная энергия, сопоставимая с энергией, передаваемой фундаменту механизма через систему амортизации. Если задача снижения передачи вибрации по опорным связям в настоящее время достаточно успешно решается с помощью разнообразных амортизаторов, то проблема эффективной виброизоляции неопорных связей становится все более актуальной. В первую очередь это относится к судовым трубопроводам, являющимся одними из самых распространенных элементов энергетических установок на судах. Судовые двигатели, дизель-генераторы, холодильные машины, котлы и другие крупные механизмы имеют, как правило, по несколько входных и выходных трубопроводов, способных передавать на близлежащие конструкции значительную вибрационную энергию. Для виброизоляции судовых трубопроводов широко применяют виброизолирующие подвески стандартных типов. Однако они не в полной мере обеспечивают требуемое снижение вибрации, передаваемой на удерживающие и опорные конструкции. Вследствие этого через трубопроводы на корпус судна распространяется вибрационная энергия, в некоторых случаях сопоставимая с энергией, передаваемой на фундамент через опорные связи. Несмотря на значительное количество новых конструктивных решений, стандарт на амортизирующие подвески существенно не менялся более 35 лет. В данной работе предложена новая конструкция подвески судового трубопровода, обеспечивающая двухкаскадную амортизацию и эффективно работающая в широкой полосе частот. Стендовые и натурные исследования предлагаемой конструкции виброизолирующей подвески трубопровода показали более высокую ее эффективность по сравнению с подвесками стандартных типов.

*вибрация, амортизация, резонанс, виброизоляция, подвеска трубопровода*

Through unsupported connections of the mechanism – air and liquid pipelines, rigid cables can transmit considerable vibration energy comparable to the energy transmitted to the foundation of the mechanism through a damping system. If the problem of reducing the transmission of vibration through the support links is currently being successfully solved with the help of various shock absorbers, then the problem of effective vibration isolation of non-support links is becoming ever more urgent. First of

all, this applies to ship pipelines, which are one of the most common elements of power plants on ships. Ship engines, diesel generators, refrigerating machines, boilers and other large mechanisms, as a rule, have several inlet and outlet pipelines capable of transmitting considerable vibrational energy to nearby structures. Vibration isolators of standard types are widely used for vibration isolation of ship pipelines. However, they do not fully provide the required reduction in vibration transmitted to the retaining and supporting structures. As a result, vibratory energy spreads through the pipelines to the hull of the vessel, in some cases it is comparable to the energy transmitted to the foundation through support links. Despite the significant number of new design solutions, the standard for shock-absorbing suspension has not changed significantly for more than 35 years. This paper proposes a new design of the suspension of the ship pipeline, providing two-stage damping and effectively working in a wide frequency band. Bench and field studies of the proposed design of the vibration-damping suspension of the pipeline showed its higher efficiency in comparison with suspensions of standard types.

*vibration, shock absorption, resonance, vibration isolation, pipeline suspension*

## ВВЕДЕНИЕ

Конструктивные особенности виброизолирующих подвесок судовых трубопроводов определены стандартом [1]. Наиболее широкое применение на практике нашли подвески типа VI. Гораздо реже, в основном из-за большей стоимости и сложности монтажа, используются подвески типов ПТАКСС и ПТАП. Подвеска типа VI в большинстве случаев имеет резонансную частоту в вертикальном направлении выше рабочей частоты амортизированного оборудования [2] и, следовательно, эффективно работает, начиная с достаточно высокой частоты (200-300 Гц). В данной подвеске амортизация обеспечивается упругим резиновым элементом, работающим на сжатие. Подвески типов ПТАКСС и ПТАП имеют более сложную конструкцию. Они более громоздки, требуют вертикального расположения упругого элемента, что, в свою очередь, затрудняет их применение. В стандарте [1] приводится график номинальных значений эффективности виброизоляции подвесок, из которого видно, что подвески ПТАКСС и ПТАП хоть и более эффективны, чем подвески типа VI, но все же существенный выигрыш они дают лишь в некотором ограниченном диапазоне частот. Так, подвеска ПТАКСС имеет более высокую эффективность на высоких частотах (более 200 Гц), а ПТАП - на низких. С учетом изложенного становится очевидной необходимость поиска путей повышения эффективности виброизоляции существующих подвесок.

## ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ

Амортизирующие подвески трубопроводов должны иметь низкую собственную частоту, обеспечивающую их эффективность, простоту изготовления и удобство монтажа. Последнее требование имеет особое значение в условиях большой насыщенности машинных отделений механизмами и оборудованием и, соответственно, высокой плотностью прокладки трубопроводов в них.

Упругий элемент подвески типа VI, представляющий собой ленту из резины ИРП10-75, не может обеспечить собственную частоту подвески, нагруженную трубопроводом, ниже 35-40 Гц. Для трубопроводов малого диаметра значение собственной частоты может превысить 100 Гц [3]. В данных условиях для обеспечения эффективности подвески целесообразно включить в ее конструкцию дополнительный элемент с большей упругостью, образующий вместе с основным упругим конструктивным элементом каскадную систему амортизации. При этом должны выполняться следующие условия:

1. Необходимо создать механическое сопротивление, гарантирующее эффективную работу амортизирующего элемента во всех трех направлениях;
2. Продуктивная работа подвески должна обеспечиваться с наиболее низких рабочих частот работы механизма, порядка 15-25 Гц;
3. Должны обеспечиваться простота конструкции, удобство монтажа на судне, отсутствие дорогостоящих конструкционных материалов;
4. Подвеска должна изготавливаться в условиях судостроительных заводов и с учетом места установки на судах.

Наиболее простым и эффективным путем реализации данных требований, по мнению авторов, является конструктивная доработка существующей подвески типа VI, состоящей из упругого элемента, двух полухомутов, обжимающих упругий элемент на трубе, и прямого жесткого хвостовика, изготовленного из металлопроката. Данная подвеска проста и повсеместно используется при строительстве судов. Предлагаемая конструкция подвески представлена на рис. 1.

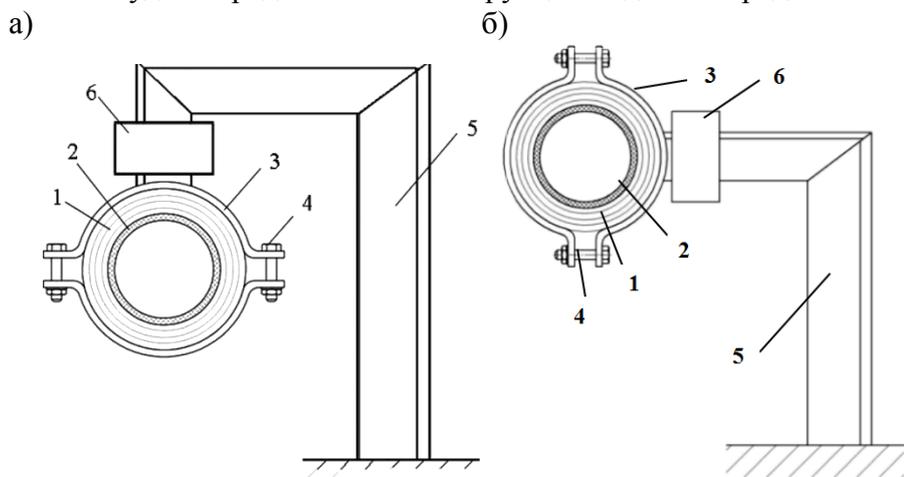


Рис. 1. Конструктивная схема предлагаемой амортизирующей подвески с трехэлементным (а) и двухэлементным (б) хвостовиком:

- 1 - виброизолирующий низкомодульный элемент; 2 - трубопровод;  
3 - фиксирующие полухомуты; 4 - крепежные элементы (болты); 5 - хвостовик;  
6 - барьерная масса

Fig. 1. Design scheme of the proposed shock-absorbing suspension with three-element (a) and two-element shank (b):

