

# ИЗВЕСТИЯ

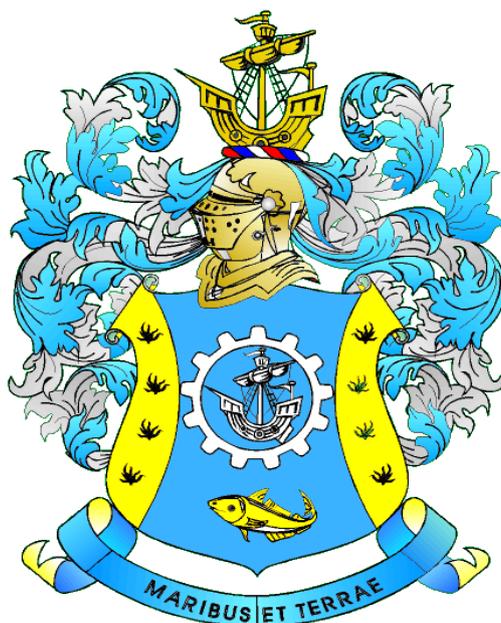
## КГТУ

## 2019

## № 52

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

### Научный журнал



**Индексирование журнала, включение в базы данных**  
*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;

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

*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

*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





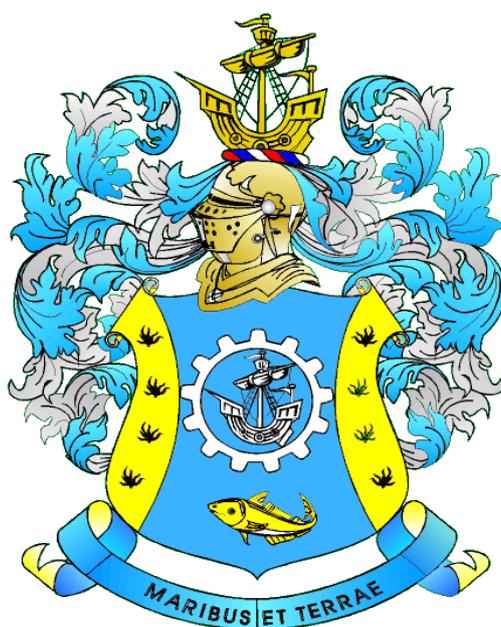
# KSTU NEWS

2019

№ 52

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

## SCIENTIFIC JOURNAL



**Journal index, registration in databases**

*Russian Index of Scientific Citation (RISC)*

*Agricultural Research Information System (Agris)*

**Kaliningrad**



СОДЕРЖАНИЕ

**Биология, экология и рыбное хозяйство**

<i>Берникова Т. А., Тылик К. В., Цветкова Н. Н.</i> Физико-географическая характеристика реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области.....	11
<i>Мащенко З. Е., Бахарев В. В., Альжанова А. К.</i> Влияние цефазолина на видовой состав биоценоза активного ила .....	24
<i>Пак Р. А., Архипов А. Г., Симонова Т. А.</i> Особенности распределения и колебаний численности ихтиопланктона в водах Мавритании .....	32
<i>Судник С. А., Поддудева Е. А.</i> Биология крабов <i>Lyphira perplexa</i> Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Южно-Китайского моря.....	43
<i>Таиров Р. Г., Шакирова Ф. М., Калайда А. Э., Горшков М. А., Северов Ю. А., Гранин А. В., Шакиров И. Р., Валиева Г. Д.</i> Особенности пространственного распределения ихтиофауны в верхнем участке Волжского плеса Куйбышевского водохранилища.....	60

**Техника и технология пищевых производств**

<i>Рачкова Н. А., Строшкова А. В., Соклаков В. В., Вайнерман Е. С., Воротников Б. Ю.</i> К вопросу необходимости разработки комплексной технологии икры.....	75
<i>Самойлова Н. В., Агеев О. В.</i> Математическое моделирование контуров тела промысловых рыб при лазерном измерении морфометрических параметров сырья.....	87
<i>Соклаков В. В.</i> К вопросу методологии классификации управляющих воздействий согласно ISO 22000.....	109

**Сельское хозяйство и природопользование**

<i>Бедарева О. М., Мурачёва Л. С., Троян Т. Н., Горишнина Г. В.</i> Влияние оптимальных доз биогенных элементов на процессы роста, развития, продуктивности озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах в условиях Калининградской области .....	123
<i>Терещенко С. А., Мудрова Л. Д.</i> Зависимость качества силоса от элементов технологии возделывания кукурузы ( <i>Zea mays</i> L.).....	133

**Судостроение, машиностроение и энергетика**

<i>Кажекин И. Е.</i> Феррорезонансные процессы при однофазных замыканиях в судовых электроустановках с компенсированной нейтралью.....	145
<i>Кужахметова Э. Р.</i> Деформация вант при различных условиях нагружения .....	154
<i>Сутырин В. И.</i> Концепция подсистемы инженерного анализа для информационной системы управления доковыми операциями .....	169
<i>Сутырин В. И., Шинкаренко И. А., Кужахметова Э. Р.</i> Экспериментальный стенд для определения демпфирующих свойств материалов.....	177

CONTENT

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

<i>Bernikova T. A., Tylik K. V., Tsvetkova N. N.</i> Physico-geographical characteristics of the Red river – natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region .....	11
<i>Mashchenko Z. E., Bakharev V. V., Alzhanova A. K.</i> Effect of cefazoline on the species composition of the activated sludge biocenosis .....	24
<i>Pak R. A., Arkhipov A. G., Simonova T. A.</i> Features of distribution and variation in population of ichthyoplankton in waters of Mauritania .....	32
<i>Sudnik S. A., Poddueva E. A.</i> Biology of the crab <i>Lyphira perplexa</i> Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) in the South china sea .....	43
<i>Tairov R. G., Shakirova F. M., Kalaida A. E., Gorshkov M. A., Severov Yu. A., Granin A. V., Shakirov I. R., Valieva G. D.</i> Features of the spatial distribution of ichthyofauna in the upper part of the Volzhskiy reach of the Kuibyshev reservoir .....	60

***Food Production Techniques and Technology***

<i>Rachkova N. A., Stroschkova A. V., Soklakov V. V., Vaynerman E. S., Vorotnikov B. Yu.</i> Revisiting the need for integrated roe technology .....	75
<i>Samojlova N. V., Ageev O. V.</i> Mathematical modelling of commercial fish body contours during laser measurement of the raw material morphometric parameters ....	87
<i>Soklakov V. V.</i> Revisiting a methodology for control actions categorization according ISO 22000 .....	109

***Agriculture and Nature Management***

<i>Bedareva O. M., Murachyova L. S., Troyan T. N., Gorshinina G. V.</i> Effect of optimal doses of nutrients on processes of growth, development and productivity of winter wheat on soddy-podzolic soils in conditions of the Kaliningrad region .....	123
<i>Tereschenko S. A., Mudrova L. D.</i> Dependence of silage quality on the elements of maize ( <i>Zea mays</i> L.) cultivation technology .....	133

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

<i>Kazhekin I. E.</i> Ferroresonance processes in response to single phase-to-ground faults in shipboard electrical systems with resonant earthed neutral .....	145
<i>Kuzhakhmetova E. R.</i> Deformation of stay cables when subjected to various loadings .....	154
<i>Sutyurin V. I.</i> The concept of an engineering analysis subsystem for the dock operations management information system .....	169
<i>Sutyurin V. I., Shinkarenko I. A., Kuzhakhmetova E. R.</i> A test stand for determining the damping properties of construction elements and materials .....	177

## **БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО**



УДК 556.51/54(470.26)(06)

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ КРАСНОЙ –  
ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. А. Берникова, К. В. Тылик, Н. Н. Цветкова

PHYSICO-GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE RED RIVER –  
NATURAL MONUMENT OF THE HYDROLOGICAL PROFILE  
OF THE KALININGRAD REGION

T. A. Bernikova, K. V. Tylik, N. N. Tsvetkova

Река Красная (польское - *Rominta*; немецкое - *Rominte*) протекает в северо-западном направлении по территориям двух государств: Польши и Российской Федерации. Устье реки лежит на территории России, оно находится в месте впадения в р. Писсу в г. Гусеве на 41-м километре от истока. Река Красная принимает воды от многочисленных ручьев и речек, среди которых есть несколько достаточно крупных притоков: Блюдзя, Бледзянка, Чёрная, Кемеровка. Река Красная в верхнем течении протекает среди разнообразных ландшафтов Выштынецкой холмисто-моренной возвышенности. В среднем и нижнем течении за пределами Красного леса она течет среди ландшафтов возвышенных холмисто-грядовых моренных равнин Нестеровской низменности. Русло р. Красной на всем протяжении извилистое. Дно твердое песчаное или песчано-галечное, перекаты чередуются с плесами. На реке имеются две плотины. Верхняя плотина находится в нижнем течении реки в пос. Липово, нижняя – непосредственно в г. Гусеве вблизи от места впадения в р. Писсу. Водный режим характеризуется высоким половодьем, относительно низкой летней и зимней меженью с периодическими паводками. В соответствии с концепцией речного континуума в р. Красной довольно хорошо проявляется продольная зональность по эколого-гидрологическим характеристикам: креналь, ритраль и потамаль. Участок р. Красной длиной 18 км и её долина в пределах хвойного лесного массива (Красный лес) и холмисто-грядового рельефа от государственной границы до п. Токаревка в 1974 г. были объявлены особо охраняемой природной территорией - памятником природы гидрологического профиля. В настоящее время р. Красная включена в особую охраняемую зону природно-го парка «Виштынецкий».

*река Красная, геокомплексы, термический режим, водный режим, расход воды, летняя межень, памятник природы, особо охраняемая природная территория, Роминтенская пуца, Красный лес*

The Red river (Polish - *Rominta*, German - *Rominte*) flows in the north-western direction through the territories of the two states of Poland and the Russian Federation. The mouth of the river lies on the territory of Russia, it lies at the point of its inflow into the Pissu river in Gusev at the 41st kilometer from the source. The Red river draws wa-

ter from numerous streams and rivers, among which there are several larger side streams: the Blyudzya, the Bledzyanka, the Chyornaya, the Kemerovka. In its upper current, the Red river flows among the various landscapes of Vyshtynetsky hilly-moraine upland. In the middle and lower current outside the Red Forest, it flows among the landscapes of the elevated hilly-ridge moraine plains of the Nesterovskaya lowland. The channel of the Red river is all the way shaped. The bottom is solid, sandy or sand-and-pebble, the slopes alternate with reaches. There are two dams on the river. The upper dam is in the lower reach of the river in the Lipovo village. The lower dam is directly in Gusev near the confluence of the river Pissa. The water regime is characterized by a high flood, relatively low summer and winter steady low water level with periodic floods. In accordance with the concept of the river continuum, longitudinal zoning is fairly well manifested according to the ecological and hydrological characteristics of the zones: krenal, ritral and potamal. A part of the Red river 18 km long and its valley within the Red forest and the hilly-ridge relief from the state border to the Tokarevka village in 1974 were declared a specially protected natural area - a natural monument of a hydrological profile. Currently, the Red river is included in conservation area of the natural park "Vishtynetskiy".

*The Red river, geocomplexes, thermal regime, water regime, water flow, summer steady low water level, natural monument, conservation area, Rominten forest, Red forest*

## ВВЕДЕНИЕ

Река Красная является самой необычной рекой Калининградской области как по своим гидрологическим особенностям, так и по вкладу в сохранение биологического разнообразия флоры и фауны природных комплексов Выштынецкой возвышенности. Она наделена статусом регионального памятника природы гидрологического профиля как природный объект, имеющий большое природно-историческое и научно-познавательное значение и нуждающийся в особой охране. Эта уникальная река, входящая в особую охраняемую зону природного парка «Виштынецкий», – объект комплексного экологического мониторинга. Физико-географические особенности р. Красной во многом определяют ее термический и гидрохимический режимы, состав и структуру гидробионтов, компоненты экосистемы. В связи с этим необходима ее подробная характеристика.

Цель работы – дать физико-географическую характеристику р. Красной как памятника природы гидрологического профиля, входящего в особую охраняемую зону природного парка «Виштынецкий».

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Гидрометрические наблюдения и измерения осуществлялись в конце апреля и в июле 2018 г. в семи точках, первая из которых находилась у Оленьего моста в 1,5 км ниже пересечения рекой государственной границы с Польшей, последняя – пос. Липово перед г. Гусевом. В период, предшествующий отбору летних проб, на территории области отмечалось малое количество осадков и низкий уровень воды в реке.

## ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ И ЛАНДШАФТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА РЕКИ КРАСНОЙ

Река Красная (польское - *Rominta*; немецкое - *Rominte*) протекает в северо-западном направлении по территориям двух государств: Польши и Российской Федерации. Исток реки находится на территории Польши в месте слияния р. Блюдзя и Блендзянка в ландшафтном парке «Пуща Роминска» на Варминско-Мазурской возвышенности на высоте 252,1 м (координаты 54°20'48" с. ш. 22°34'13" в. д.). Устье реки лежит на территории России, оно находится на высоте 41 м в месте впадения в р. Писсу в г. Гусеве на 41-м километре от истока (оз. Виштынецкое) по левому берегу Писсы (координаты 54°35'21" с. ш. 22°12'57" в. д.). Река пересекает польско-российскую границу возле пос. Радужное Нестеровского района Калининградской области и входит в водную систему Писса → Анграпа → Преголя → Балтийское море. На своем протяжении река протекает в Польше по Варминьско-Мазурскому воеводству, в Калининградской области по Гусевскому, Озёрскому и Нестеровскому районам (рис. 1).

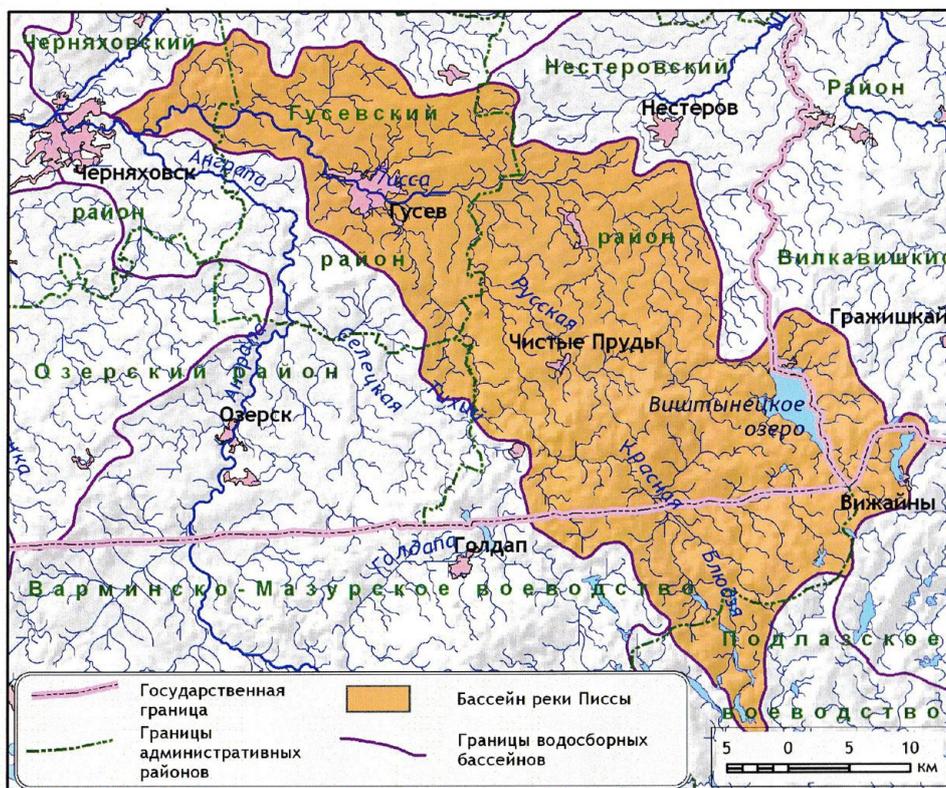


Рис. 1. Бассейн р. Писсы, включающий бассейн р. Красной [1]

Fig. 1. The basin of the river Pissa which includes the basin of the Red river [1]

По данным государственного водного реестра России, р. Красная относится к Балтийскому бассейновому округу, водохозяйственный участок – Преголя, подбассейн у реки отсутствует, к речному бассейну р. Неман и рекам бассейна Балтийского моря (русская часть в Калининградской области) [2].

По данным геоинформационной системы водохозяйственного районирования территории РФ Федерального агентства водных ресурсов: код водного объек-

та в государственном водном реестре – 1010000212104300010169; код по гидрологической изученности (ГИ) – 104301016.

Длина р. Красной составляет 83 км (на территории Калининградской области - 56 км), площадь бассейна 548 км<sup>2</sup> (см. рис. 1). По морфологическим параметрам р. Красная относится к малым рекам. Она протекает по Виштынецкому озерному району [1, 3]. Речная сеть хорошо выражена. Густота речной сети в бассейне р. Красной 0,88 км/км<sup>2</sup>. Среднегодовой сток 7,57 л/с с 1 км<sup>2</sup> [2]. Уклон 2,5 м/км [1]. Рисунок водосбора древовидный, симметричный. Средняя ширина водосбора – 9 км [4].

Река Красная принимает воды от многочисленных ручьев и речек, среди которых есть несколько достаточно крупных притоков. Левые притоки – р. Блюдзя (впадает на территории Польши в 62 км от устья), Бледзянка (в перевале «блуждающая»), Чёрная (впадает на территории Калининградской области в 47 км от устья, выше пос. Краснолесье). Наиболее крупный правый приток – р. Кемеровка с впадающей в нее р. Протокой вливается в р. Красную в 56 км от устья, почти у самой государственной границы [5].

Чёрная (польск. Czarna - Чарна) - река в России и Польше (рис. 2). Исток ее находится на территории Варминьско-Мазурского воеводства в Польше, а нижнее течение – на территории Нестеровского района Калининградской области. Устье реки расположено на 47 км по левому берегу р. Красной. Речного подбассейна нет, она протекает среди леса. Берега и дно в основном песчаные. Вода имеет темно-коричневый цвет, отсюда и просходит ее название.

Правый приток – р. Кемеровка – как и р. Чёрная протекает и в России, и в Польше. Он образуется от слияния берущей начало в Польше на территории Варминьско-Мазурского воеводства р. Житкеймска струга («Житкеймский ручей») и текущей в пределах России в юго-западном направлении р. Протоки. Место слияния этих рек находится на российской территории недалеко от впадении р. Кемеровки в р. Красную. Длина Кемеровки - 25 км. Водосборная площадь - 137 км<sup>2</sup>. Речного подбассейна нет. Русло р. Протоки сильно меандрирует, протекая по болотистым низинам Красного леса. В отличие от других притоков эта река имеет открытое русло, что способствует более высокому прогреву воды в ней.



Рис. 2. Река Черная – левый приток р. Красной  
Fig. 2. The Black river - the left tributary of the Red river

Река Красная в верхнем течении протекает среди разнообразных ландшафтов Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности. Здесь чередуются крупно-,

средне- и мелкохолмистые, холмисто-грядовые и озово-камовые геокомплексы. Сложены холмы большей частью слоями песка с прослойками гравия и перекрыты сверху валунными суглинками. Преобладают дерново-слабоподзолистые почвы. Понижения между холмами заняты озерами, болотами и речными долинами. Долина р. Красной ниже пос. Радужное узкая, глубоко врезающаяся в Виштынецкую возвышенность, образуя непривычные для Калининградской области глубокие овраги. На склонах крутых и часто обрывистых прибрежных холмов обнажаются моренные отложения и местами видны террасы, свидетельствующие о снижении уровня эрозии рек. На этом участке преобладает донная эрозия и накапливаются грубозернистые аллювиальные отложения.

В среднем и нижнем течении за пределами Красного леса река протекает среди ландшафтов возвышенных холмисто-грядовых моренных равнин Нестеровской низменности, постепенно сливающихся с ландшафтами волнистых и пологохолмистых моренных равнин. В рельефе этих ландшафтов господствуют сглаженные волнистые поверхности с невысокими пологими холмами и широкими плоскодонными понижениями. Речная долина здесь широкая с хорошо развитой поймой и меандрирующим руслом. Почвы песчано-гравийные, а также заторфованные под ивняками, черноольшанниками, лугами на надпойменных перегнойно-глеевых, иловато-глеевых и торфяноглеевых почвах. Аллювиальные отложения представлены на этом участке песчано-галечными и песчаными отложениями, с небольшими илистыми осадками в нижнем течении у пос. Липово.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Русло р. Красной на всем протяжении извилистое, проложенное среди моренных гряд. Дно твердое песчаное или песчано-галечное, перекаты чередуются с плесами. Скорость течения 0,4-0,5, на перекатах до 0,6-0,7 м/с и более. В верхнем течении реки до пос. Токаровка берега песчаные, в русле кроме песка мелкая галька и отдельные небольшие камни. Во время летней межени глубина на песчаных отмелях не превышает 15-20 см. Формируются также небольшие омуты, особенно в местах завалов упавших в воду больших деревьев. Под ними течение вымывает глубокие ямы (рис. 3). В районе пос. Токаровка грунты в реке в основном каменистые (рис. 4, 5). На перекатах преобладает галька разных фракций от 5 до 60 мм. Местами в русле имеются валуны крупных размеров. Корни подступающих к воде деревьев подмываются, обнажаются и создают своеобразные убежища для рыб. В среднем течении реки, за пределами Красного леса, берега и дно снова становятся песчано-галечными (рис. 6, 7), но завалы из упавших в воду деревьев встречаются и здесь.



Рис. 3. Завалы из упавших деревьев  
на р. Красной  
Fig. 3. Blockages from fallen trees  
on the Red river



Рис. 4. Каменистое русло  
у пос. Токаревка  
Fig. 4. Rocky riverbed near  
the Tokarevka village



Рис. 5 – Крупные валуны в русле  
у пос. Токаревка  
Fig. 5 – Large rocks in the riverbed  
near the Tokarevka village



Рис. 6 – Среднее течение р. Красной  
около пос. Садовое  
Fig. 6 – The mean current of the Red  
river near the Sadovoe village



Рис. 7 – Нижнее течение р. Красной  
около пос. Липово  
Fig. 7 – Downstream of the Red river near  
the Lipovo village

В верховьях на участке от государственной границы до пос. Радужное р. Красная имеет открытое русло и течет по прилегающим лугам, и только в пре-

делах Красного леса в основном она протекает под пологом густых зарослей. На месте некогда дремучего леса сейчас растут главным образом искусственные насаждения. По берегам реки встречаются лишь немногие участки старовозрастного елового и сосново-елового леса возрастом 100-150 лет и высотой до 50 м, сохранившие облик старой Роминтенской пуцци. Лесом покрыты те склоны, что ближе к реке, на остальной части поймы располагаются приречные луга, сформировавшиеся на аллювиальных песчаных и илистых прибрежных отложениях. С сумрачными густыми хвойными лесами, напоминающими типичную темнохвойную тайгу, соседствует смешанный елово-дубово-сосновый древостой с березой, липой, кленом, ясенем. Непосредственно вдоль берегов реки растет разнообразная растительность, которая представлена ольхой, ивой, жимолостью, черёмухой, таволгой. На поймах притоков произрастает «мокрый» лес – черноольшаники; встречаются заболоченные усохшие ельники, сосняки, березняки, кустарниковые и травяные болота.

Вдоль р. Красной на территории Калининградской области расположены населённые пункты: Радужное, Сосновка, Краснолесье, Токаревка (Нестеровский район), Ольховатка, Вороново, Калининское, Липово и г. Гусев (Гусевский район).

На реке имеется более десяти железобетонных и деревянных мостов (рис. 8, 9). Некоторые железобетонные мосты имеют длину более 30 м и ширину проезжей части до 5-6 м. В верховьях реки в начале XX в. были построены мост Гайдена, Олений (рис. 8) и Новый мост.

Самым впечатляющим является 120-метровый железнодорожный мост недалеко от пос. Токаревка (1901 г.), который возвышается над глубоким оврагом на высоту 19 м (рис. 10, 11).



Рис. 8 – «Олений мост»  
у пос. Радужное (1905 г.)  
Fig. 8 – «Deer bridge» near the village  
of Raduzhnoe (1905)



Рис. 9 – Старый деревянный мост  
у пос. Сосновка  
Fig. 9 – Old wooden bridge near the village  
of Sosnovka

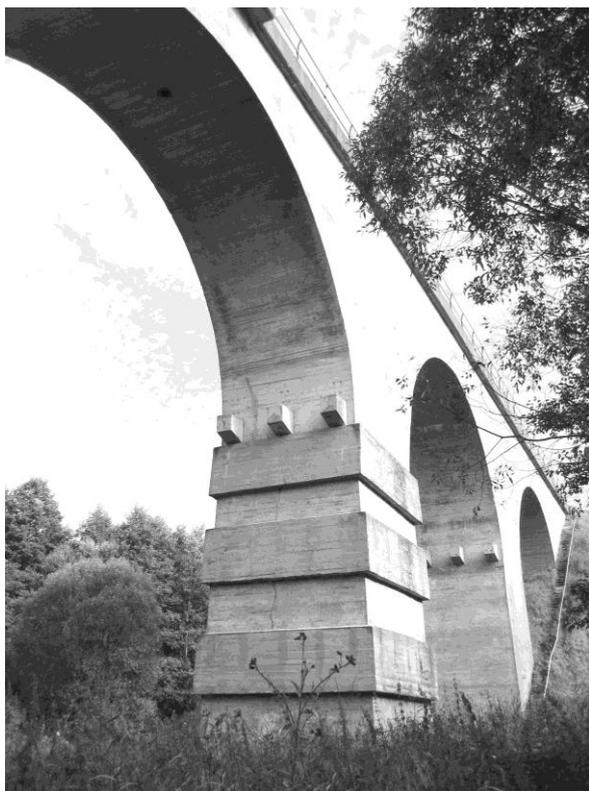


Рис. 10 – Железнодорожный арочный мост у пос. Токаревка  
Fig. 10 – Railway arch bridge near the Tokarevka village



Рис. 11 – Русло р. Красной среди высоких холмов у пос. Токаревка  
Fig. 11 – The riverbed of the Red river among the high hills near the Tokarevka village

На реке имеются и другие гидротехнические сооружения. В настоящее время р. Красная в нижнем течении зарегулирована двумя плотинами. Верхняя – плотина старой ныне не действующей мельницы – находится в нижнем течении реки в пос. Липово на расстоянии около 4 км от устья.

Высота плотины и соответственно подпора уровня воды в реке составляет около 2 м (рис. 12). В верхнем бьефе плотины в связи с этим образовался небольшой пруд. Воды реки в настоящее время сбрасываются не только через основную плотину, но и через отводной мельничный канал. В результате образуются два рукава, которые затем сливаются в единое русло. Непосредственно под плотинной сформировалось расширение в виде второго небольшого пруда. Эти пруды оказывают определенное влияние на термический режим реки, поскольку течение здесь замедляется, вода в них прогревается, в результате чего температура воды на нижнем участке реки повышается. Нижняя плотина находится непосредственно в г. Гусеве вблизи от места впадения в р. Писсу (рис. 13). Это сооружение в 2017 г. было реконструировано и в настоящее время, как и верхняя плотина, обеспечивает подпор уровня воды в реке, но на высоту около 1 м.

Таким образом, река по гидрологическому режиму разделена на два разных участка – до подпора в пос. Липово и ниже подпора до устья.



Рис. 12 – Верхняя плотина на р. Красной в пос. Липово  
Fig. 12 – The upper dam on the Red river in the Lipovo village



Рис. 13 – Нижняя плотина на р. Красной в г. Гусеве  
Fig. 13 – The lower dam on the Red river in Gusev

Водный режим р. Красной, как и всех рек Калининградской области, относится к типу равнинных приморских рек. Тип питания – смешанный [4, 5]. Соотношение между отдельными источниками питания (в процентах от годового стока) приведено в таблице.

Таблица – Соотношение между источниками питания рек Калининградской области [6]

Table. Correlation between the sources of power of rivers Kaliningrad region [6]

Вид питания	% от годового стока
Дождевое	37-48
Снеговое («весенний сток»)	26-37
Грунтовое	16-37

Водный режим характеризуется высоким половодьем, относительно низкой летней и зимней меженью с периодическими паводками. По средним многолетним данным, половодье начинается в начале марта, окончание половодья – в конце апреля [2]. После спада половодья наступает летне-осенняя межень. В отдельные годы максимальные уровни дождевых паводков могут превышать максимальные уровни весеннего половодья. Зимняя межень обычно многоводнее летней, прерывается оттепелями и зимними паводками. На территорию области из Польши может поступать вода уже с органическими загрязнениями, превышающими установленные в РФ нормативы [7].

Средний годовой расход воды в р. Красной (створ пос. Токаревка) равен  $3,12 \text{ м}^3/\text{с}$  [2]. Наибольший расход наблюдается в период весеннего половодья в апреле, наименьший – во время летней межени в июне-июле (рис. 14).



Рис. 14 – Низкий уровень воды во время летней межени на р. Красной у пос. Радужное (июнь 2018 г.)

Fig. 14 – Low water level in summer on the Red river near the Raduzhnoe village (June 2018)

Термический режим определяется источниками питания, влиянием атмосферных условий, а также источниками антропогенного загрязнения. Начало прогрева воды весной характеризуется датой перехода температуры через  $0,2^{\circ}\text{C}$ . На реках Калининградской области эта дата в среднем за многолетие приходится на вторую декаду марта – первую декаду апреля [4, 6], на р. Красной – на первую декаду марта. Наиболее теплый период – июль. С сентября начинается период охлаждения воды. Особенностью термического режима р. Красной является дифференцировка участков реки на два типа: скрытого под кронами высоких деревьев значительного участка длиной около 18 км в пределах Красного леса и участков с открытым руслом, находящихся под непосредственным влиянием атмосферных условий и солнечной радиации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоморфологические, ландшафтные и гидрологические особенности р. Красной в пределах Красного леса позволяют характеризовать ее как предгорную. Таким образом, в отличие от большинства рек Калининградской области, в соответствии с концепцией речного континуума, в р. Красной довольно хорошо проявляется продольная зональность по эколого-гидрологическим характеристикам: креналь, ритраль и потамаль. К кренали относят область родникововых ручьев, к ритрالي – участки с каменистым или гравийно-галечным, гравийно-песчаным грунтом, высокой скоростью течения, высокой концентрацией кислорода в воде и летними сравнительно низкими среднемесячными температурами (ниже  $20^{\circ}\text{C}$ ). К потамали относят нижнюю часть водотока с песчаным, заиленным

или илистым грунтом, сравнительно небольшими скоростями течения, высокими летними среднемесячными температурами (выше 20°C).

На территории Калининградской области р. Красная едва ли не единственный эталон ненарушенной экосистемы малой реки [8].

Учитывая уникальность этого природного объекта для региона, 18-километровый участок р. Красной и её долина, расположенные в пределах хвойного лесного массива (Красный лес) и холмисто-грядового рельефа от государственной границы до пос. Токаревка, в 1974 г. были объявлены особо охраняемой природной территорией – памятником природы гидрологического профиля. Статус ООПТ – региональный. На всем протяжении участка до моста в пос. Токаревка р. Красная имеет ширину охранной зоны 0,5 км по обе стороны. В настоящее время как памятник природы р. Красная включена в особую охраняемую зону природного парка «Виштынецкий». В нее входят участки, предназначенные для использования в научных целях и выделяемые для обеспечения сохранения и восстановления редких и исчезающих видов животных и растений, а также иных биологических объектов, здесь запрещена любая хозяйственная деятельность [8]. Кроме того, территория природного парка «Виштынецкий» как природный комплекс «Роминтенская пуща» включена в Красную книгу Калининградской области [9], в том числе и с целью сохранения гидрологического памятника природы – р. Красной.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Домнин, Д. А. Атлас речных трансграничных бассейнов Калининградской области / Д. А. Домнин, Б. В. Чубаренко. – Калининград: Терра Балтика, 2007. – 38 с.
2. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: справочное изд-е // Государственный водный кадастр. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. – Т. 1, вып. 4. – 88 с.
3. Ландшафты // Калининградская область. Очерки природы / под ред. В. М. Литвина. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – С. 189 - 211.
4. Реки // Калининградская область. Очерки природы / под ред. В. М. Литвина. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – С. 69 - 83.
5. Гидрографические характеристики речных бассейнов Европейской территории СССР / под ред. В. В. Куприянова. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1971. – 99 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. В. Е. Водогрецкого – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1969. – Т. 4, вып. 3. – 506 с.
7. Цветкова, Н. Н. Оценка качества воды основных водных объектов природного парка «Виштынецкий» после окончания туристического сезона / Н. Н. Цветкова, Т. А. Берникова, С. В. Шibaев // Известия КГТУ. – 2018. – № 49. – С. 32-42.
8. Медведев, В. А. Природа Калининградской области. Ключевые природные комплексы: справ. пособие / В. А. Медведев, Ф. Е. Алексеев. – Калининград: Исток, 2014. – 192 с.

9. Красная книга Калининградской области / под ред. В. П. Дедкова, Г. В. Гришанова. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2010. – 333 с.

#### REFERENCES

1. Domnin D. A., Chubarenko B. V. *Atlas rechnyh transgranichnyh bassejnov Kaliningradskoj oblasti* [Atlas of river transboundary basins of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, Terra Baltika, 2007, 38 p.
2. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr (Spravochnoe izdanie). Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi* [State Water Cadastre (Reference edition). Long-term data on surface water regime and resources]. L., Gidrometeoizdat, 1988, vol. 1, iss. 4, 88 p.
3. Vaulina V. D., Kozlovich I. I. *Landshafty [Landscapes]. Kaliningradskaya oblast'. Oчерki prirody [The Kaliningrad region. Articles about nature].* Pod red. V. M. Litvina. Kaliningrad, Yantar. skaz, 1999, pp. 189-211.
4. Markova L. L. *Reki [Rivers]. Kaliningradskaya oblast'. Oчерki prirody [The Kaliningrad region. Articles about nature].* Pod red. V. M. Litvina. Kaliningrad, Yantar. skaz, 1999, pp. 69-83.
5. *Gidrograficheskie harakteristiki rechnyh basseynov Evropeyskoy territorii SSSR* [Hydrographic characteristics of the river basins of the European territory of the USSR]. Pod red. V. V. Kupriyanova. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1971, 99 p.
6. *Resursy poverhnostnyh vod SSSR* [USSR Surface Water Resources]. Pod red. V. E. Vodogreckogo. L., Gidrometeoizdat, 1969, vol. 4, iss. 3, 506 p.
7. Tsvetkova N. N., Bernikova T. A., Shibaev S. V. *Oценка kachestva vody osnovnyh vodnykh ob'ektov prirodnogo parka «Vishtynetskiy» после okonchaniya tyristicheskogo sezona* [Water quality assessment of water bodies in the «Vishtynetsky» nature park after the end of tourist season]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no. 49, pp. 32-42.
8. Medvedev V. A., Alekseev F. E. *Priroda Kaliningradskoj oblasti. Klyuchevye prirodnye komplekсы: spravochnoe posobie* [Nature of the Kaliningrad region. Key natural complexes: reference book]. Kaliningrad, Istok, 2014, 192 p.
9. *Krasnaya kniga Kaliningradskoj oblasti* [The Red Book of the Kaliningrad region], kollektiv avtorov; pod red. V. P. Dedkova, G. V. Grishanova. Kaliningrad, Izd-vo RGU im. I. Kanta, 2010, 333 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Берникова Татьяна Александровна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат географических наук, профессор кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: bernikovy@gmail.com

*Bernikova Tatiana Alexandrovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Geographical Sciences, Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: bernikovy@gmail.com

*Тылик Константин Владимирович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, профессор кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: tylik@klgtu.ru

*Tylik Konstantin Vladimirovich* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: tylik@klgtu.ru

*Цветкова Надежда Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат географических наук, доцент кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: nagornova@klgtu.ru

*Tsvetkova Nadezhda Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: nagornova@klgtu.ru

УДК 628.355.3

ВЛИЯНИЕ ЦЕФАЗОЛИНА НА ВИДОВОЙ СОСТАВ БИОЦЕНОЗА  
АКТИВНОГО ИЛА

З. Е. Машченко, В. В. Бахарев, А. К. Альжанова

EFFECT OF CEFAZOLINE ON THE SPECIES COMPOSITION  
OF THE ACTIVATED SLUDGE BIOCECENOSIS

Z. E. Mashchenko, V. V. Bakharev, A. K. Alzhanova

Микроценоз активного ила обладает высокой чувствительностью к различным изменениям в среде. В связи с широким применением лекарственных средств в медицине, фармации и ветеринарии антибиотики попадают в окружающую среду со сточными водами городов, а также сельскохозяйственных и фармацевтических предприятий. Находящиеся в них противомикробные препараты могут влиять на микроорганизмы активного ила, используемого на стадии биологической очистки бытовых и промышленных стоков. Приведены результаты исследований, характеризующих изменения видового состава биоценоза активного ила при однократном и многократном действии цефазолина. Для исследования микроорганизмов использовали метод «раздавленная капля» при увеличении 1000X. При изучении микробиологических препаратов учитывали количество гидробионтов активного ила, их общее состояние, а также параметры, характеризующие качество флора: форму (степень округлости), четкость контура, структуру. Активный ил очистных сооружений г. Самары относится к третьему типу биоценоза. Однократное добавление цефазолина не оказывало негативного воздействия на видовое разнообразие активного ила. Отсутствие *Amoeba* и присутствие *Testacea*, *Epistylis* и тихоходок свидетельствовали об удовлетворительном функционировании активного ила при однократном действии антибиотика, а многократное его добавление приводило к негативному влиянию на состав биоценоза в процессе инкубации, видовое разнообразие организмов в активном иле уменьшалось через 48 ч.

*биологическая очистка сточных вод, цефазолин, микроорганизмы активного ила*

Microcencosis of activated sludge is highly sensitive to various changes in the environment. Due to the massive use of pharmaceuticals in medicine, pharmacy and veterinary medicine, antibiotics enter the environment with waste water from cities, as well as agricultural and pharmaceutical enterprises. Antimicrobials in wastewater can affect the microorganisms of activated sludge used at the stage of biological treatment of domestic and industrial effluents. The paper presents results of the studies characterizing changes in the species composition of the activated sludge biocenosis under single and multiple action of cefazoline. To study the microorganisms of activated sludge, the "smashed drop" method has been used with an increase of 1000X. In the

study of microbiological preparations, the following features have been taken into account: the number of hydrobionts of the activated sludge, their general condition, as well as the parameters characterizing the quality of the flow: shape (degree of roundness), contour clarity, structure. The activated sludge of the treatment facilities in the city of Samara belongs to the third type of biocenosis. A single addition of cefazoline has not had a negative impact on the species diversity of the activated sludge. The absence of *Amoeba*, the presence of *Testacea*, *Epistylis*, *Tardigrada* testified to the satisfactory operation of the activated sludge in a single action of antibiotic. Repeated addition of the antibiotic has led to a negative effect on the composition of the activated sludge biocenosis during incubation. The species diversity of organisms in the active silt has decreased after 48 hours of incubation

*biological wastewater treatment, cefazoline, activated sludge microorganisms*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время водная окружающая среда становится ключевым фактором формирования устойчивости к антибиотикам. Антибиотики широко применяют для профилактики и лечения бактериальных инфекций, поражающих человека, животных и растения, также их используют в животноводстве как стимуляторы роста. Как следствие, они попадают в водоемы со сточными водами городов, а также сельскохозяйственных и фармацевтических предприятий [1, 2].

Вследствие этого в водоёмах, загрязненных стоками, увеличивается концентрация антибиотикорезистентных штаммов, что может привести к риску распространения инфекционных заболеваний, передаваемых водным путем [3]. Еще одним важным свойством противомикробных средств является их способность влиять на микроорганизмы активного ила, использующегося на стадии биологической очистки как бытовых, так и промышленных стоков. Так, наличие в сточных водах антибиотиков приводит к снижению скорости прироста активного ила очистных сооружений, при этом с повышением концентрации антибиотиков понижается эффективность разрушения органических веществ [2, 4].

Снижение эффективности биологического метода очистки сточных вод приводит к расширению спектра загрязнений в сточных водах, увеличению их токсичности и, как следствие, к угнетению биоценозов активных илов. Объективным показателем, позволяющим оценить действие загрязняющих веществ, может служить снижение видового разнообразия. Чувствительные к неблагоприятному воздействию виды могут исчезнуть совсем или их численность значительно снизится, устойчивых же видов станет еще больше [5].

Цель исследовательской работы – изучение влияния цефазолина на видовой состав биоценоза активного ила при однократном и многократном действии антибиотика.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве тест-организмов в экспериментах использовали активный ил городских очистных сооружений г. Самары.

В качестве модельного антибиотика в исследованиях применяли цефазолин, который относится к цефалоспориновым антибиотикам. Его химическое строение представлено на рисунке.

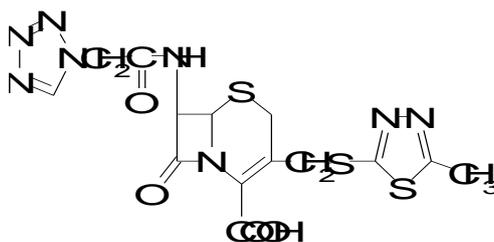


Рис. Химическая структура цефазолина  
Fig. Chemical structure of cefazoline

Для исследования видового состава биоценоза активного ила использовали метод «раздавленная капля» при увеличении 1000X. При изучении микробиологических препаратов учитывали количество гидробионтов активного ила, их общее состояние, а также параметры, характеризующие качество флора: форму (степень округлости), четкость контура, структуру [5, 6].

Инкубацию антибиотиков с активным илом проводили в течение 72 ч при температуре 25 °С в следующих условиях (табл. 1).

Таблица 1. Условия инкубирования активного ила  
Table 1. Conditions for the activated sludge incubation

Номер пробы	Цефазолин
1	Нет
2	Да (C=100 мг/г биомассы активного ила, однократно)
3	Да (C=100 мг/г биомассы активного ила, ежедневно в течение трёх суток)

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Активный ил очистных сооружений Самары характеризуется сложной экологической структурой с высоким таксономическим разнообразием (до 34 видов простейших и многоклеточных организмов), что позволяет отнести его к третьему типу биоценоза. Такой ил характеризуется высоким деструктивным потенциалом, возможностью адекватно реагировать на неблагоприятные воздействия и способностью поддерживать эффективное и устойчивое качество очистки [5].

В табл. 2 приведены данные влияния антибиотика на видовой состав сообщества организмов активного ила при однократном добавлении.

Таблица 2. Видовой состав биоценоза активного ила при однократном добавлении цефазолина

Table 2. Species composition of the activated sludge biocenosis with a single addition of cefazoline

Время инкубации, ч	Видовой состав	Количество организмов	
		Контрольная проба	Опытная проба
24	<i>Amoeba</i>	-	-
	<i>Testacea</i>	п	п
	<i>Flagellata</i>	м	-

Окончание табл. 2

Время инкубации, ч	Видовой состав	Количество организмов	
		Контрольная проба	Опытная проба
	Нитчатые	ед	-
	<i>Rotaria</i>	п	п
	<i>Vaginicola</i>	м	м
	Панцирные	п	п
	<i>Epistylis</i>	-	п
	<i>Nematoda</i>	ед	-
	<i>Oligochaeta</i>	ед	-
48	<i>Amoeba</i>	-	-
	<i>Testacea</i>	п	п
	<i>Flagellata</i>	-	-
	Нитчатые	-	-
	<i>Rotaria</i>	м	ед
	<i>Vaginicola</i>	-	-
	Панцирные	м	м
	<i>Epistylis</i>	-	п
	<i>Nematoda</i>	-	-
<i>Oligochaeta</i>	ед	-	
72	<i>Amoeba</i>	-	-
	<i>Testacea</i>	п	п
	<i>Flagellata</i>	-	м
	Нитчатые	-	-
	<i>Rotaria</i>	-	-
	<i>Vaginicola</i>	-	р
	<i>Aspidisca</i>	п	п
	Панцирные	-	-
	<i>Epistylis</i>	-	-
	<i>Nematoda</i>	-	-
	<i>Oligochaeta</i>	-	-
	Тихоходка	м	м

Примечание: ед – единично, м – мало, р – редко, п – порядочно, «-» не наблюдали.

Из данных табл. 2 видно, что наличие организмов в активном иле варьирует в зависимости от времени инкубации. В течение всего периода инкубации шло формирование плотного ила, форма флора была округлой, структура флора – четкой; из индикаторных организмов отсутствовали *Amoeba*, присутствовали *Testacea*. Через 24 ч инкубации в обеих пробах отмечали наличие *Rotaria*, *Vaginicola*, Панцирных. В опытной пробе, по сравнению с контрольной, отсутствовали *Flagellata*, нитчатые, *Nematoda*, *Oligochaeta*, появились *Epistylis*. После 48 ч инкубации в опытной пробе отмечали отсутствие *Oligochaeta*, но при этом присутствовали *Epistylis*. По истечении 72 ч инкубации в опытной пробе наблюдали *Flagellata*, *Vaginicola*; как в опытной, так и в контрольной пробах появились тихоходки.

Данные влияния антибиотика на видовой состав биоценоза активного ила при многократном добавлении цефазолина представлены в табл. 3.

Таблица 3. Видовой состав биоценоза активного ила при многократном добавлении цефазолина

Table 3. Species composition of the activated sludge biocenosis with repeated addition of cefazoline

Время инкубации, ч	Видовой состав	Количество организмов	
		Контрольная проба	Опытная проба
24	<i>Amoeba</i>	-	-
	<i>Testacea</i>	п	п
	<i>Flagellata</i>	-	м
	Нитчатые	-	-
	<i>Rotaria</i>	-	-
	<i>Vaginicola</i>	-	р
	<i>Aspidisca</i>	п	п
	Панцирные	-	-
	<i>Epistylis</i>	-	-
	<i>Nematoda</i>	ед	-
	<i>Oligochaeta</i>	-	-
	Тихоходка	-	м
48	<i>Amoeba</i>	-	-
	<i>Testacea</i>	п	-
	<i>Flagellata</i>	-	-
	Нитчатые	-	-
	<i>Rotaria</i>	м	-
	<i>Vaginicola</i>	-	-
	Панцирные	м	-
	<i>Aspidisca</i>	-	-
	<i>Epistylis</i>	-	-
	<i>Oligochaeta</i>	-	-
	Тихоходка	ед	-
	72	<i>Amoeba</i>	-
<i>Testacea</i>		п	-
<i>Flagellata</i>		-	-
Нитчатые		м	-
<i>Rotaria</i>		м	-
<i>Vaginicola</i>		-	-
<i>Aspidisca</i>		-	-
Панцирные		-	-
<i>Epistylis</i>		-	-
<i>Nematoda</i>		-	-
<i>Oligochaeta</i>		-	-

Примечание: ед – единично, м – мало, р – редко, п – порядочно, «-» не наблюдали.

На основании данных табл. 3 можно заключить, что количество организмов в активном иле уменьшается уже через 48 ч инкубации. По истечении 72 ч в опытной пробе ил становится рыхлым, форма флора – округлой, структура флора – нечеткой.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Однократное добавление цефазолина не оказывает негативного воздействия на видовое разнообразие активного ила (отсутствие *Amoeba*, присутствие *Testacea*, появление в опытной пробе *Epistylis*, тихоходок).

Многokратное добавление антибиотика приводит к негативному влиянию на видовой состав биоценоза активного ила в процессе инкубации. Однако био- и гидрохимические показатели функционального состояния активного ила свидетельствуют о возможности самовосстановления экосистемы активного ила после прекращения многократного действия лекарственного средства [7].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lindberg, R. H. Screening of human antibiotic substances and determination of weekly mass flows in five sewage treatment plants in Sweden / R. H. Lindberg, P. Wennberg, M. I. Johansson et al // Environ. Sci and Technol. – 2005. – Vol. 39. – № 10. – P. 3421-3429.
2. Маслова, Е. В. Лекарственные препараты в окружающей среде / Е. В. Маслова, З. Е. Машенко, И. Ф. Шаталаев // Аспирантский вестник Поволжья. – 2017. – № 1-2. – С. 215-217.
3. Березняк, Е. А. Спектр и антибиотикорезистентность условно-патогенных микроорганизмов водоемов г. Ростова-на-Дону / Е. А. Березняк, А. В. Тришина, Л. М. Веркина // Вода: химия и экология. – 2016. – № 10 (100). – С. 62-68.
4. Santos, L. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment / L. Santos, A. Araujo, A. Fachini et al. // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – Vol. 175. – P. 45-95.
5. Демина, М. В. Рекомендации по проведению гидробиологического контроля на сооружениях биологической очистки с аэротенками: методическое пособие / М. В. Демина. – Пермь: ОГУ «Аналитический центр», 2004. – 52 с.
6. ПНД Ф СБ 14.1.77-96. Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками. – Москва: АКВАРОС, 2009. – 106 с.
7. Машенко, З. Е. Влияние  $\beta$ -лактамовых антибиотиков на био- и гидрохимические свойства активного ила при многократном воздействии / З. Е. Машенко, В. В. Бахарев, А. К. Майданова // Актуальная биотехнология. – 2017. – № 2 (21). – С. 139-142.

## REFERENCES

1. Lindberg R. H., Wennberg P., Johansson M. I. i dr. Screening of human antibiotic substances and determination of weekly mass flows in five sewage treatment plants in Sweden. *Environ. Sci and Technol.*, 2005, vol. 39, no. 10, pp. 3421-3429.
2. Maslova E. V., Mashchenko Z. E., Shatalaev I. F. Lekarstvennye preparaty v okruzhayushchey srede [Drugs in the environment]. *Aspirantskiy vestnik Povolzh'ya*, 2017, no. 1-2, pp. 215-217.
3. Bereznyak E. A., Trishina A. V., Verkina L. M. i dr. Spektr i antibiotikorezistentnost' uslovno-patogennyh mikroorganizmov vodoemov g. Rostova-na-Donu [Spectrum and antibiotic resistance of conditionally pathogenic microorganisms of the reservoirs in Rostov-on-Don]. *Voda: himiya i ekologiya*, 2016, no. 10 (100), pp. 62-68.
4. Santos L., Araujo A., Fachini A. i dr. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol. 175, pp. 45-95.
5. Demina M. V. *Rekomendacii po provedeniyu gidrobiologicheskogo kontrolya na sooruzheniyah biologicheskoy ochistki s aehrotenkami. Metodicheskoe posobie* [Recommendations about carrying out of hydrobiological monitoring on biological purification plants with activated sludge reactors. Study guide]. Perm', OGU «Analiticheskij centr», 2004, 52 p.
6. PND F SB 14.1.77-96. *Metodicheskoe rukovodstvo po gidrobiologicheskomu i bakteriologicheskomu kontrolyu processa biologicheskoy ochistki na sooruzheniyah s aehrotenkami* [Guidelines for hydrobiological and bacteriological control of the biological treatment process at plants with activated sludge reactors]. Moscow, Akvaros, 2009, 106 p.
7. Mashchenko Z. E., Baharev V. V., Maydanova A. K., Kosareva A. A. Vliyanie  $\beta$ -laktamnyh antibiotikov na bio- i gidrohimicheskie svoystva aktivnogo ila pri mnogokratnom vozdeystvii [Effect of  $\beta$ -lactam antibiotics on bio- and hydrochemical properties of activated sludge under repeated exposure]. *Aktual'naya biotekhnologiya*, 2017, no. 2 (21), pp. 139-142.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Мащенко Зинаида Евгеньевна* – Самарский государственный технический университет; кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Технология пищевых производств и биотехнология»; E-mail: mzinaida@yandex.ru

*Mashchenko Zinaida Evgenievna* – Samara State Technical University; PhD, Associate Professor of the Department “Technology of food production and biotechnology”; E-mail: mzinaida@yandex.ru

*Бахарев Владимир Валентинович* – Самарский государственный технический университет; доктор химических наук, заведующий кафедрой «Технология пищевых производств и биотехнология»; E-mail: knilsstu@gmail.com

*Bakharev Vladimir Valentinovich* – Samara State Technical University;  
Doctor of Chemistry, Head of the Department “Technology of food production  
and biotechnology”; E-mail: knilsstu@gmail.com

*Альжанова Айнагуль Каергалиевна* – Самарский государственный технический  
университет; магистрант кафедры «Технология пищевых производств  
и биотехнология»; E-mail: maidanova\_ainagul@mail.ru

*Al'zhanova Ainagul' Kaergalievna* – Samara State Technical University;  
Master Student of the Department “Technology of food production and biotechnology”;  
E-mail: maidanova\_ainagul@mail.ru

УДК: 597:591.524.12(261.74+661.2)

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И КОЛЕБАНИЙ ЧИСЛЕННОСТИ  
ИХТИОПЛАНКТОНА В ВОДАХ МАВРИТАНИИ

Р. А. Пак, А. Г. Архипов, Т. А. Симонова

FEATURES OF DISTRIBUTION AND VARIATION IN POPULATION  
OF ICHTHYOPLANKTON IN WATERS OF MAURITANIA

R. A. Pak, A. G. Arkhipov, T. A. Simonova

Проанализированы особенности распределения и колебаний численности массовых видов ихтиопланктона у побережья Мавритании (16-21° с.ш.) в 2000-2012 гг. с использованием геоинформационных технологий и базы данных АтлантНИРО «Ихтиопланктон океанических районов». Типичными представителями ихтиофауны изучаемого района являются: круглая сардинелла, западноафриканская ставрида, европейская сардина, европейская ставрида и восточная скумбрия. Ранние стадии развития исследуемых видов рыб обнаружены практически на всей рассматриваемой акватории с наибольшими скоплениями в районах крупных мысов. Рассчитаны индекс численности и абсолютная численность икринок и личинок основных промысловых видов рыб в рассматриваемые годы. Численность сельдевых на ранних стадиях развития, как правило, значительно превышала численность ставридовых и скумбриевых. Значения численности икринок и личинок ставридовых и скумбриевых изменялись в близких пределах.

Абсолютная численность ихтиопланктона менялась по отношению к индексу численности в пределах от 0,9 до 3,2 раза и в основном превышала его. В целом тенденции колебаний индекса численности и абсолютной численности массовых рыб в раннем онтогенезе по годам были одинаковы, что обуславливает возможность применения обоих методов для анализа динамики численности массовых видов ихтиопланктона. Значения абсолютной численности икринок и личинок, по нашему мнению, точнее отражают динамику численности ихтиопланктона, так как рассчитаны для всей исследуемой акватории. Колебания численности икринок и личинок рассматриваемых видов происходили не синхронно и определялись сложным комплексом абиотических и биотических факторов среды, а также смещением сроков проводимых съёмок.

*ихтиопланктон, Мавритания, икринки, личинки, колебания численности, распределение*

Features of distribution and variation in number of dominant ichthyoplankton at the coast of Mauritania (16-21°N) in 2000-2012 have been analysed. Geoinformational technologies and "Ichthyoplankton of the oceanic areas" database of AtlantNIRO have been used for this purpose. Typical representatives of the fish fauna in the area under investigation are: round sardinella, cunene horse mackerel, pilchard, horse mackerel and east mackerel. Early stages of development of the studied fish species have been recorded practically on all considered water area with the greatest congestions in areas of large capes. The index of number and the absolute number of eggs and larvae of the

main trade species of fish in the considered years have been calculated. The number of herring at the early stages of development, as a rule, considerably exceeded the number of horse mackerel and mackerel. The number of eggs and larvae of horse mackerel and mackerel changed in the close limits.

The absolute number of the ichthyoplankton changed in relation to the index of number from 0,9 to 3,2 times and mostly exceeded it. In general, tendencies of fluctuations of the index number and the absolute number of mass fish species in an early ontogenesis were identical in terms of years, and it causes a possibility of application of both methods for the analysis of dynamics of number of mass types of the ichthyoplankton. Absolute values of eggs and larvae number, in our opinion, reflect more precisely dynamics of number of the ichthyoplankton as they have been calculated for the whole explored water area. Fluctuations in number of eggs and larvae of the considered types happened not synchronously and were defined by the composite complex of abiotic and biotic factors, and also shift of terms of the carried-out surveys.

*ichthyoplankton, Mauritania, eggs, larvae, variation in population, distribution*

## ВВЕДЕНИЕ

Воды Мавритании (16-21° с.ш.) относятся к тропическому фаунистическому району и большую часть года находятся в зоне «пассатных апвеллингов». Рассматриваемая акватория является местом обитания в основном тропической ихтиофауны, хотя в холодные периоды года в районе м. Кап-Блан и южнее его интенсивно нерестятся субтропические виды рыб. Реже встречаются икринки и личинки, принадлежащие к субэкваториальной ихтиофауне. В ихтиопланктоне преобладают пелагические виды. Разными авторами в этом районе выделяется от 800 до 1000 видов рыб. В верхнем 100-метровом слое над шельфом отмечается более 150 видов пелагических икринок и личинок рыб. Здесь происходит активный нерест неритических рыб, обитающих в пределах этих гидрологической и климатической зон, и нагул их молоди [1-5].

Динамика численности ихтиопланктона в значительной степени определяет колебания запасов взрослых рыб, так как основные параметры численности их поколений закладываются в ранних периодах жизни – эмбриональном, личиночном и мальковом, и даже незначительные изменения смертности на начальных этапах жизни могут привести к тому, что численность одного поколения будет намного превышать численность другого [6-8].

Цель предлагаемой статьи – проанализировать особенности распределения и колебания численности массовых видов ихтиопланктона с использованием геоинформационных технологий и базы данных АтлантНИРО «Ихтиопланктон океанических районов» для оценки динамики численности и определения районов массовых скоплений промысловых рыб в раннем онтогенезе у побережья Мавритании.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе рассматриваются ихтиопланктонные материалы, собранные в 2000-2012 гг. в ходе комплексных съёмок в районе Мавритании (16-21° с.ш.). Пробы отбирались в разные сезоны года на 20-25 комплексных станциях над глубинами от 20 до 1000 м. Использовались планктоносборщики «Бонго-20» с

газом № 17-19. Осуществлялся ступенчато-косой лов на горизонтах 100, 50, 35, 25, 10 и 0 м по 1,5-3 мин на каждом горизонте при скорости судна 2,0-3,0 уз [9]. Дальнейшая обработка материалов проводилась в лабораторных условиях под бинокулярными микроскопами МБС-10 (увеличение 8 x 2, 8 x 4). В ходе камеральной обработки определялись видовой и количественный состав икринок и личинок рыб в пробах. Расчёт индексов численности ихтиопланктона вели методом площадей [10]. Для установления абсолютной численности ихтиопланктона, картирования и пространственного анализа данных использовалась корпоративная геоинформационная система (ГИС) АтлантНИРО, которая функционирует на основе информационных web-технологий и частично облачных вычислений, при этом применялся метод обратно взвешенных расстояний [11]. Индекс численности ихтиопланктона – это сумма икринок или личинок в промысловых квадратах (численность икринок или личинок под 1 м<sup>2</sup> интерполировалась на площадь промыслового квадрата размерами 20' x 20' или 20,0 x 18,7 миль) в толще воды от 0 до 100 м, количество промысловых квадратов равнялось количеству выполненных станций. Абсолютная численность – это количество икринок или личинок на всей исследуемой акватории (от побережья до изобаты 1000 м) в слое воды 0-100 м. Всего было проанализировано 16 съёмов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Состав ихтиопланктона в водах Мавритании отражает фаунистическую принадлежность района. В тёплые сезоны чаще всего здесь отмечались икринки и личинки рыб тропической фауны – круглой сардинеллы (*Sardinella aurita*) и западноафриканской ставриды (*Trachurus trecae*). В холодные сезоны в основном встречались ранние стадии развития представителей субтропической фауны – европейской сардины (*Sardina pilchardus*), европейской ставриды (*Trachurus trachurus*) и восточной скумбрии (*Scomber japonicus colias*).

Сведения о характере распределения икринок и личинок массовых видов субтропической (европейская сардина) и тропической (круглая сардинелла) ихтиофаун, по данным зимней и летней съёмов 2010 г., представлены на рис. 1, 2. Ранние стадии развития европейской сардины были обнаружены на большей части исследуемой акватории с максимальными скоплениями икринок южнее м. Кап-Блан (20°30' с. ш.) и Тимирис (18° 30' с. ш.), личинок – между ними и южнее Нуакшота (17°30' с. ш.) (рис. 1). Икринки и личинки круглой сардинеллы отмечались в меньших количествах, так как, по данным АтлантНИРО, этот вид находится в депрессивном состоянии [12]. Высокая численность икринок круглой сардинеллы была зафиксирована между м. Кап-Блан и Тимирис, личинок – южнее Нуакшота (17°-18° с. ш.) (рис. 2).

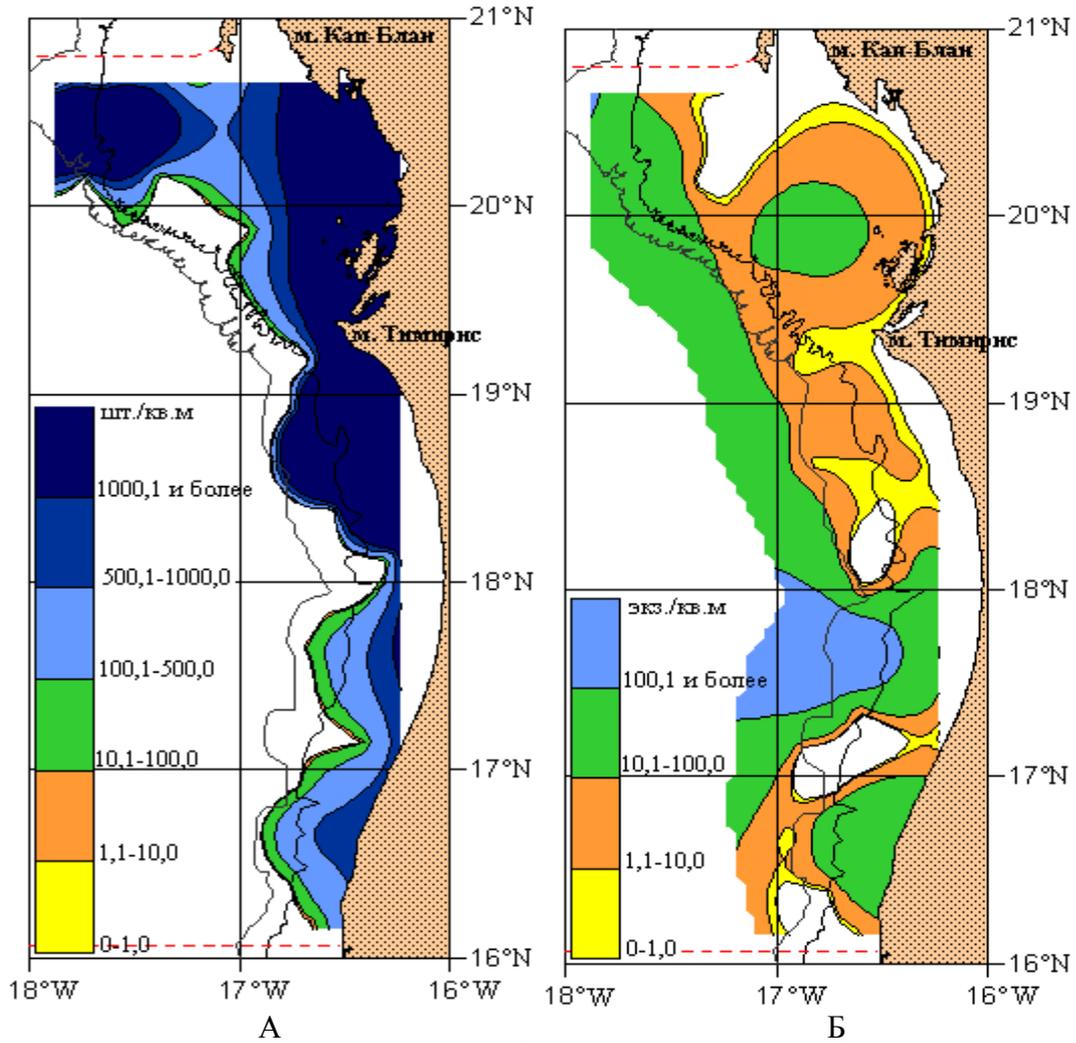


Рис. 1. Распределение икринок (шт./м<sup>2</sup>) (А) и личинок (экз./м<sup>2</sup>) (Б) европейской сардины в январе 2010 г.

Fig. 1. Distribution of eggs (A) and larvae (B) of the European sardine in January, 2010

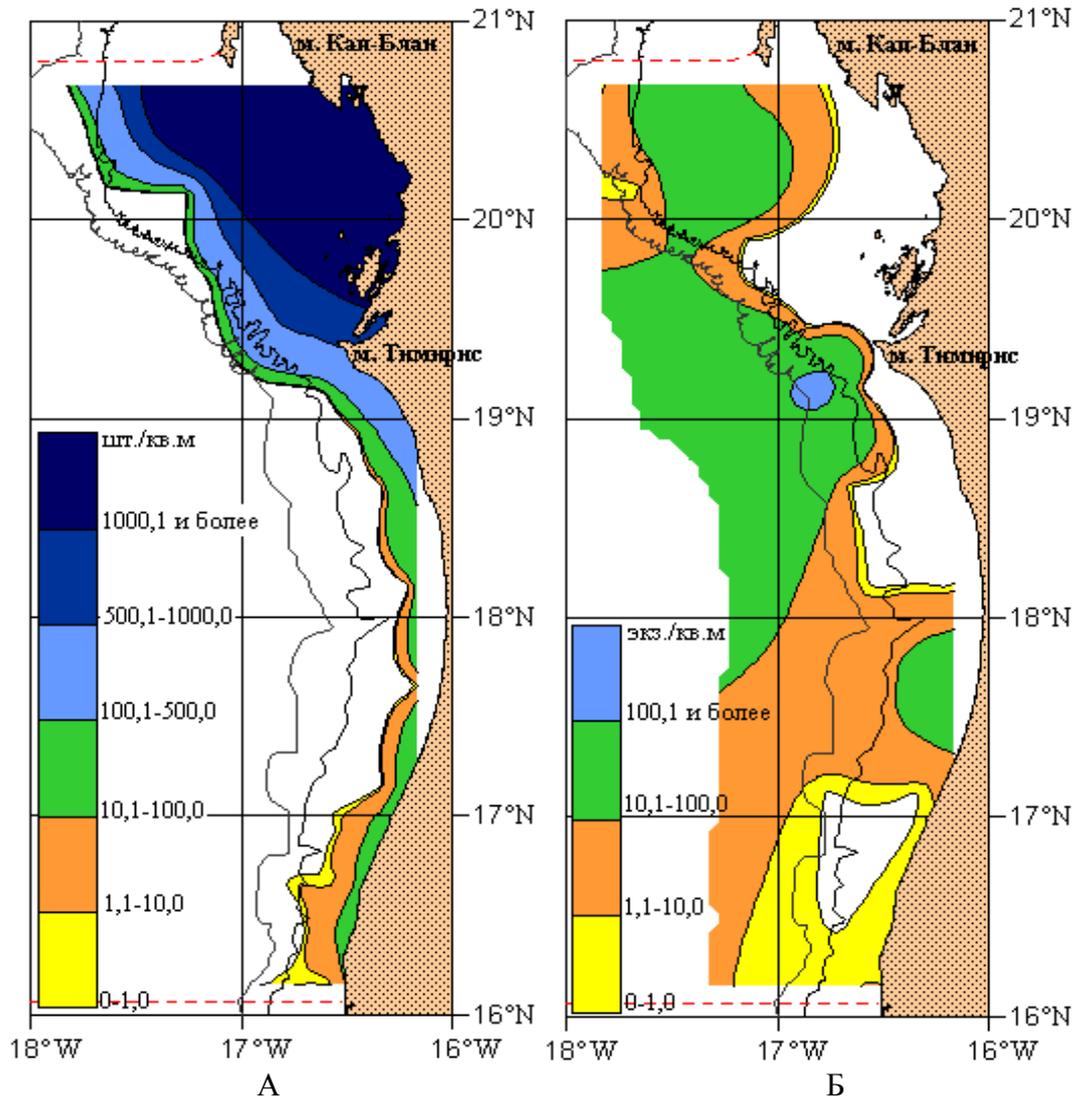


Рис. 2. Распределение икринок (шт./м<sup>2</sup>) (А) и личинок (экз./м<sup>2</sup>) (Б) круглой сардинеллы в августе 2010 г.

Fig. 2. Distribution of eggs (A) and larvae (B) of the round sardinella in August, 2010

Нами был выполнен расчет индекса численности и абсолютной численности икринок и личинок массовых видов рыб рассматриваемого района. Индексы численности икринок и личинок рыб, используемые для качественного и количественного анализа интенсивности нереста и изучения динамики численности этих видов в раннем онтогенезе, были рассчитаны по стандартным станциям методом площадей. Результаты расчёта представлены в табл. 1.

Таблица 1. Индексы численности икринок (И) и личинок (Л) (экз. x 10<sup>9</sup>) массовых видов рыб в районе Мавритании (16-21°с. ш.)

Table 1. Indices of number of eggs (И) and larvae (Л) (spec. x 10<sup>9</sup>) of mass fish species near Mauritania (16-21°N)

Период съёмки (год, месяц)	Вид рыбы									
	европейская сардина		круглая сардинелла		европейская ставрида		западно-африканская ставрида		восточная скумбрия	
	И	Л	И	Л	И	Л	И	Л	И	Л
2000, VII	-	-	703,0	397,6	-	-	452,1	96,0	11,0	6,9
2001, VIII	-	2,3	-	4486,8	-	-	55,3	32,0	-	43,8*
2003, XI-XII	3580,7	2807,3	12,6*	3,1	54,9	99,2	-	-	13,6	85,4*
2004, VIII	29,3	53,2	65,0	565,6	-	-	38,1	70,8	4,9	18,2*
2005, I	10245,4	294,9*	66,6	1,9	17,9	13,4*	-	-	16,3	9,2*
2005, XII – 2006, I	1922,7	1042,2	-	-	66,8	29,4	-	-	58,1	35,1
2006, VIII	15,2	-	86,8	545,3	-	-	75,4	16,8	5,2	27,9
2007, VIII	36,2	10,5	1679,0	1240,1	-	-	43,6	219,1*	-	-
2007, XII – 2008, I	12464,0	4023,7	26,2	2,6*	682,5	759,2*	-	-	200,1*	387,1*
2008, VIII	360,7	54,1	229,1	249,7	-	-	49,4	30,5	11,1	17,2
2009, I	12038,7	2855,8	-	-	1726,3	247,8	-	-	1319,9*	390,8*
2010, I	48636,9	1263,4*	273,8*	11,8	2436,1*	179,5*	-	-	683,3*	33,2*
2010, VIII	-	183,2	7251,4	301,2	-	-	583,2	99,7	23,7	-
2011, VIII	-	-	4451,3	3053,9	-	-	72,1*	45,8	31,1	5,5
2012, I	1,8	768,1	-	-	197,3*	60,9	-	-	126,5	1,0
2012, XI-XII	204,8	122,2	37,1	24,3	51,8*	144,8	60,7*	37,1*	103,3*	-

\*в рассматриваемом году на значения индекса численности данного вида на ранних стадиях развития повлияли один-два больших улова на учётных станциях, что привело к некоторому завышению результата.

Численность сельдевых на ранних стадиях развития, как правило, значительно превышала численность ставридовых и скумбриевых. Количество икринок и личинок ставридовых и скумбриевых изменялось в близких пределах.

Как уже сказано, в теплые сезоны года в ихтиопланктоне преобладали представители тропической фауны, в холодные – субтропической. Можно отметить повышенную численность икринок и личинок европейской сардины в зимние сезоны 2005, 2007/08, 2009 и 2010 гг., круглой сардинеллы – летом 2007, 2010 и 2011 гг. Изменения численности икринок и личинок ставридовых и скумбриевых по годам не имели выраженных трендов.

Абсолютная численность икринок и личинок рассматриваемых видов для всей исследуемой акватории от побережья до изобаты 1000 м рассчитывалась с использованием ГИС-технологий методом обратно взвешенных расстояний. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Абсолютная численность икринок (И) и личинок (Л) (экз. x 10<sup>9</sup>) массовых видов рыб в районе Мавритании (16-21°с. ш.)

Table 2. The absolute number of eggs (И) and larvae (Л) (spec. x 10<sup>9</sup>) of mass fish species near Mauritania (16-21°N)

Период съёмки (год, месяц)	Вид рыбы									
	европейская сардина		круглая сардинелла		европейская ставрида		западно-африканская ставрида		восточная скумбрия	
	И	Л	И	Л	И	Л	И	Л	И	Л
2000, VII	-	-	1555,2	467,2	-	-	1166,0	104,3	12,7	7,4
2001, VIII	-	6,3	-	16000,6	-	-	70,5	90,8	-	41,9*
2003, XI-XII	4994,9	3307,8	10,9*	4,4	69,0	141,9	-	-	15,6	79,0*
2004, VIII	37,2	57,1	89,5	837,7	-	-	43,8	73,0	6,9	12,1*
2005, I	15618,7	234,9*	264,9	5,8	25,7	8,7*	-	-	21,6	6,3*
2005, XII – 2006, I	3108,1	1638,0	-	-	106,3	29,5	-	-	83,9	41,2
2006, VIII	36,8	-	165,8	850,9	-	-	96,6	18,2	10,3	35,9
2007, VIII	43,2	11,8	4037,4	1779,3	-	-	60,8	208,0*	-	-
2007, XII – 2008, I	18479,9	4387,2	29,6	1,2*	776,1	510,7*	-	-	160,4*	250,9*
2008, VIII	509,5	119,4	640,4	449,7	-	-	60,7	47,3	19,9	26,6
2009, I	16601,1	3068,6	-	-	1882,4	304,5	-	-	1144,8*	371,6*
2010, I	78648,4	1048,7*	262,5*	16,7	1794,9*	95,7*	-	-	577,9*	22,9*
2010, VIII	-	236,0	30229,9	432,1	-	-	1984,1	130,8	97,3	-
2011, VIII	-	-	10737,2	6357,6	-	-	43,5*	77,8	58,7	7,6
2012, I	3,0	2128,0	-	-	194,0*	95,2	-	-	134,4	2,2
2012, XI-XII	360,2	162,9	41,1	32,2	50,9*	150,0	53,3*	32,8*	91,6*	-

\*в рассматриваемом году абсолютная численность анализируемого вида на ранней стадии развития примерно равна или несколько меньше значения индекса численности этого вида.

Сравнение средних значений индекса численности и абсолютной численности массовых видов ихтиопланктона показало, что значения второго показателя колебались относительно первого в пределах от 0,9 до 3,2 раза (табл. 3). В некоторые из рассматриваемых лет значения абсолютной численности икринок и личинок исследуемых видов рыб были примерно равны или даже несколько

меньше значений их индекса численности. В основном такая ситуация наблюдалась у субтропических видов (европейской ставриды и восточной скумбрии), нерестящихся на севере изучаемого района. По-видимому, это связано с тем, что в ходе съёмок отмечались один-два больших улова анализируемых видов на ранних стадиях развития, которые повлияли на значение индекса их численности, а при расчёте абсолютной численности вида значения больших уловов нивелировались в ходе интерполяции результатов на всю рассматриваемую площадь.

Таблица 3. Средние значения численности икринок (И) и личинок (Л) массовых рыб (экз.  $\times 10^9$ ) в 2000-2012 гг.

Table 3. Mean values of number of eggs (И) and larvae (Л) (spec.  $\times 10^9$ ) in 2000-2012

Средние значения	Вид рыбы									
	европейская сардина		круглая сардинелла		европейская ставрида		западноафриканская ставрида		восточная скумбрия	
	И	Л	И	Л	И	Л	И	Л	И	Л
Индекс численности (ИЧ)	5596,0	842,6	930,1	680,2	327,1	95,9	89,4	40,5	163,0	66,4
Абсолютная численность (АЧ)	8652,6	1025,4	3004,0	1702,2	306,2	83,5	223,7	48,9	152,3	56,6
АЧ/ИЧ	1,5	1,2	3,2	2,5	0,9	0,9	2,5	1,2	0,9	0,9

Расчёт абсолютной численности ихтиопланктона методом обратно взвешенных расстояний имеет свои ограничения [13]. Из-за значительного количества нерезультативных ловов и одного-двух больших уловов в некоторые годы получились близкие или меньшие по сравнению с индексом численности результаты. Поэтому оптимально при выполнении ихтиопланктонных съёмок иметь количество результативных уловов более 3-5, для чего следует несколько увеличить количество выполняемых станций. По нашему мнению, значения абсолютной численности икринок и личинок рыб, рассчитанные по большому количеству результативных уловов (более 3-5), точнее отражают динамику численности ихтиопланктона, так как они определялись для всей акватории съёмок, а не по стандартным станциям, данные по которым использовались при определении индекса численности. В целом многолетние тенденции колебаний индекса численности и абсолютной численности ранних стадий онтогенеза массовых видов рыб были сходными (табл. 1, 2).

Выявленные межгодовые колебания численности ихтиопланктона, по всей видимости, были обусловлены изменчивостью гидрологических условий и в первую очередь интенсивностью прибрежных апвеллингов. Это в конечном счете привело к изменениям площади насыщенных биогенами глубинных вод, поднятых на поверхность, вспышке численности фито-, а затем и зоопланктона, что, в свою очередь, привлекало туда рыб-планктофагов. Все вышеперечисленное несомненно сказывается на сроках и интенсивности нереста промысловых рыб и, в частности, на особенностях вспышек их нерестовой активности. Кроме того, на полученные результаты, видимо, повлияли и изменения сроков проводимых съёмок в разные годы. Границы толерантности и оптимальные значения абиоти-

ческих и биотических факторов среды для нереста рассматриваемых видов рыб различны, поэтому вспышки численности икринок и личинок этих видов происходили не синхронно [4, 7].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В водах Мавритании ранние стадии развития массовых рыб распределялись на большей части исследуемой акватории с максимальными скоплениями южнее крупных мысов. Тенденции изменений индекса численности и абсолютной численности рассматриваемых рыб в раннем онтогенезе по годам в водах Мавритании были одинаковы. Значения абсолютной численности икринок и личинок рыб, по нашему мнению, точнее отражают динамику численности ихтиопланктона, так как они определяются для всей акватории съёмки, а не по стандартным станциям, данные по которым использовались при определении индекса численности. Колебания численности икринок и личинок изучаемых видов происходили не синхронно. Эти колебания в основном определялись сложным комплексом абиотических и биотических факторов среды, влияющих на распределение и численность массовых промысловых видов рыб Центрально-Восточной Атлантики в раннем онтогенезе, а также смещением периодов проведения съёмок в разные годы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Доманевский, Л. Н. Рыбы и рыболовство в неритической зоне Центрально-Восточной Атлантики / Л. Н. Доманевский. – Калининград: АтлантНИРО, 1998. – 195 с.
2. Центрально-Восточная Атлантика / Р. Г. Берников [и др.] // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и южной части Тихого океана. – 2002. – Т. 1. – С. 146-195.
3. Архипов, А. Г. Сезонная и межгодовая изменчивость ихтиопланктона у побережья Мавритании / А. Г. Архипов // Вопросы ихтиологии. – 2009. – Т. 49, № 4. – С. 519-527.
4. Архипов, А. Г. Динамика численности икринок и личинок массовых видов рыб северной части Центрально-Восточной Атлантики / А. Г. Архипов // Вопросы ихтиологии. – 2015а. – Т. 55, № 2. – С. 173-179.
5. Blache J., Cadenat J., Stauch A. Faune tropicale // XVIII Cles de determination des poissons de mer signales dans l'Atlantique oriental. Paris. ORSTOM. 1970. – 479 p.
6. Дехник, Т. В. Значение ранних стадий развития в формировании численности поколений / Т. В. Дехник, В. П. Серебряков, С. Г. Соин // Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. – Москва, Наука, 1985. – С. 56-72.
7. Архипов, А. Г. Динамика численности и особенности распределения ихтиопланктонных сообществ северной части Центрально-Восточной Атлантики и морей Средиземноморского бассейна / А. Г. Архипов. – Калининград: АтлантНИРО, 2006. – 232 с.

8. Архипов, А. Г. Применение результатов изучения раннего онтогенеза морских промысловых рыб в рыбохозяйственной деятельности / А. Г. Архипов // Труды ВНИРО. – 2015б. – Т. 156. – С. 14-35.
9. Носков, А. С. Методические указания по сбору проб зоо-, ихтиопланктона планктоносорщиком «БОНГО» и их обработке / А. С. Носков, В. И. Виноградов, А. Н. Романченко. – Калининград: АтлантНИРО, 1983. – С. 36.
10. Аксютин, З. М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З. М. Аксютин. – Москва: Пищ. пром-сть, 1968. – 289 с.
11. Пак, Р. А. Использование современных геоинформационных технологий в исследованиях ранних стадий развития промысловых рыб северной части Центрально-Восточной Атлантики / Р. А. Пак, Ф. В. Коломейко, А. Г. Архипов // Известия КГТУ. – 2016. – № 42. – С. 39-48.
12. Архипов, А. Г. Динамика численности ихтиопланктона у побережья Мавритании / А. Г. Архипов, Р. А. Пак, Т. А. Симонова // Труды АтлантНИРО. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 98-106.
13. Watson D.F., Philip G.M. A refinement of inverse distance weighted interpolation // Geoprocessing. 1985. V. 2. P. 315-327.

#### REFERENCES

1. Domanevskiy L. N. *Ryby i rybolovstvo v neriticheskoy zone Tsentral'no-Vostochnoy Atlantiki* [Fish and fishery in the neritic zone of Central East Atlantic]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1998, 195 p.
2. Bernikov R. G., Domanevskii L. N., Kuderskii S. K., Yakovlev V. N. *Tsentral'no-Vostochnaya Atlantika* [Central East Atlantic]. *Promyslovo-oceanologicheskie issledovaniya v Atlanticheskom okeane i yuzhnoi chasti Tikhogo okeana (pod red. V. N. Yakovleva)* [Trade and oceanologic researches in the Atlantic Ocean and the southern part of the Pacific Ocean (under the editorship of V. N. Yakovlev)]. 2002, vol. 1, pp. 146-195.
3. Arkhipov A. G. *Sezonnaya i mezhhodovaya izmenchivost' ikhtioplanktona u poberezh'ya Mavritanii* [Seasonal and interannual variability of the ichthyoplankton at the coast of Mauritania]. *Voprosy ikhtiologii*, 2009, vol. 49, no. 4, pp. 519-527.
4. Arkhipov A. G. *Dinamika chislennosti ikrinok i lichinok massovykh vidov ryb severnoy chasti Tsentral'no-Vostochnoy Atlantiki* [Dynamics of number of eggs and larvae of mass fish species of the northern part of Central East Atlantic]. *Voprosy ikhtiologii*, 2015, vol. 55, no. 2, pp. 173-179.
5. Blache J., Cadenat J., Stauch A. *Faune tropicale. XVIII Cles de determination des poissons de mer signales dans l'Atlantique oriental*. Paris, ORSTOM, 1970, 479 p.
6. Dekhnik T. V., Serebryakov V. P., Soin S. G. *Znachenie rannikh stadiy razvitiya v formirovaniy chislennosti pokoleniy* [Importance of early stages of development in formation of the number of generations]. *Teoriya formirovaniya chislennosti i ratsional'nogo ispol'zovaniya stad promyslovykh ryb* [Theory of formation of the number and rational use of commercial fish population]. Moscow, Nauka, 1985, pp. 56-72.
7. Arkhipov A. G. *Dinamika chislennosti i osobennosti raspredeleniya ikhtioplanktonnykh soobshchestv severnoy chasti Tsentral'no-Vostochnoy Atlantiki i morey Sredizemnomorskogo basseyna* [Abundance dynamics and distributional features

for the ichthyoplankton communities from the northern Eastern Central Atlantic and Mediterranean Basin Seas]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 2006, 232 p.

8. Arkhipov A. G. *Primenenie rezul'tatov izucheniya rannego ontogeneza morskikh promyslovykh ryb v rybokhozyaystvennoy deyatelnosti* [Application of research results of an early ontogenesis of commercial sea fish in fishing activities]. Tr. VNIRO, 2015, vol. 156, pp. 14-35.

9. *Metodicheskie ukazaniya po sboru prob zoo- i ikhtioplanktona planktonosborshchikom «Bongo» i ikh obrabotke* [Study guide on collecting tests of zoo- and ichthyoplankton using "Bongo" plankton sampler and their following processing]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1983, 36 p

10. Aksyutina Z. M. *Elementy matematicheskoy ocenki rezul'tatov nablyudeniya v biologicheskikh i rybokhozyaystvennykh issledovaniyakh* [Elements of mathematical assessment of results of supervision in biological and fishery researches]. Moscow, Pishch. prom-t', 1968, 289 p.

11. Pak R. A., Kolomeiko F. V., Arkhipov A. G. *Ispol'zovanie sovremennykh geoinformatsionnykh tekhnologiy v issledovaniyakh rannikh stadiy razvitiya promyslovykh ryb severnoy chasti Tsentral'no-Vostochnoy Atlantiki* [Use of the modern geoinformational technologies in researches of early stages of development of commercial fish of the northern part of Central East Atlantic]. *Izvestiya KGTU*, 2016, no. 42, pp. 39-48.

12. Arkhipov A. G., Pak R. A., Simonova T. A. *Dinamika chislennosti ikhtioplanktona v vodakh Mavritanii* [Population dynamics of ichthyoplankton at the coast of Mauritania]. *Trudy AtlantNIRO*, 2017, vol. 1, no. 4, pp. 98-106.

13. Watson D. F., Philip G. M. *A refinement of inverse distance weighted interpolation*. Geoprocessing, 1985, vol. 2, pp. 315-327.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Пак Регина Анатольевна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры ихтиологии и экологии;  
E-mail: pak.regina@bk.ru

*Pak Regina Anatol'evna* – Kaliningrad State Technical University; Graduate Student at the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: pak.regina@bk.ru

*Архипов Александр Геральдович* – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (г. Калининград); доктор биологических наук; заместитель директора; E-mail: arkipov@atlantniro.ru

*Arkhipov Aleksandr GERAL'DOVICH* – Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Kaliningrad); Doctor of Biological Sciences, Deputy Director; E-mail: arkipov@atlantniro.ru

*Симонова Татьяна Александровна* – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (г. Калининград); старший инженер

*Simonova Tatyana Aleksandrovna* – Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Kaliningrad); Senior Engineer

УДК: 574.2 595.36: 591.4: 591.5

БИОЛОГИЯ КРАБОВ *LYPHIRA PERPLEXA* GALIL, 2009  
(CRUSTACEA: BRACHYURA: LEUCOSIIDAE) ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

С. А. Судник, Е. А. Поддueva

BIOLOGY OF THE CRAB *LYPHIRA PERPLEXA* GALIL, 2009  
(CRUSTACEA: BRACHYURA: LEUCOSIIDAE) IN THE SOUTH CHINA SEA

S. A. Sudnik, E. A. Poddueva

*Lyphira perplexa* Galil, 2009 – многочисленный вид семейства кошельковых крабов в прибрежных и сублиторальных водах Индийского океана, встречается в Тихом океане. Поселения этого хищника-бентофага, массовые в зал. Нячанг Южно-Китайского моря, должны оказывать существенное влияние на эти водные экосистемы. Кроме того, *L. perplexa* – объект массового кустарного промысла. Таксономические описания вида сделаны в 2009 г., есть отдельные данные о его распространении. С использованием оригинальной методики лабораторного биологического анализа получены первые сведения о размерно-половой структуре поселений краба *L. perplexa*, репродуктивных чертах его биологии в зал. Нячанг в феврале 2014 г. В пробе в 1,7 раз доминировали самцы; они достигали более крупных размеров (до 25 мм ширины карапакса), чем самки (до 20,9 мм). Размер половозрелости для самцов *L. perplexa*, полученный морфометрическим методом, составляет 23-24 мм; для самок (определенный при оценке зрелости яичников) – менее 16 мм ширины карапакса. Анализ репродуктивного состояния самок показал, что февраль – время активного нереста крабов в заливе, в это время у преднерестовых самок размер зрелых ооцитов составляет  $0,23 \times 0,26$  мм, их гонадосоматический индекс небольшой величины – в среднем 4,3 %. Плодовитость крабов достигает 3282 яиц (размером  $0,24 \times 0,3$  мм), ряд биологических механизмов обеспечивают самкам продолжительный нерестовый сезон с возможностью производства более двух кладок яиц в году. Частота встречаемости симбионтов (Cirripedia: Lepadidae) на покровах крабов составила 1,3 %, частота встречаемости признаков панцирной болезни – 2,2 %.