- 1 - vibration-insulating low-modulus element; 2 - pipeline; 3 - fixing half-yokes;  
4 - fastening elements (bolts); 5 - shank; 6 - barrier mass

Прямой хвостовик подвески типа VI имеет относительно высокую жесткость вдоль элемента профиля. Хвостовик предлагаемой подвески изготовлен из двух или трех отрезков профиля, соединенных между собой под прямым углом. Такая Г-образная конструкция обеспечивает необходимую податливость хвостовика в направлении всех трех координатных осей. Кроме того, такая подвеска сравнительно проста в изготовлении. Изготовление и монтаж конструкции может производиться «по месту», что делает использование данных подвесок экономически целесообразным.

Для повышения эффективности работы резинового упругого элемента на хвостовике жестко закрепляется груз, выполняющий роль барьерной массы. Центр масс этого груза должен находиться как можно ближе к продольной оси профиля хвостовика. Хвостовик подвески покрывается вибродемпфирующим материалом, например, типа «Адем», который часто используется для покрытия фундаментов виброактивных механизмов [4]. Такая мера позволяет значительно снизить резонансную вибропроводимость элементов хвостовика на высоких частотах.

### ПРИНЦИП РАБОТЫ

Таким образом, предлагаемая виброизолирующая подвеска обеспечивает двухкаскадное амортизирующее крепление судового трубопровода. Ее работу можно описать на основе анализа механической системы с двумя степенями свободы (рис. 2).

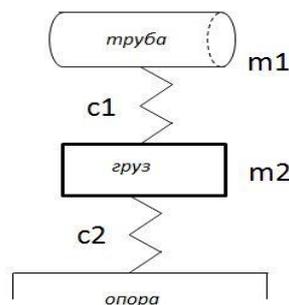


Рис. 2. Упрощенная расчетная модель подвески  
Fig. 2. Simplified design model of the suspension

Как известно, амортизирующая система, сформированная указанным способом, проявляет максимальный положительный эффект в зарезонансной частотной области. Уравнение движения системы для недемпфированных синусоидальных колебаний представляется в следующем виде [5]:

$$-\lambda[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} = 0, \quad (1)$$

где  $[M]$  - матрица масс;  $[C]$  - матрица жесткости;  $\{x\}$  - вектор узловых перемещений;

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}; [c] = \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 \\ -c_1 & c_1 + c_2 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$\lambda = \omega^2$  - для синусоидальных колебаний.

Характеристическое уравнение примет следующий вид:

$$\left[ [m]^{-1} [c] - \lambda [1] \right] = 0. \quad (3)$$

Разложение определителя:

$$\lambda^2 + a_1 \lambda + a_2 = 0, \quad (4)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – числовые коэффициенты.

Данное уравнение имеет два корня ( $\lambda_1, \lambda_2$ ), определяющих две собственные частоты системы:

$$F_{p1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\lambda_1}; \quad F_{p2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\lambda_2}. \quad (5)$$

Значения частот  $F_{p1}$  и  $F_{p2}$  полностью характеризуют частотные свойства системы амортизации. Предлагаемая конструкция амортизирующей подвески имеет упругий составной хвостовик, для которого  $c_1 > c_2$  и  $m_1 > m_2$ . Для нее значения  $F_{p1}$  и  $F_{p2}$  могут быть приблизительно определены:

$$F_{p1} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_2}{m_1 + m_2}}; \quad F_{p2} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1}{m_2}}. \quad (6)$$

Чем ниже собственная частота второго каскада  $F_{p2}$  тем выше эффективность амортизации в зарезонансной области. Исходя из (6), собственная частота  $F_{p2}$  зависит от жесткости упругого элемента и величины барьерной массы. Увеличивая барьерную массу, можно повышать эффективность подвески. Однако как показали стендовые испытания, с увеличением барьерной массы используемый для этого груз начинает проявлять собственные резонансные свойства вследствие конечной жесткости его крепления к хвостовику.

### СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Оценка эффективности подвесок в лабораторных условиях может быть произведена как по значению собственной частоты, так и по перепаду вибрации при возбуждении трубопровода. Для испытания подвесок был изготовлен стенд, представляющий собой два идентичных отрезка трубы длиной 1.6 м и внешним диаметром 110 мм, каждый из которых был закреплен на двух испытуемых подвесках. Основание стенда выполнено в виде стальной пластины, приваренной к раме из швеллера. Подвески каждого из отрезков труб были закреплены на опорной пластине симметрично относительно ее центра, что обеспечило равное механическое сопротивление в точках крепления подвесок к основанию. Одной из установленных была Г-образная подвеска предлагаемой конструкции, другой – поочередно подвески типов VI и ПТАКСС (рис. 3).

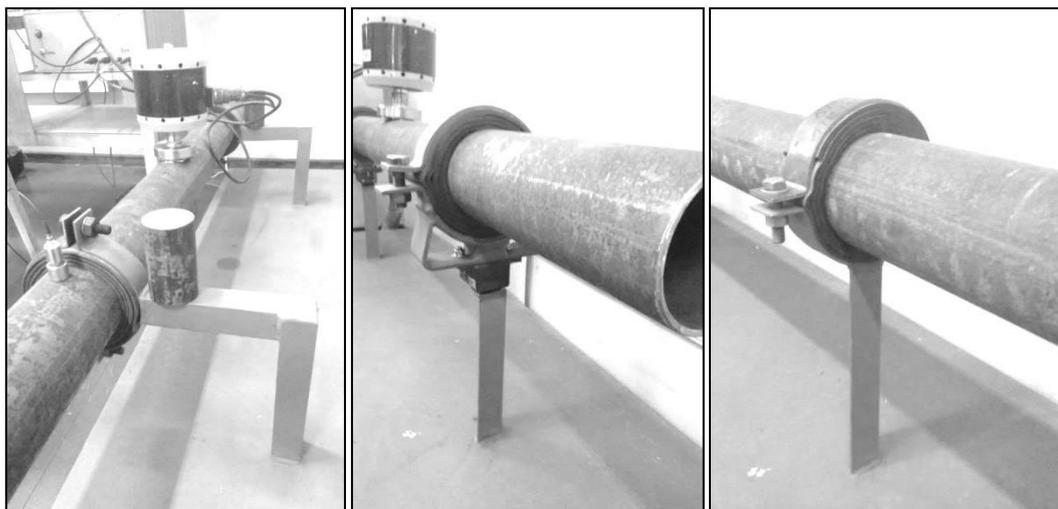


Рис. 3. Внешний вид Г-образной подвески и подвесок ПТАКСС и тип VI  
 Fig. 3. Surface appearance of the Г-shaped suspension and the suspensions of PTACS and VI type

Вибрационные испытания проводились с помощью анализатора спектра В&К PULSE 3560С с датчиками вибрации АР98. При измерении собственных частот трубопровод возбуждался ударным молотком В&К 8208, при измерении перепада уровней вибрации – с помощью вибратора ВМ-3.

Собственные частоты измерялись в трех взаимно перпендикулярных направлениях - вертикальном (Z), поперечном (Y), продольном (X). Результаты измерений приведены в таблице.

Таблица. Сравнение значений собственных частот виброизолирующих подвесок  
 Table. Comparison of the values of natural frequencies and vibration-isolating suspensions

| №<br>п/п | Тип подвески               | Измеренное значение собственной частоты, Гц |      |      |
|----------|----------------------------|---|------|------|
|          |                            | Z   | Y    | X    |
| 1        | Тип VI                     | 45,2  | 14,2 | 18,0 |
| 2        | ПТАКСС                     | 29,4  | 2,3  | 11,1 |
| 3        | Подвеска новой конструкции | 12,4  | 17,7 | 6,7  |

Анализируя собственные частоты подвесок в направлении оси Z, в котором податливость опоры максимальна, видим, что подвеска предложенной конструкции имеет наименьшую собственную частоту. Она оказалась более чем в два раза ниже, чем у подвески типа ПТАКСС. Исходя из этого, следует ожидать более высокую эффективность предложенной виброизоляции на низких частотах.