*кошельковые крабы, Lyphira perplexa, залив Нячанг, репродуктивная биология, созревание, плодовитость, размеры ооцитов, размеры яиц*

*Lyphira perplexa* Galil, 2009 – a numerous species of purse crabs in the coastal and sublittoral waters of the Indian Ocean, was found in the Pacific Ocean. The settlements of this benthic eating predator, massive in the Nha Trang Bay of the South China Sea, should have a significant effect on these aquatic ecosystems. In addition, *L. perplexa* is an object of mass coastal (handicraft) fishery. Taxonomic descriptions of the species were made in 2009 and only some data on its distribution were published. Using the original method of laboratory biological analysis the first data about the size-sex structure, reproductive features of *L. perplexa* biology in the Nha Trang Bay in February 2014 were obtained. Males dominated 1.7 times, reaching larger sizes (up to 25 mm

carapace width) than females (up to 20.9 mm). The maturity size for males, which was obtained by the morphometric method, is 23-24 mm; for females this size determined, using the assessment the maturity of the ovaries, is less than 16 mm carapace width. Analysis of the reproductive state of females showed that February is the time of active spawning of crabs in the bay, the size of ripe oocytes is 0.23x0.26 mm, gonadosomatic index in prespawning females – of small size, on average 4.3 %. The fecundity of crabs reaches 3282 eggs with sizes of 0.3x0.24 mm; some biological mechanisms provide crab females with a long spawning season with the possibility of producing more than two egg clutches per year. The frequency of occurrence of symbionts (Cirripedia: Lepadidae) on crabs exoskeleton was 1.3 %, the frequency of occurrence of signs of shell disease – 2.2 %.

*purse crabs, Lyphira perplexa, the Nha Trang Bay, reproductive biology, maturity, fecundity, sizes of ripe oocytes, eggs sizes*

## ВВЕДЕНИЕ

*Lyphira perplexa* Galil, 2009 – краб из семейства Leucosiidae инфраотряда Brachyura (настоящих крабов). *L. perplexa* – многочисленный вид крабов в прибрежных и сублиторальных водах Индийского океана, отмечен в Тихом океане. Донные поселения краба, массовые в зал. Нячанг Южно-Китайского моря (устное сообщение И. Н. Марина), должны оказывать существенное влияние на эти водные экосистемы. Будучи хищником-бентофагом, питающимся высшими ракообразными (креветками и крабами), молодью или мелкими видами рыб и брюхоногими моллюсками, а также, в меньшей степени, амфиподами, офиурами, насекомыми, фораминиферами (устное сообщение Р. Н. Буруковского), *L. perplexa* участвует в сложных биотических связях водоемов, разделяет пищевые ресурсы с рыбами-бентофагами Южно-Китайского моря, способен составить пищевую конкуренцию специализированным в питании видам рыб. Крабы играют важную роль в биологических процессах трансформации веществ и энергии продуцентов через консументов в ценную кормовую для крупных видов рыб и других гидробионтов. Кроме того, крабы – ценные кормовые организмы в питании рыб Южно-Китайского моря: их находят в желудках промысловых (морского угря, скумбрии, горбылей) и массовых видов рыб (*Silago sihama* (корюшковая силага), сем. Silaginidae, скатов, рифовых, зебровых, молотоголовых акул) [1]. Несмотря на свои малые размеры, в зал. Нячанг *L. perplexa* – объект массового кустарного промысла (вылавливается крабовыми ловушками и собирается вручную) (устное сообщение И. Н. Марина).

Для науки исследуемый вид крабов – достаточно новый, его таксономические описания сделаны в 2009 г. [2]. На сегодняшний день имеются отдельные данные о его встречаемости, географическом и батиметрическом распределении [2-8] и первые полученные нами сведения о размерно-половой структуре поселения, половозрелости самцов и самок крабов, репродуктивных чертах биологии [9-13]. Наши исследования биологии *L. perplexa* выполняются по заказу международного проекта Института проблем экологии и эволюции имени 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: обобщение полученных нами характеристик биологии *L. perplexa* в Южно-Китайском море. Результаты исследования могут способствовать решению проблем сохранения биоразнообразия краба *L. perplexa* в экосистемах Южно-Китайского моря и других частях ареала.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал: проба крабов (318 экз.) была отобрана 06.02.2014 г. случайным образом из свежих уловов рыбаков, собранных вручную в прибрежной зоне на коралловых литоральных плитах зал. Нячанг Южно-Китайского моря у г. Нячанг (Республика Вьетнам, 12°15' с. ш. 109°11' в. д.) и зафиксирована 70%-ым спиртом. Для комплексных исследований биологии крабов использована оригинальная методика лабораторного биологического анализа крабов, в основе которой положены данные методик (Родин, 1977 [14] – для полевых анализов крабов; Буруковский, 1992 [15]; Sudnik S.A., Falkenhaus, 2014 [16] – для лабораторных исследований креветок). Полностью методика публикуется впервые. В состав анализа входили: выполнение промеров, в том числе для дальнейшего создания биометрического паспорта вида; определение пола, весовых параметров, степени половозрелости самцов и самок, стадии зрелости яичников, стадии развития эмбрионов в яйцах с плеоподов, состояния панциря, наличия паразитов и симбионтов на панцире и конечностях крабов. Также подсчитывалось количество яиц с плеоподов самки, измерялись зрелые ооциты и яйца.

Длина и ширина карапакса (ДК и ШК) измерялись с помощью окуляр-микрометра бинокулярного микроскопа МБС-10 с точностью 0,5 мм: ДК – от заднего края глазных орбит до заднего края тельсона по спинной стороне тела; ШК – в самом широком месте карапакса. После кратковременного подсушивания тела краба на фильтровальной бумаге его масса определялась с точностью до 0,01 г на аналитических весах типа Adventurer™ Pro. Масса слегка влажных отпрепарированных яичников и кладки яиц с плеоподов краба определялась с помощью торсионных весов Techniprot (0-500 мг) с точностью до 0,001 г.

При определении пола у этих видов крабов важными показателями являются: форма абдомена и строение брюшных ножек – плеоподов (обычно у самцов здесь развивается копуляторные придатки) [8]. У самцов первый сегмент брюшка довольно узкий, второй-шестой сегменты объединены, последний сегмент проксимально посередине вогнут, на краю с зубчиком; тельсон удлиненный и рассечённый. У самок 1-й – 2-й сегменты абдомена довольно узкие, сегменты с 3-го по 6-й объединены и значительно расширены; тельсон имеет почти треугольную форму [8]. У самцов этого вида краба из пяти пар плеоподов есть только первые две пары: плеоподы 1-й пары – это копуляторные органы (пенисы), которые имеют вид длинных, плоских, щетинистых придатков; плеоподы 2-й пары – это уменьшенные в размерах гоноподии, короткие, изогнутой, нитевидной формы. У самок данного вида крабов достаточно развиты все плеоподы, они используются ими для вынашивания под брюшком кладки яиц. Визуальное определение пола крабов по вторичным половым признакам подкреплялось определением типа их гонад (семенники или яичники) при вскрытии особи, и при идентификации гонад как яичников у последних оценивалась стадия их зрелости.

Половозрелость организма характеризуется размером (у крабов – шириной карапакса), при достижении которого он становится способным участвовать в

размножении. Определение половозрелости самцов ракообразных – трудоемкий процесс, так как структур, регистрирующих наступление половой зрелости, у них нет. Для самцов крабов используют два основных метода: гистологический и морфометрический. Первый у самцов основан на определении степени зрелости семенников или наличия сперматофоров в семяпроводах на их гистологических срезах; у самок – на определении степени зрелости яичников. Второй, морфометрический метод, базируется на определении изменения скорости роста отдельных частей тела крабов при половом созревании ракообразного [17, 18]. Нами для самцов использовался только морфометрический метод, для самок – оба метода.

Морфометрический анализ включал морфометрию ряда структурных элементов экзоскелета, оценку их типа и характера роста. Измерялись длина и ширина меруса торакоподов 3-й пары; длина и ширина ладони клешни, длина клешни полностью клешненосных торакоподов; длина и ширина карапакса; длина и ширина абдомена краба (иллюстрации измерений – см. [9]).

У данного вида крабов гонады ограничены головогрудным отделом. Для определения степени зрелости яичников у крабов нами разработана оригинальная шестибальная шкала (в основу ее легла подобная шкала, созданная для креветок [15, 16]), основанная на макроскопических признаках, характеризующих состояние гонад (их цвет, форма, структура, относительные размеры):

Стадия I – яичники полупрозрачные, очень узкие, маленькие, трудноотличимы на фоне других тканей тела; имеют H-образную форму; гранулярности ткани гонад нет;

Стадия II – гонады различаются на фоне других тканей, беловатые; H-образной формы; их отростки становятся более длинными и узкими; длина яичников – до 40-60 % от длины карапакса, ширина – до 20-40 % от ширины карапакса;

Стадия III – у яичников появляется цвет, часто это не сильно выраженные оттенки желтого или оранжевого – они находятся в начале активного вителлогенеза; имеют H-образную форму, гранулированную структуру; занимают до 70 % ДК и до 50-60 % ширины карапакса;

Стадия IV – окраска гонад и гранулированность их структуры усиливается; форма H-образная; занимают до 80-90 % ДК и до 70-80 % ширины карапакса;

Стадия V – цвет гонад интенсивный; яичники крупные, H-образной формы; целиком занимают свободное внутреннее пространство головогруды;

Стадия VI-II (у посленерестовых самок) – яичники ясно отличимы на фоне других тканей тела; H-образной формы, слабо развитые; их гранулярная структура не очевидна, на этом фоне могут встречаться крупные ярко окрашенные зрелые ооциты, не выметанные при предыдущем нересте; гонады занимают до 40-60 % ДК и до 40 % ширины карапакса.

Стадии развития эмбрионов в яйцах, вынашиваемых на плеоподах, определялись по пятибалльной шкале, разработанной для определения стадии развития эмбрионов в яйцах креветок [15, 16].

Стадия I – яйцо полупрозрачное; желток однородный, занимает 100 % объема яйца; визуально различимых признаков развития эмбриона не наблюдается;

Стадия II – яйцо полупрозрачное; желток занимает до 70 % его объема; заметна зародышевая полоска в виде полумесяца;

Стадия III – желток занимает до 30 % объема яйца; остальное пространство занято эмбрионом полулунной формы, его хвост может достигать головы и даже заворачиваться на нее; зачаток глаза в виде тоненькой серповидной полоски, роговица глаза частично пигментирована;

Стадия IV – отличается от предыдущей стадии наличием у зародыша хорошо развитых глаз (их роговица овальной формы пигментирована); количество желтка несколько меньше, чем в предыдущей стадии, размер эмбриона увеличивается; у крупнощуповых креветок развиваются головогрудные придатки;

Стадия V – внутри яйца находится полностью сформированная личинка, готовая к вылуплению. На этой стадии на плеоподах могут встречаться как яйца с хорошо развитыми личинками зоза, так и недавно вылупившиеся личинки.

Абсолютная разовая плодовитость (АРП: количество зрелых ооцитов в преднерестовых яичниках самок, которые будут отложены единоразово во время нереста), у *L. perplexa* нами не определялась.

При определении РРП (разовая реализованная плодовитость – количество яиц с плеоподов самки) от взвешенной кладки яиц под биноклем отбиралась навеска, содержащая 500 яиц, и после легкого просушивания взвешивалась на торсионных весах с точностью до 0,001 г. Величину РРП получали, решая соответствующую пропорцию. Зрелые ооциты, фиксированные спиртом, имеют округлую, слегка вытянутую форму; яйца – форму эллипсоида вращения. С помощью окуляра-микрометра бинокулярной лупы МБС-10 с точностью до 0,01 мм измерялись большой и малый диаметры не менее десяти ооцитов/яиц и подсчитывались их средние величины. Гонадосоматический индекс (ГСИ) рассчитывался для зрелых яичников крабов как отношение их массы (без суммарной массы гонады, наполненного пищей желудка и, если это была яйценосная особь, – массы кладки яиц с плеоподов) к массе тела самки в процентах.

При оценке состояния покровов крабов отмечалось наличие или отсутствие линяющих особей: линяющие совершенно не имеют панциря или он у них чрезвычайно тонкий и мягкий; у недавно перелинявших особей панцирь чистый, упругий; у крабов в поздний межлиночный период панцирь толстый, негибкий, может нести симбионтов. Наличие визуально различимых паразитов и симбионтов на панцире и конечностях крабов отмечалось по рекомендациям [19, 20].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Соотношение полов в пробе *L. perplexa* составило 1,7 : 1 (199 самцов и 119 самок). У некрупного краба с Черного моря *Rhithropanopeus harrisi* в некоторых ареалах также доминировали самцы [21]. Равное количество самцов и самок – редкость в природе. Соотношение полов в популяции изменчиво, связано с условиями среды и определяет эволюционную пластичность вида [22]. Полученное преобладание самцов может быть связано с методом сбора или/и поведением крабов или быть результатом промискуитета, что отмечено у крабов *Brachyura* и позволяет им давать генетически более разнообразное потомство [23].

Самцы достигали более крупных размеров (до 25 мм ШК), чем самки (до 20,9 мм) (рис. 1). Среди более мелких особей (ШК до 19 мм) доминировали самки, в основном репродуктивно активные, а среди более крупных крабов – самцы. По литературным данным, размеры самцов *L. perplexa* из Индийского океана достигают несколько большей величины – почти до 28 мм ДК [2]

(в зал. Нячанг – до 25 мм ДК), данные по размерам самок с Индийского и Тихого океанов достаточно схожи – до 22,1 [2] и 22,6 мм, соответственно.

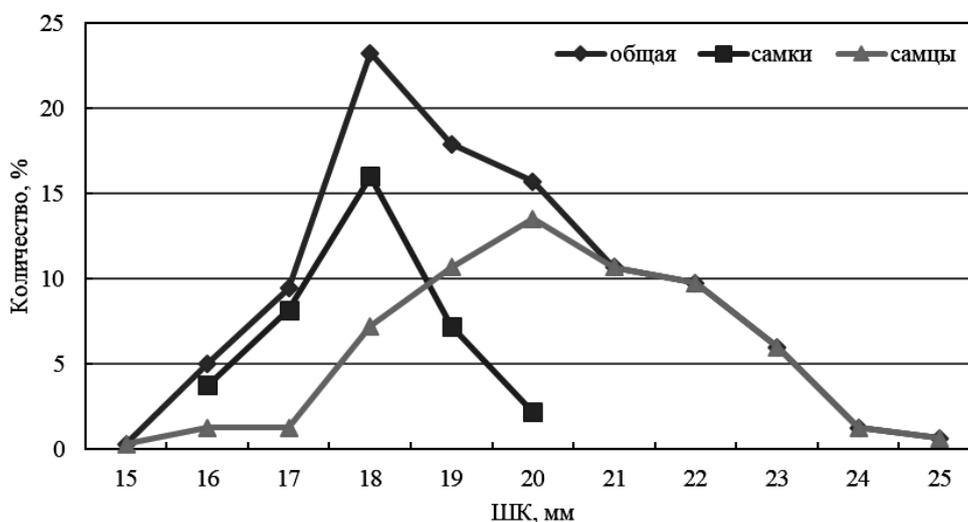


Рис. 1. Размеры тела крабов *L. perplexa*, зал. Нячанг, 2014 г.  
 Fig. 1. Sizes (carapace width) of *L. perplexa*, Nha Trang Bay, 2014

Масса тела крабов *L. perplexa* составила 1,5-6,4 г. Большая максимальная масса тела самцов (6,42 г) соответствует их большему, по сравнению с самками (5,09 г), максимальному размеру. Между параметрами длина-масса выявлена сильная зависимость с коэффициентом корреляции 0,84 (подробнее – см. [13]).

Ранее [9-11] мы оценили возможность применимости морфометрического метода для определения размера половозрелости самцов и самок *L. perplexa*. Метод основан на изменении средней скорости роста ряда значимых структурных элементов экзоскелета крабов (см. методику) относительно прироста их ШК до и после полового созревания. Результат исследований показал, что за размер половозрелости самцов можно принять 21-24 мм ШК. Многолетний анализ данного размера помогает прогнозировать состояние популяции крабов и давать рекомендации по промыслу. Для самок *L. perplexa* морфометрический метод оценки размера половозрелости оказался непригоден; его определять мы рекомендуем путем оценки степени зрелости яичников. Анализ показал, что половозрелость самок *L. perplexa* наступает при размерах менее 16 мм ШК (точнее определить не позволил материал: недостаточно мелких особей).

Время сбора материала в зал. Нячанг (февраль 2014 г.) было временем активного нереста *L. perplexa* – яйценосные самки преобладали почти в 4,5 раза над самками без яиц (81,5 и 18,5 %, соответственно), при этом 52,2 % самок несли недавно отложенные яйца (в ст. 1; рис. 2), а среди самок без яиц около 15 % особей было в преднерестовом состоянии (рис. 3, б). Состояние значительной группы самок (яйценосные, с созревающими и зрелыми гонадами (ст. III-V), доля от всех самок – 46,2 %) (рис. 3, а) говорило о возможности повторного нереста в ближайшее время в этом году.

Разовый ГСИ у преднерестовых самок составил 2,96-6,03, в среднем – 4,3 %. ГСИ мелких самок (ШК 16 мм) был достоверно выше (1,5 раза) ГСИ более крупных особей (ШК 18-20 мм) ( $5,51 \pm 0,48$  и  $3,73 \pm 0,54$ , соответственно). Это мо-

жет объясняться повторным созреванием более крупных зрелых самок, при возможных меньших тратах ресурсов, энергии на каждое повторное созревание.



Рис. 2. Стадии развития эмбрионов (ст. 1–3) у самок *L. perplexa* с гонадами в разных (III–VI–II) стадиях зрелости, залив Нячанг, февраль 2014 г.  
 Fig. 2. Stages of embryonic development (st. 1–3) in *L. perplexa* females with gonads at the different maturity stage (st. III–VI-II), the Nha Trang Bay, February 2014

У креветок из разных таксономических и экологических групп ГСИ широко варьировался (2–24 %, в среднем 8 %). В целом невысокие значения ГСИ зрелых самок *L. perplexa* могут быть связаны с их продолжительным нерестовым сезоном, когда каждая особь нерестится несколько раз, потому разовые репродуктивные траты невысоки. То же отмечено, в целом, для тропических видов крабов *Brachyura* – они производят больше кладок, чем виды умеренных широт, потому их суммарные ежегодные репродуктивные траты могут достигать 250 % [24].

97 самок *L. perplexa* вынашивали яйца с эмбрионами в стадиях развития 1–3 (52,2 % самок – в ст. 1; 22,9 % – в ст. 2; 24,9 % – в ст. 3). Обнаружено достаточно синхронное созревание яичников и развитие эмбрионов в яйцах на плеоподах (рис. 2): у только что отнерестившихся самок гонады не развиты (в ст. зрелости VI-II); самки с созревающими гонадами в ст. зрелости III вынашивали эмбрионы в ст. развития 1–3 (чаще – в ст. 2); а самки с гонадами в ст. зрелости IV–V – эмбрионы в ст. 3). Это позволяет производить самками краба *L. perplexa* более одной кладки за нерестовый период. Подобная синхронность созревания гонад и эмбриогенеза наблюдается у многих видов каридных креветок [25] и описана для ряда крабов, в том числе для *R. harrisi* [21].

У пяти крупных преднерестовых самок (ШК 17,9–19,0 мм) были выделены из гонад и измерены зрелые ооциты; их размеры составили 0,215–0,256 мм (ширина) x 0,285–0,297 мм (длина), в среднем – 0,230±0,01 x 0,259± 0,02 мм.

Достоверных различий в размерах яиц с эмбрионами на стадиях развития 1–3 (начало-середина эмбриогенеза) у *L. perplexa* не выявлено (табл. 1). Это, возможно, объясняется небольшим исследованным материалом и отсутствием в нем самок с развитыми эмбрионами (в ст. развития 4 и 5), поскольку именно на поздних этапах эмбриогенеза наблюдается значительное увеличение размера яиц [26]. У других десятиногих раков, например, краба *Paralithodes camtschaticus*, крабоида *Petrolisthes laevigatus*, ряда видов тропических креветок, за весь процесс эмбриогенеза увеличение размеров яиц достигало в среднем в 1,1–1,6 раз [26–29].

В целом, плодовитость (РРП) у *L. perplexa* составила 2289-3282 яиц (при ШК 16,0-20,8 мм) (табл. 1); начальная плодовитость (НРРП, количество недавно отложенных яиц) – 2525-3208 яиц.

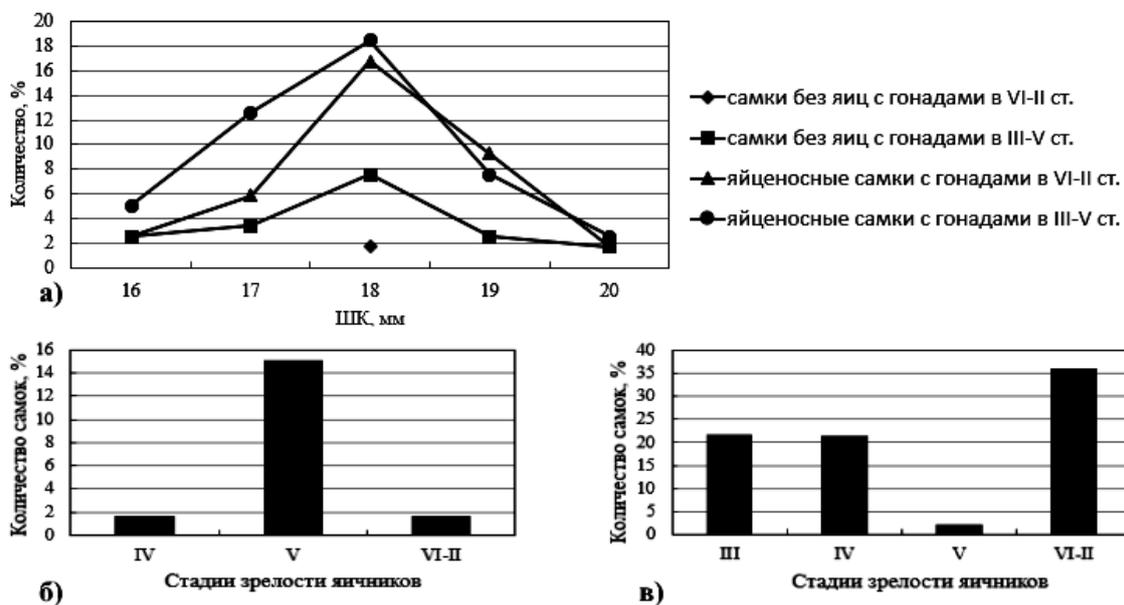


Рис. 3. Репродуктивное состояние самок *L. perplexa*: а – размерный состав; б, в – стадии зрелости яичников (ст.) у самок без яиц (б) и яйценосных особей (в)

Fig. 3. Reproductive state of *L. perplexa* females: а – size composition; б – ovaries maturity stages (st.) of non-ovigerous (б) and of ovigerous females (в)

Таблица 1. Плодовитость краба *L. perplexa* и размеры яиц с эмбрионами на стадиях развития I-III (Ср – среднее значение; СО – стандартное отклонение)

Table 1. Fecundity of *L. perplexa* crab and egg sizes embryos at the development stages I-III (Ср – mean; СО – standard definition)

Стадия развития эмбриона в	N ♀♀	ШК, мм		Плодовитость, количество яиц		Ширина яиц, мм		Длина яиц, мм	
		Диапазон	Ср±СО	Диапазон	Ср±СО	Диапазон	Ср±СО	Диапазон	Ср±СО
I	50	16,2-20,8	18,5±0,93	2525-3208	2902,5±177,9	0,18-0,24	0,22±0,02	0,22-0,30	0,27±0,02
II	23	16,8-20,0	18,1±1,0	2690-3200	2967,4±116,4	0,22-0,25	0,24±0,01	0,27-0,31	0,29±0,01
III	23	16,0-19,8	18,3±0,93	2289-3282	2862,6±245,6	0,22-0,27	0,26±0,01	0,27-0,33	0,30±0,01

У крабоида *P. laevigatus* РРП составила меньшие значения – 56-1141 яиц при ШК 8,36-19,46 мм [26]. У краба *Neohelice granulata* НРРП – 7328-53248 яиц при ДК до 40 мм, т. е. – при более крупных размерах, чем у *L. perplexa* (ДК до 25,1 мм) [30]. Достоверных различий в величине РРП на начальных этапах эмбриогенеза (стадии 1–3) у *L. perplexa* не выявлено (табл. 1) – можно предположить отсутствие серьезных потерь яиц при их вынашивании самками в этот период.

У самок, вынашивающих недавно отложенные яйца, можно отметить тенденцию к увеличению величины плодовитости с увеличением размера тела особей (рис. 4): увеличение плодовитости по средним параметрам в 1,1 раз – от 2807 до 3026 яиц, однако достоверных различий не обнаружено.

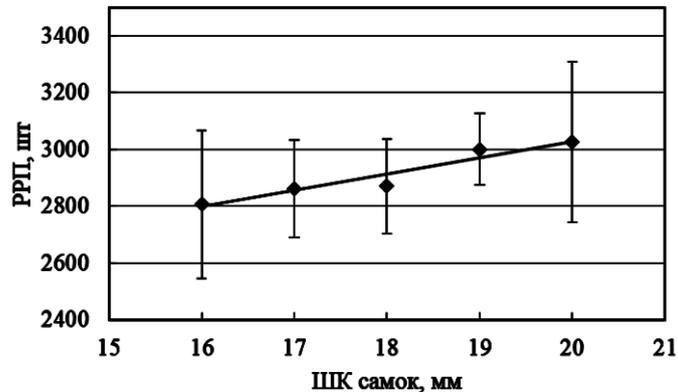


Рис. 4. Начальная разовая реализованная плодовитость (PPП) яйценосных самок *L. perplexa*

Fig. 4. Initial batch realized fecundity in ovigerous females of *L. perplexa*

Подобная тенденция, а у некоторых видов достоверное увеличение величины плодовитости с увеличением размера тела (примерно в два раза), наблюдались у самок креветок, как на видовом, так и на межгрупповом уровнях [25]. У ряда видов раков, краба *Eriocheir japonica* также отмечена положительная корреляция между величиной плодовитости и размерами тела самки [31, 32].

Линяющие особи *L. perplexa* не были обнаружены. У четырех самцов и трех самок на карапаксе (5 экз.) и клешненой ноге (3 экз.) обнаружены разрушения экзоскелета разной степени, размерами от 1,3x0,9 до 2,8x1,3 мм, что, вероятно, является признаками панцирной болезни [10, 20]. Частота встречаемости признаков этой болезни у *L. perplexa* с побережья зал. Нячанг составила 2,2 %. У 28 % особей краба *P. camtschaticus* ею были поражены клешни и у 31 % – ходильные ноги; в 26 % случаях такие повреждения были вызваны патогенными бактериями (*Vibrio*, *Aeromonas* и *Pseudomonas*); при сильных разрушениях экзоскелета тяжелые патологические изменения во внутренних органах приводят к гибели крабов [19, 20]. В результате визуальной оценки заселения покровов *L. perplexa* симбионтами у трёх самцов и одной самки на карапаксе найдены по 1-2 экз. усоногих ракообразных из морских уточек (сем. Lepadidae) (частота встречаемости – 1,3 %). Усоногие раки в целом – многочисленная группа симбионтов крабов: на камчатских крабах встречаются два вида семейства Balanidae [33]. Виды-симбионты могут влиять на численность хозяев, снижая репродуктивный потенциал популяции.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ собственных и литературных данных позволил описать возможную модель репродуктивного цикла прибрежных тропических крабов группы *Brachyura*, в том числе – краба *L. perplexa*. При достижении определенных размеров (*L. perplexa* – ШК 23-24 мм) самцы приобретают крупные клешни для захвата и длительного удержания самок и могут принимать участие в нересте; размер по-

ловозрелости самок *L. perplexa* значительно меньше – менее 16 мм. У крабов есть связь линьки и репродукции; самки ряда видов линяют и сразу спариваются весной, имея неразвитые яичники, что служит толчком к созреванию гонад; созревание яичников длится около трёх месяцев. У видов из тропических широт нерест может быть почти круглогодичным, с одним, а чаще несколькими пиками в благоприятное для размножения, вынашивания эмбрионов и вылупления личинок время года. Эмбриогенез длится около двух-трёх месяцев. В благоприятное для продолжения размножения время у самок параллельно с вынашиванием эмбрионов запускается следующий цикл созревания яичников, что обеспечивает им продолжительный нерестовый сезон. *L. perplexa* в зал. Нячанг может нереститься не менее двух раз в году, вынашивая на плеоподах до 3282 яиц размерами 0,3x0,24 мм. Кроме того, у этого вида нами не исключается промискуитет и возможность откладывать несколько кладок за репродуктивный сезон без повторных в течение него спариваний, благодаря механизму хранения спермы, развитому у крабов *Brachyura*. Самки *L. perplexa* продуцируют генетически более разнообразное потомство, что при действии естественного отбора даёт им эволюционные преимущества.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Южно-Китайское море. Ворота в подводный сад [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.scharks.ru/oceans/> (дата обращения 18.05.2018).
2. 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*. – 31(2) – 2009. – P. 279-320.
3. Subhash, S. J. First record of the *Lyphira perplexa* (Crustacea: Decapoda: Leucosiidae) in Indian waters, with DNA barcoding data / S. J. Subhash, S. Manjusha, N. Saravannane et al. // *Journal of Biodiversity and Environmental Science*. – 2014. – Vol. 4. – P. 25-37.
4. Ng, P. K. L. Systema Brachyurorum: Part 1. An Annotated checklist of extant Brachyuran crabs of the world / P. K. L. Ng, D. Guinot, P. J. F. Davie // *Raffles Bulletin of Zoology*. – 2008. – 286 p.
5. Liu, J. Y. Checklist of marine biota of China seas / J. Y. Liu. – China Science Press. – 2008. – 1267 p.
6. Miyake, S. Japanese Crustacean Decapods and Stomatopods in Color // *Brachyura (Crabs)* / S. Miyake. – Vol. 2. – Hoikusha, Osaka, 1983. – 277 pp.
7. Wyrтки, K. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and Gulf of Thailand 1959-1961 / K. Wyrтки // *Naga Report*. – San Diego: Scripps Institution of Oceanography, University of California, 1961. – Vol. 2. – P. 164-169
8. Трофимов, Р. В. Таксономический статус некоторых крабов (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura) зал. Нячанг, Вьетнам / Р. В. Трофимов // *Дни науки: межвуз. науч.-техн. конф. студентов и курсантов: материалы*. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. – С. 94-98.
9. Поддубева, Е. А. Определение размера половозрелости самцов крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) зал. Нячанг, Вьетнам / Е. А. Поддубева // *Дни науки: межвуз. науч.-техн.*

конф. студентов и курсантов: материалы. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. – С. 132-136.

10. Поддужева, Е. А. Морфометрия и состояние панциря самцов крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) зал. Нячанг Южно-Китайского моря / Е. А. Поддужева // «PontusEuxinus 2017»: X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем, в рамках проведения Года экологии в Российской Федерации, г. Севастополь, 11-16 сент. 2017 г.: тез. – Севастополь: DigitPrint, 2017. – С. 158-161.

11. Поддужева, Е.А. Анализ морфометрии и размера половозрелости самцов и самок крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (CRUSTACEA: MALACOSTRACA: DECAPODA: BRACHYURA: LEUCOSIIDAE) зал. Нячанг, Вьетнам / Е. А. Поддужева // Дни науки: межвуз. науч.-техн. конф. студентов и курсантов на базе ФГБОУ ВО «КГТУ» (2-15 апр. 2018 г.): материалы. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – С. 146-152 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.klgtu.ru/upload/science/upkvnk/nirs/izdanie/archive/science\\_day\\_2018.pdf](http://www.klgtu.ru/upload/science/upkvnk/nirs/izdanie/archive/science_day_2018.pdf) (дата обращения 19.11.2018).

12. Поддужева, Е. А. Размерная, половая структура и созревание крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) зал. Нячанг Южно-Китайского моря / Е. А. Поддужева // ЭКОБИО-2018: Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами: V научн.-практ. молодеж. конф. (8-11 окт. 2018 г., г. Севастополь): материалы. – Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2018. – С. 128-132 [Электронный ресурс]. – URL: [http://asmuss.sferos.com/wp-content/uploads/2014/05/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_%D0%AD%D0%9A%D0%9E%D0%91%D0%98%D0%9E-2018.pdf](http://asmuss.sferos.com/wp-content/uploads/2014/05/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%AD%D0%9A%D0%9E%D0%91%D0%98%D0%9E-2018.pdf) (дата обращения 15.11.2018).

13. Судник, С. А. Репродуктивная биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) зал. Нячанг Южно-Китайского моря / С. А. Судник, Е. А. Поддужева // VI Международный Балтийский морской форум (3-6 сентября 2018 г.): в 6 тт.: VI Междунар. научн. конф.: материалы. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – Т. 3. Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов. – С. 266-278 [Электронный ресурс]. – URL: [http://bgarf.ru/academy/publishing/BMF-2018/ТОМ\\_3.pdf](http://bgarf.ru/academy/publishing/BMF-2018/ТОМ_3.pdf) (дата обращения 15.11.2018)

14. Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей / сост. В. Е. Родин, А. Г. Слизкин, В. И. Мясоедов и др. – Владивосток: ТИНРО, 1979. – 60 с.

15. Буруковский, Р. Н. Методика биологического анализа некоторых тропических и субтропических креветок / Р. Н. Буруковский // Промышленно-биологические исследования морских беспозвоночных: тр. – Москва: ВНИРХиО, 1992. – С. 77-84.

16. Sudnik, S. A. The method of biological analysis for caridean shrimps (Decapoda: Natantia: Caridea) with emphasis on pelagic shrimps / S. A. Sudnik, T. Falkenhaus // Наука и общество в условиях глобализации: междунар. науч.-практ. конф., г. Уфа, 21-22 апр. 2014 г.: материалы. – Уфа: Изд-во РИО ИЦИПТ, 2014. – С. 7-11.

17. Живоглядова, Л. А. Морфометрическое созревание самок и самцов равношипого краба (*Lithodes aequispina* Benedict) у северных Курильских островов / Л. А. Живоглядова // Известия ТИНРО-центра. – Владивосток, 2001. – Т. 128. – Ч. 2. – С.659-662.
18. Шагинян, Э. Р. Размер половозрелости самок и самцов равношипого краба восточной части Охотского моря / Э. Р. Шагинян // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: тр. межд. конф. – Мурманск, 2006. – С. 109-111.
19. Дворецкий, А. Г. Основные симбионты камчатского краба в Баренцевом море / А. Г. Дворецкий, С. А. Кузьмин, Т. А. Бритаев // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: тр. межд. конф. – Мурманск, 2006. – С. 25-28.
20. Устименко, Е. А. Воздействие патогенов различной этиологии на камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) в Охотском море / Е. А. Устименко, И. В. Карманова, Т. В. Рязанова // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: тр. межд. конф. – Мурманск, 2006. – С. 101-103.
21. Залота, А. К. Чужеродные виды десятиногих ракообразных (Crustacea Decapoda) в морях России и сопредельных водах: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.10 / Залота Анна Константиновна; ФГБУ ИОРАН. – Москва, 2017. – 255 с.
22. Кауфман, З. С. Эволюция размножения и пола: в 2-х т. / З. С. Кауфман. – Петрозаводск: Изд-во. КарНЦ РАН, 1994. – Т.2. – 190 с.
23. López-Greco, L. S. Functional anatomy of the reproductive system (Chap. 15) / L. S. López-Greco // In: Les Watling and Martin Thiel (Eds.). – Vol. 1: The functional morphology and diversity of the Crustaceans. – Oxford: Oxford University Press, 2012. – P. 413-450.
24. Hartnoll, R. G. Reproductive investment in Brachyura / R. G. Hartnoll // Hydrobiologia. – 2006. – №557. – P. 31-40.
25. Судник, С. А. Экологические аспекты репродуктивных стратегий креветок: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Судник Светлана Александровна; ФГОУ ВПО «КГТУ». – Калининград, 2008. – 313 с.
26. Lardies, M. A. Aspects of the reproductive biology of *Petrolisthes laevigatus* (Guerin, 1835) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae). Reproductive output and chemical composition of eggs during embryonic development / M. A. Lardies, I. S. Wehrtmann // Archive of fishery and marine research. – 1996. – Vol. 43. – Issue 2. – P. 121-135.
27. Буруковский, Р. Н. О биологии креветки *Acanthephyra purpurea* A. Milne-Edwards, 1881 (Decapoda, Natantia, Orphoridae) / Р. Н. Буруковский // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Биол. – 1998. – Т. 103. – Вып. 6. – С. 17-25.
28. Буруковский, Р. Н. О биологии креветки *Pasiphaea semispinosa* Holt., 1951 (Crustacea, Decapoda, Pasiphaeidae) в водах Намибии / Р. Н. Буруковский // Гидробиологические исследования в Бассейне атлантического океана: сб. науч. тр. Калининградское отделение ВГБО. – Калининград, 2000. – С. 66-75.
29. Omori, M. The biology of pelagic shrimps in the ocean / M. Omori // Adv. Mar. Bio. – 1974. – Vol. 12. – P. 233-324.

30. Gregat, R. A. Population biology of the burrowing crab *Neohelice granulata* (Crustacea: Decapoda: Varunidae) from a tropical mangrove in Brazil / R. A. Gregat, M. L. Negreiros-Fransozo // *Zoologia*. – 2009. – № 26. – P. 32-37.

31. Судник, С. А. Размер зрелых ооцитов как один из параметров созревания самок креветок, его связь с экологией видов / С. А. Судник // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: всерос. науч. конф. – 2017: V Балтийский морской форум: тр. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ». – С. 294-300.

32. Corey, S. Comparative potential reproduction and actual production in several species of North American crayfish / S. Corey // *Crustacean egg production*. – 1991. – № 7. – P. 69-76.

33. Kobayashi, S. Process of maturity and reproduction of female Japanese mitten crab *Eriocheir japonica* (De Haan) / S. Kobayashi // *Crustacean research*. – 2003. – № 32. – P. 32-44.

34. Клитин, А. К. Распределение, биология и функциональная структура ареала камчатского краба в водах Сахалина и Курильских островов: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18 / Клитин Андрей Константинович; СахНИРО. – Южно-Сахалинск, 2002. – 215 с.

#### REFERENCES

1. Yuzhno-Kitajskoe more. Vorota v podvodnyj sad [The South China Sea. Gates to the underwater garden]. available at. – <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 18 May 2018).

2. 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, no. 2, pp. 279-320.

3. Subhash S. J., Manjusha S., Saravannane N. et al. First record of the *Lyphira perplexa* (Crustacea: Decapoda: Leucosidae) in Indian waters, with DNA barcoding data. *Journal of Biodiversity and Environmental Science*, 2014, vol. 4, pp. 25-37.

4. Ng P. K. L., Guinot D., Davie P. J. F. Systema Brachyurorum: P. 1. An Annotated checklist of extant Brachyuran crabs of the world. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2008, 286 p.

5. Liu J. Y. *Checklist of marine biota of China seas*. China Science Press, 2008, 1267 p.

6. Miyake S. *Japanese Crustacean Decapods and Stomatopods in Color*. Hoikusha, Osaka, 1983, vol. 2. Brachyura (Crabs), 277 p.

7. Wyrski K. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and Gulf of Thailand 1959-1961. *Naga Report*, San Diego: Scripps Institution of Oceanography, University of California, 1961, vol. 2, pp. 164-169.

8. Trofimov R. V. Taksonomicheskij status nekotorych krabov (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura) zaliva Nyachang, V'etnam [The taxonomic status of some crabs (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura) of Nha Trang Bay, Vietnam]. *Materialy mezhdur. nauch.-techn. konf. studentov i kursantov «Dni nauki»* [Materials of Inter. sci.-tech. conf. of students and cadets «Days of science»]. Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU», 2016, pp. 94-98.

9. Poddueva E. A. Opredelenie razmera polovozrelosti samcov I samok krabov *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura: Leucosi-

idae) zaliva Nyachang, V'etnam [Determination of the maturity size of males of crab *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) of Nha Trang Bay, Vietnam]. *Materialy mezhdur. nauch.-techn. konf. studentov i cursantov «Dni nauki»* [Materials of Inter. sci.-tech. conf. of students and cadets «Days of science»]. Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU», 2017, pp. 132-136.

10. Poddueva E. A. Morfometriya i sostoyanie pancirya samcov krabov *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) zaliva Nyachang Yuzhno-Kitajskogo morya [Morphometry and condition of the exoskeleton of males of crab *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Malacostraca: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) of Nha Trang Bay, the South China Sea]. *Tezisy X Vseross. nauch.-prakt. konf. molodych uchenykh po problemam vodnykh ekosistem «PontusEuxinus 2017», v ramkakh provedeniya Goda ekologii v RF, Sevastopol, 11-16 sentyabrya 2017* [Abstracts X All-Russ. sci.-pract. conf. of young scientists on problems of aquatic ecosystems "PontusEuxinus 2017", as part of the Year of Ecology in the RF, Sevastopol, September 11-16, 2017]. Sevastopol, DigitPrint, 2017, pp. 158-161.

11. Poddueva E. A. Analis morfometriyi i razmera polovozrelosti samcov i samok krabov *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (CRUSTACEA: MALACOSTRACA: DECAPODA: BRACHYURA: LEUCOSIIDAE) zaliva Nyachang, V'etnam [Analysis of the morphometry and size of maturity of males and females of crab *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (CRUSTACEA: MALACOSTRACA: DECAPODA: BRACHYURA: LEUCOSIIDAE) of Nha Trang Bay, Vietnam]. *Materialy Mezhd. nauch.-techn. konf. studentov i cursantov «Dni nauki»* [Materials of Interuniv. sci.-tech. conf. of students and cadets "Days of science" on the basis of FSBE HP "KSTU" (2-15 April 2018)]. Kaliningrad: FGBOU VPO «KGTU», 2018, pp. 146-152. available at: [http://www.klgtu.ru/upload/science/upkvnk/nirs/izdanie/archive/science\\_day\\_2018.pdf](http://www.klgtu.ru/upload/science/upkvnk/nirs/izdanie/archive/science_day_2018.pdf) (Accessed 19 November 2018).

12. Poddueva E. A. Razmernaya, polovaya struktura i sozrevanie krabov *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) zaliva Nyachang Yuzhno-Kitajskogo morya [Size, sexual structure and maturation of crab *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) in the Nha Trang Bay of the South China Sea]. *Materialy V nauch.-prakt. molodyozh. konf. «ECOBIO-2018»: Ecobiologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona i kompleksnoe upravlenie biologicheskimi resursami (8-11 oktyabrya 2018, Sevastopol)* [Materials of V sci.-pract. youth conf. "ECOBIO-2018": Ecobiological problems of the Azov-Black Sea region and integrated management of biological resources (October 8-11, 2018, Sevastopol)]. Sevastopol, 2018, pp. 128-132. available at: [http://asmuss.sferos.com/wp-content/uploads/2014/05/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_%D0%AD%D0%9A%D0%9E%D0%91%D0%98%D0%9E-2018.pdf](http://asmuss.sferos.com/wp-content/uploads/2014/05/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%AD%D0%9A%D0%9E%D0%91%D0%98%D0%9E-2018.pdf) (Accessed 15 November 2018).

13. Sudnik S. A., Poddueva E. A. Reproductivnaya biologiya krabov *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) zaliva Nyachang Yuzhno-Kitajskogo morya [Reproductive biology of crab *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Leucosiidae) in the Nha Trang Bay of the South China Sea]. *Materialy VI Mezhd. nauch. konf.: VI Mezhd. Baltijskogo morskogo foruma (3-6 sentyabrya, 2018): v 6 t. T. 3. Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoyomov* [Materials of VI Intern. sci. conf.: VI Intern. Baltic Maritime Forum (September 3-6,

2018): in 6 vol. vol. 3. Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of reservoirs]. Kaliningrad, FGBOU VO «KGTU», 2018, pp. 266-278.

14. *Rukovodstvo po izucheniyu desyatinogich rakoobraznykh Decapoda da'nevostochnykh morej* [Guide to the study of decapod crustaceans of the Far Eastern seas] (Eds. Rodin V. E., Slizkin A. G., Myasoedov V. I., et al.). Vladivostok, TINRO, 1979, 60 p.

15. Burukovsky R. N. *Metodika biologicheskogo analiza nekotorykh tropicheskikh i subtropicheskikh krevetok* [Method of biological analysis of some tropical and subtropical shrimps]. *Promyslovo-biologicheskie issledovaniya morskikh bespozvochnykh* [Commercial and biological studies of marine invertebrates]. Moscow, Tr. VNIRO, 1992, pp. 77-84.

16. Sudnik S.A., Falkenhaus T. The method of biological analysis for caridean shrimps (Decapoda: Natantia: Caridea) with emphasis on pelagic shrimps (In Engl.). *Materialy Mezhd. nauch.-pract. conf. «Nauka i obshchestvo v usloviyakh globalizatsii. Ufa, 21-22 April 2014 g.* [Materials Int. sci.-pract. conf. "Science and society in the context of globalization". Ufa, April 21-22, 2014]. Ufa, RIO ICIPT, 2014, pp. 7-11.

17. Zhivoglyadova L. A. *Morfometricheskoe sozrevanie samok i samcov ravnoshipogo kraba (Lithodes aequispina Benedict) u severnykh Kurilskikh ostrovov* [Morphometric maturation of females and males of the crab *Lithodes aequispina* Benedict in the northern Kurile Islands]. *Izvestiya TINRO* [News of TINRO-Center]. 2001, vol. 28, p. II, pp. 659-662.

18. Shaginyan E. R. Razmer polovozrelosty samok i samcov ravnoshipogo kraba vostochnoy chasti Ochotskogo morya [The puberty size of females and males of crab *Lithodes aequispina* in the eastern part of the Sea of Okhotsk]. *Tr. mezhd. konf. «Sovremennoe sostoyanie populyacij krabov Barentseva moray, ich vzaimodejstvie s donnymi biocenozami»* [Proc. inter. conf. «Current status of crabs populations of the Barents Sea and their interaction with bottom biocenoses»]. Murmansk, 2006, pp. 109-111.

19. Dvoreckij A. G., Kuzmin S. A., Britaev T. A. Osnovnye simbioty kamchatskogo kraba v Barentsevom more [The main symbionts of the Kamchatka crab in the Barents Sea]. *Tr. mezhd. konf. «Sovremennoe sostoyanie populyacij krabov Barentseva moray i ich vzaimodejstvie s donnymi biocenozami»* [Proc. inter. conf. «Current status of crabs populations of the Barents Sea and their interaction with bottom biocenoses»]. Murmansk, 2006, pp. 25-28.

20. Ustimenko E. A., Karmanova I. V., Ryazanova T. V. Vozdejstvie patogenov razlichnoj etiologii na kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) v Ochotskom more [The impact of pathogens of various etiologies on Kamchatka crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) in the Sea of Okhotsk]. *Tr. mezhd. konf. «Sovremennoe sostoyanie populyacij krabov Barentseva moray i ich vzaimodejstvie s donnymi biocenozami»* [Proc. inter. conf. «Current status of crabs populations of the Barents Sea and their interaction with bottom biocenoses»]. Murmansk, 2006, pp. 101-103.

21. Zalota A. K. *Chuzherodnye vidy desyatinogich rakoobraznykh (Crustacea Decapoda) v moryach Poccii i sopredel'nykh vodach. Diss. kand. biol. nauk* [Alien species of decapod crustaceans (Crustacea Decapoda) in the seas of Russia and adjacent waters. Dis. PhD. biol. sci.]. Moscow, 2017, 255 p.

22. Kaufman Z. S. *Evolyucia razmnzheniya i pola. v 2 T.* [Evolution of breeding and sex. 2 T.]. Petrozavodsk, KarNC RAN, 1994, vol. 2, 190 p.

23. López-Greco, L. S. *Functional anatomy of the reproductive system* (Chap. 15). In: Les Watling and Martin Thiel (Eds.), vol. 1: The functional morphology and diversity of the Crustaceans. Oxford, Oxford Univ. Press, 2012, pp. 413-450.
24. Hartnoll R. G. Reproductive investment in Brachyura. *Hydrobiologia*, 2006, no. 557, pp. 31-40.
25. Sudnik S. A. *Ekologicheskie aspekty reproductivnykh strategij krevetok*. Diss. kand. biol. nauk [Ecological aspects of shrimp reproductive strategies. Dis. PhD. biol. sci.]. Kaliningrad, 2008, 313 pp.
26. Lardies M. A., Wehrmann I. S. Aspects of the reproductive biology of *Petrolisthes laevigatus* (Guerin, 1835) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae). Reproductive output and chemical composition of eggs during embryonic development. *Archive of fishery and marine research*, 1996, vol. 43, iss. 2, pp. 121-135.
27. Burukovsky R. N. O biologii krevetki *AcanthePHYra purpurea* A. Milne-Edwards, 1881 (Decapoda, Natantia, Oplophoridae) [About biology of the shrimp *AcanthePHYra purpurea* A. Milne-Edwards, 1881 (Decapoda, Natantia, Oplophoridae)]. *Byul. Mosk. o-va ispytatelej prirody. Otd. Biol.*, 1998, vol. 103, iss. 6, pp. 17-25.
28. Burukovsky R. N. O biologii krevetki *Pasiphaea semispinosa* Holt., 1951 (Crustacea, Decapoda, Pasiphaeidae) v vodach Namibii [On biology of the shrimp *Pasiphaea semispinosa* Holt., 1951 (Crustacea, Decapoda, Pasiphaeidae) in the waters of Namibia]. Sb. nauch. tr. Kalinigradskogo otdeleniya VGBO «Gidrobiologicheskie issledovaniya v bassejne Atlanticheskogo okeana» [Proc. of Kaliningrad Dep. of the All-Russ. Hydrobiol. Society]. Kaliningrad, 2000, pp. 66-75.
29. Omori M. The biology of pelagic shrimps in the ocean. *Adv. Mar. Bio.*, 1974, vol. 12, pp. 233-324.
30. Gregat R. A., Negreiros-Fransozo M. L. Population biology of the burrowing crab *Neohelice granulata* (Crustacea: Decapoda: Varunidae) from a tropical mangrove in Brazil. *Zoologia*, 2009, no. 26, pp. 32-37.
31. Corey S. Comparative potential reproduction and actual production in several species of North American crayfish. *Crustacean egg production*, 1991, no. 7, pp. 69-76.
32. Kobayashi S. Process of maturity and reproduction of female Japanese mitten crab *Eriocheir japonica* (De Haan). *Crustacean research*, 2003, no. 32, pp. 32-44.
33. Klitin A. K. *Raspredelenie, biologiya i funkcional'naya struktura areala kamchatskogo kraba v vodach Sachalina i Kuril'skich ostrovov*. Diss. kand. biol. nauk [Distribution, biology and functional structure of the Kamchatka crab range in the waters of Sakhalin and the Kuril Islands. Dis. PhD. biol. sci.]. Yuzhno-Sachalinsk, 2002, 215 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Судник Светлана Александровна – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры ихтиопатологии и гидробиологии;  
E-mail: lanasudnik@mail.ru

*Sudnik Svetlana Aleksandrovna* – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology;

E-mail: [lanasudnik@mail.ru](mailto:lanasudnik@mail.ru)

*Поддueva Екатерина Александровна* – Калининградский государственный технический университет; студентка магистратуры факультета биоресурсов и природопользования; E-mail: [katerina.poddueva@mail.ru](mailto:katerina.poddueva@mail.ru)

*Poddueva Ekaterina Aleksandrovna* – Kaliningrad State Technical University; Master's student of Faculty of Bioresources and Nature Management;

E-mail: [katerina.poddueva@mail.ru](mailto:katerina.poddueva@mail.ru)

УДК 597.151.626

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИХТИОФАУНЫ  
В ВЕРХНЕМ УЧАСТКЕ ВОЛЖСКОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА

Р. Г. Таиров, Ф. М. Шакирова, А. Э. Калайда, М. А. Горшков, Ю. А. Северов,  
А. В. Гранин, И. Р. Шакиров, Г. Д. Валиева

FEATURES OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF ICHTHYOFAUNA  
IN THE UPPER PART OF THE VOLGA REACH OF THE KUIBYSHEV  
RESERVOIR

R. G. Tairov, F. M. Shakirova, A. E. Kalaida, M. A. Gorshkov, Yu. A. Severov,  
A. V. Granin, I. R. Shakirov, G. D. Valieva

В статье приводится информация о результатах ихтиологических исследований, проведенных в период 2015-2016 гг. в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла на участке Волжского плеса Куйбышевского водохранилища. Данный участок характеризуется крайне неустойчивым режимом уровня воды и высокими скоростями течения. В результате работы Чебоксарского гидроузла уровень воды на этом участке в течение даже одних суток может колебаться в пределах от 1 м и более. Установлено, что на данном участке Волжского плеса обитает 24 вида рыб из восьми семейств, проживающих на шести характерных участках. Наибольшее видовое разнообразие ихтиофауны наблюдается в зоне воздействия гидроагрегатов и водопропускных сооружений Чебоксарского гидроузла, а также на участке акватории у нижнего подходного канала судового шлюза Чебоксарского гидроузла. Наименьшим видовым разнообразием характеризуются участки русла водоема в районе впадения р. Цивиль. Вместе с тем наибольшая удельная биомасса объектов ихтиофауны наоборот отмечается на русловом участке водохранилища в районе впадения р. Цивиль, наименьшая – у нижнего подходного канала судоходного шлюза Чебоксарского гидроузла. Результаты исследований дают возможность составить общую картину пространственного распространения основных видов рыб, обитающих в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла в зависимости от сезона года, а также позволяют оценить современный уровень и характер воздействия эксплуатации Чебоксарского гидроузла на ихтиофауну данного участка водохранилища и перспективы его дальнейшего рыбохозяйственного освоения.

*ихтиофауна, видовой состав, пространственное распределение, места локализации рыб, нижний бьеф Чебоксарского гидроузла*

The article provides information on the results of ichthyological studies conducted in the period 2015-2016 in the downstream of the Cheboksary hydroelectric complex on the section of the Volzhsky reach of the Kuibyshev reservoir. This area is characterized by an extremely unstable water level regime and high flow rates. As a result of the work of the Cheboksary hydroelectric station, the water level in this area for

even one day can vary from 1 m or more. It was established that in this area of the Volga reach 24 species of fish from eight families living in six characteristic areas live. The greatest species diversity of the fish fauna is characterized by the impact zone of hydraulic units and culverts of the Cheboksary hydroelectric complex, as well as a portion of the water area at the lower approach channel of the ship lock of the Cheboksary hydroelectric complex. The smallest species diversity is characterized by sections of the channel of the reservoir in the area where the river flows. Tsivil. At the same time, the largest specific biomass of fish fauna objects, on the contrary, is observed in the channel section of the reservoir in the area of the confluence of Tsivil river. The smallest specific biomass of fish was noted at the lower access channel of the navigation lock of the Cheboksary hydroelectric complex. The research results provide an opportunity to make an overall picture of the spatial distribution of the main fish species living in the downstream of the Cheboksary hydroelectric complex, depending on the season of the year, and also allow us to evaluate the current level and nature of the impact of the operation of the Cheboksary hydroelectric complex on the fish fauna of this section of the reservoir and its future development prospects.

*fish fauna, species composition, spatial distribution, localization of fish, lower tail of the Cheboksary hydroelectric*

## ВВЕДЕНИЕ

Водохранилища стали неотъемлемой частью окружающей человека среды. Само создание водохранилищ и сегодня вызывает много споров о целесообразности их строительства. Однако, не отрицая негативного воздействия водохранилищ на речные экосистемы, в том числе их гидрофауну, с одной стороны, невозможно опровергнуть их необходимость для социально-экономического развития общества – с другой [1].

Зарегулирование стока рек плотинами ГЭС приводит к превращению лотических экосистем в лемнические, с совершенно иными гидрологическими, гидрхимическими и гидробиологическими характеристиками. В свою очередь, эти изменения создают иные условия для жизни гидробионтов и определяют их состав, структуру и пространственное распределение [2].

В настоящее время имеется множество публикаций [3-7], посвященных различным аспектам влияния ГЭС на водные биологические ресурсы водохранилищ и в первую очередь на особенности формирования промысловых запасов рыб. Так, например, состояние запасов промысловых рыб Куйбышевского водохранилища зависит от его уровня и температурного режимов, которые определяют как эффективность естественного воспроизводства рыб, так и численность отдельных поколений и стратегии ведения рыбного хозяйства на водоеме [8].

*Целью* представленной работы является анализ современного состояния водных биоресурсов в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла на участке Волжского плеса Куйбышевского водохранилища. Проводимые исследования представляют практический и теоретический интерес, так как позволяют определить воздействие, наносимое гидробионтам водохранилища и среде их обитания гидросооружением при перераспределении водных масс в нижележащие водохранилища.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На Средней Волге на участке современного Куйбышевского водохранилища до зарегулирования стока (1955-1957 гг.) встречался 51 вид рыб. В настоящее время за 60-летний период существования водохранилища видовой состав ихтиофауны значительно изменился, и сегодня здесь встречаются 59 видов рыб, относящихся к 13 отрядам, 19 семействам и 47 родам [9-10].

В результате ихтиологических исследований, проведенных в вегетационный период 2015-2016 гг. в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла с целью определения мест локализации рыб, в том числе молоди и производителей, установлено, что на данном участке Волжского плеса обитает 24 вида рыб (табл. 1).

Таблица 1. Видовой состав ихтиофауны Куйбышевского водохранилища в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла  
Table 1. Species composition of the ichthyofauna of the Kuibyshev reservoir in the lower tail of the Cheboksary hydroelectric complex

№ п/п	Виды
1	Стерлядь - <i>Acipenser ruthenus</i> Linnaeus, 1758
2	Черноморско-каспийская тюлька - <i>Clupeonella cultriventris</i> (Nordmann, 1840)
3	Обыкновенная щука - <i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758
4	Сазан - <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1759
5	Синец - <i>Abramis ballerus</i> (Linnaeus, 1758)
6	Лещ - <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)
7	Белоглазка - <i>Abramis sapa</i> (Pallas, 1814)
8	Уклейка - <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)
9	Обыкновенный жерех - <i>Aspius aspius</i> (Linnaeus, 1758)
10	Густера - <i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758)
11	Серебряный карась - <i>Carassius auratus</i> (Bloch, 1782)
12	Язь - <i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)
13	Чехонь - <i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus, 1758)
14	Плотва - <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)
15	Голавль - <i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758)
16	Волжский подуст - <i>Chondrostoma variable</i> Jakowlew, 1870
17	Обыкновенный (европейский) сом - <i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758
18	Налим - <i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758)
19	Обыкновенный судак - <i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)
20	Берш (волжский судак) - <i>Sander volgensis</i> (Gmelin, 1788)
21	Речной окунь - <i>Peerce fluviatilis</i> Linnaeus, 1758
22	Звездчатая пуголовка - <i>Benthophilus stellatus</i> (Sauvage, 1874)
23	Бычок-кругляк, черноротый бычок - <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)
24	Бычок-цуцик - <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas, 1814)

Представители ихтиофауны, обнаруженные в контрольных уловах на исследуемых участках, относятся к восьми семействам, в том числе:

- *семейству карповых* – 13 видов (лещ, сазан, густера, жерех, плотва, синец, белоглазка, язь, чехонь, голавль, серебряный карась, волжский подуст, уклейка);

- *семейству бычковых* – три вида (бычок-цуцик, бычок-кругляк, звездчатая пуголовка);

- *семейству окуневых* – три вида (судак, берш, окунь);

- по одному виду *семейства осетровых* (стерлядь), *щуковых* (щука), *сомовых* (обыкновенный сом), *налимовых* (налим), *сельдевых* (черноморско-каспийская тюлька).

Средние размерно-весовые показатели рыб из контрольных уловов нижнего бьефа Чебоксарского гидроузла представлены в табл. 2.

Таблица 2. Средние показатели размера и массы промысловых видов рыб из контрольных уловов на участках Куйбышевского водохранилища в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла

Table 2. Average values of the size and weight of commercial fish species from control catches in the sections of the Kuibyshev reservoir in the downstream of the Cheboksary hydroelectric complex

№ п/п	Виды рыб	Средний размер, см	Средняя масса, г
1	Стерлядь	35,5	253
2	Черноморско-каспийская тюлька	6,2	12
3	Обыкновенная щука	63,4	1033
4	Сазан	44,4	1955
5	Синец	20,8	124
6	Лещ	33,5	846
7	Белоглазка	19,7	123
8	Уклейка	18,1	51
9	Обыкновенный жерех	30,5	407
10	Густера	22,6	274
11	Серебряный карась	26,7	353
12	Язь	25,9	405
13	Чехонь	25,2	150
14	Плотва	22,0	233
15	Голавль	28,4	454
16	Волжский подуст	21,0	151
17	Обыкновенный сом	77,3	3400
18	Налим	43,5	738
19	Обыкновенный судак	31,7	380
20	Берш	25,9	316
21	Речной окунь	19,1	151

В целях определения мест локализации рыб (производителей и молоди) на акватории нижнего бьефа Чебоксарского гидроузла нами были условно выделены шесть характерных участков (рисунок), в том числе:

- акватория у нижнего подходного канала судового шлюза (участок № 1);
- зона воздействия гидроагрегатов и водопропускных сооружений (участок № 2);
- правобережье на 1190-1191 км судового хода (участок №3);
- левобережное мелководье (участок № 4);
- пойма рукава Старая Волга (участок № 5);
- русло в районе впадения р. Цивиль (участок № 6).

Видовой состав ихтиофауны на различных участках в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла представлен в табл. 3.

Таблица 3. Видовой состав ихтиофауны на различных участках в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла

Table 3. Species composition of the ichthyofauna at various sites in the lower tail of the Cheboksary hydroelectric complex

Виды рыб	Участок					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Стерлядь	-	+	-	-	+	-
Черноморско-каспийская тюлька	+	+	+	+	-	+
Обыкновенная щука	-	-	-	-	+	-
Сазан	-	-	-	-	+	-
Синец	-	-	-	-	+	-
Лещ	+	+	+	+	+	+
Белоглазка	+	+	+	+	-	-
Уклейка	+	+	+	+	+	+
Обыкновенный жерех	+	+	+	+	+	-
Густера	+	+	+	+	-	+
Серебряный карась	+	+	+	+	+	+
Язь	-	+	+	+	+	+
Чехонь	+	+	+	+	-	+
Плотва	+	+	+	+	+	+
Голавль	-	-	-	+	+	-
Волжский подуст	-	-	-	-	-	+
Обыкновенный сом	-	+	-	-	-	-
Налим	+	+	+	+	+	+
Обыкновенный судак	+	+	+	+	-	-
Берш	+	+	-	-	-	-
Речной окунь	+	+	-	-	+	-
Звездчатая пуголовка	+	+	+	-	-	-
Бычок-кругляк	+	+	+	-	-	-
Бычок-цуцик	+	+	+	-	-	-
<b>Всего</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>10</b>



Рис. Карта-схема проведения ихтиологических исследований в целях определения мест локализации рыб, в том числе производителей, а также изучения распределения молоди рыб в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла ГЭС: участок № 1 – у нижнего подходного канала судового шлюза; участок № 2 – зона воздействия гидроагрегатов и водопропускных сооружений; участок № 3 – правобережье на 1190-1191 км судового хода; участок № 4 – левобережное мелководье; участок № 5 – пойма рукава Старая Волга; участок № 6 – русло в районе впадения р. Цивиль

Fig. Map-scheme of conducting ichthyological studies in order to determine the localization of fish, incl. producers, as well as studying the distribution of juveniles in the lower tail of the Cheboksary hydroelectric power station:

1 – at the lower approach channel of the ship lock; 2 – zone of impact of hydraulic units and culverts; 3 – right bank for 1190-1191 km of the ship's passage; 4 – left bank shallow water; 5 – floodplain of the Old Volga; 6 – the riverbed near the confluence of the river Civil

Как видно из представленных в табл. 3 данных, наибольшим видовым разнообразием ихтиофауны характеризуется зона воздействия гидроагрегатов и водопропускных сооружений Чебоксарского гидроузла (участок № 2). Здесь в контрольных уловах зафиксировано 19 видов рыб, в том числе: стерлядь, лещ, белоглазка, жерех, густера, чехонь, язь, серебряный карась, плотва, тюлька, налим, сом, судак, берш, окунь, уклейка, звездчатая пуголовка, бычок-кругляк, бычок-цуцик. Выявлено, что на данном участке в период проведенных исследований в уловах по численности доминировали белоглазка (51% от общей численности) и стерлядь (23% от общей численности), лещ (11%), серебряный карась (7%). Остальные виды в сумме составляли лишь 8% от общей численности рыб, отловленных в зоне воздействия гидроагрегатов гидроузла. Такие виды, как жерех, язь, берш, налим и бычок-кругляк на данном участке в уловах, представлены единичными экземплярами.

Вторым по количеству видов в контрольных уловах характеризуется участок акватории у нижнего подходного канала судового шлюза Чебоксарского гидроузла (участок № 1). Здесь в уловах зафиксировано 16 видов рыб, в том числе: лещ, белоглазка, жерех, густера, чехонь, серебряный карась, плотва, тюлька, налим, судак, берш, окунь, уклейка, звездчатая пуголовка, бычок-кругляк, бычок-цуцик. В контрольных уловах на этом участке доминировали белоглазка и серебряный карась, количество которых составило 66,3 и 10,4%, соответственно. Доля остальных 13 видов в контрольных уловах на участке нижнего подходного канала судового шлюза в сумме составила 23,3%. Налим, берш и жерех в уловах на данном участке были представлены единичными экземплярами.

Третьим по количеству видов в контрольных уловах характеризуется участок акватории правобережья нижнего бьефа в промежутке 1190-1191 км судового хода (участок № 3). Здесь в уловах зафиксировано 15 видов рыб, в том числе: лещ, белоглазка, жерех, густера, чехонь, серебряный карась, плотва, окунь, тюлька, налим, судак, уклейка, язь, звездчатая пуголовка, бычок-кругляк, бычок-цуцик. В контрольных уловах на этом участке доминировали серебряный карась, плотва и лещ, количество которых составило 45, 32 и 17%, соответственно. Доля остальных видов в контрольных уловах на данном участке в сумме не превышала 6%, а такие виды, как судак, жерех и налим, были представлены в уловах единичными экземплярами.

Четвертую позицию по видовому разнообразию в контрольных уловах занимает левобережное мелководье нижнего бьефа Чебоксарского гидроузла (участок № 4). Здесь в уловах зафиксировано 13 видов рыб, в том числе: лещ, белоглазка, чехонь, серебряный карась, плотва, голавль, тюлька, налим, судак, уклейка, язь. В контрольных уловах на этом участке доминировали белоглазка (69,1%) и плотва (8,8%). Доля остальных видов составляла в сумме 21,1%, а такие виды, как жерех, язь, чехонь, голавль и налим были представлены единичными экземплярами.

Такое же, как на участке № 4 (левобережные мелководья) количество видов в контрольных уловах отмечено и в пойме рукава Старая Волга (участок № 5). Здесь в уловах зафиксировано 13 видов рыб, в том числе: стерлядь, лещ, жерех, серебряный карась, плотва, окунь, щука, налим, язь, сазан, синец, голавль и уклейка. В контрольных уловах на этом участке доминировали плотва, окунь и стерлядь, количество которых составляло 37,2, 16,4 и 11,5%, соответственно. До-

ля остальных видов в контрольных уловах на участке рукава Старая Волга в сумме не превышала 35%. Щука и налим были представлены в уловах единичными экземплярами.

Наименьшим видовым разнообразием характеризуются контрольные уловы на участке русла в районе впадения р. Цивиль (участок № 6). Здесь в уловах зафиксировано 10 видов рыб, в том числе: лещ, густера, чехонь, серебряный карась, плотва, тюлька, подуст, налим, язь, уклейка таблицы. В контрольных уловах на этом участке доминировали серебряный карась, лещ и плотва, доля которых составляла 28,2, 23,3 и 16,1%, соответственно. Доля остальных видов в сумме не превышала 33%, а подуст и налим были представлены единичными экземплярами.

*Распределение молоди рыб в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла*

Облов молоди рыб, проведенный на исследуемых участках Волжского плеса Куйбышевского водохранилища (в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла) (рис. 1) в вегетационный период 2015-2016 гг., выявил, что наиболее плотные ее концентрации наблюдались в рукаве Старая Волга (участок № 5). В то же время её количество на правобережном участке в промежутке 1190-1191 км судового хода (участок № 3) и у нижнего подходного канала судоходного шлюза гидроузла (участок 1) было практически в 2 раза меньше (табл. 4).

Таблица 4. Горизонтальное распределение молоди рыб на участках Куйбышевского водохранилища в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла в 2015-2016 гг., %

Table 4. Horizontal distribution of juvenile fish in the sections of the Kuibyshev reservoir in the lower tail of the Cheboksary hydroelectric complex in 2015-2016, %

Виды рыб	Участок					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Карась	11	2	31	3	8	13
Плотва	-	2	27	39	27	12
Уклейка	-	26	3	4	19	8
Белоглазка	63	41	8	3	21	18
Лещ	11	12	17	26	6	38
Окунь	15	17	14	25	19	11
Всего %	100	100	100	100	100	100
Концентрация, экз./1000 м <sup>3</sup>	53	60	48	57	99	65

Это свидетельствует о том, что в рукаве Старая Волга, наименее подверженном влиянию деятельности Чебоксарского гидроузла, условия для обитания и нагула молоди рыб более благоприятны, по сравнению с другими участками, расположенными в нижнем бьефе гидроузла, что особенно важно для молоди рыб остро нуждающейся в ремизных участках.

Видовой состав молоди на исследованных участках, равно как и взрослых рыб, достаточно разнообразен. Кроме указанных в табл. 4, в контрольных уловах мальковой волокушей и ихтиопланктонной сетью отмечено еще 9 видов, в том числе чехонь, язь, налим, стерлядь, судак, густера, тюлька, голавль и звездчатая пуголовка. Эти виды в уловах были крайне немногочисленны или встречались в единичных экземплярах. В левобережье (участок №4) доминируют молодь плот-

вы, окуня и леща, а в правобережье (участок №3) и в русловой части (участок №6) – молодь белоглазки, леща и карася.

Наименьшей концентрацией молоди рыб характеризуются участки акватории у нижнего подходного канала судоходного шлюза (участок № 6) и правобережья в промежутке 1190-1191 км судового хода (участок № 3), так как условия её обитания здесь менее благоприятны по сравнению с прибрежными участками.

Таким образом, обобщая результаты ихтиологических исследований, проведенных в целях выявления мест локализации рыб на участках Волжского плеса Куйбышевского водохранилища в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла, следует отметить, что *наибольшая удельная численность объектов ихтиофауны наблюдается:*

- в зоне воздействия гидроагрегатов Чебоксарского гидроузла (участок № 2) (166,7 экз./га) с преобладанием в уловах белоглазки, стерляди и леща;

- в пойме рукава Старая Волга (участок №5) (138,5 экз./га) с доминированием в уловах плотвы, окуня и стерляди;

- на участках левобережного мелководья (участок № 4) (138, 0 экз./га) с доминированием в уловах белоглазки и плотвы.

*Наименьшая удельная плотность рыб* (93,1 экз./га) отмечена на правобережном участке акватории (участок № 3) в промежутке 1190-1191 км судового хода с доминированием в уловах карася, плотвы и леща.

Вместе с тем *наибольшая удельная биомасса* объектов ихтиофауны в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла была отмечена:

- на русловом участке (участок № 6) в районе впадения р. Цивиль (50,12 кг/га) с преобладанием в уловах карася, леща и плотвы;

- в пойме рукава Старая Волга (участок № 5) (49,00 кг/га) с доминированием в уловах плотвы, окуня и стерляди;

- в зоне воздействия гидроагрегатов Чебоксарского гидроузла (участок № 2) (46,18 кг/га) с преобладанием в уловах белоглазки, стерляди и леща.

*Наименьшая удельная биомасса рыб* (16,46 кг/га) была отмечена у нижнего подходного канала судоходного шлюза Чебоксарского гидроузла (участок № 1) с доминированием в уловах белоглазки и серебряного карася.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных с учетом сочетания высокой численности и биомассы рыб можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятным для обитания рыб в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла является участок поймы рукава Старая Волга, который в силу морфологических особенностей водоема наименее подвержен воздействию деятельности Чебоксарского гидроузла в сравнении с другими участками, на которых проводились исследования. Этот вывод подтверждается также и материалами изучения распределения молоди рыб.

Менее благоприятные условия для обитания рыб сложились на участке у нижнего подходного канала судоходного шлюза, где контрольные уловы показали самую низкую биомассу объектов ихтиофауны и отсутствие в числе доминирующих видов ценных промысловых рыб. По-видимому, это объясняется высоким уровнем беспокойства для рыб на этом участке в результате движения шлюзующих судов.

Результаты исследований дают возможность составить общую картину пространственного распространения основных видов рыб, обитающих в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла, в зависимости от сезона года.

В весенний период наибольшие концентрации (преднерестовые и нерестовые) карповых фитофильных видов рыб, таких как лещ, густера, плотва, серебряный карась, наблюдаются в заливах рукава Старая Волга и в устьевом участке р. Цивиль. В левобережном мелководье на каменистых участках фиксируются нерестовые скопления белоглазки. А на хорошо промытых песчано-каменистых участках в зоне воздействия Чебоксарской ГЭС наблюдаются нерестовые концентрации стерляди.

В летний период происходит существенное перераспределение численности указанных видов рыб, обусловленное необходимостью активного питания и восполнения энергетических затрат, понесенных в нерестовый период. Лещ и стерлядь активно осваивают наиболее богатые зообентосом глубоководные русловые и прирусловые участки, расположенные выше и ниже устья р. Цивиль, а также зону воздействия Чебоксарской ГЭС. Белоглазка кормится на угодьях левобережного мелководья и рукава Старой Волги, где многочисленны ее излюбленные кормовые объекты – высшие раки, ручейники, личинки большекрылых и мокрецы. Плотва, густера и карась в этот период широко распространены на всех, за исключением глубоководных, участках нижнего бьефа ГЭС, а также сосредотачиваются в устьевой части р. Цивиль.

Осенью в период завершения активного нагула наблюдаются предзимние миграции леща, карася старших возрастов и стерляди на глубоководных участках в районе впадения р. Цивиль и в зоне воздействия Чебоксарской ГЭС. Белоглазка и плотва концентрируются на участках левобережного мелководья, а также рукава Старой Волги. Наибольшее распространение на всех участках нижнего бьефа в предзимний период характерно для неполовозрелого карася.

В зимний период лещ и стерлядь концентрируются в зимовальных ямах, расположенных значительно ниже по течению нижнего бьефа Чебоксарской ГЭС, а белоглазка, плотва и карась образуют скопления в зоне под плотиной Чебоксарской ГЭС, свободной ото льда.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №18-44-160023/18.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Павлов, Д. С. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований / Д. С. Павлов, Б. Р. Стриганова // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. – Москва: Тов-во науч. изд. КМК, 2005. – С. 4-20.

2. Samomyubov B.I., Blokhina H.S., Datsenco Yu.S., Ershova M.G., Shakirova E.R. Edelshtein K.K. Hydrological and Hydrochemical Field investigations at the Mozhaisk Reservoir // Russian Meteorology and Hydrology. Allerion Press inc. (United States). 1998. N3. pp. 82-91.

3. Кудерский, Л. А. О рыбных ресурсах водохранилищ Волжско-Камского каскада / Л. А. Кудерский // Известия ГосНИОРХ. – 1974а. – Т. 95. – С. 92-102.

4. Кудерский, Л. А. Биологические основы повышения рыбопродуктивности Куйбышевского водохранилища / Л. А. Кудерский // Известия ГосНИОРХ. – 1974б. – Т. 95. – С. 103-113.
5. Негоновская, И. Т. Проектная, фактическая и потенциальная рыбопродуктивность водохранилищ / И. Т. Негоновская // Сборник науч. тр. ГосНИОРХ. – 1986. – Вып. 242. – С. 4-26.
6. Павлов, Д. С. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС / Д. С. Павлов, А. И. Лупандин, В. В. Костин. – Москва: Наука, 2000. – 255 с.
7. Bjorge A., Bekkby T., Bakkestuen V., Framstad E. Interactions between harbour seals, *Phoca vitulina*, and fisheries in complex coastal waters explored by combined // Geographic Information System (GIS) and energetics modelling. ICES Journal of Marine Science 2002, P. 29–42.
8. Шакирова, Ф. М. Влияние уровня режима Куйбышевского водохранилища на формирование его рыбных запасов / Ф. М. Шакирова, Р. Г. Таиров, Р. Г. Северов // Рыбное хозяйство. – 2012. – № 1. – С.40-43.
9. Shakirova F. M., Severov Ya. A. Species Composition of Ichthyofauna of the Kuibyshev Reservoir // Journal of Ichthyology, 2014, Vol. 54, No. 8, pp. 513–525.
10. Shakirova F. M., Severov Ya., Latypova V. Z. Modern Composition of Alien Fish Species in the Kuybyshev Reservoir and Possible Introduction of New Representatives into Its Ecosystem // Russian Journal of Biological Invasions, 2015, Vol. 6, No. 4, pp. 278–291.

#### REFERENCES

1. Pavlov D. S., Striganova B. R. Biologicheskie resursy Rossii i osnovnye napravlenija fundamental'nyh issledovanij [Biological resources of Russia and the main directions of basic research]. *Fundamental'nye osnovy upravlenija biologicheskimi resursami*. Moscow, Tov-vo nauch. izd. KMK, 2005, pp. 4-20.
2. Samomyubov B. I., Blokhina H. S., Datsenco Yu. S., Ershova M. G., Shakirova E. R. Edelshtein K. K. Gidrologicheskie i gidrohimicheskie issledovanija na Mozhajskom vodohranilishche [Hydrological and Hydrochemical Field investigations at the Mozhaisk Reservoir]. *Russian Meteorology and Hydrology*. Allerion Press inc. (United States). 1998, no. 3, pp.82-91.
3. Kuderskij L. A. O rybnyh resursah vodohranilishh Volzhsko-Kamskogo kaskada [About fish resources of the Volga-Kama Kskad reservoirs]. *Izvestija GosNIORH*, 1974a. vol. 95, pp. 92-102.
4. Kuderskij L. A. Biologicheskie osnovy povyshenija ryboproduktivnosti Kujbyshevskogo vodohranilishha [Biological basis for improving the fish productivity of the Kuibyshev reservoir]. *Izvestija GosNIORH*, 1974b. vol. 95, pp. 103-113.
5. Nekonovskaja I. T. Proektnaja, fakticheskaja i potencial'naja ryboproduktivnost' vodohranilishh [Design, actual and potential fish productivity of reservoirs]. *Sbornik nauch. tr. GosNIORH*, 1986, iss. 242, pp. 4-26.
6. Pavlov D. S., Lupandin A. I., Kostin V. V. *Pokatnaja migracija ryb cherez plotiny GJeS* [Downhill migration of fish through hydroelectric dams]. Moscow, Nauka, 2000, 255 p.
7. Bjorge A., Bekkby T., Bakkestuen V., Framstad E. Interactions between harbour seals, *Phoca vitulina*, and fisheries in complex coastal waters explored. Geograph-

ic Information System (GIS) and energetics modelling. ICES Journal of Marine Science, 2002, pp. 29-42.

8. Shakirova F. M., Tairov R. G., Severov Yu. A. Vliyanie urovennogo rezhima Kujbyshevskogo vodohranilishha na formirovanie ego rybnih zapasov [The influence of the level regime of the Kuibyshev reservoir on the formation of its fish stocks] // *Rybnoe hozjajstvo*, 2012, no 1. pp. 40-43

9. Shakirova F. M., Severov Yu. A. Vidovoj sostav ihtiofauny Kujbyshevskogo vodohranilishha [Species Composition of Ichthyofauna of the Kuibyshev Reservoir]. *Voprosy ikhtiologii*, 2014, vol. 54, no. 5, pp. 520-532.

10. Shakirova F. M., Severov Yu. A., Latypova V. Z. Sovremennij sostav chuzherodnyh vidov ryb v Kujbyshevskom vodohranilishche i vozmozhnoe vnedrenie novyh predstavitelej v ego jekosistemu [Modern Composition of Alien Fish Species in the Kuybyshev Reservoir and Possible Introduction of New Representatives into Its Ecosystem]. *Rossijskij Zhurnal Biologicheskij Invazij*, 2015, no. 3, pp. 77-98.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Таиров Раиль Гаязович* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); директор; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Tairov Rail Gayazovich* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); director; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Шакирова Фирдауз Мубараковна* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); кандидат биологических наук, доцент; зам. директора по науке; E-mail: shakirovafm@gmail.com

*Shakirova Firdauz Mubarakovna* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); Philosophiæ Doctor; Deputy Director for Science; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Калайда Андрей Эдуардович* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); зав. сектором искусственного воспроизводства рыбных ресурсов; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Kalaida Andrej Jeduardovich* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); head of the artificial reproduction of fish stocks; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Горшков Михаил Александрович* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); старший научный сотрудник лаборатории сырьевых ресурсов и прогнозирования; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Gorshkov Mihail Aleksandrovich* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); Senior Researcher of Laboratory of Resources and Forecasting; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Северов Юрий Александрович* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); кандидат биологических наук; зав. лабораторией водных биологических ресурсов и прогнозирования; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Severov Yuri Aleksandrovich* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); Philosophiæ Doctor; chief of Laboratory of aquatic biological resources and monitoring; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Гранин Антон Валентинович* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); научный сотрудник сектора искусственного воспроизводства рыбных ресурсов; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Granin Anton Valentinovich* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); Researcher of the artificial reproduction of fish stocks; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Шакиров Ильдар Рафаилевич* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); научный сотрудник лаборатории сырьевых ресурсов и прогнозирования; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Shakirov Il'dar Rafailevich* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); Researcher of Laboratory of Resources and Forecasting; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Валиева Гузель Дамировна* – Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Татарское отделение (г. Казань); научный сотрудник лаборатории сырьевых ресурсов и прогнозирования; E-mail: gosniiorh@gmail.com

*Valieva Guzel' Damirovna* – Tatar branch of Federal State Budgetary Scientific Establishment «Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries» (Kazan); Researcher of Laboratory of Resources and Forecasting; E-mail: gosniiorh@gmail.com

## **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



УДК 664.955

## К ВОПРОСУ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИКРЫ

Н. А. Рачкова, А. В. Строщкова, В. В. Соклаков, Е. С. Вайнерман,  
Б. Ю. Воротников

## REVISITING THE NEED FOR INTEGRATED ROE TECHNOLOGY

N. A. Rachkova, A. V. Stroshkova, V. V. Soklakov, E. S. Vaynerman,  
B. Yu. Vorotnikov

Выявленная иерархия технологических процессов рыбохозяйственной отрасли позволила определить текущий временной этап как междисциплинарный. Он характеризуется коммуникативными процессами комбинации и кооперации технологий различных отраслей, позволяющими создавать промышленные кластеры. Таким образом, в представленной работе продемонстрирована возможность преодоления рамок отраслевого ограничения, связанного с производством не только традиционного деликатесного и аналогового пищевых продуктов, но и высоколиквидного продукта для косметического и фармацевтического рынков.

Проанализирована проблема переработки икорного сырья гидробионтов в рамках действующего технического регламента Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС № 040/2016. Показано, что классическая технология производства икры-зерна не соответствует современному переходному состоянию от технологического к междисциплинарному этапу развития технологий. Предложена инновационная схема комплексной переработки икорного сырья, апробированная на охлажденных и мороженых ястыках следующих видов рыб: горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum), озёрной форели (*Salmo trutta* Linnaeus), судака обыкновенного (*Sander lucioperca* Linnaeus), палтуса атлантического (*Hippoglossus hippoglossus* Linnaeus).

Комплексная технология икры дает возможность наряду с икрой-зерном получать продукцию плацентарного коллагена гидробионтов (с содержанием белка более 95% в пересчете на сухое вещество) на основе фракции фибриллярных белков, а переработка фракции глобулярных белков позволяет производить методом экструзионного гранулирования образцы комбинированных икорных продуктов. Они содержат в своем составе, помимо полноценных белков, также и гипоаллергенные полисахариды (соотношение макронутриентов 1:2 соответственно), представляющие собой гранулы сферической формы с приятной вкусоароматикой, близкой к натуральной икре. Данный концептуальный продукт получил название «альфа-икра». Наряду с технологическими и экологическими преимуществами, эта технология позволяет решать социальную задачу создания икорных продуктов различных ценовых групп.

*рыбохозяйственный икорный кластер, фракционирование белков, морской плацентарный коллаген, альфа-икра*

The revealed hierarchy of manufacturing processes of the fisheries allowed us to determine the current period as an intertechnological one. It is characterized by communicative processes of combination and cooperation of technologies of various industries, allowing creation of industrial clusters. Thus, the present work demonstrates that it is possible to overcome the framework of the industry limitation associated with the production of not only traditional delicious and analog food products, but also a highly liquid product for the cosmetic and pharmaceutical markets.

The paper analyzes the problem of processing of caviar raw materials of hydrobionts in the framework of the current technical regulations of the Eurasian Economic Union TR EEU No. 040/2016. It is shown that the classical technology of production of caviar grain does not correspond to the current transitional state from the technological to the intertechnological stage of technology development. An innovative scheme of complex processing of caviar raw materials has been proposed, tested on chilled and frozen hard roe of the following fish species: pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum), lake trout (*Salmo trutta* Linnaeus), sander (*Sander lucioperca* Linnaeus), Atlantic halibut (*Hippoglossus*)

The integrated roe technology makes it possible to produce placenta collagen hydrobionts (with a protein content of more than 95% in terms of dry matter) based on the fibrillar protein fraction, along with the caviar grain, and processing of the globular protein fraction made it possible to produce samples of the combined caviar products by extrusion granulation. In addition to native proteins, they also contain hypoallergenic polysaccharides (macronutrient ratio of 1: 2, respectively), which are spherical granules with a pleasant taste and flavor, close to natural roe. This conceptual product has been named "alpha caviar". Along with technological and environmental benefits, this technology allows solving the social task of creating caviar products of various price groups.

*fishery roe cluster, protein displacement, sea placental collagen, alpha roe*

#### АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ

Икра рыб представляет собой уникальный пищевой продукт, содержащий в своем составе ценные белки, липиды, витамины и микроэлементы. Кроме того, такие объекты промысла, как осетровые и лососевые, традиционно относятся к деликатесным. Непрерывный рост цен на чёрную икру обусловлен несколькими причинами: сокращением численности осетровых, запретом на их вылов, браконьерской деятельностью, а также незначительным объемом разведения и выпуска молоди [1].

Несмотря на указанные выше проблемы, США потребляют до 30 % объемов мирового производства икры осетровых.

Рынок лососевой икры в России в течение 2014 – 2016 гг. составляет порядка 15 тыс. т в год [2]. Следует отметить при этом, что порядка 20 – 25 % этого объема производят в удалённых от путины регионах, перерабатывая замороженное сырьё. Икра же большинства остальных промысловых видов рыб считается не представляющей товарной ценности и зачастую утилизируется вместе с отходами от разделки.

Изучение практики переработки объектов аквакультуры, рост объёмов производства которой отмечается во всех странах-производителях, показало, что выращиваемые гидробионты используются только как источник мышечной ткани,

а гонады удаляются вместе с внутренностями при вакуумном потрошении. В дальнейшем ястыки замораживаются, а не перерабатываются сразу для получения деликатесной соленой продукции; в результате при замораживании и последующей дефростации наблюдается ослабление и разрушение оболочек икры-зерна.

Классическая схема переработки икры гидробионтов (рис. 1) предполагает традиционный подход к получению соленой деликатесной продукции и включает в себя ряд операций, в том числе неизменно такую технологическую, как пробивка, с целью отделения зерна от соединительной ткани. Данная схема несет в себе ряд недостатков: в частности, при механическом отделении икры-зерна отмечают большие потери ее ценного внутреннего содержимого, в состав которого входят полноценные глобулярные белки [3]. Выход икры-зерна при её отделении от ткани оболочки ястыков также зависит от стадии ее зрелости, условий и сроков хранения сырья. При этом отходы и потери при пробивке в среднем могут составлять от 10 до 25 % [4], достигая 35 – 65 % при производстве икры, доставляемой на удалённые от мест вылова предприятия, а также при использовании мороженого икорного сырья. Икра недостаточной стадии зрелости также имеет слабую и непрочную оболочку. Как следствие, при пробивке дефростированной и незрелой икры наблюдается такой дефект, как «лопанец» (разрушение икры-зерна с отделением оболочки, содержащей фибриллярные белки). Основным макронутриентом вытекшего при лопанце содержимого внутренней части икры-зерна являются полноценные глобулярные белки. Данные фракции следует рассматривать не как отходы, а как естественное вторичное сырьё, несомненно, ценное в биохимическом отношении (неопубликованные данные по изучению аминокислотного состава икры лососевых, полученные в ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Проведённый нами в рамках изучения рассматриваемой проблемы информационный анализ показал, что применение глобулярных белков икорного сырья нашло отражение в существующих разработках [3], однако нами не было встречено решения, в рамках которого рассматривался бы вопрос комплексного использования всего спектра белковых компонентов. Основным представителем фибриллярных белков гонад гидробионтов является коллаген, составляющий основу соединительной ткани и отвечающий за структурно-механические свойства живого организма [5]. Помимо получения из животных коллагенов желатина и продуктов его гидролиза, применение коллагенового сырья в нашей стране не развито, особенно это касается переработки коллагена из рыбного сырья. Странами, активно развивающими производство и использование коллагена гидробионтов, являются Япония, США, Китай, Германия, а стоимость рыбного коллагена может достигать до 500 евро за килограмм (фирма «Creative Enzymes»). Также морской коллаген рассматривается как материал для 3D-печати в целях создания основы гибридных тканевых материалов [6].