Следует отметить очень низкую собственную частоту подвесок ПТАКСС в направлении Y, обусловленную поворотными колебаниями подвески вследствие точечного болтового крепления амортизатора АКСС в составе конструкции подвески. Данное обстоятельство приводит к тому, что подвески ПТАКСС допускают нагрузку лишь в вертикальном направлении, чем накладываются ограничения на их практическое применение.

Перепады уровней вибрации, измеренные при возбуждении трубопровода вибратором, приведены на графиках рис. 4. Трубопровод возбуждался широкополосным псевдослучайным сигналом в полосе частот 5-2000 Гц. Вибратор ВМ-3, а также измерительный преобразователь устанавливались в вертикальной плоскости. Результаты представлены в третьоктавных полосах частот.

Как видно из графика, в диапазоне частот от 5 до 250 Гц наилучшую эффективность обеспечивает предложенная Г-образная подвеска. Выше частот 200-300 Гц перепад уровней вибрации резко увеличивается, что связано с эффективной работой упругого элемента подвески и промежуточной массы. В данном диапазоне наилучшую эффективность имеет подвеска типа ПТАКСС. Это объясняется наличием в ее конструкции амортизатора АКСС. Г-образная подвеска также дает существенный выигрыш в эффективности относительно подвески типа VI.

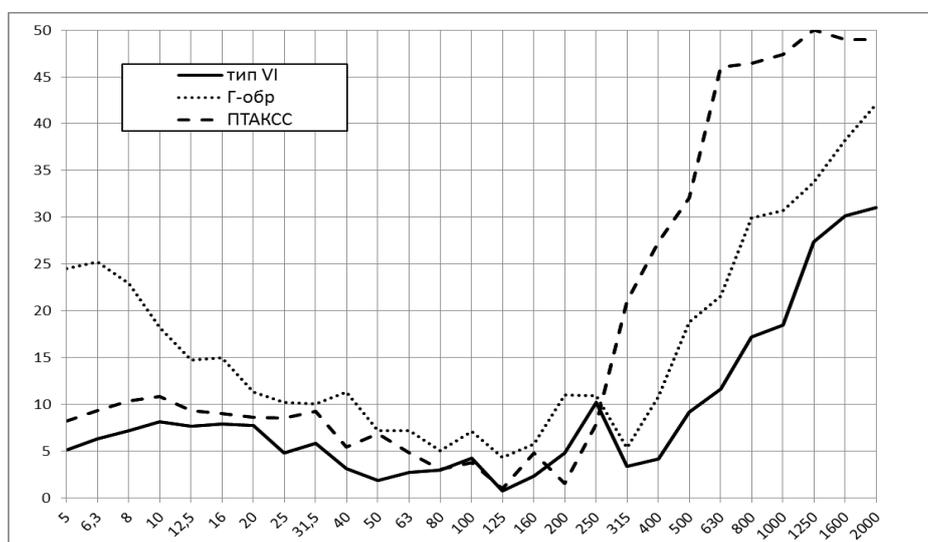


Рис. 4. Спектральные перепады вибрации на трубопроводе с подвесками разных типов при испытании на стенде

Fig. 4. Spectral differences of vibration on the pipeline with suspensions of different types when tested on the test bench

#### ИСПЫТАНИЯ В УСЛОВИЯХ СУДНА

С целью оценки эффективности подвески предлагаемой конструкции были произведены измерения перепадов вибрации на трубопроводе судовой холодильной машины 2МХМВ300, имеющей высокие уровни вибрации неопорных связей. Перепад определялся по разнице в уровнях вибрации, измеренных на трубопроводе (имеющем диаметр 100 мм) и в месте крепления трубы к настилу, в направлении, ему перпендикулярном. Измерения выполнялись как при раскреплении трубопроводов подвеской типа VI, применяемой обычно в качестве виброизолирующей подвески, так и при использовании Г-образной подвески предлагаемой конструкции. Для регистрации сигнала использовался анализатор шума и вибрации SV912AE фирмы SVANTEK (Польша) и датчик вибрации AP98-100. Частотный анализ сигналов выполнялся в третьоктавных полосах частот в диапазоне 10-10000 Гц. Результаты приведены на рис. 5. Как видно из графика, эффективность Г-образной подвески существенно выше, чем широко применяемой

типа VI. При этом полученный результат хорошо коррелирует с результатами стендовых испытаний, несмотря на то, что механическая жесткость основания, на которое закреплялась подвеска, значительно отличалась от жесткости основания стенда.