Производимую в настоящее время икорную продукцию сложно отнести к натуральной органической икре, поскольку используемые технологии предполагают для снижения производственных потерь и решения ряда других задач введение комплексов пищевых добавок. В рамках анализа современного уровня технологий нами были систематизированы различные технологические схемы получения зернистой икры, предполагающие использование пищевых добавок различной функциональной направленности (ферментных препаратов, регуляторов кислотности, влагоудерживающих агентов, консервантов, красителей, структурообразователей) [7, 8].

На рис. 1 штриховой линией обозначен элемент схемы, добавляемый и акцентированный нами в данной работе.



Рис. 1. Классическая технологическая схема по изготовлению лососевой зернистой икры [9]

Fig. 1. The most common flowchart for salmon fresh-grain roe production [9]

Применение ферментных препаратов протеолитического действия для увеличения выхода икры-зерна [1], на наш взгляд, является спорным, поскольку гидролизующие оболочку ястыков ферменты разрушают белки соединительной ткани – фракцию фибриллярных белков гидробиионтов. Проблемой представляется и ингибирование дальнейшей активности используемых ферментов, так как сохранность прочности оболочки икры-зерна напрямую влияет на ее качественные показатели. Кроме того, применение ферментных препаратов увеличивает количество безвозвратных отходов и, по сути, приводит к загрязнению окружающей среды за счёт гидролиза высокомолекулярных протеинов с последующим образованием фракции растворимых пептидов и свободных аминокислот.

Вопрос комплексности переработки сырья - наиболее важный во всех отраслях индустрии. В рыбной промышленности рациональное использование биологических ресурсов имеет огромное значение как с экономической, так и с экологической точек зрения. Интенсивный рост населения требует производства постоянно возрастающих объёмов пищевой продукции, характеризующейся высокой биологической ценностью.

Анализ отраслевой проблемы использования икорного сырья показал, что уже в течение длительного времени технологии икры характеризуются рецептурными подходами, благодаря которым за счёт изменения состава, физико-химических показателей готовой продукции без существенных изменений технологической схемы производства осуществляют модификации, направленные в основном на увеличение её сроков годности. По нашему мнению, подобные подходы фактически исчерпали принципиально возможное разнообразие применяемых ингредиентов и не способны придать концептуальное развитие технологии икорных продуктов. Нашу точку зрения наиболее ярко иллюстрирует вступивший в силу в 2017 г. технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС № 040/2016, отражающий сложившийся с 1980-х годов уклад и закрепляющий на законодательном уровне ряд терминов, характеризующих рыбную пищевую продукцию на основе икры гидробиионтов [10]. Следует отметить, что, исходя как из принятой терминологии, так и из содержательной части не только нового технического регламента, но и всей системы существующих документов технического регулирования в пищевой промышленности, можно говорить о практическом отсутствии отражения эволюции этапов технологий. Эти нормативные акты в большей степени ориентированы на традиционно устоявшееся рассмотрение классических видов рыбной продукции, созданных в рамках отдельных отраслей и предусматривающих переработку сырья, разделённого с помощью механико-анатомических способов на перерабатываемое высокоценное и на отходы (что характерно для технологического этапа [11] уровня развития технологий). При этом указанные нормативные акты в недостаточной степени – лишь на уровне установления норм для немногочисленных групп готовой продукции, но не на уровне надлежащих технологических практик – распространяются на инновационные продукты, сочетающие в себе знания и практики различных областей. Такое положение дел в отрасли в значительной степени сдерживает развитие прорывных технологий, позволяющих создавать продукты принципиально новые. При этом современный уровень технологий объективно представляет собой переход от технологического этапа к межтехнологическому, результатом которого становится всё большее распространение наряду с традиционными продуктами

новых групп пищевых продуктов, новых пищевых форм [12] (продукция из сури-ми, на основе изолятов и гидролизатов белков). Для технологии подобных продуктов характерно заимствование методов из смежных областей знания, например, химии, медицины и т. д. Кроме того, на междисциплинарном этапе сырьё рассматривается как набор высокоценных в биологическом и функциональном отношении компонентов, даже если это ведёт к изменению устоявшихся направлений его переработки. Как следствие, степень освоения природных ресурсов выходит на качественно новый уровень [11].

Вопросы комплексности переработки применительно к морским организмам поднимались и в прошлом веке. Значительный вклад в исследования в области комплексных технологий гидробионтов внесли В. П. Быков [13], Н. П. Боева [14], С. В. Немцев [15] и др.; однако в одной из наиболее представительных работ в этой области [16] схема комплексной переработки трески не рассматривает аспекты переработки икорного сырья. При этом принцип комплексности в его современном понимании до сих пор не реализован при производстве икры и икорных продуктов.

Результатом перехода к новому этапу развития в случае использования икорного сырья, по нашему мнению, должны стать не только разработка рассматриваемой в настоящей статье комплексной технологии переработки икорного сырья, характерной для междисциплинарного этапа развития технологий и базирующейся на созданном ранее идеологическом фундаменте [17], но и создание промышленного межотраслевого кластера, в рамках которого данная технология будет реализована с получением как пищевой, так и фармацевтической, косметической, кормовой продукции путём использования органических технологий из сырьевых материалов, которые могут характеризоваться как сравнительно экологически чистые.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате наших работ, проведённых в 2017 – 2018 гг., предлагается инновационная схема комплексной переработки икорного сырья (рис. 2), являющаяся универсальной применительно к любому икорному сырью, в том числе позволяющая осуществлять переработку нерыбных объектов промысла. Отличительная черта предлагаемой схемы - использование в качестве сырья содержащих биологически активные вещества всех компонентов гонад (фракций). Ранее согласно приведённой выше классической технологии такие фракции рассматривались практически исключительно в качестве отходов. Следует отметить, что инновационная схема образования отходов не предполагает.

При апробации данной инновационной технологической схемы комплексной переработки икорного сырья нами использовались охлажденные и мороженые ястыки различных сроков хранения следующих видов рыб: горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum), озёрной форели (*Salmo trutta* Linnaeus), судака обыкновенного (*Sander lucioperca* Linnaeus), палтуса атлантического (*Hippoglossus hippoglossus* Linnaeus).

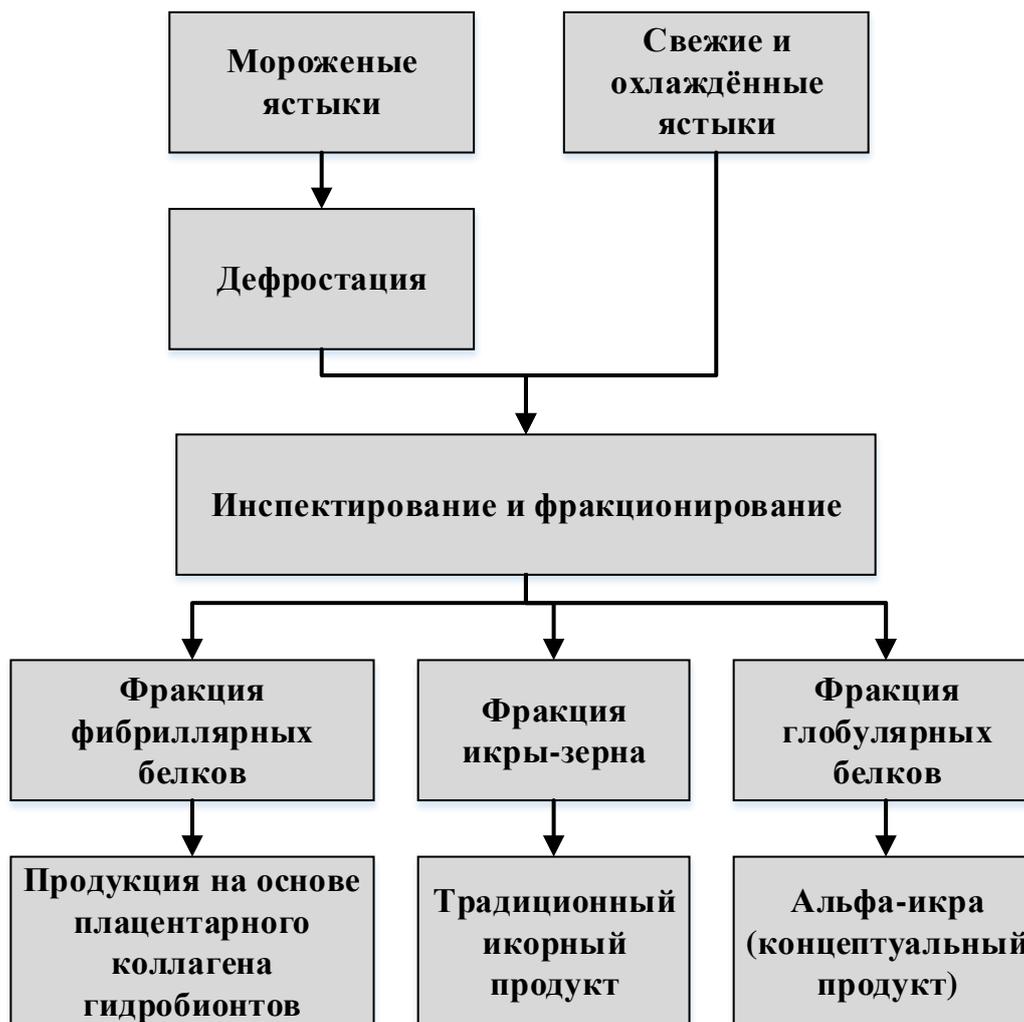


Рис. 2. Технологическая схема комплексной переработки икры  
 Fig. 2. Flowchart of comprehensive roe processing

Авторы показали равную возможность использования как свежего, так и мороженого сырья. Мороженые ястыки подвергали градиентной дефростации (повышение температуры с минус 18 до 0 °С) в течение 12 ч. При этом ключевые функциональные свойства сырья не изменялись.

Одной из отличительных операций является инспектирование, т. е. определение стадий зрелости перерабатываемой икры. Важный аспект - универсализм предлагаемой схемы, который был апробирован посредством использования для переработки икры различной стадий зрелости (от 2-й степени и выше) линейных размеров зерна (1 – 6 мм) и видового состава сырья. При этом инспектирование позволяет обосновать выбор технологических параметров следующего этапа переработки – фракционирования.

Операция фракционирования осуществлялась механически на ситах различного диаметра, определяемого размером икры рыб. Инновационность заключалась в выделении трёх компонентов (фракций) вместо одного, предполагаемого по упомянутой выше классической технологии:

- традиционная икра-зерно;

- фибриллярные белки (ястычные пленки, оболочка лопанца), обладающие высокой биологической ценностью;

- глобулярные белки, образующиеся как при разрушении икры-зерна, так и при использовании икры-сырца недостаточных стадий зрелости.

При использовании мороженых ястыков было установлено, что фракционирование предпочтительнее осуществлять в водной среде, поскольку при этом снижается агрегация зерна, укрепляется оболочка икры-зерна и увеличивается выход данной фракции [18]. При переработке икорного сырья недостаточной зрелости или характеризующегося ослабленной оболочкой икры-зерна для получения фибриллярных белков возможно осуществлять фракционирование «на сухую».

Полученная фракция фибриллярных белков (выход составил 2% в пересчете на сухое вещество), представляющая собой «плацентарный коллаген» гидробионтов, может применяться в дальнейшем для производства медицинских и косметических продуктов [5].

Использование фракции глобулярных белков позволяет создавать концептуальный продукт (названный нами «альфа-икрой»), сбалансированный по соотношению полноценных белков и углеводов, который может рассматриваться как потенциально гипоаллергенный и способный к дальнейшим усовершенствованиям и модификациям для целевого промышленного применения. При его применении в качестве сырьевой основы существует возможность регулирования размерных, цветовых, вкусовых параметров, что, несомненно, приведет к расширению ассортимента рыбной пищевой продукции за счёт разработки группы продуктов широкого спектра назначения, начиная с производства стартовых кормов в рыбодовстве и заканчивая пищевыми технологиями специального назначения.

Дальнейшая переработка фракции глобулярных белков позволила нам получить методом экструзионного гранулирования опытные образцы комбинированных икорных продуктов (на основе гомогената из икры судака), содержащие в своем составе помимо полноценных белков, также и гипоаллергенные полисахариды (соотношение макронутриентов 1:2 соответственно), представляющие собой гранулы сферической формы с приятной вкусоароматикой, близкой к вкусу и аромату натуральной икры.

## ВЫВОДЫ

Одним из решений проблемы рационального использования гидробионтов может стать создание комплексной технологии переработки икорного сырья, в результате чего будут:

- снижены потери при производстве традиционных икорных продуктов за счёт фракционирования основных компонентов сырья для достижения более высокого по сравнению с традиционным производством уровня экологичности;

- расширен ассортимент продуктов переработки икры, содержащих биологически активные вещества;

- расширены рынки сбыта продуктов переработки икры через создание многофункционального промышленного инновационного кластера рыбохозяйственной отрасли.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технология рыбы и рыбных продуктов / В. В. Баранов [и др.]; под ред. А. М. Ершова. – Санкт-Петербург, 2006. - 944 с.
2. Экспорт подстегнул цену на красную икру // Электрон. дан. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iz.ru/657315/roksana-avetisian/k-novomu-godu-krasnaia-ikra-mozhet-podorozhat-na-tret> (дата обращения 20.06.2018)
3. Дворянинова, О. П. Икорный джус: источники, свойства и применение / О. П. Дворянинова, А. В. Соколов, М. В. Бобрешова // Вестник АГТУ. Сер. «Рыбное хозяйство». - 2015. - № 3. - С. 126 – 135.
4. Временные нормы отходов, потерь, выхода готовой продукции и расхода сырья при производстве икры лососевых рыб на предприятиях Дальневосточного бассейна / Утв. Госкомрыболовством РФ 02.07.2003 г.
5. Silva T. H., Moreira-Silva J., Marques A. L. P. et al. Marine Origin Collagens and Its Potential Applications // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://www.mdpi.com/1660-3397/12/12/5881> (дата обращения 20.06.2018).
6. Coelho R. C. G., Marques A. L. P., Oliveira S. M. et al. Extraction and characterization of collagen from Antarctic and Sub-Antarctic squid and its potential application in hybrid scaffolds for tissue engineering // Materials Science and Engineering: C. 2017. Vol. 78. P 787 – 795.
7. Исследование качества икры лососевой зернистой, приготовленной с применением фосфатов / Н. А. Алимов [и др.] // Вестник Камчатского гос. техн. ун-та. - 2014. - Вып. 28. - С. 49 – 55.
8. Способ комплексной переработки морских ежей: патент РФ 2432956 МПК А61К 35/5, В01D 11/02 / О. Н. Пожарицкая [и др.] (Россия); ЗАО "Санкт-Петербургский институт фармации" (Россия). – Заявка № 2010128393/15, заявл. 08.07.2010, опубли. 10.11.2011, Бюл. № 31. 9 с.
9. Сборник технологических инструкций по обработке рыбы / ВНИРО: в 2 т. - Т. 2 / Утв. Приказом Минрыбхоза СССР от 05.09.91 г. № 272.
10. Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции" (ТР ЕАЭС 040/2016) / Принят Решением Совета ЕЭК от 18.10.2016 г. № 162.
11. Воротников, Б. Ю. Проблемы развития отраслей переработки природного сырья, создания промышленных кластеров и формирования новых технологических платформ / Б. Ю. Воротников, В. И. Устич // Известия КГТУ. - 2015. - № 37. - С. 83 – 91.
12. Толстогузов, В. Б. Новые формы белковой пищи. (Технологические проблемы и перспективы производства) / В. Б. Толстогузов. - Москва, 1987. - 303 с.
13. Быков, В. П. Научные основы совершенствования и создания новых эффективных технологий гидробионтов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04/ Быков Владимир Петрович; Моск. ин-т приклад. биотехнологии. - Москва, 1992. - 64 с.
14. Боева, Н. П. Научное обоснование комплексной технологии кормовой муки из нетрадиционных объектов промысла: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Боева Нэля Петровна; Калинингр. гос. техн. ун-т. - Москва, 2002. - 52 с.
15. Немцев, С. В. Научное обоснование комплексной технологии хитина, хитозана из панциря промысловых ракообразных и продукции на их основе:

автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Немцев Сергей Владимирович. - Москва, 2006. - 56 с.

16. Зайцев, В. П. Комплексное использование морских организмов / В. П. Зайцев, И. С. Ажгихин, В. Г. Гандель. - Москва, 1980. - 280 с.

17. Способ комплексной переработки янтаря: патент РФ 2336165 МПК В28D 5/00, В28D 7/0 / Б. Ю. Воротников, В. А. Кунин (Россия); Б. Ю. Воротников (Россия). – Заявка № 2007108991/04, заявл. 12.03.2007, опубл. 20.10.2008, Бюл. № 29. 4 с.

18. Биохимические основания создания защитных мембран на примере икры рыб/ А. В. Строшкова [и др.] // Вестник науки и образования Северо-Запада России. -2018. - Т. 4. - № 2. – 12 с.

## REFERENCES

1. Baranov V. V et al. Edit. A. M. Ershov. *Tehnologiya ryby i rybnyh produktov* [Technology of fish and fish products]. Saint-Petersburg, 2006, 944 p.

2. Eksport podstegnul cenu na krasnyuyu ikru [Export has spurred prices for salmon roe]. Available at: <https://iz.ru/657315/roksana-avetisian/k-novomu-godu-krasnaia-ikra-mozhet-podorozhat-na-tret> (Accessed 20 June 2018).

3. Dvorjaninova O. P., Sokolov A. V., Bobreshova M. V. Ikornyy dzhus: istochniki, svoystva i primenenie [Roe juice: sources, properties and application]. *Vestnik AGTU. Ser. "Rybnoe hozyaystvo"*, 2015, no. 3, pp. 126 – 135.

4. *Vremennyye normy othodov, poter', vyhoda gotovoy produktsii i rashoda syr'ya pri proizvodstve ikry lososevyh ryb na predpriyatiyah Dal'nevostochnogo basseyna* [Temporary regulations for waste, losses, yield and raw materials consumption during salmon roe production at the enterprises of the Far East basin]. Goskomrybolovstvo, 02.07.2003.

5. Silva T. H., Moreira-Silva J., Marques A. L. P. et al. Marine Origin Collagens and Its Potential Applications. Available at: <http://www.mdpi.com/1660-3397/12/12/5881> (Accessed 20 June 2018).

6. Coelho R. C. G., Marques A. L. P., Oliveira S. M. et al. Extraction and characterization of collagen from Antarctic and Sub-Antarctic squid and its potential application in hybrid scaffolds for tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*. 2017, vol. 78, pp. 787 – 795.

7. Alimov N. A. et al. Issledovanie kachestva ikry lososyovoy zernistoy, prigotovlennoy s primeneniem fosfatov [Research on quality of salmon grain caviar made of phosphates]. *Vestnik Kamchatskogo gos. tehn. univers.*, 2014, iss. 28, pp. 49-55.

8. Spособ kompleksnoy pererabotki morskikh ezhey [Method for complex treatment of sea urchin]. Patent RF 2432956 МПК А61К 35/5, В01D 11/02. Pozharickaya O. N., Urakova I. N., Shikov A. N. et al. (Russia). ZAO "Sankt-Peterburgskiy institut farmatsii" (Russia). Zayavka № 2010128393/15, zayavleno 08.07.2010, opubl. 10.11.2011, byull. 31, 9 p.

9. Sbornik tehnologicheskikh instruktsiy po obrabotke ryby [Collection of technology guidelines for fish processing]. VNIRO, in 2 vol. Vol. 2. Utv. prikazom Minrybhoza SSSR ot 05.09.91, no. 272.

10. Tekhnicheskiy reglament Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza “O bezopasnosti ryby i rybnoy produkcii” [Technical regulation of Eurasian economical union “On fish and fish products safety”] (TR EEU 040/2016). Prinyat Resheniem Soveta EEK ot 18.10.2016, no. 162.

11. Vorotnikov B. Yu., Ustich V. I. Problemy razvitiya otrasley pererabotki prirodnogo syr'ya, sozdaniya promyshlennykh klasterov i formirovaniya novykh tehnologicheskikh platform [Problems of the development of natural resources processing industries, creation of industrial clusters and formation of new technological platforms]. *Izvestiya KGTU*, 2015, no 37, pp. 83 – 91.

12. Tolstoguzov V. B. Novye formy belkovoy pishchi (Tekhnologicheskie problemy i perspektivy proizvodstva) [New forms of protein food (Technological problems and production perspectives)]. Moscow, 1987, 303 p.

13. Bykov V. P. *Nauchnye osnovy sovershenstvovaniya i sozdaniya novykh effektivnykh tehnologiy gidrobiontov. Diss. dokt. tehn. nauk* [Scientific basis for new effective hydrobionts technologies perfection and creation. Dis. dr. techn. sci.]. Moscow, 1992, 64 p.

14. Boeva N. P. *Nauchnoe obosnovanie kompleksnoy tehnologii kormovoy muki iz netraditsionnykh ob'ektov promysla. Avtoreferat diss. dokt. tehn. nauk* [Scientific justification of feed meal complex technology from non-traditional catching objects. Abstract of dis. dr. techn. sci.]. Moscow, 2002. 52 p.

15. Nemcev S. V. *Nauchnoe obosnovanie kompleksnoy tehnologii hitina, hitozana iz pancirya promyslovykh rakoobraznykh i produkcii na ih osnove. Avtoreferat diss. dokt. tehn. nauk* [Scientific justification of chitin and chitosan complex technology from crustacean testa and of products based on them. Abstract of dis. dr. techn. sci.]. Moscow, 2006, 56 p.

16. Zajcev V. P., Azhghin I. S., Gandel' V. G. *Kompleksnoe ispol'zovanie morskikh organizmov* [Integrated use of sea organisms]. Moscow, 1980, 280 p.

17. Sposob kompleksnoy pererabotki yantarya [Method of amber complex treatment]. Patent RF 2336165 MPK B28D 5/00, B28D 7/0. B. Yu. Vorotnikov, V. A. Kunin (Russia); B. Yu. Vorotnikov (Russia). Zayavka № 2007108991/04, zayavl. 12.03.2007, opubl. 20.10.2008, byul. № 29, 4 p.

18. Stroshkova A. V. et al. Biohimicheskie osnovaniya sozdaniya zashchitnykh membran na primere ikry ryb [Biochemical bases of creation of protection membranes as exemplified by fish roe]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2018, vol. 4, no. 2, 12 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

*Rachkova Natalya Anatol'evna* – Kaliningrad State Technical University; assistance lecturer, Department of Food Products Technology;  
E-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

*Строшкова Анастасия Валерьевна* – Калининградский государственный технический университет; студентка кафедры технологии продуктов питания;  
E-mail: stroshkova.nastya@gmail.com

*Stroshkova Anastasiya Valer'evna* – Kaliningrad State Technical University; student,  
Department of Food Products Technology;  
E-mail: stroshkova.nastya@gmail.com

*Соклаков Владимир Владимирович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: vladimir.soklakov@klgtu.ru

*Soklakov Vladimir Vladimirovich* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD in Engineering, Associate professor at the Department of Food Products  
Technology; E-mail: vladimir.soklakov@klgtu.ru

*Вайнерман Ефим Семёнович* – Научно-исследовательский институт детского питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», г. Москва; доктор химических наук, старший научный сотрудник;  
E-mail: efimv@list.ru

*Vaynerman Efim Semyonovich* – Research Institute of Childhood Nutrition, Federal Scientific Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow;  
Dr. of Chemistry, Senior scientist; E-mail: efimv@list.ru

*Воротников Борис Юрьевич* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой химии;  
E-mail: vorotnikov@klgtu.ru

*Vorotnikov Boris Yur'evich* – Kaliningrad State Technical University;  
PhD in Engineering, Associate professor; Head of the Department of Chemistry;  
E-mail: vorotnikov@klgtu.ru

УДК 664.9.022 / 535.247.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРОВ ТЕЛА  
ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ИЗМЕРЕНИИ  
МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЯ

Н. В. Самойлова, О. В. Агеев

MATHEMATICAL MODELLING OF COMMERCIAL FISH BODY CONTOURS  
DURING LASER MEASUREMENT OF THE RAW MATERIAL  
MORPHOMETRIC PARAMETERS

N. V. Samojlova, O. V. Ageev

Обоснована перспективность лазерного измерения морфометрических параметров рыбного сырья. Показана актуальность задачи разработки математических моделей светящего тела на основе формализованных описаний контуров различных видов сырья. Изложена методика экспериментального исследования контуров промысловых рыб. Описана экспериментальная установка, выполненная как видеокomпьютерный модуль. Исследованы контуры сельди атлантической, сардинеллы, скумбрии и ставриды. Измерения проведены на дефростированной рыбе с использованием 25 экземпляров каждого вида. Описана последовательность цифровой обработки видеоизображений рыб с целью получения безразмерных координат контуров тела. В памяти ЭВМ для каждого экземпляра сформирована таблица с 500 координатами верхнего полуконтура рыбы (спинки), а также таблица с 500 координатами нижнего полуконтура (брюшка). Цифровым методом удалены области, образованные изображениями плавников и хвостов. Обработаны массивы данных с координатами 12500 точек контуров для каждого из четырех видов рыб (50000 точек). Математические модели верхних и нижних полуконтуров рыб представлены в виде аппроксимирующих полиномов третьего порядка. Идентификация безразмерных моделей для каждого вида рыбы выполнена путем статистической обработки безразмерных координат методом наименьших квадратов. Коэффициенты аппроксимирующего полинома третьей степени для верхнего полуконтура сельди атлантической составляют 0,00937; 0,5271; 0,7511; 0,2612, для нижнего – -0,0157; -0,6651; 0,9223; -0,2788. Проведена проверка адекватности полученных моделей экспериментальным данным по критерию Фишера. Для верхних полуконтуров сельди атлантической индексы детерминации при аппроксимации полиномами второго, третьего и четвертого порядков составляют, соответственно, 0,935; 0,966; 0,967, для нижних полуконтуров – 0,952; 0,971; 0,972. Значимость различия индексов детерминации полиномов третьей и четвертой степеней незначительная и составляет 0,001. Полученные математические описания адекватны экспериментальным данным и характеризуют наиболее вероятную форму тела сельди атлантической, сардинеллы, ставриды и скумбрии.

*рыба, морфометрия, лазер, луч, пучок, подсвечивающий элемент, светящее тело, видеоизображение, рассеяние, модель, моделирование*

Potential of laser measurement of morphometric parameters of fish raw material has been proved. Applicability of the problem of developing mathematical models of a luminous body based on the formalized descriptions of the contours of raw materials of various types has been shown. Procedure of experimental research of trawl fish contours has been expounded. An experimental facility, made as videocomputer module, has been described. The contours of Atlantic herring, sardinella, mackerel and horse mackerel have been investigated. Measurements have been carried out on defrosted fish using 25 specimens of each species. The sequence of digital processing of fish video images in order to obtain dimensionless coordinates of the body contours has been described. For each specimen, a table with 500 coordinates of the fish top semi-contour (fish back) and a table with 500 coordinates of the lower semi-contour (fish belly) have been formed in the computer memory. The areas formed by the images of fins and tails have been removed by digital processing. Data files with the coordinates of 12,500 contour points for each of the four fish species (50,000 points) have been processed. Mathematical models of the top and lower fish half-contours have been presented in the form of approximating third-order polynomials. The dimensionless models identification for each fish species has been performed by statistical processing of the dimensionless coordinates by the least squares method. The coefficients of the approximating polynomial of the third degree for the Atlantic herring top half-contour are 0.00937; 0.5271; 0.7511; 0.2612. For the lower half-contour of the Atlantic herring, the corresponding coefficients are -0.0157; -0.6651; 0.9223; -0.2788. The adequacy of the models obtained to the experimental data according to the Fisher criteria has been tested. For the top half-contours of Atlantic herring the indices of determination in the approximation of the second, third and fourth order polynomials are 0.935; 0.966; 0.967, respectively. For the lower half-contours of fish, the indices of determination are 0.952; 0.971; 0.972. The significance of the difference in the indices of determination of third and fourth degrees polynomials is insignificant and is 0.001. The obtained mathematical descriptions are adequate to the experimental data and characterize the most probable form of the body of Atlantic herring, sardinella, horse mackerel and mackerel.

*fish, morphometry, laser, beam, bunch, illuminating element, luminous body, video image, dissipation, model, modelling*

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения ресурсосберегающих режимов работы рыбозаделочного и филетировочного оборудования требуется сбор информации о морфометрических параметрах обрабатываемого сырья. Рыбы различных видов отличаются размерами, формой и физико-механическими свойствами. В то же время от характеристик формы рыб существенно зависят конструкции рыбообрабатывающих машин и приспособлений, а также режимы настройки рабочих органов на экономичный рез. Надежная работа разделочно-филетировочной техники требует правильной ориентации и загрузки сырья на основе имеющейся информации об объектах обработки.

Исследования, проведенные в работе [1], показывают, что наилучшей точностью и быстродействием обладает бесконтактный оптико-электронный метод измерения параметров рыбы на основе лазерной локации. Это обусловлено тем, что лазерный источник удачно сочетает в себе такие свойства, как высокая моно-

хроматичность излучения, малая угловая расходимость, когерентность и большая спектральная плотность энергии излучения [2]. Благодаря этим характеристикам лазер обеспечивает бесконтактность и дистанционность измерений, высокую разрешающую способность, повышает производительность и точность сбора данных.

Согласно работам [3-5] фотометрический метод, основанный на том, что лазерное световое пятно малого размера (подсвечивающий элемент) движется по исследуемому объекту и отражается от его поверхности, удовлетворяет требованиям высокой точности, воспроизводимости и достоверности. В каждой облучаемой точке объекта образуются вторичные элементарные световые источники, излучение которых достигает фотоприемника и анализируется ЭВМ. При этом рыба перемещается конвейером относительно лазерного источника, благодаря чему обеспечивается двух- и трехкоординатное измерение морфометрических параметров.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Схема измерения морфометрических параметров рыбы фотометрическим методом активной лазерной локации показана на рис. 1. Лазерный источник 1 излучает монохроматический световой пучок 2, который образует на подстилающей поверхности конвейера подсвечивающий элемент 3 в виде круга. Распределение энергии в подсвечивающем элементе описывается некоторой функцией  $B(r, \varphi)$ .

В результате строчного сканирования лазерного пучка 2 и пересечения подсвечивающего элемента 3 с краевой линией рыбы 4 формируется светящее тело 5, которое состоит из множества вторичных лазерных источников. На рис. 2 показаны светящиеся тела  $A'B'C'D'$  и  $A''B''C''D''$ , полученные в результате пересечения подсвечивающего элемента 3 с верхним (а) и нижним (б) полуконтурными рыбы 4. При образовании светящего тела 5 лазерное излучение подсвечивающего элемента 3 отражается и рассеивается поверхностью рыбы 4. Излучение светящего тела 5, состоящего из вторичных лазерных источников, распространяется в окружающем полупространстве, в результате чего часть его достигает апертуры фотоприемника 6. Фотоприемник 6 преобразует оптический сигнал в электрический, который поступает затем в вычислительное устройство 7 для анализа интенсивности вторичного рассеянного лазерного излучения. Лазерное излучение, рассеянное на поверхности рыбы, т. е. испускаемое светящим телом 5, в произвольной области полупространства характеризуется некоторой интенсивностью  $\Phi$ .

Для выявления закономерностей лазерного измерения морфометрических параметров рыбы и научно обоснованного определения основных параметров измерительной системы требуются математические модели процесса лазерной локации. Математическое моделирование предполагает формализованное описание интенсивностей лазерного излучения подсвечивающего элемента, вторичного излучения светящего тела, а также рассеянного излучения на апертуре фотоприемника, который в общем случае может располагаться в произвольной точке полупространства.

В [6] разработаны математические модели лазерной локации круглых объектов с принятым равномерным распределением энергии в подсвечивающем элементе:  $B(r, \varphi) = B_0 = const$ . С учетом работы [7] в дальнейшем предполагается принимать во внимание гауссово распределение интенсивности лазерного излучения в пучке.

Лазерный луч сканирует тушку с заданной строчной или круговой [6] разверткой, в результате чего подсвечивающий элемент пересекает контур рыбы и

далее полностью вписывается в ее тело (рис. 1). Таким образом, светящее тело формируется при касании и пересечении контура тушки подсвечивающим элементом. В связи с этим для разработки математических моделей светящего тела требуется формализованное описание контуров различных рыб.

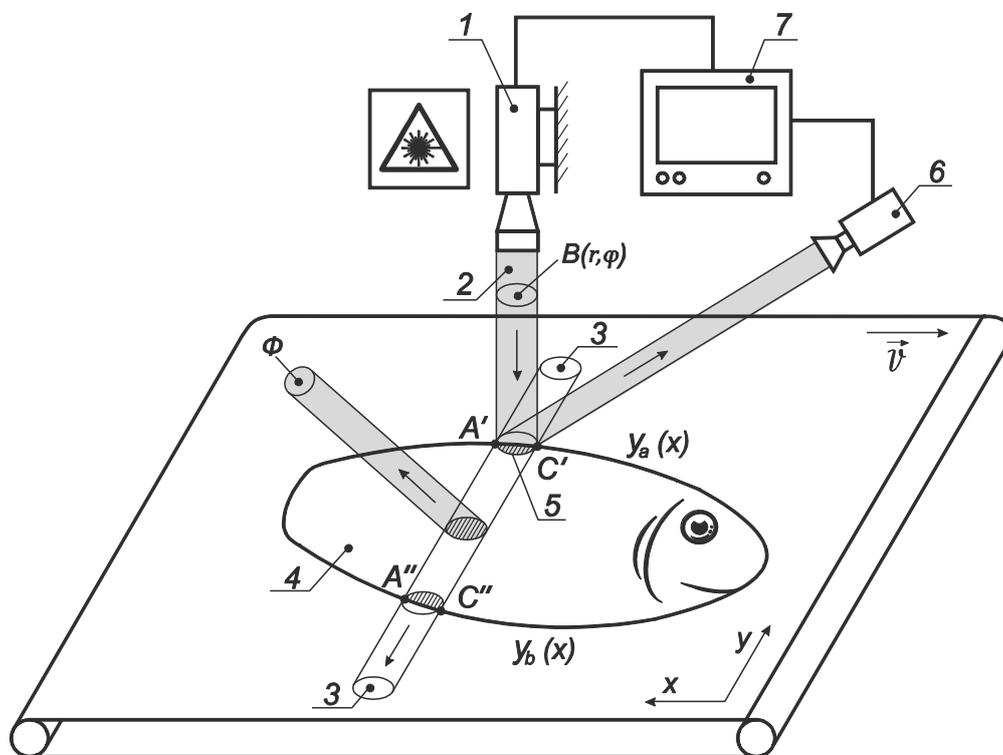


Рис. 1. Схема измерения морфометрических параметров рыбы фотометрическим методом активной лазерной локации  
 Fig. 1. Measurement diagram of fish morphometric parameters by photometric method of active laser location

Для решения этой задачи исследованы контуры четырех видов промысловых рыб – сельди атлантической, сардинеллы, скумбрии и ставриды. Измерения проведены на дефростированной рыбе с использованием 25 экземпляров каждого из указанных видов.

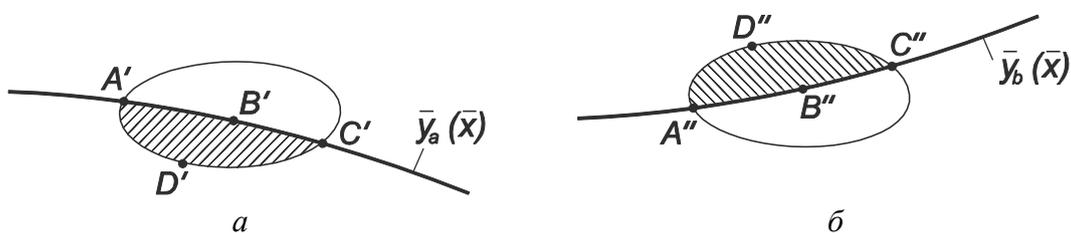


Рис. 2. Схема формирования светящих тел при активной лазерной локации верхнего (а) и нижнего (б) полуконтуров рыбы  
 Fig. 2. Diagram of the luminous body formation with active laser location of the top (a) and lower (b) semi-contours of fish

Общий вид автоматической экспериментальной установки, выполненной в виде видеокomпьютерного модуля, показан на рис. 3. Устройство и принцип его работы подробно описаны в работе [8]. Видеоизображения тушек с разрешением  $660 \times 500$  точек обработаны с помощью программного обеспечения [9], в результате чего автоматически в памяти ЭВМ сформированы численные массивы координат контуров тела рыб. При видеосканировании на качество изображения оказывают влияние засветка внешними источниками, отражение от подстилающей поверхности конвейера, а также вибрация при движении сырья. В связи с этим проведена предварительная цифровая обработка контуров рыб с выполнением следующих операций:

- запуск захвата потока видеоинформации;
- захват кадра с изображением рыбы на конвейере;
- запись кадра в память ЭВМ в матричной форме;
- гистограммная эквализация изображения;
- фильтрация изображения методом деконволюции;
- обработка изображения медианным фильтром;
- перевод изображения из пространства RGB в пространство оттенков серого цвета;
- бинаризация изображения;
- заливка бинарного изображения для подавления паразитных образов мелких деталей;
- дилатация изображения;
- поиск контуров на изображении методом Кэнни;
- заливка контуров для сглаживания краев;
- вычитание изображения для подавления фона;
- замыкание контуров на изображении.

Пример последовательной цифровой обработки изображения сельди атлантической приведен на рис 4. В памяти ЭВМ видеокomпьютерного модуля для каждой тушки сформирована таблица с 500 координатами верхнего полуконтура рыбы (спинки), а также таблица с 500 координатами нижнего полуконтура (брюшка). При этом путем цифровой обработки удалены области, образованные изображениями плавников и хвостов. Таким образом, получены массивы данных с координатами 12500 точек контуров для каждого из четырех указанных видов рыб и обработаны 50000 точек.

Внутри вида размеры и форма рыбы колеблются в широких пределах. Например, размах колебаний промыслового диапазона длин скумбрии может достигать 2,1. Поскольку тушки рыб имеют различную длину, координаты тела переведены в безразмерный вид в соответствии со следующими выражениями:

$$\bar{x}_i = x_i / l_i^{np} ; \quad \bar{y}_i = y_i / l_i^{np} , \quad (1)$$

где  $x_i$ ,  $y_i$  – размерные координаты  $i$ -й точки каждого контура рыбы;  $\bar{x}_i$ ,  $\bar{y}_i$  – безразмерные координаты  $i$ -й точки каждого контура;  $l_i^{np}$  – промысловая длина  $i$ -й тушки рыбы.

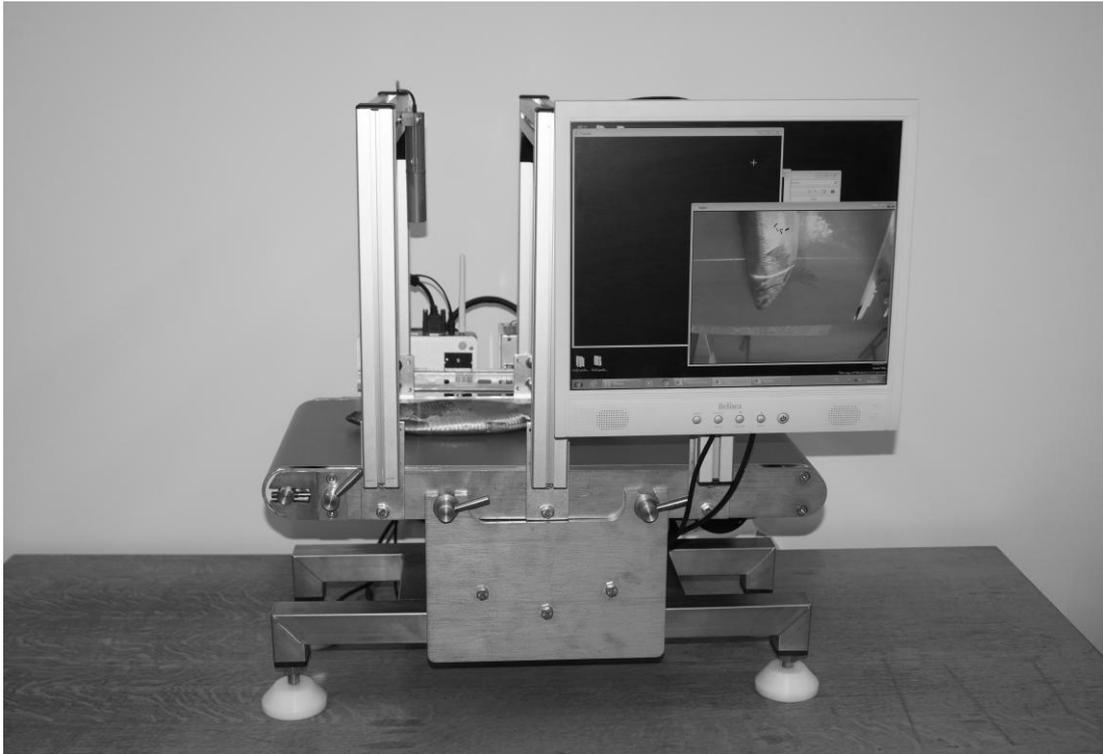


Рис. 3. Общий вид видеокomпьютерного модуля для измерения пространственных характеристик пищевых продуктов на основе активной лазерной локации [8]

Fig. 3. General view of the video computer module for measuring food product spatial characteristics based on active laser location [8]

Для приближенного математического описания контуров тела рыб выбрано аппроксимирующее уравнение в виде полинома третьей степени:

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot \bar{x} + a_2 \cdot \bar{x}^2 + a_3 \cdot \bar{x}^3, \quad (2)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  – постоянные коэффициенты полинома.

Идентификация безразмерной модели (2) для каждого вида рыбы выполнена путем статистической обработки безразмерных координат полуконтуров методом наименьших квадратов.



Рис. 4. Пример последовательной цифровой обработки видеоизображения сельди атлантической [9]

Fig. 4. An example of sequential digital processing of Atlantic herring video image [9]

Для верхнего и нижнего полуконтуров каждой тушки рыбы определены соответствующие численные значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , а также индексов детерминации  $R_a^2$  и  $R_b^2$ . В результате статистической обработки данных по 25 тушкам для каждого вида рыбы найдены средние величины коэффициентов модели (2), а также средние индексы детерминации. Поскольку разброс экспериментальных точек контура рыб относительно аппроксимирующей линии является случайной функцией, рассчитаны границы ее доверительного интервала.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 1, 2 приведены результаты идентификации безразмерных моделей (2), описывающих верхний и нижний полуконтур сельди атлантической.

Таблица 1. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для верхнего полуконтура сельди атлантической

Table 1. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the top half-contour of Atlantic herring

Номер рыбы	$a_0, \times 10^{-3}$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_a^2$
1	9.1058	0.4931	-0.6997	0.2411	0.9879
2	10.1001	0.5554	-0.7884	0.2716	0.9897
3	8.5582	0.5293	-0.7561	0.2647	0.9899
4	9.4958	0.5321	-0.7549	0.2602	0.9882
5	9.2925	0.4864	-0.6882	0.2358	0.9886
6	8.4153	0.483	-0.6874	0.2388	0.9888
7	8.9579	0.5004	-0.715	0.2498	0.9885
8	9.4788	0.5201	-0.742	0.2589	0.9884
9	8.9205	0.4955	-0.705	0.244	0.9877
10	9.4787	0.5132	-0.7264	0.2487	0.9883
11	9.0984	0.5193	-0.7424	0.2597	0.9885
12	9.4994	0.5235	-0.7486	0.2608	0.9905
13	9.2897	0.5169	-0.7381	0.2567	0.9896
14	9.1722	0.5209	-0.7442	0.2601	0.9897
15	8.6087	0.5451	-0.7781	0.272	0.9892
16	10.9041	0.5719	-0.808	0.2761	0.9889
17	8.6393	0.5324	-0.7617	0.267	0.9869
18	10.3000	0.5687	-0.8178	0.2897	0.9882
19	9.0209	0.5183	-0.7426	0.2621	0.9889
20	9.7542	0.5431	-0.777	0.2721	0.9882
21	9.3827	0.5385	-0.7645	0.2646	0.9882
22	9.8016	0.5676	-0.8121	0.2847	0.9882
23	10.5040	0.5614	-0.7988	0.2762	0.9882
24	9.3335	0.5092	-0.7252	0.2516	0.9881
25	9.3667	0.5291	-0.7545	0.2623	0.9889
	<b>9.3799</b>	<b>0.5271</b>	<b>-0.7511</b>	<b>0.2612</b>	<b>0.9665</b>

Таблица 2. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для нижнего полуконтура сельди атлантической

Table 2. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the lower half-contour of Atlantic herring

Номер рыбы	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_b^2$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	-0.0146	-0.6309	0.8781	-0.2688	0.9907
2	-0.0165	-0.7064	0.9822	-0.2998	0.9901
3	-0.0164	-0.6562	0.9078	-0.2723	0.9901
4	-0.016	-0.6776	0.9434	-0.2885	0.9905
5	-0.0142	-0.6276	0.8756	-0.2688	0.9907
6	-0.0146	-0.6085	0.8446	-0.2555	0.9904

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
7	-0.0148	-0.6289	0.8701	-0.2616	0.9904
8	-0.0154	-0.6602	0.9157	-0.2757	0.9901
9	-0.0147	-0.6257	0.8689	-0.2644	0.9900
10	-0.0152	-0.6583	0.9177	-0.2818	0.9907
11	-0.0155	-0.6505	0.8998	-0.2703	0.9903
12	-0.0154	-0.6572	0.9094	-0.2744	0.9902
13	-0.0152	-0.6487	0.8982	-0.2714	0.9902
14	-0.0155	-0.6507	0.9006	-0.2707	0.9900
15	-0.0171	-0.6761	0.9362	-0.2812	0.9906
16	-0.0166	-0.7382	1.0312	-0.3174	0.9911
17	-0.0164	-0.6593	0.9113	-0.2729	0.9907
18	-0.0167	-0.7144	0.9834	-0.2916	0.9906
19	-0.0156	-0.6496	0.8969	-0.2669	0.9902
20	-0.0161	-0.6849	0.9468	-0.2841	0.9900
21	-0.0163	-0.6821	0.9495	-0.2883	0.9896
22	-0.0171	-0.7087	0.9795	-0.2935	0.9893
23	-0.0164	-0.7144	0.9917	-0.3016	0.9902
24	-0.0151	-0.6469	0.8978	-0.2722	0.9900
25	-0.0158	-0.6648	0.9215	-0.2786	0.9902
	<b>-0.0157</b>	<b>-0.6651</b>	<b>0.9223</b>	<b>-0.2788</b>	<b>0.9712</b>

В табл. 3, 4 приведены результаты идентификации моделей (2) для верхнего и нижнего полуконтуров сардинеллы, в табл. 5, 6 – моделей для верхнего и нижнего полуконтуров скумбрии, в табл. 7, 8 – ставриды.

Таблица 3. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для верхнего полуконтур сардинеллы

Table 3. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the top half-contour of sardinella

Номер рыбы	$a_0, \times 10^{-3}$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_a^2$
1	2	3	4	5	6
1	0.0243	0.5248	-0.6762	0.1845	0.9858
2	0.0244	0.5156	-0.6618	0.178	0.9851
3	0.0247	0.5336	-0.6873	0.1868	0.9856
4	0.0263	0.5582	-0.7172	0.1934	0.9857
5	0.0258	0.5515	-0.7088	0.1916	0.9854
6	0.0241	0.5111	-0.6527	0.1733	0.9853
7	0.0239	0.5227	-0.6739	0.1843	0.9855
8	0.0233	0.5015	-0.6449	0.175	0.9856
9	0.0254	0.555	-0.7174	0.1972	0.9859
10	0.0272	0.5823	-0.7478	0.2016	0.9855
11	0.0266	0.5651	-0.7258	0.1957	0.9862
12	0.0266	0.571	-0.7374	0.2025	0.9853

Окончание табл. 3

<i>l</i>	2	3	4	5	6
13	0.0255	0.5448	-0.7015	0.1903	0.9855
14	0.026	0.5595	-0.7222	0.1977	0.9857
15	0.027	0.5695	-0.7346	0.2006	0.9849
16	0.0274	0.5838	-0.7506	0.2031	0.9856
17	0.0257	0.5637	-0.7286	0.2004	0.9851
18	0.0243	0.5185	-0.667	0.1809	0.985
19	0.0253	0.5436	-0.7004	0.1909	0.9854
20	0.025	0.5148	-0.656	0.1726	0.9847
21	0.0259	0.5424	-0.6979	0.189	0.9853
22	0.0253	0.5357	-0.6883	0.186	0.9853
23	0.026	0.5522	-0.7103	0.1922	0.9854
24	0.0244	0.5152	-0.6605	0.1771	0.985
25	0.0254	0.5401	-0.6938	0.1873	0.9855
	<b>0.0254</b>	<b>0.5431</b>	<b>-0.6985</b>	<b>0.1893</b>	<b>0.9672</b>

Таблица 4. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для нижнего полуконтура сардинеллы  
 Table 4. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the lower half-contour of sardinella

Номер рыбы	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_b^2$
<i>l</i>	2	3	4	5	6
1	-0.0188	-0.3473	0.4725	-0.1204	0.9714
2	-0.0182	-0.346	0.4729	-0.123	0.972
3	-0.0191	-0.3532	0.4807	-0.1231	0.9709
4	-0.0197	-0.3723	0.5083	-0.1318	0.9709
5	-0.0196	-0.3666	0.5002	-0.1291	0.9711
6	-0.0182	-0.3451	0.4749	-0.126	0.9714
7	-0.0189	-0.3435	0.467	-0.1185	0.9709
8	-0.0179	-0.3338	0.4553	-0.117	0.9709
9	-0.02	-0.3627	0.4907	-0.1229	0.9705
10	-0.0207	-0.3865	0.5278	-0.1367	0.971
11	-0.0199	-0.3783	0.5169	-0.1342	0.9706
12	-0.0203	-0.3786	0.5135	-0.1295	0.972
13	-0.0193	-0.3607	0.4908	-0.126	0.9714
14	-0.0199	-0.3699	0.502	-0.1271	0.9717
15	-0.0199	-0.3807	0.517	-0.1317	0.9724
16	-0.0207	-0.3895	0.531	-0.1368	0.9715
17	-0.0205	-0.3676	0.4973	-0.1242	0.9709
18	-0.0184	-0.3459	0.4714	-0.1211	0.9718
19	-0.0194	-0.3612	0.4914	-0.1255	0.9718
20	-0.0178	-0.3535	0.4879	-0.1312	0.9732
21	-0.0188	-0.3642	0.496	-0.1277	0.9718
22	-0.0189	-0.3598	0.4911	-0.1269	0.9717

Окончание табл. 4

<i>l</i>	2	3	4	5	6
23	-0.0195	-0.3685	0.5021	-0.1293	0.9711
24	-0.0182	-0.3458	0.4732	-0.1234	0.9718
25	-0.0191	-0.3618	0.4941	-0.1279	0.9709
	<b>-0.0193</b>	<b>-0.3617</b>	<b>0.4931</b>	<b>-0.1268</b>	<b>0.9573</b>

Таблица 5. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для верхнего полуконтура скумбрии

Table 5. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the top half-contour of mackerel

Номер рыбы	$a_0, \times 10^{-3}$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_a^2$
1	0.0154	0.4571	-0.6213	0.1527	0.9895
2	0.0155	0.4309	-0.5814	0.1386	0.9889
3	0.0155	0.4184	-0.5573	0.1256	0.9894
4	0.0158	0.4386	-0.5954	0.1451	0.9894
5	0.016	0.4234	-0.563	0.1261	0.9888
6	0.016	0.4229	-0.5641	0.1277	0.9889
7	0.0139	0.3855	-0.5133	0.1159	0.9887
8	0.0153	0.4128	-0.5494	0.1239	0.9894
9	0.016	0.4307	-0.5754	0.1309	0.9894
10	0.0163	0.4656	-0.623	0.1439	0.9889
11	0.0154	0.4226	-0.5695	0.1345	0.9892
12	0.015	0.4149	-0.5528	0.1256	0.9888
13	0.0161	0.4098	-0.5448	0.1213	0.9889
14	0.0157	0.4383	-0.5933	0.1424	0.9888
15	0.0146	0.4085	-0.5488	0.1283	0.9891
16	0.0161	0.463	-0.6297	0.1542	0.9897
17	0.0156	0.4161	-0.5543	0.1248	0.989
18	0.0163	0.4329	-0.5774	0.1317	0.9895
19	0.015	0.4258	-0.572	0.1344	0.9899
20	0.0148	0.4156	-0.558	0.1302	0.9893
21	0.0143	0.395	-0.5278	0.1206	0.9892
22	0.0154	0.4234	-0.562	0.1258	0.9888
23	0.0161	0.4288	-0.5745	0.1323	0.99
24	0.0151	0.4067	-0.5419	0.1227	0.9889
25	0.0149	0.4244	-0.5685	0.1321	0.9897
	<b>0.0154</b>	<b>0.4245</b>	<b>-0.5688</b>	<b>0.1316</b>	<b>0.9792</b>

Таблица 6. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для нижнего полуконтура скумбрии

Table 6. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the lower half-contour of mackerel

Номер рыбы	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_b^2$
1	-0.0231	-0.4159	0.5602	-0.1474	0.9717
2	-0.0213	-0.404	0.5486	-0.1485	0.974
3	-0.0207	-0.401	0.5517	-0.1561	0.9706
4	-0.0215	-0.4067	0.5485	-0.1455	0.9723
5	-0.0208	-0.4091	0.5636	-0.16	0.9736
6	-0.0206	-0.4064	0.5582	-0.1573	0.9717
7	-0.0193	-0.3654	0.5029	-0.1421	0.9726
8	-0.0205	-0.3973	0.5468	-0.1545	0.9718
9	-0.0211	-0.4108	0.5634	-0.1582	0.9711
10	-0.0235	-0.4377	0.5993	-0.1666	0.9715
11	-0.0208	-0.398	0.5411	-0.1475	0.9719
12	-0.0207	-0.3933	0.5409	-0.1521	0.9727
13	-0.0197	-0.4028	0.555	-0.1581	0.9724
14	-0.0216	-0.4081	0.5522	-0.1486	0.9744
15	-0.0203	-0.3825	0.5217	-0.1435	0.9725
16	-0.0229	-0.4224	0.5686	-0.1502	0.9729
17	-0.0203	-0.3983	0.5479	-0.1552	0.9713
18	-0.0212	-0.4171	0.5729	-0.1605	0.9738
19	-0.0213	-0.3971	0.5416	-0.1484	0.9712
20	-0.0207	-0.3889	0.5307	-0.1463	0.9716
21	-0.0197	-0.374	0.513	-0.1437	0.972
22	-0.0212	-0.4059	0.5602	-0.1592	0.9726
23	-0.0209	-0.4109	0.562	-0.1564	0.9712
24	-0.0201	-0.3902	0.5365	-0.1511	0.9719
25	-0.0214	-0.397	0.5432	-0.1503	0.9708
	<b>-0.0211</b>	<b>-0.4016</b>	<b>0.5492</b>	<b>-0.1523</b>	<b>0.9576</b>

Таблица 7. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для верхнего полуконтура ставриды

Table 7. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the lower half-contour of horse mackerel

Номер рыбы	$a_0, \times 10^{-3}$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_a^2$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	0.0174	0.5598	-0.7258	0.2073	0.9843
2	0.0165	0.5217	-0.6687	0.1847	0.9845
3	0.0167	0.5411	-0.6959	0.1937	0.9844
4	0.0201	0.6439	-0.8409	0.2436	0.9851
5	0.0186	0.6192	-0.7987	0.2245	0.9842
6	0.0153	0.5234	-0.6799	0.195	0.9852

Окончание табл. 7

<i>l</i>	2	3	4	5	6
7	0.0176	0.5524	-0.7078	0.1944	0.9855
8	0.0179	0.5982	-0.7765	0.2222	0.9846
9	0.0166	0.5575	-0.7213	0.2047	0.9855
10	0.0186	0.6081	-0.7826	0.218	0.984
11	0.0174	0.5549	-0.7156	0.2007	0.9852
12	0.0174	0.5546	-0.7155	0.201	0.9853
13	0.0184	0.599	-0.7764	0.221	0.9841
14	0.0169	0.5529	-0.7188	0.2058	0.9839
15	0.0179	0.5634	-0.731	0.2083	0.9829
16	0.0164	0.5365	-0.6906	0.1925	0.9838
17	0.0187	0.5807	-0.7448	0.2058	0.9855
18	0.016	0.5268	-0.6808	0.1928	0.9843
19	0.019	0.6059	-0.7853	0.2232	0.9855
20	0.0175	0.5829	-0.754	0.2132	0.9843
21	0.0174	0.5411	-0.687	0.1843	0.9852
22	0.0175	0.572	-0.7375	0.2075	0.9841
23	0.0185	0.6122	-0.7825	0.2148	0.9854
24	0.015	0.4903	-0.6332	0.1786	0.9835
25	0.0151	0.4836	-0.6224	0.1742	0.9847
	<b>0.0174</b>	<b>0.5633</b>	<b>-0.7269</b>	<b>0.2045</b>	<b>0.9373</b>

Таблица 8. Численные значения коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени для нижнего полуконтура ставриды

Table 8. Numerical values of the coefficients of the third degree approximate polynomial for the lower half-contour of horse mackerel

Номер рыбы	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R_b^2$
<i>l</i>	2	3	4	5	6
1	-0.0292	-0.4205	0.7396	-0.2912	0.9279
2	-0.0272	-0.3986	0.7071	-0.2834	0.9252
3	-0.0284	-0.4073	0.7217	-0.2886	0.9246
4	-0.0332	-0.4774	0.8353	-0.3266	0.9243
5	-0.0328	-0.4623	0.8178	-0.3253	0.9243
6	-0.0279	-0.3846	0.6774	-0.2667	0.9245
7	-0.0287	-0.4229	0.7502	-0.3018	0.9237
8	-0.0315	-0.4433	0.7804	-0.3075	0.9227
9	-0.0296	-0.4133	0.7297	-0.2888	0.9253
10	-0.032	-0.4565	0.8089	-0.3235	0.9269
11	-0.0289	-0.4195	0.7412	-0.2951	0.9245
12	-0.0289	-0.4208	0.7426	-0.2951	0.9256
13	-0.0314	-0.4483	0.7892	-0.3116	0.9213
14	-0.0288	-0.4104	0.7211	-0.2839	0.9252
15	-0.0291	-0.4255	0.7469	-0.2942	0.9275
16	-0.0282	-0.4032	0.7142	-0.2854	0.9275

Окончание табл. 8

1	2	3	4	5	6
17	-0.0301	-0.4463	0.7902	-0.3163	0.9231
18	-0.0278	-0.395	0.6971	-0.276	0.9252
19	-0.0315	-0.4584	0.8055	-0.3179	0.9253
20	-0.0308	-0.4324	0.7638	-0.3031	0.9246
21	-0.0283	-0.421	0.7513	-0.3052	0.9251
22	-0.0301	-0.431	0.7618	-0.3027	0.9248
23	-0.0326	-0.4642	0.8264	-0.3325	0.9264
24	-0.0258	-0.3679	0.6495	-0.2577	0.9254
25	-0.0253	-0.3676	0.6498	-0.2585	0.926
	<b>-0.0295</b>	<b>-0.4239</b>	<b>0.7487</b>	<b>-0.2975</b>	<b>0.9006</b>

На рис. 5 указаны координаты верхнего полуконтура, осредненные по 25 тушкам сельди атлантической. Сплошной линией показана аппроксимирующая линия, соответствующая идентифицированной модели (2) для данного вида. Пунктирными линиями изображены границы доверительного интервала.

На рис. 6 в качестве примера приведены безразмерные координаты верхнего полуконтура тушки № 1 сельди атлантической. Точками показаны экспериментальные данные, линией 1 – их аппроксимация полиномом третьего порядка, линией 2 – аппроксимирующая линия, соответствующая идентифицированной модели (2) для данного вида рыб. На рис. 7, 8 видны результаты аппроксимации контуров, соответственно, для тушек № 2 и 4.

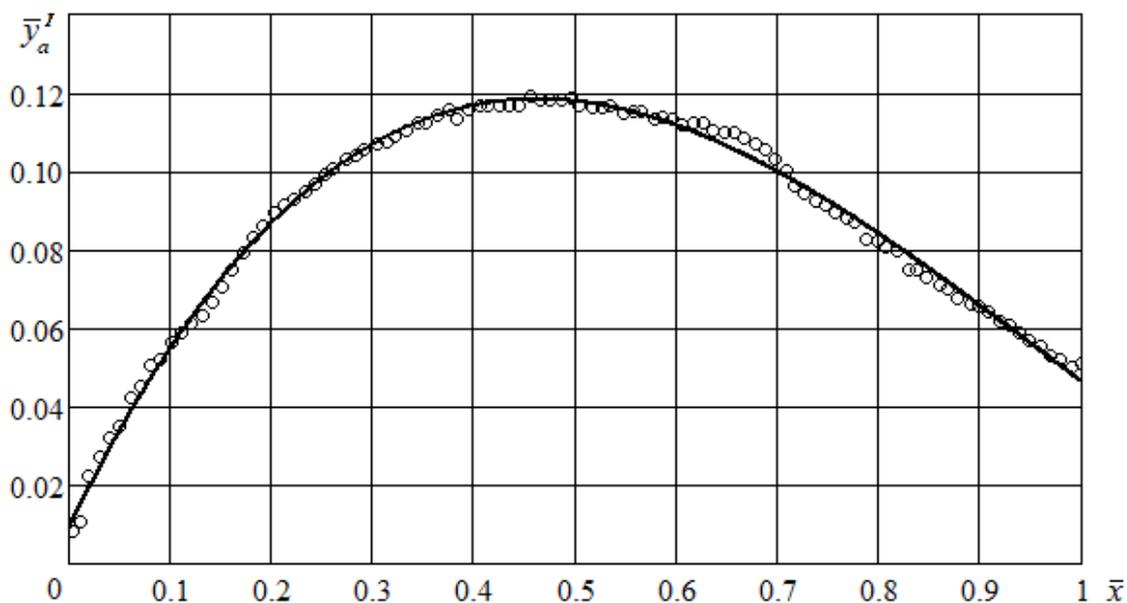


Рис. 5. Аппроксимация верхнего полуконтура сельди атлантической полиномом третьего порядка

Fig. 5. Approximation of the top half-contour of Atlantic herring by a third-order polynomial

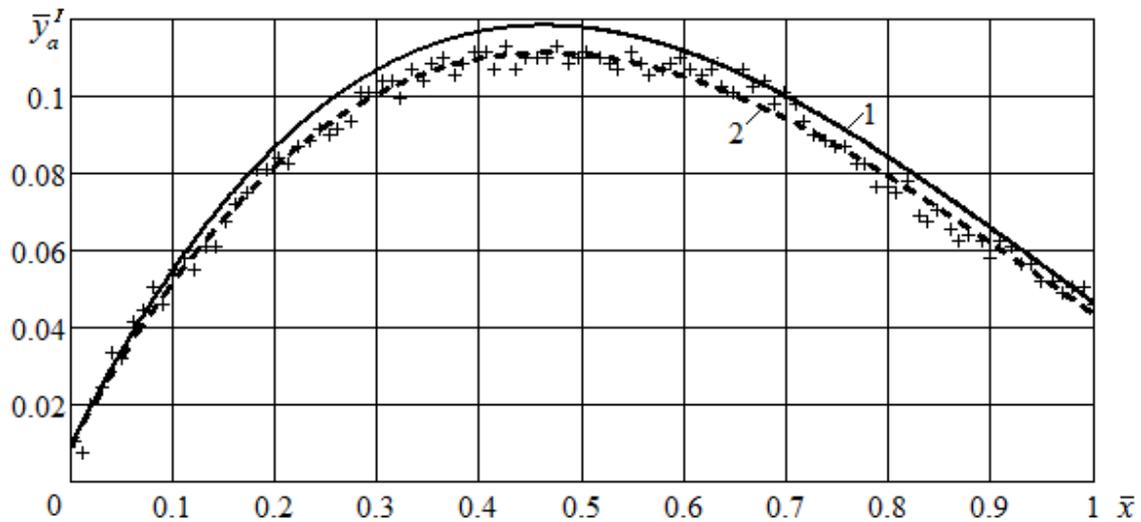


Рис. 6. Аппроксимация верхнего полуконтура тушки № 1 сельди атлантической полиномом третьего порядка  
Fig. 6. Approximation of the top half-contour of Atlantic herring no. 1 by a third-order polynomial

На рис. 9-12 приведены соответствующие показатели для нижних полуконтуров сельди атлантической. Аналогичным образом обработаны экспериментальные данные по сардинелле, скумбрии и ставриде.

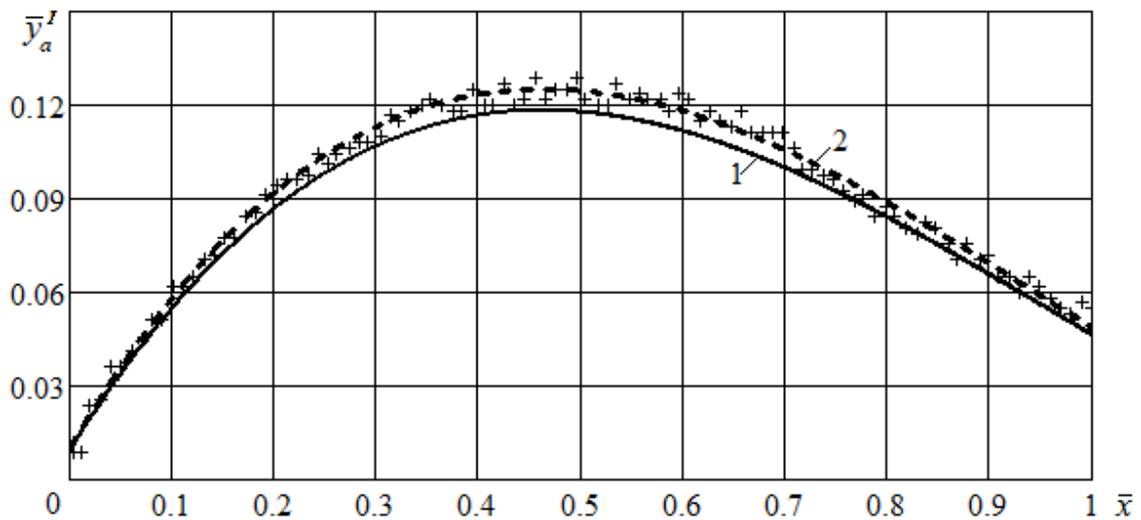


Рис. 7. Аппроксимация верхнего полуконтура тушки № 2 сельди атлантической полиномом третьего порядка  
Fig. 7. Approximation of the top half-contour of Atlantic herring no. 2 by a third-order polynomial

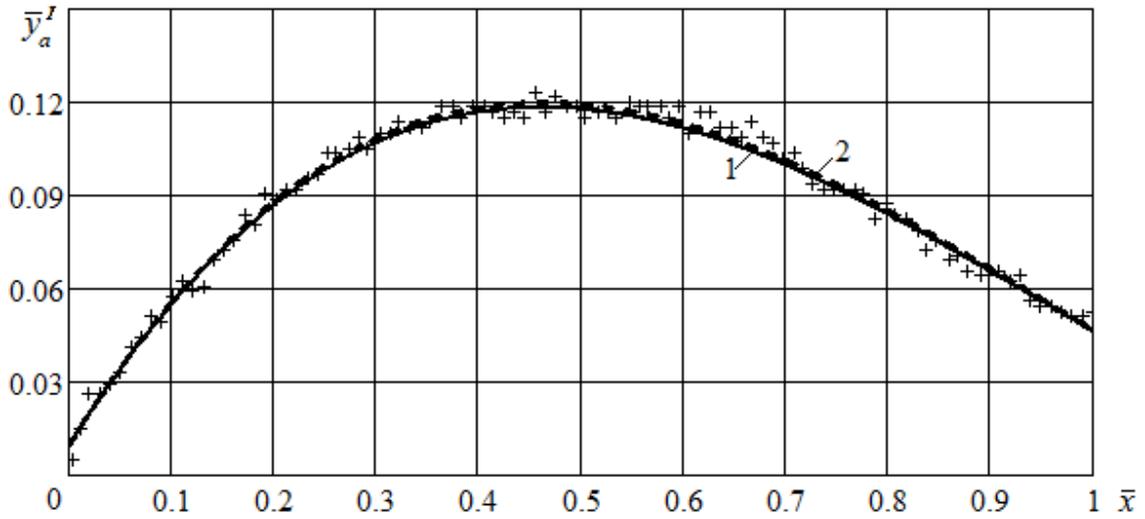


Рис. 8. Аппроксимация верхнего полуконтура тушки № 4 сельди атлантической полиномом третьего порядка  
Fig. 8. Approximation of the top half-contour of Atlantic herring no. 4 by a third-order polynomial

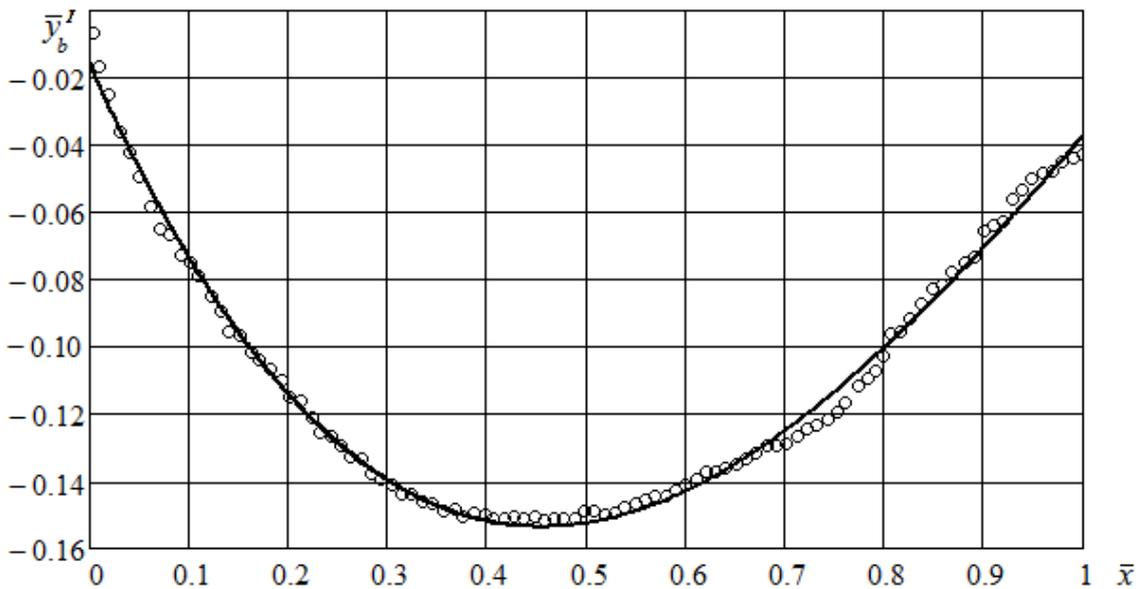


Рис. 9. Аппроксимация нижнего полуконтура сельди атлантической полиномом третьего порядка  
Fig. 9. Approximation of the lower half-contour of Atlantic herring by a third-order polynomial

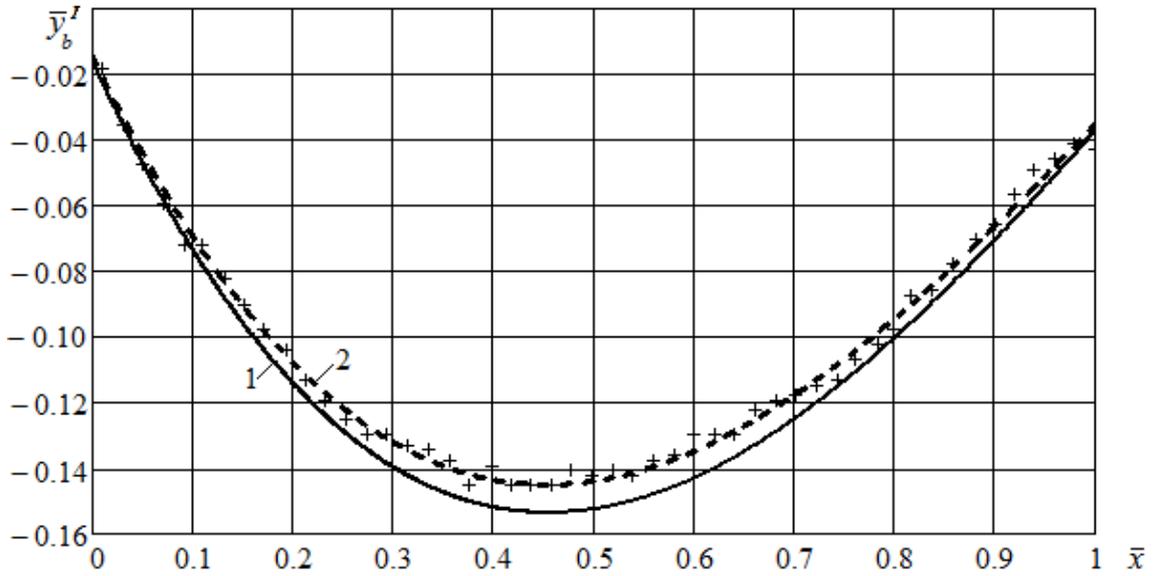


Рис. 10. Аппроксимация нижнего полуконтура тушки № 1 сельди атлантической полиномом третьего порядка  
Fig. 10. Approximation of the lower half-contour of Atlantic herring no. 1 by a third-order polynomial

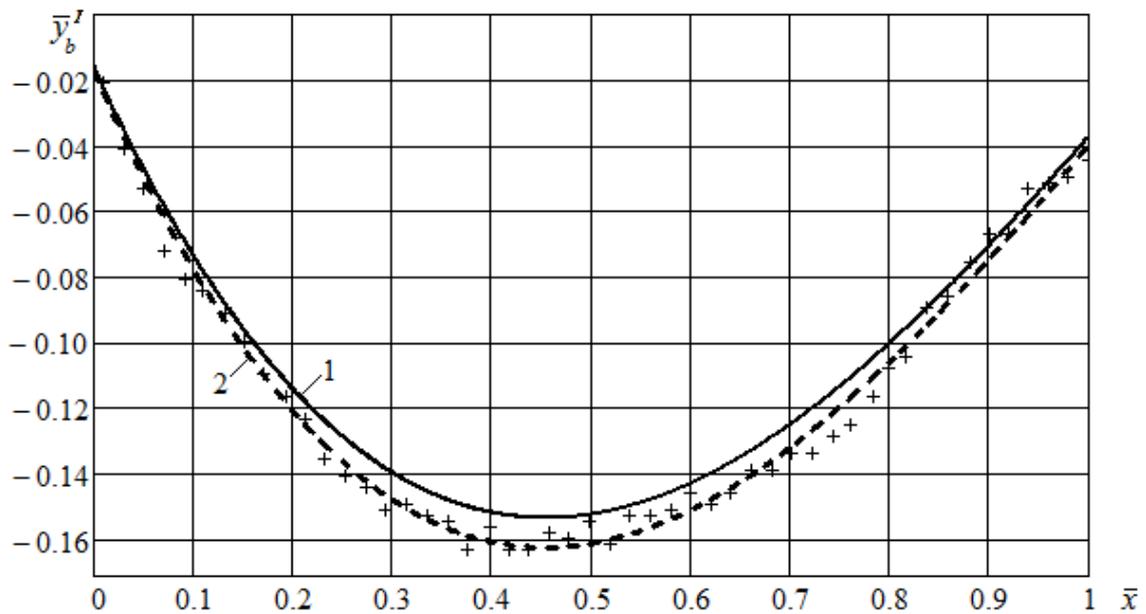


Рис. 11. Аппроксимация нижнего полуконтура тушки № 2 сельди атлантической полиномом третьего порядка  
Fig. 11. Approximation of the lower half-contour of Atlantic herring no. 2 by a third-order polynomial

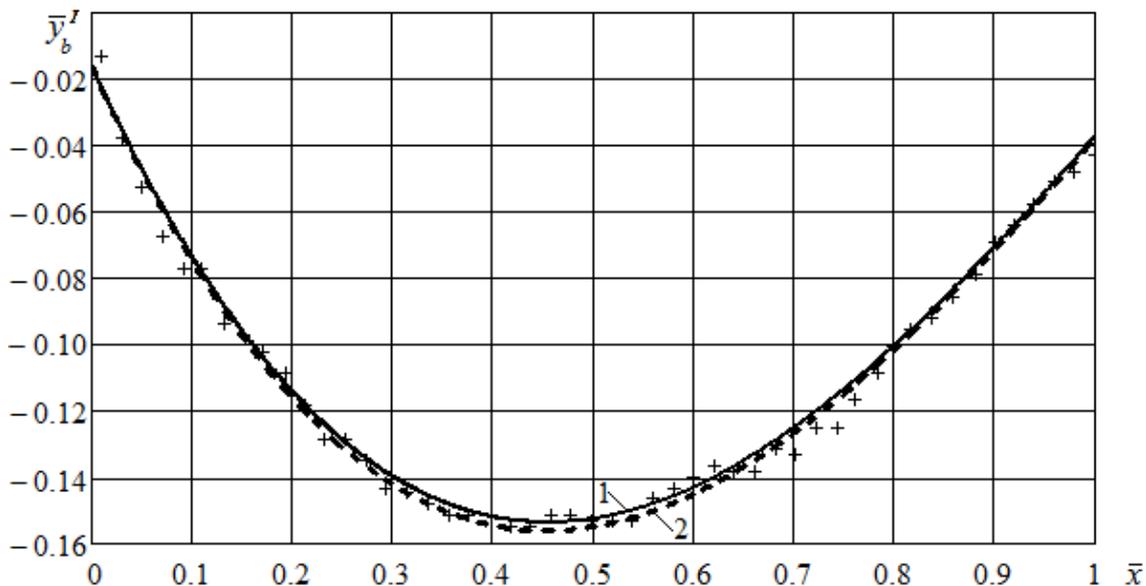


Рис. 12. Аппроксимация нижнего полуконтура тушки № 4 сельди атлантической полиномом третьего порядка

Fig. 12. Approximation of the lower half-contour of Atlantic herring no. 4 by a third-order polynomial

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценим адекватность экспериментальным данным полученных математических моделей в виде полиномов третьей степени, используя значения остаточных дисперсий и критерий Фишера.

Для верхних полуконтуров сельди атлантической остаточные дисперсии при аппроксимации полиномами второго, третьего и четвертого порядков следующие:  $s_{2a}^2=0,665$ ;  $s_{3a}^2=0,345$ ;  $s_{4a}^2=0,343$ , для нижних полуконтуров рыб –  $s_{2b}^2=0,924$ ;  $s_{3b}^2=0,599$ ;  $s_{4b}^2=0,538$ .

Различие  $s_{2a}^2$  и  $s_{3a}^2$  для верхних полуконтуров проверим по критерию Фишера:  $F_{2a-3a} = s_{2a}^2/s_{3a}^2 = 0,665/0,345 = 1,927$ . Табличное значение:  $F_{0,95} = 1,900$ . Значимость различия  $s_{2a}^2$  полинома второго порядка и  $s_{3a}^2$  полинома третьего порядка существенная:  $F_{2a-3a} > F_{0,95}$ .

Различие  $s_{3a}^2$  и  $s_{4a}^2$ :  $F_{3a-4a} = s_{3a}^2/s_{4a}^2 = 0,345/0,343 = 1,005$ . Значимость различия остаточных дисперсий полинома третьего и четвертого порядков несущественная, поскольку критерий Фишера меньше табличного значения:  $F_{3a-4a} < F_{0,95}$ . Таким образом, для верхних полуконтуров следует использовать аппроксимирующий полином третьего порядка.

Различие  $s_{2b}^2$  и  $s_{3b}^2$  для нижних полуконтуров:  $F_{2b-3b} = s_{2b}^2/s_{3b}^2 = 0,924/0,599 = 1,542$ . Значимость различия  $s_{2b}^2$  полинома второго порядка и  $s_{3b}^2$  полинома третьего порядка малосущественная:  $F_{2b-3b} < F_{0,95}$ .

Различие  $s_{3b}^2$  и  $s_{4b}^2$ :  $F_{3b-4b} = s_{3b}^2/s_{4b}^2 = 0,599/0,538 = 1,113$ . Значимость различия остаточных дисперсий полинома третьего и четвертого порядков несущественная, поскольку критерий Фишера меньше табличного значения:  $F_{3b-4b} < F_{0,95}$ . Таким образом, с учетом значений критерия Фишера для верхних полуконтуров следует использовать аппроксимирующий полином третьего порядка для нижних полуконтуров сельди атлантической.

Вышеуказанные заключения подтверждаются также сопоставлением индексов детерминации аппроксимирующих полиномов второй, третьей и четвертой степеней. Для верхних полуконтуров сельди атлантической индексы детерминации при аппроксимации полиномами второго, третьего и четвертого порядков, соответственно,  $R_{2a}^2=0,935$ ;  $R_{3a}^2=0,966$ ;  $R_{4a}^2=0,967$ , для нижних полуконтуров рыб –  $R_{2b}^2=0,952$ ;  $R_{3b}^2=0,971$ ;  $R_{4b}^2=0,972$ . Как видно, значимость различия  $R_{3a}^2$ ,  $R_{3b}^2$  полинома третьей степени и  $R_{4a}^2$ ,  $R_{4b}^2$  полинома четвертой степени несущественная и составляет 0,001.

В результате обработки экспериментальных данных получены адекватные математические модели, описывающие контуры тела сельди атлантической с индексами детерминации  $R_a^2=0,9665$ ,  $R_b^2=0,9712$ :

$$\bar{y}_a^I \curvearrowright = 9,3799 \cdot 10^{-3} + 0,5271 \cdot \bar{x} - 0,7511 \cdot \bar{x}^2 + 0,2612 \cdot \bar{x}^3; \quad (3)$$

$$\bar{y}_b^I \curvearrowright = -0,0157 - 0,6651 \cdot \bar{x} + 0,9223 \cdot \bar{x}^2 - 0,2788 \cdot \bar{x}^3. \quad (4)$$

Математические модели, описывающие контуры тела сардинеллы с индексами детерминации  $R_a^2=0,9672$ ,  $R_b^2=0,9573$ , выглядят следующим образом:

$$\bar{y}_a^{II} \curvearrowright = 0,0254 + 0,5431 \cdot \bar{x} - 0,6985 \cdot \bar{x}^2 + 0,1893 \cdot \bar{x}^3; \quad (5)$$

$$\bar{y}_b^{II} \curvearrowright = -0,0193 - 0,3617 \cdot \bar{x} + 0,4931 \cdot \bar{x}^2 - 0,1268 \cdot \bar{x}^3. \quad (6)$$

Математические модели, описывающие контуры тела скумбрии индексами детерминации  $R_a^2=0,9792$ ,  $R_b^2=0,9576$ , приведены ниже:

$$\bar{y}_a^{III} \curvearrowright = 0,0154 + 0,4245 \cdot \bar{x} - 0,5688 \cdot \bar{x}^2 + 0,1316 \cdot \bar{x}^3; \quad (7)$$

$$\bar{y}_b^{III} \curvearrowright = -0,0211 - 0,4016 \cdot \bar{x} + 0,5492 \cdot \bar{x}^2 - 0,1523 \cdot \bar{x}^3. \quad (8)$$

Математические модели, описывающие контуры тела ставриды индексами детерминации  $R_a^2=0,9373$ ,  $R_b^2=0,9006$ , следующие:

$$\bar{y}_a^{IV} \curvearrowright = 0,0174 + 0,5633 \cdot \bar{x} - 0,7269 \cdot \bar{x}^2 + 0,2045 \cdot \bar{x}^3, \quad (9)$$

$$\bar{y}_b^{IV} \curvearrowright = -0,0295 - 0,4239 \cdot \bar{x} + 0,7487 \cdot \bar{x}^2 - 0,2975 \cdot \bar{x}^3. \quad (10)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выражения (3)-(10), идентифицированные в результате статистической обработки экспериментальных данных, описывают контуры четырех видов промысловых рыб в виде полиномов третьей степени и имеют высокую степень достоверности. Полученные математические описания адекватны экспериментальным данным и характеризуют наиболее вероятную форму тела сельди атлантической, сардинеллы, ставриды и скумбрии. Разработана формальная основа для дальнейшего построения математической модели процесса формирования светящего тела при активной лазерной локации различных видов рыб.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фатыхов, Ю. А. Разработка средств лазерной локации для мехатронного оборудования пищевых производств / Ю. А. Фатыхов, О. В. Агеев // Электронный научный журнал Института холода и биотехнологий. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. – № 1 (март). – Шифр: Эл № ФС77-33458. – Режим доступа: <http://processes.open-mechanics.com/articles/706.pdf>
2. Brown E. D., Churnside J. H., Collins R. L. et al. Remote sensing of capelin and other biological features in the North Pacific using lidar and video technology. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, vol. 59(5), pp. 1120-1130.
3. Tenningen E., Churnside J. H., Slotte A., Wilson J. J. Lidar target-strength measurements on northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *ICES Journal of Marine Science*, 2006, vol. 63(4), pp. 677-682.
4. Yoklavich M. M., Grimes G. B., Wakefield W. W. Using laser line scan imaging technology to assess deepwater habitats in the Monterey Bay National Marine Sanctuary. *Marine Technology Society Journal*, 2003, vol. 37, pp. 18-26.
5. Churnside J. H., Brown E. D., Parker-Shetter S. et al. Airborne remote sensing of a biological hot spot in the southeastern Bering Sea. *Remote Sensing*, 2011, vol. 3, pp. 621-637.
6. Разработка математической модели процесса лазерного сканирования круглых пищевых продуктов / А. Е. Ерыванов [и др.] // Вестник молодежной науки: электронный научный журнал. – Серия: Биотехнология, техника пищевых производств и технология продуктов питания [Электронный ресурс]. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. – № 4(11). – Шифр: Эл № ФС77– 66810. – Режим доступа: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2017/12/Eryvanov-411.pdf>.
7. Mounir Boujenab, Noureddine Eddeqai Cherkaoui. 3D laser imaging using new photometric Gaussian range equation and Phong model reflection. *International Journal for Light and Electron Optics*, 2017, vol. 140, pp. 363-369.
8. Агеев, О. В. Разработка видеокomпьютерного модуля для мехатронного комплекса первичной обработки рыбы / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2014. – № 34. – С. 113–126.
9. Автоматическое построение трехмерной модели рыбы и определение ее морфометрических параметров: свидетельство о регистрации программы для

ЭВМ 2017611141 РФ / О. В. Агеев [и др.]; заявитель и правообладатель Калининградский гос. техн. ун-т. – № 2016662857; заявл. 24.11.16; зарегистр. 19.01.17, опубл. 19.01.17.