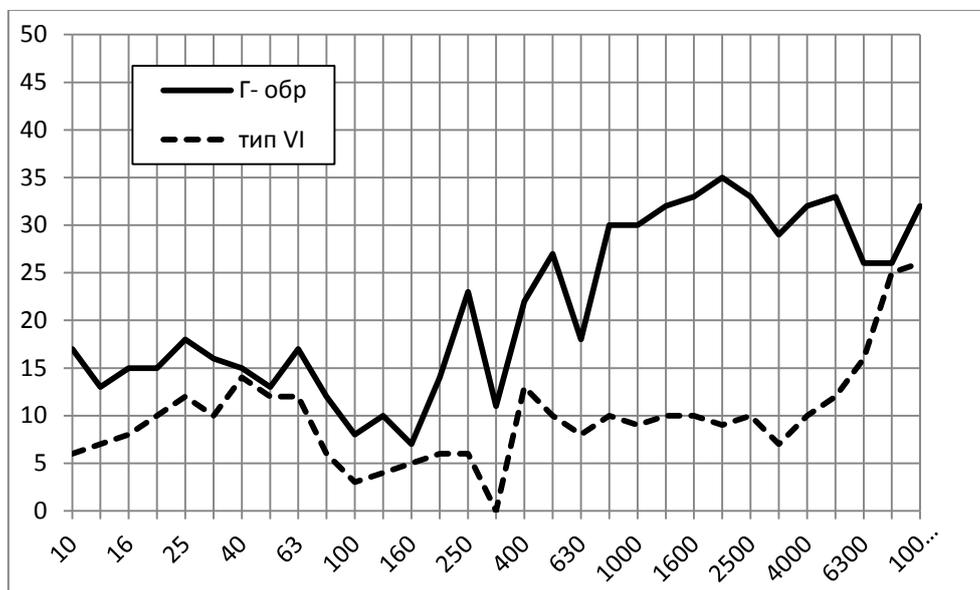


Рис. 5. Спектральные перепады уровней вибрации подвесок типа VI и Г-образной при установке на трубопровод судовой холодильной машины 2МХМВ300

Fig. 5. Spectral changes in vibration levels of VI type and Г-shaped suspensions when installed on a pipeline of the ship refrigerating machine 2МХМВ300

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным результатам, виброизолирующая подвеска разработанной конструкции, с учетом простоты изготовления и монтажа, может быть предложена как альтернатива подвескам типов ПТАКСС и VI в большинстве случаев применения. Данные подвески внедряются в производство при строительстве заказов на АО «ПСЗ «Янтарь», и на них получено положительное решение ФИПС [6].

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ОСТ5Р.5398-83, Подвески трубопроводов амортизирующие. Типы, основные параметры и размеры. – Введ. 1985-01-01. – Москва: Изд-во стандартов, 1983.
2. Попков, В. И. Колебания механизмов и конструкций / В. И. Попков, С. В. Попков. – Санкт-Петербург: Сударыня, 2009. – 489 с.
3. Никишов, С. Ю. Новые эффективные виброизолирующие подвески судовых трубопроводов / С. Ю. Никишов. – Москва: Изобретательство, 2013. – Т. XIII, № 11. – С. 25-32.
4. Клюкин, И. И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И. И. Клюкин. – Ленинград: Судпромгиз, 1961. – 356 с.

5. Хейлен, В. Модальный анализ: теория и испытания / В. Хейлен, С. Ламменс, П. Сас; под ред. В. И. Смыслова; пер. с англ. – Москва: ООО «Новатест», 2010. – 319 с.