## REFERENCES

1. Fatykhov Yu. A. Razrabotka sredstv lazernoy lokatsii dlya mekhatronnogo oborudovaniya pishchevyh proizvodstv [Developing laser location devices for mechatronical equipment of food productions]. *Elektronnyj nauchnyj zhurnal Instituta holoda i biotekhnologiy. Seriya: Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv*, 2013, no. 1(15), available at: <http://processes.open-mechanics.com/articles/706.pdf> (Accessed 15 September 2018).
2. Brown E. D., Churnside J. H., Collins R. L. et al. Remote sensing of capelin and other biological features in the North Pacific using lidar and video technology. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, vol. 59(5), pp. 1120-1130.
3. Tenningen E., Churnside J. H., Slotte A., Wilson J. J. Lidar target-strength measurements on northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *ICES Journal of Marine Science*, 2006, vol. 63(4), pp. 677-682.
4. Yoklavich M. M., Grimes G. B., Wakefield W. W. Using laser line scan imaging technology to assess deepwater habitats in the Monterey Bay National Marine Sanctuary. *Marine Technology Society Journal*, 2003, vol. 37, pp. 18-26.
5. Churnside J. H., Brown E. D., Parker-Shetter S. et al. Airborne remote sensing of a biological hot spot in the southeastern Bering Sea. *Remote Sensing*, 2011, vol. 3, pp. 621-637.
6. Eryvanov A. E., Samojlova N. V., Ageev O. V., Fatykhov Yu. A., Padalko M. A. Razrabotka matematicheskoy modeli protsessa lazernogo skanirovaniya kruglyh pishchevyh produktov [Developing a mathematical model of the laser scanning process of round foodstuffs]. *Vestnik molodezhnoy nauki. Seriya: Biotekhnologiya, tekhnika pishchevyh proizvodstv i tekhnologiya produktov pitaniya*, 2017, no. 4(11), available at: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2017/12/Eryvanov-411.pdf>. (Accessed 15 September 2018).
7. Mounir Boujenab, Noureddine Eddeqaqi Cherkaoui. 3D laser imaging using new photometric Gaussian range equation and Phong model reflection. *International Journal for Light and Electron Optics*, 2017, vol. 140, pp. 363-369.
8. Ageev O. V., Fatykhov Yu. A. Razrabotka videokomp'yuternogo modulya dlya mekhatronnogo kompleksa pervichnoy obrabotki ryby [Developing a videocomputer module for the mechatronic complex of primary fish processing]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 34, pp. 113-126.
9. Ageev O. V., Medyanski I. A., Eryvanov A. E., Samojlova N. V., Fatykhov Yu. A. Avtomaticheskoe postroenie trekhmernoy modeli ryby i opredelenie ee morfometricheskikh parametrov [Automatic computing of fish 3D model and calculation of its morphometric parameters]. Russian Federation certificate RU 2017611141. 2017 Jan 19.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

*Samojlova Natalia Vladimirovna* – Kaliningrad State Technical University;  
Post-graduate student of the Department of Food and Refrigeration Machines;  
E-mail: procyon@mail.ru

*Агеев Олег Вячеславович* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук; доцент кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

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

УДК 658.5

К ВОПРОСУ МЕТОДОЛОГИИ КЛАССИФИКАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ  
ВОЗДЕЙСТВИЙ СОГЛАСНО ISO 22000

В. В. Соклаков

REVISITING A METHODOLOGY FOR CONTROL ACTIONS  
CATEGORIZATION ACCORDING ISO 22000

V. V. Soklakov

Вступивший в силу технический регламент ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» требует установления на рыбодобывающих и рыбоперерабатывающих предприятиях системы управления деятельностью, включающей управление рисками. Наилучшей моделью для построения структурированной системы менеджмента, учитывающей как правовые, так и рыночные требования, представляется ISO 22000:2005. Отличительная черта данной модели – разделение способов управления значимыми опасностями на две категории: рабочие предварительно необходимые программы (ПНП) и план НАССР (англ. Hazard Analysis and Critical Control Points – анализ рисков и критические контрольные точки). Одной из наиболее распространённых проблем, связанных с внедрением требований указанного стандарта, является создание документированной методологии по такому разделению управляющих воздействий. Предлагается метод, разработанный с учётом рекомендаций, изложенных в документах серии ISO 22000. Безусловным фильтром представляется несвоевременность мониторинга, позволяющая отнести определённую часть управляющих воздействий к рабочим ПНП. Критериями для отнесения управляющих воздействий к плану НАССР являются: специфичность – их использование исключительно для управления опасностью; наличие синергетического эффекта; уровень выше среднего серьёзности воздействия опасности на здоровье потребителя; основной или единственный вклад в управление конкретной опасностью в существующей комбинации управляющих воздействий; допустимый уровень флуктуации рабочего диапазона не выше 5 %; вероятность отказа при реализации выше 30 %. Управляющее воздействие относится к плану НАССР в случае если получено не менее трёх соответствующих результатов из перечисленных частных оценок. Универсальность методологии апробирована при внедрении на предприятии сетевого общепита и в логистической организации.

*ТР ЕАЭС 040/2016, система менеджмента безопасности пищевых продуктов, ISO 22000, классификация управляющих воздействий, план НАССР, рабочие предварительно необходимые программы*

The effective technical regulations of TR EAEU 040/2016 “About fish and fishery products safety” requires of fishery and fish processing organizations establishing a performance control system including risk management. The best model to build a

structured management system taking into account both legal and market requirements is ISO 22000. One highlight of this model is categorization of controls in respect to significant food safety hazards into two groups: operation prerequisite programmes and HACCP plan. One of the most common problems associated with implementation of the standard requirements, is developing a documentary methodology for this control actions categorization. The paper proposes an approach to developing such a methodology, taking into account recommendations of ISO 22000 series. An unconditional filter is an inadequate time frame of monitoring, which allows us to include a certain part of the control actions to the operational prerequisite programmes. The criteria for belonging control actions to the HACCP plan are: specificity of their use solely to manage a hazard; existence of synergetic effect; an upper intermediate level of possible severity of adverse health effect to the consumer by a hazard; main or only contribution to the management of a specific hazard in the control actions combination; the permissible level of the operating range fluctuation is not higher than 5%; probability of a control loss during its realization is higher than 30%. The control action belongs to the HACCP plan if at least three relevant results of the listed evaluations are obtained. The universality of the methodology has been evaluated by its implementation at the network catering enterprise and at the logistics organization.

*EAEU TR 040/2016, food safety management system, ISO 22000, categorization of control actions, HACCP plan, operational prerequisite programmes*

#### ВВЕДЕНИЕ

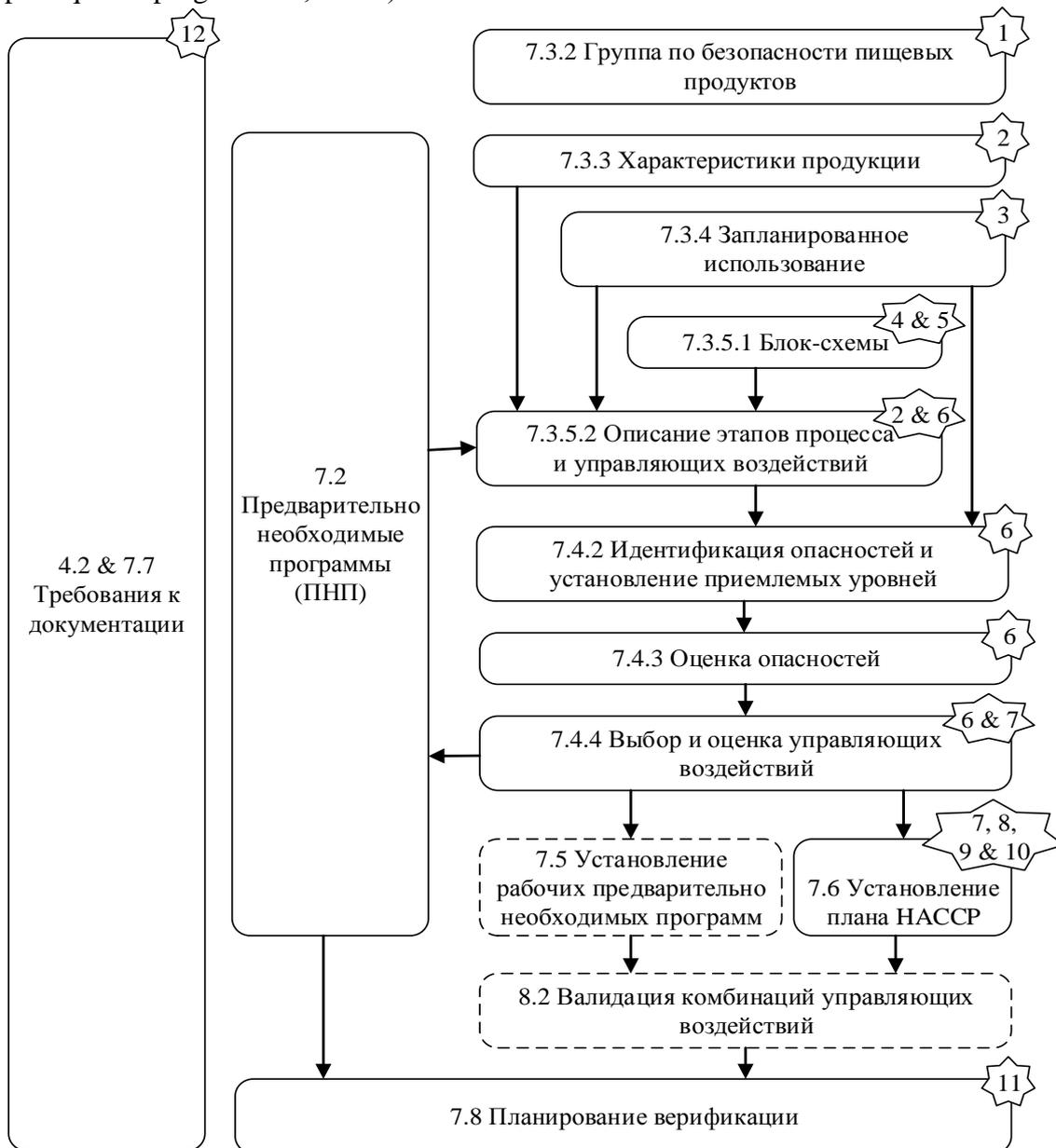
Одним из основополагающих элементов современной конкурентоспособной организации является система менеджмента, обеспечивающая её устойчивое функционирование и развитие. В силу специфики пищевой продукции наиболее важным элементом управления на всех этапах цепи поставок является менеджмент рисков для здоровья конечного потребителя. Со вступлением в силу технического регламента ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» наличие системы обеспечения производства и обращения безопасной рыбной продукции, учитывающей управление рисками на основе принципов HACCP, является законодательной нормой и в рыбоперерабатывающей промышленности. При этом следует отметить, что наибольшую добавленную ценность организации даст система менеджмента, которая не только реализует выполнение требований применимых нормативных правовых актов [1, 2], но и сможет стать консенсусом в рамках рыночных (в первую очередь – трансграничных) отношений. В настоящее время среди множества существующих стандартов международного, национального и отраслевого уровней, используемых в качестве модели для создания и поддержания системы менеджмента безопасности пищевых продуктов (СМБПП), наибольшее признание в мире, пожалуй, получил ISO 22000:2005 «Системы менеджмента безопасности пищевых продуктов. Требования к любым организациям продуктовой цепи»<sup>1</sup> [3].

Отличительная особенность этого модельного стандарта – требование к реализации управления опасностями, относящимися к безопасности пищевых продуктов (food hazards), посредством нескольких классов управляющих воздействий (control measures) (рисунок)[4]:

---

<sup>1</sup> Здесь и далее использован авторский перевод документов ISO серии 22000.

- предварительно необходимых программ (ПНП – prerequisite programmes, п. 7.2<sup>2</sup>),
- плана НАССР (НАССР plan, п. 7.6) и
- рабочих предварительно необходимых программ (РПНП, operational prerequisite programmes, п. 7.5).



Легенда: ☆ Этапы, содержащиеся в Руководящих указаниях Кодекс Алиментариус

⊖ Этапы, специфичные для ISO 22000:2005

Рис. Планирование безопасных пищевых продуктов [5]

Fig. Planning of safe foods [5]

<sup>2</sup> Здесь и далее, если не оговорено иное, приведены ссылки на пункты ISO 22000.

Для первых двух классов управляющих воздействий возможно найти аналогии в национальной практике. Очевидно, что таковыми для ПНП могут служить научно обоснованные технологические параметры производства продукции и программы поддержания санитарно-гигиенического состояния производства, обращения и реализации пищевой продукции, что согласуется с примечанием п. 3.8, согласно которому примерами эквивалентных терминов ПНП являются правильная сельскохозяйственная деятельность (GAP), правильная ветеринарная деятельность (GVP), правильная производственная деятельность (GMP), правильная гигиеническая деятельность (GHP), правильная деятельность по получению продукции (GPP), правильная дистрибьюторская деятельность (GDP) и правильная торговая деятельность (GTP). Для плана HACCP аналогами из национальной практики будут являться элементы программ производственного контроля в отношении управления контаминантами, которые на основании применения инструментов риск-менеджмента признаны значимыми. Что касается РПНП, то непосредственных аналогичных понятий в отечественной практике просто не существует, и данная концепция вызывает достаточное количество вопросов при внедрении требований ISO 22000, учитывая её расплывчатое определение, установленное стандартом<sup>3</sup>.

Помимо разделения управляющих воздействий на три класса, ISO 22000 предполагает, что планы HACCP и РПНП используются только для управления опасностями, которые на основании проведённой оценки (hazard assessment) признаны значимыми. Такая классификация управляющих воздействий необходима для выбора одного из двух вариантов управления потенциально небезопасной продукцией (potentially unsafe products, п. 7.10), т. е. любой продукцией, при производстве, обращении или реализации которой были нарушены критические пределы в критических контрольных точках плана HACCP или же произошёл отказ корректного выполнения РПНП [4].

Стандарт требует разработки документированной методологии, используемой для упомянутой выше классификации управляющих воздействий (п. 7.4.4). Это требование, по опыту проведения нами более 60 оценок СМБПП на предприятиях России, Грузии, Казахстана, Белоруссии, является наиболее трудным для понимания и реализации в практике организаций как пищевой промышленности, общественного питания, логистической, розничной торговли, так и смежных отраслей, например, производства тары.

---

<sup>3</sup> ПНП, согласно п. 3.8 [4], определена как базовые условия и деятельность {относящиеся к безопасности пищевых продуктов}, являющиеся необходимыми для поддержания по всей продуктовой цепи гигиеничной окружающей среды, приемлемой для производства, обращения и снабжения безопасными конечными продуктами и безопасными пищевыми продуктами, предназначенными для потребления человеком. Соответственно, рабочая предварительно необходимая программа (п. 3.9) – та ПНП, которая была определена с помощью анализа опасностей как необходимая для управления вероятностью возникновения опасности, относящейся к безопасности пищевых продуктов, в продукции или окружающей производственной среде и/или контаминации или распространения опасности, относящейся к безопасности пищевых продуктов, в продукции или окружающей производственной среде.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### Постановка задачи и методы исследований

В качестве документа, определяющего модель СМБПП, использовался международный стандарт ISO 22000:2005. В качестве источников, содержащих рекомендации по внедрению требований модельного стандарта, применялись технические условия ISO/TS 22004:2005 и международный стандарт ISO 22004:2014. Использование отменённых ISO/TS 22004 обуславливалось содержащимися в них рекомендациями, отсутствующими в ISO 22004 и не потерявшими актуальности (в частности, п. 7.4.4 в части подпунктов а) – d) и последних зависимых абзацев). Предлагаемые методологические решения разрабатывались посредством анализа причинно-следственных связей.

Основной рассматриваемой частью ISO 22000 при создании методологии был п. 7.4.4, содержащий следующие требования [4]:

«На основании оценки опасностей по 7.4.3 должна быть выбрана соответствующая комбинация управляющих воздействий, способная предотвратить, устранить или снизить эти опасности, относящиеся к безопасности пищевых продуктов, до установленного приемлемого уровня.

При этом выборе каждое из управляющих воздействий, как описано в 7.3.5.2, должно быть проанализировано на предмет его результативности в отношении идентифицированных опасностей, относящихся к безопасности пищевых продуктов.

Выбранные управляющие воздействия должны быть классифицированы относительно того, необходимо ли управлять ими с помощью рабочих ПНП или с помощью плана НАССР.

Выбор и классификация должны быть проведены с использованием логического подхода, включающего оценку:

- а) влияния на идентифицированные опасности, относящиеся к безопасности пищевых продуктов, касательно строгости применения;
- б) выполнимости для мониторинга (например, возможности проведения регулярного по времени мониторинга, делающего возможными незамедлительные коррекции);
- в) места в системе по отношению к другим управляющим воздействиям;
- г) вероятности отказа при функционировании управляющих воздействий или значительной вариабельности переработки;
- д) серьёзности последствия(ий) в случае отказа при функционировании;
- е) наличия установленных специфических управляющих воздействий и их применимости для устранения или значительного снижения уровня опасности(ей);
- ж) синергетических эффектов (т. е. взаимодействия, которое может произойти между двумя или более воздействиями, приводящего к их объединённому воздействию, являющемуся большим по сравнению с суммой их индивидуальных воздействий).

Управляющие воздействия, классифицированные как принадлежащие плану НАССР, должны быть внедрены в соответствии с 7.6.

Методология и параметры, использованные для настоящей классификации, должны быть документально описаны, а результаты оценки должны быть зарегистрированы».

Разработка общих подходов к созданию методологии разделения управляющих воздействий на план НАССР и РПНП представляется нам актуальной как по причине внедрения в практику предприятий рыбной отрасли СМБПП, учитывающей все требования ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016, так и в связи с наличием требований к разделению управляющих воздействий на классы как в существующей версии ISO 22000, так и во втором издании данного стандарта, полномасштабный переход на которое планируется завершить в организациях, имеющих и внедряющих СМБПП на его основе, к середине 2021 г.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возникновение затруднений при внедрении СМБПП в части создания рассматриваемой методологии проистекает не только из указанной выше сложности восприятия определения РПНП, но и из-за отсутствия в документах серии ISO 22000 и открытых источниках подробных пояснений и конкретных примеров её разработки и применения. ISO/TS 22004 лишь детализировали аспекты, которые должны, согласно ISO 22000, приниматься во внимание при создании методологии классификации управляющих воздействий. Действующий в настоящее время ISO 22004 лишь констатирует необходимость её разработки и приводит не содержащую конкретных примеров решений таблицу (табл. 1), которая должна пояснять разницу между отдельными аспектами всех трёх классов управляющих воздействий.

Таблица 1. Действия, относящиеся к ПНП, РПНП и критическим контрольным точкам (ККТ), а также взаимосвязи между ними [6]

Table 1. Actions related to PRPs, OPRPs and critical control points (CCPs), as well as the relationship between them [6]

ПНП <sup>а</sup>	РПНП	ККТ
Разрабатываются на подготовительном этапе на основании опыта и оценки нормативно-технических документов	Идентифицируют сразу после разработки ПНП, основываясь на анализе опасностей, принимающим во внимание ПНП. РПНП и ККТ являются специфичными для продукции и/или процесса	
Воздействия, оказывающие влияние на пригодность и безопасность пищевых продуктов	Управляющие опасностями воздействия (или комбинации воздействий), оставшиеся после внедрения ПНП	
Общие воздействия, не являющиеся специфичными по отношению к какой-либо опасности	Воздействия (или комбинации воздействий), являющиеся специфичными применительно к каждой опасности или к группе опасностей	
Воздействия, связанные с созданием среды для производства безопасной пищевой продукции	Воздействия (или комбинации воздействий), относящиеся к среде и/или производству, направленные на предотвращение контаминации или на предотвращение, устранение или снижение опасности до приемлемого уровня в конечном продукте	

Окончание табл. 1

ПНП <sup>a</sup>	РПНП	ККТ
Мониторинг, если уместен и возможен <sup>b</sup>	Валидация	
	Измеряемый(е) или наблюдаемый(е) критерий(и) воздействия или предел(ы) воздействия, который(е) демонстрирует(ют) нахождение РПНП в управляемых условиях	Измеряемый(е) критический(е) предел(ы), демонстрирующий(е) нахождение связанных с ККТ управляющих воздействий (или комбинаций воздействий) в управляемых условиях
	Мониторинг внедрения управляющих воздействий (или комбинаций воздействий)	
	Корректирующие действия и/или коррекции, если необходимы	Корректирующие действия и/или коррекции
	Хранение записей по мониторингу	
Верификация внедрения, проводящаяся в соответствии с графиком	Верификация внедрения, проводящаяся в соответствии с графиком. Верификация достигнутого запланированного управления опасностями	
<sup>a</sup> ПНП часто относят к надлежащим практикам, таким как надлежащие гигиенические практики, надлежащие сельскохозяйственные практики и надлежащие производственные практики. <sup>b</sup> Многие ПНП по своей природе не подвергаются мониторингу. Следовательно, деятельность по мониторингу должна осуществляться в тех местах, где это возможно		

Предлагаемый автором общий подход заключается в создании алгоритма, предполагающего бинарную оценку каждого управляющего воздействия по каждому из аспектов, перечисленных в п. 7.4.4а) - г). При этом предлагаемой оценке, согласно требованиям стандарта, подвергаются только управляющие воздействия, связанные с опасностями, ранее признанными значимыми. Автором не ставилась цель разработать методологию, которая могла бы одновременно сочетать в себе и разделение управляющих воздействий, и требуемое согласно п. 7.6.2 определение критических контрольных точек [4].

Поскольку последовательность рассмотрения требуемых аспектов стандартом жёстко не определена, то предлагаемый в данной статье порядок построен от наиболее очевидных или наиболее важных оценок к менее очевидным или важным.

Наиболее очевидным представляется задание условия для оценки по п. 7.4.4б), так как п. 7.6.4 содержит требование о том, что методы и частота мониторинга должны быть способны определить факт превышения критических пределов в течение времени, позволяющего изолировать продукцию до её использования и потребления [4]. Примером таких действий является мониторинг технологических процессов, протекающий в режиме реального времени. Данное условие представляет собой своеобразный «фильтр» общего порядка и, следовательно,

все управляющие воздействия, мониторинг которых не позволяет получать результаты и принимать в соответствии с ними решения в отношении связанной с ними продукции до её передачи потребителю, безусловно, относятся к РПНП. Соответственно, оценки по остальным аспектам применяются только к тем управляющим воздействиям, которые потенциально способны стать элементами плана НАССР.

При реализации требования п. 7.4.4f) [4] следует определиться с тем, что же считать специфическим управляющим воздействием. Поскольку все используемые характеристики рассматриваются с точки зрения именно безопасности пищевых продуктов, то специфическим будет являться управляющее воздействие, которое создано исключительно или преимущественно для управления опасностью и может не нести в себе иного значения. Примером служит стерилизация рыбных консервов, сырьё для которых прошло предварительную термическую обработку и, как следствие, во многих случаях было доведено до кулинарной готовности. Соответственно, управляющие воздействия, специально предусмотренные для управления опасностью (или несколькими опасностями), в данной методологии предлагается рассматривать как потенциально относящиеся к плану НАССР, а управляющие воздействия, не носящие специального назначения, – к РПНП.

Реализация требования п. 7.4.4g) [4] не вызывает сколь либо значительных трудностей при надлежащем научном обосновании применяемой технологии. Предлагается управляющие воздействия, характеризующиеся наличием синергетического эффекта (например, охлаждение и стерилизация консервов), определять как потенциально относящиеся к плану НАССР, а те из них, у которых подобный эффект отсутствует, – к РПНП.

При реализации требования п. 7.4.4e) [4] предлагается придерживаться рекомендаций, изложенных в п. 7.4 [5]: чем больше серьёзность воздействия опасности, контролируемой с помощью выбранного управляющего воздействия, на здоровье конечного потребителя, тем более желательно, чтобы оно являлось частью плана НАССР. Таким образом, данный аспект имеет чёткую взаимосвязь с п. 7.4.3 ISO 22000, требующим проведения оценки каждой идентифицированной опасности, относящейся к безопасности пищевых продуктов, относительно возможной серьёзности неблагоприятных воздействий на здоровье конечного потребителя и вероятности их возникновения. При этом результаты проведённой оценки должны быть зарегистрированы. Соответственно, в каждом конкретном случае критерием разделения управляющих воздействий по п. 7.4.4e) будет служить оценка тяжести воздействия на здоровье конечных потребителей, определяемая согласно используемой организацией методологии оценки опасностей. Учитывая, что по имеющемуся у автора практическому опыту наибольшей популярностью у организаций пользовался метод оценки опасностей, изложенный в ГОСТ Р 51705.1-2001 [7], в обсуждаемой методологии предлагается выработанный экспертным образом критерий разделения управляющих воздействий: в случае если управляющее воздействие направлено на опасность, характеризующуюся высокой или средней серьёзностью воздействия, то оно потенциально относится к плану НАССР, а если такая опасность характеризуется незначительной или малой серьёзностью воздействия – то к РПНП.

При реализации требования п. 7.4.4с) [4] в обсуждаемой методологии также использованы рекомендации п. 7.4 [5]: чем выше влияние управляющего воздействия на уровень опасности или частоту её возникновения, тем более желательно, чтобы оно являлось частью плана НАССР. Предлагается рассматривать управляющие воздействия, являющиеся единственными (например, приёмка сырья в отношении токсичных элементов, пестицидов и иных агрикультурных и техногенных опасностей) или основными – предотвращающими или устраняющими возникновение опасностей (например, детектирование металлопримесей перед упаковкой порционированной мороженой продукции) – потенциально относить к плану НАССР, а управляющие воздействия, носящие вспомогательный характер (например, контроль используемой питьевой воды при производстве мороженой рыбы), – к РПНП.

Требования п. 7.4.4а) [4] в обсуждаемой методологии рассмотрены с позиции эксплуатационной неопределённости рабочих параметров соответствующих управляющих воздействий, а именно: флуктуации и фактического рабочего диапазона интенсивности, что предусматривают рекомендации п. 7.4d) [5]. В качестве решения предложено управляющие воздействия, в рабочих характеристиках которых допускается отклонение от заданного значения не более, чем на 5 % от рабочего диапазона (например, время и температура процесса стерилизации), потенциально относить к плану НАССР, а иные управляющие воздействия – к РПНП.

Для удовлетворения требований п. 7.4.4d) [4] автором экспертным методом были выбраны следующие граничные значения: при вероятности несоблюдения требований к управляющему воздействию не более, чем в 30%, оно потенциально относится к РПНП, а иные управляющие воздействия – к плану НАССР.

Зачастую управляющие воздействия по итогам предлагаемой оценки могут характеризоваться как обладающие по части критериев свойствами, позволяющими отнести их к плану НАССР, а по другой части критериев – к РПНП. Для разрешения данной неоднозначности в рассматриваемой методологии предлагается следующий заключительный обобщающий критерий: в случае если при оценке конкретного управляющего воздействия по требованиям п. 7.4.4а), с) - g) ISO 22000 не менее трёх оценок позволяют его охарактеризовать, как принадлежащее плану НАССР, то его в дальнейшем анализируют на предмет определения критической контрольной точки; все остальные управляющие воздействия относят к РПНП.

## ВЫВОДЫ

Предлагаемая автором методология разделения управляющих воздействий на принадлежащие к плану НАССР и РПНП может быть представлена в виде следующего алгоритма:

1. Управляющие воздействия, мониторинг которых не позволяет получать результаты и принимать в соответствии с этими результатами решения в отношении связанной с ними продукции до её передачи потребителю, относятся к РПНП.
2. Остальные управляющие воздействия оцениваются согласно табл. 2:

Таблица 2. Критерии разделения управляющих воздействий на РПНП и план НАССР с учётом требований п. 7.4.4а), с) - g) ИСО 22000:2005

Table 2. Criteria for control actions categorization on belonging to OPR and to HACCP plan taking into account requirements of 7.4.4a), c) - g) ISO 22000:2005

Характеристика воздействия	РПНП	План НАССР
Строгость применения	Допускается отклонение от заданного значения более, чем на 5 %	Допускается отклонение от заданного значения менее, чем на 5 %
Место в процессах	Носит вспомогательный характер	Единственное или основное
Вероятность отказа	Менее, чем в 30 % возможно несоблюдение требований	Более, чем в 30 % возможно несоблюдение требований
Серьёзность последствий в случае отказа	Опасность характеризуется незначительной или малой серьёзностью воздействия	Опасность характеризуется высокой или средней серьёзностью воздействия
Специфичность воздействия	Управляющее воздействие не носит специального характера в отношении управления данной опасностью	Управляющее воздействие предусмотрено специально для управления данной опасностью
Наличие синергетического эффекта	У управляющего воздействия отсутствует синергетический эффект	Управляющее воздействие характеризуется синергетическим эффектом

3. Воздействия, для которых три или более характеристик соответствуют применимым к плану НАССР, анализируются на соответствие требованиям к критической контрольной точке; остальные воздействия относят к РПНП.

Предлагаемая методология была включена автором в часть методического материала информационно-обучающих семинаров для подготовки менеджеров СМБПП, проведённых на базе различных образовательных учреждений дополнительного профессионального образования. Апробация проводилась на предприятии сетевого общественного питания, что позволило подготовиться к получению статуса поставщика Олимпийских игр в Сочи, и в логистической организации, осуществляющей перевалку и хранение различных пищевых грузов, успешно сертифицировавшей свою СМБПП с получением сертификата соответствия, аккредитованного членом Международного форума по аккредитации (IAF), и сертификата соответствия международной отраслевой системы сертификации морской логистики.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции: Технический регламент Таможенного союза. – Москва, 2011. – 242 с.
2. ТР ЕАЭС 040/2016 О безопасности рыбы и рыбной продукции: Технический регламент Евразийского экономического союза. – Москва, 2016. – 139 с.

3. ISO 22000 – data per country – 2007 to 2016 // The ISO Survey of Management System Standard Certification – <https://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId=18817619&objAction=Open&nexturl=%2Flivelink%2Flivelink%3Ffunc%3D11%26objId%3D18808772%26objAction%3Dbrowse%26viewType%3D1> (03.07.2018)

4. ISO 22000:2005 Food safety management systems – Requirements for any organization in food chain. Geneva, 2005. 32 p.

5. ISO/TS 22004:2005 Food safety management systems – Guidance on the application of ISO 22000:2005. Geneva, 2005. 20 p.

6. ISO 22004:2014 Food safety management systems – Guidance on the application of ISO 22000. Geneva, 2014. 42 p.

7. ГОСТ Р 51705.1-2001 Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. – Москва, 2009. – 12 с.

#### REFERENCES

1. TR CU 021/2011 O bezopasnosti pishchevoy produktsii: tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza [On food safety: technical regulation of Customs union]. Moscow, 2011, 242 p.

2. TR EAEU 040/2016 O bezopasnosti ryby i rybnoy produktsii: tekhnicheskiy reglament Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza [On fish and fishery products safety: Technical regulation of Eurasian economic union]. Moscow, 2016, 139 p.

3. ISO 22000 – data per country – 2007 to 2016. The ISO Survey of Management System Standard Certification, available at: <https://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId=18817619&objAction=Open&nexturl=%2Flivelink%2Flivelink%3Ffunc%3D11%26objId%3D18808772%26objAction%3Dbrowse%26viewType%3D1> (Accessed 3 July 2018).

4. ISO 22000:2005 Food safety management systems – Requirements for any organization in food chain. Geneva, 2005, 32 p.

5. ISO/TS 22004:2005 Food safety management systems – Guidance on the application of ISO 22000:2005. Geneva, 2005, 20 p.

6. ISO 22004:2014 Food safety management systems – Guidance on the application of ISO 22000. Geneva, 2014, 42 p.

7. GOST R 51705.1-2001 Sistemy kachestva. Upravlenie kachestvom pishchevykh produktov na osnove printsipov HACCP. Obshchie trebovaniya [Quality systems. HACCP principles for food products quality management. General requirements]. Moscow, 2009, 12 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Соклаков Владимир Владимирович* – Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических исследований; E-mail: vvsoklakov@ya.ru

*Soklakov Vladimir Vladimirovich* – Atlantic Scientific Research Institute for Marine Fisheries and Oceanography; Ph.Dr. of Technical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory for Physical and Chemical Studies; E-mail: vvsoklakov@ya.ru

## **СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**



УДК 631.4 : 633.1

ВЛИЯНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА ПРОЦЕССЫ РОСТА, РАЗВИТИЯ, ПРОДУКТИВНОСТИ ОЗИМОЙ  
ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ В УСЛОВИЯХ  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. М. Бедарева, Л. С. Мурачёва, Т. Н. Троян, Г. В. Горшнина

EFFECT OF OPTIMAL DOSES OF NUTRIENTS ON PROCESSES OF GROWTH,  
DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT  
ON SODDY-PODZOLIC SOILS IN CONDITIONS  
OF THE KALININGRAD REGION

O. M. Bedareva, L. S. Murachyova, T. N. Troyan, G. V. Gorshinina

Для удовлетворения внутренних потребностей страны и обеспечения её продовольственной безопасности необходимо наращивать производство зерна. Пшенице принадлежит первое место в мире среди зерновых культур по площади возделывания и валовому сбору зерна. Озимая пшеница по сравнению с яровой обладает более высокой потенциальной урожайностью и занимает большие площади. В Калининградской области с умеренным климатом и сравнительно продолжительным вегетационным периодом возделывание озимой пшеницы актуально и соответствует потребностям региона. Традиционные технологии с элементами интенсивных являются важнейшим компонентом научно обоснованных систем земледелия и могут быть эффективны при условии освоения севооборотов, проведения мероприятий по повышению плодородия почв и использования высокоурожайных сортов. Необходимо обеспечить соблюдение сбалансированного режима питания растений, комплекс мер по защите от вредителей, болезней и сорняков, а также своевременное и высококачественное проведение полевых работ, предусмотренных технологией. Применение органических и минеральных удобрений — одно из основных условий повышения урожайности сельскохозяйственных культур, а также важное звено в их выращивании. Это и неудивительно, поскольку само функционирование агробиогеоценозов основывается на систематическом отчуждении больших количеств биогенных элементов. Соответственно, внесение удобрений обеспечивает их компенсацию в почве. Цель статьи — выявить оптимальные дозы внесения комплексных удобрений при выращивании озимой пшеницы в Черняховском районе Калининградской области. В процессе исследования проанализирована традиционная технология возделывания озимой пшеницы, принятая в регионе, осуществлены расчеты биологической урожайности, наблюдения за ростом и развитием, выявлены оптимальные дозы внесения комплексных удобрений, статистически обработаны данные.

*озимая пшеница сорта Пико, минеральные удобрения, биогенные вещества, биологическая урожайность, дерново-подзолистые почвы*

To meet the domestic needs of our country and ensure food security, it is necessary to increase grain production. Wheat ranks first in the world among grain crops in terms of cultivation area and gross grain harvest. Winter wheat, compared to spring, has a higher potential yield and occupies larger areas. In the Kaliningrad region with a temperate climate and a relatively long growing season, cultivation of winter wheat is relevant and meets the needs of the region. Traditional technologies with intensive elements are the most important part of science-based farming systems and can be effective providing the development of crop rotations, carrying out of measures to improve soil fertility and the use of high-yielding varieties. It is necessary to ensure compliance with a balanced diet of plants, a set of measures to protect against pests, diseases and weeds, as well as timely and high-quality field work provided by the technology. The use of organic and mineral fertilizers is one of the main conditions for increasing the yield of crops, as well as an important link in their cultivation. This is not surprising, since the very functioning of agrobiogeocenoses is based on the systematic alienation of large amounts of nutrients. Accordingly, application of fertilizers compensates for the nutrients in the soil. The purpose of the article is to identify the optimal dose of complex fertilizers in cultivation of winter wheat in the Chernyakhovskiy district. In the process of the study, the traditional technology of winter wheat cultivation has been analyzed, the biological productivity has been calculated, the growth and development have been monitored, the optimum dose of application of complex fertilizers has been identified, and the data has been statistically processed.

*Pico winter wheat, mineral fertilizer, nutrients, biological yield, sod-podzolic soils*

## ВВЕДЕНИЕ

Признавая исключительно важную роль агрономической химии в увеличении производства продуктов питания для человека и кормов для животных, улучшении качества продукции, а в целом и в повышении эффективности сельскохозяйственного производства, нельзя не отметить, что те же самые химические средства при неправильном их использовании могут оказывать и оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Именно неграмотное использование средств химизации и нарушение существующих регламентов служат источником наблюдающихся отрицательных последствий [1–3].

Основными причинами загрязнения окружающей среды удобрениями следует считать недостатки организационных форм, а также технологий транспортировки, хранения, тукосмешения и применения удобрений, нарушение агрономической технологии их внесения в севообороте и под отдельные культуры (в том числе неумеренное или несбалансированное), несовершенство самих удобрений, их химических, физических и механических свойств. В частности, ряд исследователей обращают внимание на настоятельную необходимость качественного развития химизации и совершенствования диагностики структуры питания возделываемых растений, что позволит исключить или хотя бы минимизировать вероятность возникновения экологических конфликтов. Приоритетным показателем следует считать прибавку урожая или повышение содержания того или иного элемента в почве, а не количество удобрений, внесенных на 1 га поля [4–6].

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2017-2018 гг. на землях хозяйств Черняховского района. Объектом изучения были семена озимой пшеницы сорта Пико. Сорт выведен из гибридной популяции (СВВ·Краки)·Хунсман·Карибо, рекомендован для поздних посевов в Калининградской области. Разновидность Лютесценс. Куст промежуточный. Остевидные отростки размещены на ½ колоса. Сорт среднепоздний. Вегетационный период 291 – 320 дней. Зимостойкость низкая. Масса 1000 зерен 34 – 40 г. Высота растения 76-86 см. Устойчив к полеганию. Хлебопекарные качества хорошие. В Калининградской области средняя урожайность составляет 1-5 – 4,4 т/га. В полевых условиях поражение бурой ржавчиной среднее. Восприимчив к твердой головне [3, 5, 7].

В качестве комплексного удобрения использована сульфатная нитрофоска с содержанием N – 11%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 11, K<sub>2</sub>O – 11%, водорастворимого P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 55%. В состав сульфатной нитрофоски входят СаНРО<sub>4</sub>·2Н<sub>2</sub>О, Са(Н<sub>2</sub>РО<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·Н<sub>2</sub>О, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, KNO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>. Размер гранул нитрофоски 1–4 мм, не слеживается при транспортировке и хранении; её вносят в качестве основного удобрения, предпосевного в рядки, а также в подкормку.

Опыт заложен на участке с дерново-подзолистыми среднекультурными почвами. Содержание фосфора и калия в пределах средней обеспеченности, рН – 6,7–7,1; гумуса – 3,5–7,2 %. Расчёт степени перезимовки растений осуществлён согласно методическим указаниям [4].

Схема полевого опыта. Исследования выполнены в четырех вариантах и трех повторностях. Во всех вариантах почва дерново-подзолистая суглинистая (много физической глины). Для проведения опыта была сформирована схема:

- 1) без удобрения (контроль);
- 2) нитрофоска из расчета N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>;
- 3) нитрофоска из расчета N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>;
- 4) нитрофоска из расчета N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>.

Для точного распределения вариантов и повторностей опыта составлен схематический план (табл.1).

Таблица 1. Схематический план опыта

Table 1. Experiment rough plan

Контроль	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>
----------	---	---	---

Биологическая оценка всхожести семян озимой пшеницы осуществлена в лабораторных условиях.

Расчет биологической урожайности производился по формуле

$$B_{ур} = \frac{П \cdot З \cdot М}{К},$$

где B<sub>ур</sub> – биологическая урожайность, т/га; П – количество продуктивных стеблей, шт.; З – количество зерен в колосе, шт.; М – масса тысячи зерен, г; К – коэффициент перехода к тоннам на гектар.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате независимой выборки были определены тестовые участки, где произведён подсчёт растений на 1 м<sup>2</sup> (осень 2017 г.) (табл. 2). В весенний период (10 апреля 2018 г.) на тестовых участках осуществлён учёт перезимовавших растений (табл. 3).

Таблица 2. Количество растений озимой пшеницы (осень 2017 г.), шт.

Table 2. Number of winter wheat plants (autumn 2017), pcs.

№ п/п	Повторности	Вариант			
		1	2	3	4
1	Дерново-подзолистая связанный суглинок	97	100	105	102
2	Дерново-подзолистая связанный суглинок	100	102	111	103
3	Дерново-подзолистая связанный суглинок	99	110	115	100
Количество растений на 1 м <sup>2</sup>		296	312	331	305
Прибавка			16	19	-26

Таблица 3. Количество растений озимой пшеницы (весна 2018 г.), шт.

Table 3. Number of winter wheat plants (spring 2018), pcs.

№ п/п	Повторности	Вариант			
		1	2	3	4
1	Дерново-подзолистая связанный суглинок	93	98	102	99
2	Дерново-подзолистая связанный суглинок	95	99	106	98
3	Дерново-подзолистая связанный суглинок	94	102	113	98
Количество растений на 1 м <sup>2</sup>		282	299	321	295
Прибавка			17	22	-26

На основании опытных данных рассчитан процент перезимовавших растений:

вариант 1:  $282 \cdot 100 / 296 = 95,2\%$ ;

вариант 2:  $299 \cdot 100 / 312 = 96\%$ ;

вариант 3:  $321 \cdot 100 / 331 = 97\%$ ;

вариант 4:  $295 \cdot 100 / 305 = 96,7\%$ .

Выявлено, что процент перезимовавших растений в варианте, где удобрения внесены из расчета N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>, выше, чем при нормах N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub> и N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> соответственно. В контрольном варианте их количество составляет 95,2 %; в вариантах с внесением удобрений – варьирует в пределах 96-97%.

Определение всхожести семян является важным условием для формирования стабильных и высокопродуктивных посевов сельскохозяйственных культур. Результаты подсчетов биологической всхожести и энергии прорастания культуры приведены в табл. 4. Энергия прорастания – важный показатель качества семян. Семена с высокой энергией прорастания дают дружные и ровные всходы, тем самым обеспечивают высокую продуктивность агроэкосистемы и малую уязвимость в плане проникновения сорного компонента.

Таблица 4. Биологическая всхожесть и энергия прорастания озимой пшеницы сорта Пико, %

Table 4. Biological germinating capacity and germination energy of Pico winter wheat, %

Год	Показатели	Вариант				Среднее
		1	2	3	4	
2017	Энергия прорастания	79	83	82	81	81,2
	Биологическая всхожесть	97	94	96	95	95,5

Биологическая всхожесть семян озимой пшеницы в 2017 г. составила 95,5, а энергия прорастания 81,2%. Высокие показатели можно объяснить тем, что семена находились в идеальных экологических условиях и не испытывали конкуренции за ресурсы.

При низкой полевой всхожести семян формируются изреженные всходы, что способствует большей засоренности посевов, увеличивается доля растений, повреждённых болезнями и вредителями. В таких условиях растения оказываются ослабленными и менее продуктивными [8, 9].

Таблица 5. Полевая всхожесть семян озимой пшеницы сорта Пико

Table 5. Field germinating capacity of Pico winter wheat seeds

Год	Повторности	Вариант				Среднее
		1	2	3	4	
2017	I	91,2	90,8	91,7	91,2	91,3
	II	92,3	93,0	92,8	91,3	92,3
	III	91,1	92,5	93,3	91,5	92,1

Исследования показали, что полевая всхожесть ниже биологической. Это объясняется тем, что в полевых условиях усиливаются конкурентные отношения, т. е. действуют ценобиотический и эдафотопический отборы (табл. 5).

Показатель выживаемости растений характеризует условия, в которых озимая пшеница перезимовала и развивалась весь вегетационный период. Результаты выживаемости озимой пшеницы представлены в табл. 6.

Таблица 6. Определение выживаемости растений озимой пшеницы за период вегетации 2017–2018 гг.

Table 6. Determination of survival capacity of winter wheat plants during the growing season of 2017–2018

Показатель	Дерново-подзолистая суглинистая почва														
	Вариант				Сумма	Вариант				Сумма	Вариант				Сумма
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4	
Норма высева на ¼ м <sup>2</sup>	137	137	137	137		137	137	137	137		137	137	137	137	
Полевая всхожесть семян, шт.	123	124	126	125	498	124	123	125	124	496	123	123	126	121	491
Количество выживших растений, шт.	90	91	92	89	362	89	91	94	92	366	88	89	93	87	357
Количество продуктивных стеблей, шт.	110	112	114	113	449	110	112	113	109	444	112	113	111	114	450
Количество стеблей подгона, шт.	12	11	10	10	43	9	10	13	11	43	9	10	12	15	46
Выживаемость растений, %	73,2	73,4	73	71,2	72,7	71,7	74	75,2	74,2	73,8	71,5	72,4	74	72	72,7

Выживаемость растений в первом варианте составила 72,7, во втором – 73,8, в третьем – 72,7%. Анализ табл. 6 показал, что в варианте 3, где удобрения вносились в норме  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , выживаемость растений и количество продуктивных стеблей выше, чем в вариантах с максимальным  $N_{90}P_{90}K_{90}$  и минимальным  $N_{30}P_{30}K_{30}$  содержанием. Объясняется это тем, что при низком НРК возникает недостаток в минеральных веществах, а при высоком – переизбыток. В целом можно сделать вывод, что при внесении удобрений выживаемость растений и количество продуктивных стеблей выше, чем без удобрений (фон, контроль). На основании расчета густоты продуктивного стеблестоя и структуры урожая (количество зерен в колосе, масса тысячи семян) определяется биологическая урожайность.

Расчет структуры урожая и биологической урожайности озимой пшеницы представлен в табл. 7.

По итогам исследований выявлено, что наибольшее количество зерновок в колосе характерно для варианта  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и в среднем составляет 34. Подобные результаты получены при анализе массы тысячи зерен: во всех трех повторностях максимальное значение этого показателя соответствует варианту  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и составляет 39,4 г. В отношении биологической урожайности оптимум также приходится на вариант  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и равен 1,52 т/га, так как растения развиваются лучше и получают необходимое количество биогенных элементов. При внесении удобрения в дозе  $N_{30}P_{30}K_{30}$  растение испытывает дефицит питательных элементов, поэтому соответствующие показатели ниже. В варианте  $N_{90}P_{90}K_{90}$  наблюдается снижение морфометрических параметров культуры (высота, густота стояния растений) и её продуктивности (рисунок).