6. Патент на ПМ № 167 723 РФ, МПК F16L55/035, F16L3/11. Виброизолирующая подвеска трубопровода / В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко; Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»; № 2015146781; заявл. 29.10.2015; опубл. 10.01.2017. – 7 с.

#### REFERENCES

1. Industry Standart 5R.5398-83, *Podveski truboprovodov amortiziruyushchie. Tipy, osnovnye parametry i razmery* [Shock-absorbing pipeline suspensions. Types, basic parameters and dimensions]. Moscow, Standartinform Publ., 1983, 47 p.

2. Popkov V. I. *Kolebaniya mekhanizmov i konstrukciy* [Vibrations of mechanisms and structures]. Saint-Petersburg, Sudarynya Publ., 2009, 489 p.

3. Nikishov S. Yu. *Novye effektivnye vibroizoliruyushchie podveski sudovykh truboprovodov* [New effective anti-vibration suspension of ship pipelines]. Moscow, Izobretatel'stvo Publ. 2013, vol. 13, no. 11, pp. 25-32.

4. Klyukin I. I. *Bor'ba s shumom i zvukovoy vibratsiey na sudakh* [Combating noise and sonic vibration on ships]. Leningrad, Sudpromgiz Publ., 1961, 356 p.

5. Heylen V., Lammens S., Sas P. Modal analysis: theory and tests, Katholieke Universiteit Leuven, 1997, 295 p (Russ. Ed.: Smyslova V. I., Hejlen V., Lammens S., Sas P. Modal'nyy analiz: teoriya i ispytaniya. Moscow, ООО «Novatrest», 2010, 319 p.).

6. Patent na PM № 167 723 RF, MPK F16L55/035, F16L3/11. *Vibroizoliruyushchaya podveska truboprovoda* [Vibration isolating suspension for pipelines]. V. I. Sutyurin, I. A. Shinkarenko. Zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «BFU im. I. Kanta»; № 2015146781; yayavl. 29.10.2015; opubl. 10.01.2017, 7 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шинкаренко Иван Александрович* – АО «Прибалтийский судостроительный завод “Янтарь”»; инженер; E-mail: van-125@mail.ru

*Shinkarenko Ivan Aleksandrovich* – Baltic shipyard «Yantar»; Engineer;  
E-mail: van-125@mail.ru

*Сутырин Валерий Игоревич* – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; Инженерно-технический институт; доктор технических наук, профессор кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: vsutyurin@mail.ru

*Sutyurin Valeriy Igorevich* – Immanuel Kant Baltic Federal University;  
Institute of Engineering and Technology; Doctor of Engineering,  
Professor of the Department of Machine and Technical Systems;  
E-mail: vsutyurin@mail.ru

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

### Общие требования

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

### В редакцию журнала авторы представляют:

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

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

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

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

### Объем статьи

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

### Структура статьи

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

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

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

### Составные части статьи и порядок их следования

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

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

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

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт 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  $t^{\circ}$  обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg С».

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

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

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

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

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

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт

обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agriis (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее 7-ми 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: элек-

тронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).

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

#### Статья в электронном журнале

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

#### Статья, опубликованная в материалах конференций

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

#### Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochestki stochnykh vod i prirodnkh 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 chistyykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

### Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4<sup>th</sup> ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. Kolebaniya v inzhenerenom 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 Tab. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом ( $m_i$  – масса  $i$ -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом ( $l_p$  – длина разбега;  $V_{\text{пос}}$  посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой:  $e$  не  $\vec{e}$ . Перенос в формулах допускается делать в первую

очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, -), в последнюю – на знаке умножения в виде крестика (×). 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 соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,  
Калининградский государственный технический университет

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915  
от 22.12.2011 г.

*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 26.04.2019. Выход в свет 01.05.2019. Формат 60 x 88 (1/8)  
Печ. л. 26,3. Уч.-изд. л. 16,8. Тираж 1000 экз. Заказ № 15.