Таблица 7. Структура урожая и биологической урожайности озимой пшеницы  
Table 7. Structure of the harvest and biological yield of winter wheat

Показатель	Дерново-подзолистая суглинистая почва														
	Вариант				Среднее	Вариант				Среднее	Вариант				Среднее
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4	
Кол-во зёрен в колосе, шт.	30	31	34	32	31,75	32	30	34	29	31,25	31	33	35	32	32,75
Масса тысячи зёрен, г	38,6	39,4	39,6	38,8	39,1	38,5	39,2	39,4	38,9	39,0	38,4	38,8	39,1	38,9	38,8
Биологическая урожайность, т/га	1,30	1,36	1,53	1,41	1,40	1,36	1,32	1,52	1,37	1,35	1,32	1,45	1,50	1,42	1,44

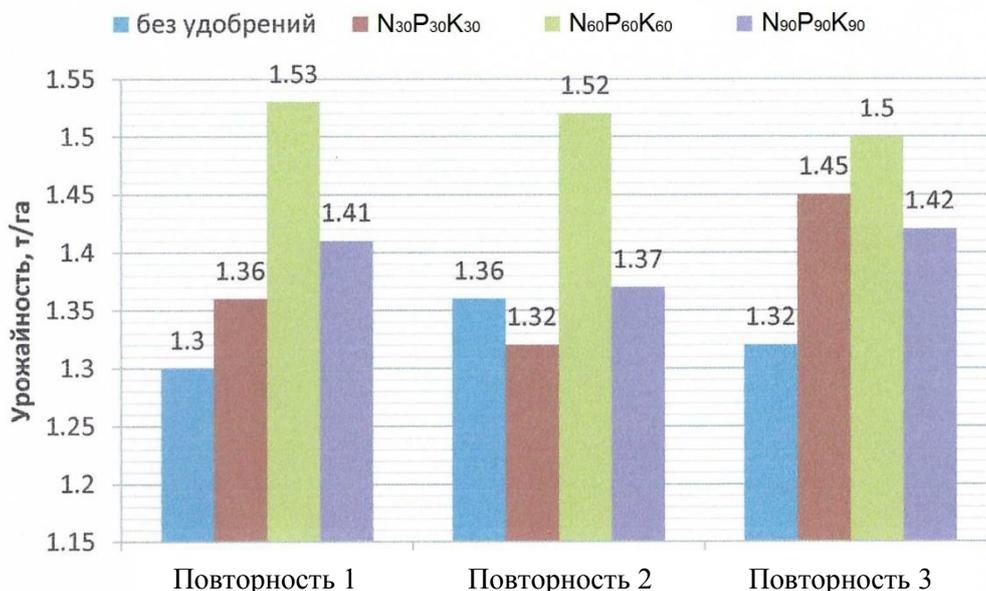


Рис. Влияние доз комплексных удобрений на урожайность озимой пшеницы  
Fig. Effect of doses of complex fertilizers on winter wheat yield

Для оценки влияния доз комплексных удобрений на урожай озимой пшеницы составлена табл. 8, куда внесены данные по поделянчному урожаю.

Таблица 8. Влияние доз комплексных удобрений на урожайность озимой пшеницы

Table 8. Effect of doses of complex fertilizers on winter wheat yield

Вариант опыта	Урожайность, т/га, по повторностям			Сумма S по вариантам опыта	Прибавка	Среднее A по вариантам опыта
	1	2	3			
Без удобрений	1,30	1,36	1,32	3,98	...	1,3
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	1,36	1,32	1,45	4,13	0,15	1,4
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1,53	1,52	1,50	4,55	0,57	1,5
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1,41	1,37	1,42	4,20	0,22	1,4
P	5,60	5,57	5,69	Q=16,86	НСР <sub>0,95</sub> =±0,22т/га m=5%	M=1,4

Примечания: 1) НСР 0,95 – наименьшая существенная разница (НСР) с уровнем вероятности 95%; 2) m – относительная ошибка средней; 3) P – сумма по повторностям; 4) Q – сумма поделянчных урожаев. Сумма S= сумме P=Q.

$$M=Q/n \cdot 1=(16.86/12 \cdot 1)=1.4.$$

Критерий Стьюдента –  $t=2,2$ . Подставляя значения в формулу  $НСР_{0,95}=2,2 \cdot 0,098=\pm 0,22$ т/га, получаем наименьшую существенную разницу.

В рассматриваемом опыте (варианты с дозами комплексных удобрений N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> и N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>) данные достоверны, доказуемы, так как прибавка к абсолютному контролю (без удобрений) превышает вычисленную существенную раз-

ницу (НСР 0,95). А вариант с дозами  $N_{30}P_{30}K_{30}$  является недостоверным, так как НСР меньше предела ошибки опыта.

### ВЫВОДЫ

В силу своих биологических особенностей озимая пшеница требовательна к условиям произрастания, не выносит конкуренции сорных растений и поражается болезнями и вредителями. Чтобы обеспечить получение высоких урожаев, необходима эффективная технология её возделывания.

Почвенно-климатические условия территории Черняховского района Калининградской области в целом благоприятны для выращивания озимой пшеницы. В среднем за вегетационный период выпадает 700 мм осадков, сумма активных температур воздуха выше  $10^{\circ}C$  равна  $2250^{\circ}C$ . Мягкие зимы предохраняют озимую пшеницу от вымерзания. В то же время во влажный и теплый периоды года развиваются сорняки и прогрессируют болезни, что требует тщательного ухода (применения химических средств защиты).

В хозяйствах Черняховского района применяется традиционная технология возделывания озимой пшеницы с элементами интенсивной. В данном случае такими элементами являются: внесение норм минеральных удобрений, рассчитанных балансовым методом, проведение инсектицидных, фунгицидных, гербицидных обработок и протравливание семян [10, 11].

Определение степени перезимовки озимой пшеницы показало, что при внесении доз удобрения  $N_{60}P_{60}K_{60}$  процент перезимовавших растений (97%) выше, чем при нормах  $N_{30}P_{30}K_{30}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$  (96 и 96,7%). Самый низкий процент отмечен в контрольном варианте (95,2%).

Биологическая всхожесть семян озимой пшеницы в 2017 г. составила 95,5, а энергия прорастания 81,2%. Средний показатель выживаемости озимой пшеницы в варианте  $N_{60}P_{60}K_{60}$  выше, чем в остальных трех, – 73,8%.

Во всех вариантах с внесением удобрений максимальная урожайность отмечена в случае  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 1,5-1,53 т/га; при низком и высоком значениях НРК обнаружено закономерное снижение продуктивности, обусловленное в первом случае недостатком элементов минерального питания ( $N_{30}P_{30}K_{30}$  – 1,32-1,45), а во втором ( $N_{90}P_{90}K_{90}$  – 1,37-1,42) – переизбытком, оказывающим негативное (подавляющее) влияние на процессы синтеза, роста и развития.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вильдфлуш, И. Р. Рациональное применение удобрений / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыгалов, В. В. Лапа. – Горки: БГСХА, 2002. – 210 с.
2. Прянишников, Д. Н. Избранные сочинения: в 3 т. / Д. Н. Прянишников. – Москва, 1965.
3. Laegreid M., Bockman O. C., Karstand O. Agriculture, fertilizers and the environment. – New York: CABI publishing, 1999.
4. Ненайденко, Г. Н. Агрэкологическая оценка различных технологий выращивания озимой пшеницы / Г. Н. Ненайденко, А. А. Корчагин, Б. В. Коротаев // Агрохимия. – 1994. – Вып.9. – С.165–182.

5. Орлов, Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие / Д. С. Орлов. – Москва: Высшая школа, 2002. – 334 с.
6. Сметник, А. А. Миграция пестицидов в почвах / А. А. Сметник, Ю. Я. Спиридонов, Е.В. Шейн. – Москва, 2005. – 327с.
7. Пшеницы мира / под ред. акад. В. Ф. Дорофеева. – Ленинград: Агропромиздат. 1987. – 402 с.
8. Сельское хозяйство, продовольствие и окружающая среда, ситуация и перспективы: совместный проект Кильского университета им. Кристиана Альбрехта и КГТУ. – 2004. – 32 с.
9. Брысозовский, И. И. Справочник агронома по химизации сельского хозяйства: учеб. пособие / И. И. Брысозовский, Л. М. Григорович, В. И. Панасин. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2006. – 280 с.
10. Фирсанов, И. П. Технология растениеводства / И. П. Фирсанов, А. Н. Соловьев, М. Ф. Трифонов. – Москва, 2005. – 350с.
11. Сабитов, М. М. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы / М. М. Сабитов, А. И. Захаров // Земледелие. – 2002. – № 4. – С.11.

#### REFERENCES

1. Vildflush I. R., Cigalov A. R., Lapa V. V. *Racionalnoe primeneniye udobreniy* [Rational use of fertilizers]. Gorki, BGSNA, 2002, 210 p.
2. Pryanishnikov D. N. *Izbrannyye sochineniya v 3-h t.* [Selected works in 3 volumes]. Moscow, 1965.
3. Laegreid M., Bockman O.C., Karstand O. *Agriculture, fertilizers and the environment*. New York: CABI publishing, 1999.
4. Nenaidenko G. N., Korchagina A. A., Korotaev B. V. *Agroecologicheskaya oценка razlichnykh tehnologiy vyrashchivaniya ozimoy pshenicy* [Agroecological assessment of different technologies of winter wheat cultivation]. *Agrohimiya*, 1994, no. 9, pp. 165-182.
5. Orlov D. S. *Ekologiya i ohrana biosphery pri himicheskoy zagryaznenii: uchebnoye posobiye* [Ecology and conservation of the biosphere under chemical pollution: a textbook]. Moscow, Vyssh. shk., 2002, 334 p.
6. Smetnik A. A., Spiridonov Y. Y., Shein E. V. *Migratsiya pesticidov v pochvah* [Migration of pesticides in soils]. Moscow, 2005, 327 p.
7. *Pshenicy mira*. Pod red. Akad. V. F. Dorofeeva [Wheat of the world. Edited by Academician V. F. Dorofeev]. Leningrad, Agropromizdat, 1987, 402 p.
8. *Selskoye hozyaystvo, prodovolstvie i okruzhayushchaya sreda, situatsiya i perspektivy: sovmestnyy proekt Kilskogo universiteta im. Kristiana Albrehta i KGTU* [Agriculture, food and environment, situation and prospects: a joint project of Christian Albert Kiel University and KSTU], 2004, 32 p.
9. Brysuzovskiy I. I., Grigorovich L. M., Panasin V. I. *Spravochnik agronoma po himizatsii selskogo hozyaystva: uchebnoye posobie* [Reference book on agricultural chemicals: a textbook]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2006, 280 p.
10. Firsanov I. P., Solov'ev A. N., Trifonov M. F. *Tehnologiya rastenievodstva* [Crop production technology]. Moscow, 2005, 350 p.

11. Sabitov M. M., Zaharov A. I. Sovershenstvovanie tehnologiy vozdeleyvaniya ozimoy pshenicy [Improvement of winter wheat cultivation technology]. *Zemledeliye*, 2002, no. 4, 11 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бедарева Ольга Михайловна* – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, доцент; зав. кафедрой агропочвоведения и агроэкологии; E-mail: [olgabedareva@mail.ru](mailto:olgabedareva@mail.ru)

*Bedareva Olga Mikhailovna* – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science; Professor; Head of the Department of Agropedology and Agroecology; E-mail: [olgabedareva@mail.ru](mailto:olgabedareva@mail.ru)

*Мурачёва Любовь Семёновна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; E-mail: [muracheva.l@yandex.ru](mailto:muracheva.l@yandex.ru)

*Murachyova Lyubov Semyonovna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: [muracheva.l@yandex.ru](mailto:muracheva.l@yandex.ru)

*Троян Татьяна Николаевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; Email: [p-tanik@mail.ru](mailto:p-tanik@mail.ru)

*Troyan Tatyana Nikolaevna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: [p-tanik@mail.ru](mailto:p-tanik@mail.ru)

*Горшинина Галина Владимировна* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Агропочвоведение и агроэкология»

*Gorshinina Galina Vladimirovna* – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of Agropedology and Agroecology

УДК 633.15: 636.085.522.55.34

ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА СИЛОСА ОТ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ  
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS L.*)

С. А. Терещенко, Л. Д. Мудрова

DEPENDENCE OF SILAGE QUALITY ON THE ELEMENTS OF MAIZE  
(*ZEA MAYS L.*) CULTIVATION TECHNOLOGY

S. A. Tereschenko, L. D. Mudrova

Возделывание кукурузы (*Zea mays L.*) – важное звено в обеспечении зеленого конвейера отрасли животноводства. Кукурузный силос является высокоэнергетическим кормом для животных благодаря большому содержанию крахмала и низкому содержанию белка в силосуемой массе. Выращивание кукурузы для получения силоса отличного качества представляется актуальным вопросом в условиях Калининградской области. Вследствие увеличения поголовья скота возникает острая необходимость в дополнительных кормах отменного качества с наименьшими затратами на их получение. Рассматривается подробная технология возделывания кукурузы на силос по интенсивной агротехнологии с анализом всех элементов в одном из ведущих хозяйств региона. Выполнены исследования по определению урожайности зеленой массы кукурузы в течение нескольких лет, с 2015 по 2017 гг. Приведены методики определения качественных показателей силоса. Особое внимание уделено срокам уборки как важному фактору получения силоса хорошего качества, поскольку слишком ранняя и поздняя уборка культуры на силос отрицательно сказывается на величине урожая и его свойствах, что подтверждается исследованиями других авторов. Неблагоприятные погодные условия 2017 г. (выпадение обильных осадков в течение длительного периода и пониженные среднесуточные температуры по сравнению со средними многолетними данными) повлияли на созревание культур и их урожайность, а также оптимальные сроки уборки кукурузы для получения силоса высокого качества. В статье приведены результаты исследования качественных показателей силосной массы в зависимости от сроков уборки культуры и закладки силоса. Определены следующие показатели по средней пробе: влажность, сухой вес, белок, кислотность, содержание органического вещества, кальция, фосфора и магния. Анализ полученных данных позволил сделать соответствующие выводы.

*кукуруза (Zea mays L.), технология возделывания, урожайность зеленой массы, сроки уборки, качество силоса*

Cultivation of maize (*Zea mays L.*) is an important link in ensuring the green conveyor system of the livestock industry. Maize silage is a high-energy animal feed due to its high starch content and low protein content in the silage mass. Growing maize for high quality silage is a matter of current interest in the Kaliningrad region. Due to the increase in livestock number, there is an urgent need for additional high-quality feed

with the lowest cost to obtain them. The paper considers a detailed technology for growing silage maize using intensive agricultural technology, with an analysis of all elements in one of the leading farms in the region. Studies were carried out to determine the yield of maize herbage for several years, from 2015 to 2017. The methods for determining the quality indicators of silage are given. Particular attention is paid to the harvest time as an important factor in obtaining silage of good quality, because too early and late harvesting of crops for silage adversely affects the yield and quality, as confirmed by studies of other authors. The unfavorable weather conditions of 2017 (heavy precipitation over a long period and lower daily average temperatures compared with the average long-term data) affected the maturation of crops and their yield, as well as the optimal time for harvesting maize to produce high quality silage. The article presents the results of the study of the qualitative indicators of silage mass, depending on the harvest time of the crop and the setting up of the silage. The following indicators were defined for the average sample: moisture, dry weight, protein, acidity, as well as the content of organic matter, calcium, phosphorus and magnesium. The analysis of the obtained data allowed us to draw the appropriate conclusions.

*maize (Zea mays L.), cultivation technology, the yield of herbage, harvest time, silage quality*

## ВВЕДЕНИЕ

В России кукуруза широко возделывается во всех районах: в Центрально-Черноземной зоне на зерно, а в Нечерноземной зоне, Сибири и на Дальнем Востоке - на корм скоту. В кормовых целях на силос используются зеленая масса и зерно, зерностержневые смеси (100 % зерна с разной долей стержней и оберток початков), кукурузный корнаж (100 % зерна и 40 % стержней), влажное плющенное зерно. Высокая пищевая ценность культуры обусловлена богатым химическим составом: до 70 % крахмала, 9-12 белка, 4-6 жира, 87% сухого вещества [1].

Кукуруза пригодна для выращивания по интенсивным технологиям.

Почвенно-климатические условия Калининградской области при правильной обработке почвы и выращивании районированных гибридов благоприятны для возделывания этой культуры на зеленый корм и силос.

Необходимо расширение посевов кукурузы в Калининградской области, поскольку она отличается высокой урожайностью и прекрасными кормовыми достоинствами, для укрепления кормовой базы,

Большая масса корневых остатков способствует окультуриванию почвы и даже росту урожая кукурузы, беспрерывно возделываемой на одном и том же поле.

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА СИЛОС ПО ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Кукуруза не предъявляет высоких требований к предшественникам. Она способствует очищению полей от сорняков, так как является пропашной культурой. Наилучшие предшественники для кукурузы - яровые и озимые зерновые, зернобобовые, картофель, однолетние и занятый пар [2].

Нежелательно размещение кукурузы после многолетних трав длительного пользования, так как из-за большого распространения проволочников ее посеvy бывают изреженными [3].

Допускается посев кукурузы на одном поле в течение двух-трех лет. Экономически целесообразно использовать ее повторные посевы на зеленый корм и силос вблизи животноводческих ферм. При этом значительно снижаются затраты труда и средств на доставку зеленой массы к месту потребления, что положительно сказывается на себестоимости силоса и продукции животноводства.

В хозяйстве кукурузу на силос возделывают повторно в течение трех-четырёх лет. По истечении этого срока высевают многолетние травы на два года использования.

Способы и глубина обработки почвы под кукурузу дифференцированы с учетом предшественника, почвенной разности, мощности гумусового горизонта, фитосанитарного состояния поля.

Кукурузе необходима хорошо окультуренная почва. Это важно для равномерного распределения семян при посеве, достижения дружных всходов и беспрепятственного развития корневой системы в пахотном и подпахотном слоях. Переуплотнение почвы отрицательно влияет на развитие корней, водно-воздушно-тепловой режим, а также на использование кукурузой питательных веществ и влаги из почвы полей [4].

При размещении посевов кукурузы подряд два года и более на одном поле наблюдается очень медленное разложение пожнивных и корневых остатков. Они затрудняют боронование, посев, культивацию и ухудшают пищевой режим почвы, способствуют размножению стеблевого мотылька. Подготовка почвы, как правило, в таком случае заключается в следующем: низкий срез стеблей кукурузы (не выше 15 см) при уборке, комбинированное дискование полей (с внесением органических удобрений) и глубокая вспашка (не менее 30 см).

В хозяйстве используют интенсивную технологию выращивания кукурузы на силос. В осенний период проводят вспашку на глубину 25-30 см с последующей культивацией в сочетании с внесением и заделкой органических удобрений на глубину 8-10 см. В качестве органического удобрения используют жидкий навоз крупного рогатого скота в дозе 30-40 т/га.

Весенняя обработка направлена на улучшение агрофизических свойств почвы и уменьшение численности сорняков. В это время года ее следует проводить так, чтобы до минимума уменьшить механическое воздействие на нее сельскохозяйственных машин, сохранить сложившуюся за зиму структуру почвы и обрабатывать только лишь зоны заделки семян, а также уберечь почву от переуплотнения, пересушивания и распыления.

Большое значение имеет направление обработки почвы, лучше всего применять диагональное к вспашке.

Весной за несколько дней до посева в хозяйстве осуществляют предпосевную культивацию на глубину 6-8 см.

Посев проводят с одновременным внесением комплексного минерального удобрения Аммофос в дозе 150 кг/га. Семена кукурузы закупают уже протравленные и откалиброванные на заводе-изготовителе, что позволяет выполнить точный высева сеялками и избежать прореживания посевов. Семена по сортовому и посевным качествам (чистоте, всхожести, поражению болезнями, содержанию примесей) должны соответствовать ГОСТ Р 52325-2005. Норма их высева – 80-100 тыс. шт./га. Необходимо, чтобы к уборке осталось не менее 70-75 тыс. растений (7,0-7,5 шт./м<sup>2</sup>).

После посева поле обязательно прикатывают. Этот прием обеспечивает более дружное появление всходов.

Уход за посевами кукурузы в хозяйстве включает однократные междурядную культивацию, химическую прополку и подкормку минеральными удобрениями.

Вначале кукуруза растет медленно, создается угроза заглушения ее быстро растущими сорными растениями. Для борьбы с ними в хозяйстве проводят междурядную культивацию по всходам в фазу три-шесть листьев, так как в этот период наиболее чувствительная точка роста кукурузы еще находится в почве.

Защита посевов от вредителей, болезней и сорняков является одним из важнейших резервов повышения урожайности, увеличения валовых сборов растениеводческой продукции и рентабельности сельскохозяйственного производства.

Успех защитных мероприятий, проводимых с целью борьбы с вредными организмами, зависит, прежде всего, от своевременных фитосанитарных мероприятий, которые основываются на результатах регулярных учетов и наблюдений за развитием и распространением вредителей, болезней и сорняков [4].

При обследовании посевов кукурузы 2017 г. повреждения вредителями и симптомы болезней выявлены не были. Для определения засоренности посевов проводили глазомерный (визуальный) учет в фазе всходов. В хозяйстве в 2017 г. в посевах кукурузы на силос был зафиксирован третий балл засоренности сорными растениями. При таком показателе кроме применения агротехнических мер борьбы, как правило, необходимо использование гербицида. Рациональность его применения рассматривают с учетом порога экономической целесообразности борьбы с сорняками, т. е. рентабельность истребительных мероприятий должна составлять не менее 25 %.

Для химической прополки в хозяйстве используют препарат Люмакс в дозе 0,3-0,5 л/га.

В качестве удобрения в период вегетации применяют Карбамид в дозе 300 кг/га.

При выборе сроков уборки ориентируются на содержание сухого вещества.

Если гибрид кукурузы выращивается на силос и является основным компонентом кормового рациона, то оптимальное содержание сухого вещества в растении перед уборкой должно быть 28-35 %, если кукуруза входит в состав кормосмеси с большим содержанием трав, то доля сухого вещества – 30-36 %. Оптимальная длина резки 5-8 см. Отрицательно сказывается на величине урожая и его качестве и слишком ранняя и поздняя уборка культуры на силос: снижается урожайность, энергетическая ценность (уменьшается количество крахмала), количество сухого вещества [2].

При поздней уборке затрудняется уплотнение силоса при трамбовке, что увеличивает поражение его плесневыми грибами и накопление микотоксинов. Продолжительность уборки не более 15 дней [2].

Уборка кукурузы на силос в хозяйстве проводится кормоуборочными комбайнами в конце фазы молочно-восковой и на протяжении всей фазы восковой спелости зерна.

Технологическая схема возделывания кукурузы на силос в хозяйстве представлена в табл. 1.

Таблица 1. Технологическая схема возделывания кукурузы на силос  
Table 1. Flow chart of maize cultivation for silage

Технологические операции и приемы	Агротехнические требования	Сроки выполнения	Машины и орудия
Глубокая вспашка	Глубина 25-30 см	II декада октября	John Deere 7810 + плуг John Deere 3810
Культивация с внесением органических удобрений	Глубина 8-10 см	II декада октября	Samson CM
Предпосевная культивация	Глубина 6-8 см	III декада апреля	John Deere 7810 + культиватор John Deere 2210
Посев с внесением удобрений	Заделка семян 4-5 см, Аммофос (150кг/га)	III декада апреля	Сеялка John Deere 1740 Deere Bauer
Прикатывание	-	Вслед за посевом	John Deere 7810 + John Deere прикатывающий каток 200
Междурядная культивация	Глубина 4-6 см	При появление всходов сорняков	John Deere 7930 + культиватор John Deere 2210
Химическая прополка	Люмакс (0,3-0,5 л/га)	Фаза развития трех-пяти листьев у культуры и отрастание всходов сорняков	Самоходный опрыскиватель AMAZON-3000
Подкормка минеральным удобрением	Карбамид (300 кг/га)	Фаза образования початков, цветение	John Deere 7810 + разбрасыватели удобрений John Deere DN-350
Уборка урожая	-	Фаза молочно-восковой спелости	Кормоуборочный комбайн John Deere 7200

#### МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на посевах кукурузы в 2017 г. в одном из передовых хозяйств Полесского городского округа.

В хозяйстве выращивают следующие районированные гибриды: РОСС 197 АМВ, РОСС 199 МВ. Семена кукурузы закупают уже протравленные и откалиброванные.

Для анализа урожайности перед уборкой отбирали 10 пробных снопов по 10 растений, в состав включались типичные растения.

По результатам исследований урожайности проведена обработка данных методом вариационной статистики [5].

После закладки силоса выполняют его качественный анализ.

В Российской Федерации согласно ГОСТ Р 55986 2014 осуществляют исследования силоса по следующим показателям: содержание сухого вещества, г/кг; концентрация в сухом веществе сырого протеина, г/кг; концентрация сырой клетчатки в сухом веществе, г/кг; концентрация сырой золы в сухом веществе, г/кг; массовая доля молочной кислоты в общем количестве кислот, %; массовая доля масляной кислоты в силосе, %; содержание аммиачного азота, %; кислотность силоса (рН) [6].

В хозяйстве считают, что необходимо проводить более глубокий анализ силоса для формирования полноценного рациона животных и, соответственно, получать продукты животноводства более высокого качества. В связи с этим исследования выполняют в Польше. Оценка качества осуществлялась по следующим методикам:

1) Регламент ЕС №152/2009:

- определение влажности методом взвешивания – сушка в течение 3 ч при 105°C;

- определение золы гравиметрическим методом – сжигание в муфельной печи при 550°C.

Метод основан на изменении массы пробы анализируемого продукта под воздействием температуры 555°C с применением ускорителя озоления (этилового спирта) и последующем гравиметрическом измерении массы золы продукта;

- определение общего белка по методу Кьельдаля ( $N \times 6.25$ ).

Метод основан на минерализации навески продукта при нагревании с концентрированной серной кислотой в присутствии катализаторов. При этом углерод и водород органических соединений окисляются до диоксида углерода и воды, азот, освобождаемый в виде аммиака, соединяется в колбе с серной кислотой, образуя сульфат аммония;

- определение сырого жира методом Сокслета.

Метод основан на извлечении жира эфиром с последующим удалением эфира и взвешиванием сырого жира (поскольку вместе с жиром экстрагируются фосфолипиды, пигменты, воски, свободные жирные кислоты, органические кислоты). Извлечение жира ведется в аппарате Сокслета.

2) Определение сырого волокна, ADF и NDF с использованием метода ANKOM (технология анализа волокон).

Метод позволяет определять сырую клетчатку, под которой понимается органический остаток после обработки образца 0,255N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 0,313N NaOH. Удаляемые вещества представляют собой преимущественно белки, сахара, крахмал, липиды и частично структурные углеводы и лигнин.

3) Определение пищевой ценности с PN-EN ISO 9831:2005 (польская версия) – корма, продукты животного происхождения, калий и моча. Определение общей энергетической ценности (метод калориметрической бомбы).

Метод основан на сгорании определенной навески исследуемого вещества внутри герметически закрытого металлического сосуда (бомбы) в атмосфере предварительно нагнетаемого в него под давлением в 20-25 atm чистого кислорода.

4) Определение калия, фосфора и магния – спектрофотометрический метод.

Методы спектрофотометрического анализа основаны на качественном и количественном изучении спектров поглощения различных веществ в инфракрасной области спектра: видимого (от 0,76 до 0,4 мк) и ультрафиолетового (от 0,4 до 0,01 мк) и невидимых электромагнитных колебаний с длиной волны от 0,76 до 500 мк.

Задача спектрофотометрического анализа – определение концентрации вещества путем измерения оптической плотности на определенном участке видимого или невидимого спектра в растворе исследуемого вещества.

5) Определение содержания крахмала по поляризметрическому методу.

Метод определения основан на растворении крахмала и измерении величины угла вращения плоскости поляризации света в сахаросодержащих растворах. Угол вращения плоскости поляризации пропорционален концентрации оптически активного вещества. Крахмал и другие сброженные углеводы зерна переводят в раствор путем обработки смолотого зерна раствором HCL при нагревании.

В Калининградской области в 2017 г. правительством региона был введен режим чрезвычайной ситуации регионального характера. Он распространялся на 13 муниципальных образований, в том числе Полесский городской округ. Этот режим введен в связи с повреждениями и гибелью посевов сельскохозяйственных культур в результате обильных осадков. Критическое переувлажнение повлияло на сроки посева, уборки урожая, а также качество силоса.

Почвы хозяйства подходят по гранулометрическому составу для выращивания кормовой кукурузы. Агрохимические показатели регулируются внесением органических и минеральных удобрений. Реакция почвенной среды в среднем по полям 6,5, известкование не требуется. Поверхность полей выровнена, есть незначительные микропонижения, почвенный покров однородный. Залегание грунтовых вод около 1 м.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение динамики урожайности зеленой массы кукурузы при возделывании на силос в хозяйстве проводилось с 2015-2017 гг. и представлено в табл. 2.

Таблица 2. Динамика урожайности зеленой массы кукурузы при возделывании на силос, 2015-2017 гг. (т/га)

Table 2. Dynamics of herbage yield of maize when it comes to cultivation for silage, 2015-2017 (t / ha)

Год		
2015	2016	2017
46,83±6,740	49,63±10,467	38,30±4,546

При анализе динамики урожайности зеленой массы кукурузы, представленной в табл. 2, можно увидеть, что максимальная урожайность наблюдалась в 2016 г. и составила 49,63 т/га, а минимальная - в 2017 г. (38,3 т/га). Это, возможно,

связано с тем, что в 2017 г. сложились неблагоприятные погодные условия: температура воздуха была ниже среднеклиматических показателей, а количество осадков, выпавших во второй половине лета, выше среднегодовых показателей.

Неблагоприятные погодные условия не позволили убрать зеленую массу кукурузы на силос в рекомендуемые сроки (сентябрь-октябрь), так как наступление фаз развития этой культуры, оптимальных для уборки на силос, были сдвинуты и наступили позже общепринятых для уборки сроков в Калининградской области. Ее проводили 17 октября (наиболее близкий срок к рекомендуемому), 07 ноября и 05 декабря.

Данные по исследованиям влияния сроков уборки на качество силоса представлены в табл. 3. Качественные показатели определялись по средней пробе.

Таблица 3. Качественные показатели силоса в зависимости от сроков посева и уборки

Table 3. Qualitative indicators of silage depending on the time of sowing and harvesting

Вариант (срок уборки)	Показатели							
	Влажность, %	Сухой вес, %	Органическое в-во, г	Белок, г	Кислотность, г	Кальций, г	Фосфор, г	Магний, г
I Уборка 17.10.2017	70,30	29,70	287,11	22,66	3,79	1,80	0,85	0,33
II Уборка 07.11.2017	68,43	31,57	304,33	26,99	3,83	1,82	0,72	0,36
III Уборка 05.12.2017	62,24	37,76	365,71	30,85	3,88	2,16	1,02	0,44

По данным табл. 3 видно, что в 2017 г. оптимальный срок уборки пришелся на 5 декабря. Качество силоса по всем показателям при уборке в этот срок наилучшее.

Самые низкие показатели качества, за исключением содержания фосфора, получены при сроке уборки 17 октября, а самое низкое содержание фосфора в силосе - 7 ноября 2017 г.

По итогам анализа можно сделать вывод, что оптимальный срок уборки кукурузы для получения силоса высокого качества - начало декабря 2017 г.

Но, учитывая нестандартные условия года, для получения более точных результатов исследования необходимо повторить.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ почвенно-климатических условий Калининградской области и биологических требований культуры показал, что условия региона подходят для возделывания кукурузы на силос.
2. Кукуруза на силос является пригодной для внедрения интенсивных технологий. При этом следует учитывать почвенно-климатические условия.
3. Изучение динамики урожайности показало, что в Полесском районе урожайность зеленой массы в среднем колеблется от 38 до 50 т/га.
4. Исследования свидетельствуют, что в 2017 г. оптимальными сроками уборки кукурузы для получения силоса высокого качества стало начало декабря (5-12-е число месяца). Это связано с погодными условиями года.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кормовые культуры. Производство, уборка, консервирование и использование грубых кормов: учебно-практическое руководство / под ред. Д. Шпаара. – Торжок: Вариант, 2002. – 360 с.
2. Удобрение, технологии и урожай: справочник агронома по химизации земледелия / В. И. Панасин [и др.] – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. – 315с.
3. Растениеводство: учебник / под ред. П. П. Вавилова. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 512с.
4. Интенсивная технология возделывания кукурузы / Н. В. Тудель [и др.]. – Москва: Росагропромиздат, 1991. – 238 с.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. ГОСТ Р 55986 – 2014. Силос из кормовых растений. Общие технические условия. – Москва, 2014. – 9 с.

## REFERENCES

1. *Kormovye kul'tury. Proizvodstvo, uborka, konservirovanie i ispol'zovanie grubyh kormov: uchebno-prakticheskoe rukovodstvo* [Forage crops. Production, harvesting, conservation and use of roughage: practical guide]. Pod red. D. Shpaara. Torzhok, Variant, 2002, 360 p.
2. Panasin V. I., Grigorovich L. M., Shovgenov T. A., Vikhman M. I., Dolinina V. V. *Udobrenie, tekhnologii i urozhay: spravochnik agronoma po khimizatsii zemledeliya* [Fertilizer, technology and harvest: an agronomist's handbook on the chemurgy]. Kaliningrad, Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2018, 315 p.
3. *Rastenievodstvo: uchebnik* [Crop production: textbook]. Pod red. Vavilova P. P. Moscow, Agropromizdat, 1986, 512 p.
4. Tudel N. V., Krivosheya N. A., Esepchuk N. I., Kiforenko V. I. *Intensivnaya tekhnologiya vozdelevaniya kukuruzy* [Intensive technology of maize cultivation]. Moscow, Rosagropromizdat, 1991, 238 p.

5. Dospikhov B. A. *Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij* [Methodology of field experience with the basics of statistical processing of research results]. Moscow, Rosagropromizdat, 1985, 351 p.

6. GOST R 55986-2014. Silos iz kormovyh rastenij. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Silage from forage plants. General specifications]. Moscow, 2014, 9 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Терещенко Светлана Анатольевна* – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии; E-mail: svetlana.tereschenko@klgtu.ru

*Tereschenko Svetlana Anatol'evna* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Assistant Professor of the Department of Agronomy; E-mail: svetlana.tereschenko@klgtu.ru

*Мудрова Лилия Дмитриевна* – Калининградский государственный технический университет; магистр кафедры агрономии; E-mail: agronomia@mail.ru

*Mudrova Lilia Dmitrievna* – Kaliningrad State Technical University; Master Student on the Department of Agronomy; E-mail: agronomia@mail.ru

**СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**



УДК 621.3.015.4

ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ  
В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ  
НЕЙТРАЛЬЮ

И. Е. Кажекин

FERRORESONANCE PROCESSES IN RESPONSE TO SINGLE  
PHASE-TO- GROUND FAULTS IN SHIPBOARD ELECTRICAL SYSTEMS  
WITH RESONANT EARTHED NEUTRAL

I. E. Kazhekin

В статье предложен подход к оценке возможности возникновения феррорезонансных процессов в судовых электроэнергетических системах напряжением до 1 кВ с нейтральной точкой, заземленной через реактор. Проанализированы особенности такого заземления нейтрали в судовых электроустановках. Показано влияние этих особенностей на возможность образования феррорезонансного контура. Анализ формирующегося при однофазном замыкании контура позволил дать оценку возможности выполнения всех условий, необходимых для появления феррорезонансных колебаний. Достаточность начальных условий переходных процессов в контуре для возбуждения феррорезонансных колебаний исследована путем приведения математического описания контура к уравнению Дуффинга. Это позволило получить аналитическое описание условий возникновения феррорезонанса напряжений в цепи, формирующейся при замыкании фазы на корпус судна.

*феррорезонансные процессы, однофазные замыкания, судовые электроустановки, компенсированная нейтраль*

The article proposes an approach to assessing the possibility of the occurrence of ferroresonance processes in shipboard electric power systems with a voltage of up to 1 kV with a neutral point grounded through a reactor. The features of such neutral grounding in shipboard electrical systems have been analyzed. The influence of these features on the possibility of forming a ferroresonance circuit has been presented. The analysis of the circuit formed during single-phase closure has made it possible to estimate the possibility of fulfilling all the conditions necessary for the appearance of ferroresonance oscillations. The evaluation of the sufficiency of the initial conditions of transient processes in the circuit for the excitation of ferroresonant oscillations has been carried out by reducing the mathematical description of the circuit to the Duffing's equation. This made it possible to obtain an analytical description of the conditions for the occurrence of ferroresonance voltages in the circuit, which is formed when the phase closes the vessel.

*ferroresonance processes, single phase-to-ground faults, shipboard electrical systems, resonant earthed neutral*

## ВВЕДЕНИЕ

Статистика состояния отечественного морского и речного флотов показывает их значительный износ [1]. Большинство судов эксплуатируется сверхнормативных сроков. При этом быстрое обновление флотов даже при должном финансировании весьма затруднительно [2]. В таких условиях большое значение приобретают технические мероприятия, направленные на снижение и предотвращение аварийности.

Среди наиболее тяжелых морских аварий особое место занимают судовые пожары [2]. Одним из направлений их предотвращения являются способы снижения опасных последствий однофазных замыканий (ОЗ) на корпус в бортовых электроустановках. Частота возникновения этого вида замыканий превышает частоту других видов замыканий вместе взятых. Его опасность обусловлена протеканием тока в месте контакта фазы с корпусом судна и возникновением в электросистеме перенапряжений.

Протекающие в месте замыкания токи могут стать причиной возмущений и взрывов, а также распространению пожаров по судну. При этом их величины в судовых электроустановках недостаточны для срабатывания защиты на отключение. Перенапряжения, возникающие при неустойчивом характере ОЗ, также могут стать причиной крупных судовых пожаров. Они охватывают всю электросистему, действуя на изоляцию между неповрежденными фазами и корпусом судна. Их максимальные значения могут в несколько раз превышать номинальные напряжения электроустановок. Перенапряжения увеличивают интенсивность старения диэлектрических конструкций, а при наличии ослабленных участков изоляции могут привести к развитию ОЗ в более опасные виды. Максимальные кратности этого вида перенапряжений, как и величины токов в месте замыкания одной из фаз на корпус, во многом определяются способом заземления нейтрали.

## ОСОБЕННОСТЬ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Судовые электросистемы напряжением до 1 кВ в подавляющем большинстве эксплуатируются в режиме изолированной нейтрали. При таком режиме ток однофазного замыкания носит емкостной характер и определяется величиной фазной емкости сети. Учитывая, что связь этого тока и опасности возникновения пожаров, электротравм и других негативных явлений подтверждается статистикой [3], возникает необходимость его снижения. Особенно это актуально для сетей с повышенными величинами фазной емкости, которые часто формируются в бортовых электросетях наиболее крупных современных объектов морской техники.

В [4] показано, что выбор защиты от ОЗ должен носить комплексный характер и учитывать все последствия применения того или иного варианта. Использование такого подхода показало предпочтительность методов защиты, основанных на изменении режима нейтрали всей электроустановки. Изменение режима нейтрали не должно противоречить правилам Российского морского регистра судоходства [5], согласно которым в низковольтных электроустановках допускаются следующие трехфазные трехпроводные системы распределения электроэнергии:

- изолированная;

- с нулевой точкой, заземленной через высокоомный резистор или реактор (компенсированно-резистированная нейтраль).

Следует отметить, что заземление нейтрали через реактор (компенсированная нейтраль) широко используется в береговых электроустановках 6-35 кВ. Его применение обусловлено положительным влиянием одновременно и на величину токов ОЗ, и на максимальные кратности дуговых перенапряжений. Однако в низковольтных судовых электроэнергетических системах данный способ заземления нейтрали пока не находит широкого распространения. Во многом это связано с некоторыми особенностями таких электроустановок, способных привести к негативным последствиям применения компенсированной нейтрали. Они обусловлены необходимостью непрерывного контроля состояния изоляции, которое, согласно [5], должно осуществляться путем непосредственного измерения ее сопротивления постоянному току. Это требование реализуется при помощи щитовых мегаомметров, принцип действия которых заключается в приложении между корпусом и сетью дополнительного постоянного напряжения. Под действием этого напряжения через активную проводимость изоляции протекает постоянный ток. При снижении сопротивления изоляции ниже нормы ток увеличивается и срабатывает звуковая и световая сигнализации. Такими устройствами контроля состояния изоляции оснащены практически все суда мирового флота.

При заземлении нейтрали прибор контроля изоляции будет измерять сопротивление устройства заземления нейтрали, а не изоляции. Для того чтобы исключить это, заземление осуществляется через разделительные конденсаторы, выполняющие функцию гальванической развязки по постоянному току. В этом случае влияние устройства на ток однофазного замыкания останется прежним, изменится только механизм формирования перенапряжений, поскольку появляется возможность формирования феррорезонансного контура. Процессы, протекающие в контуре, могут стать причиной значительного увеличения перенапряжений, даже по отношению к сетям с изолированной нейтралью, и появления сверхтоков в месте замыкания фазы на корпус.

#### СХЕМА ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА

В [6] выполнен наиболее широкий обзор основных вариантов реализации устройств заземления нейтрали через реактор. Все они подразумевают последовательное соединение емкостного элемента и дугогасящего реактора. Параметры элементов устройства заземления нейтрали выбираются с учетом максимальной компенсации тока ОЗ и обеспечения оптимальных весогабаритных показателей. В ряде случаев конденсаторы используются не только как разделительный фильтр, но и формируют искусственную нейтраль электросети, необходимую для присоединения компенсирующего устройства к электроустановке. Однако любой вариант схемы электросистемы в режиме ОЗ с подобным устройством заземления нейтрали может быть представлен в виде схемы (рис. 1, а).

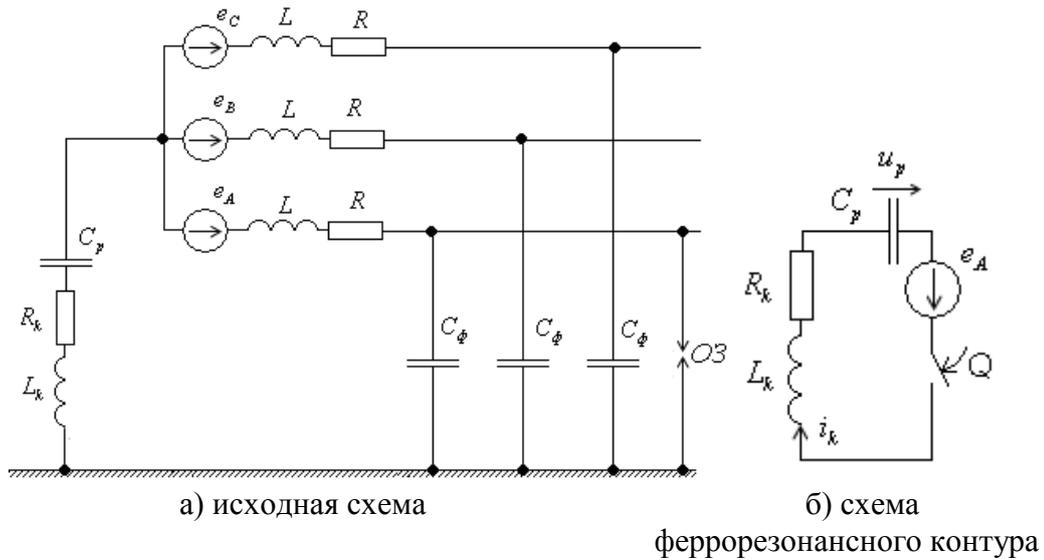


Рис. 1. Схема судовой электроустановки с заземленной через реактор нейтральной точкой в режиме однофазного замыкания  
 Fig. 1. Circuit of the shipboard electrical system with a neutral point grounded through the reactor in the single phase-to-ground fault mode

Путем эквивалентных преобразований от исходной схемы *a* (рис. 1, а) легко перейти к схеме *б* (рис. 1, б), из которой видно, что реактор, емкость разделительных конденсаторов и ЭДС поврежденной фазы образуют контур.

Поскольку нелинейность реактора как индуктивного элемента, содержащего ферромагнитный сердечник, нельзя исключить, то при определенных сочетаниях параметров контура возможно возникновение феррорезонанса напряжений. Согласно [7] для этого необходимо выполнение следующих условий:

1) Емкостные и индуктивные параметры контура должны удовлетворять неравенству

$$L_1 \geq \frac{1}{\omega \cdot C_p} \geq L_2, \quad (1)$$

где  $L_1$ ,  $L_2$  - индуктивности реактора в ненасыщенном и насыщенном состояниях;  $\omega$  - угловая частота сети;  $C_p$  - емкость феррорезонансного контура;

2) величина энергии, поступающей в контур, должна быть больше энергии, рассеиваемой на его активном сопротивлении;

3) начальные условия переходных процессов должны быть достаточны для перехода системы в состояние равновесия, соответствующее феррорезонансу.

Выполнение первого условия обеспечивается тем, что с целью оптимизации весогабаритных показателей устройства заземления нейтрали емкость разделительных конденсаторов  $C_p$  выбирается по условию

$$C_p = \frac{1}{\epsilon \div 10 \cdot \omega^2 L_1}. \quad (2)$$

Это позволяет выполнить первую часть двойного неравенства (1). Вторая часть этого неравенства реализуется за счет того, что при насыщении реактор имеет практически неизменную индуктивность, равную индуктивности катушки

без магнитопровода, поскольку относительная проницаемость стали при насыщении близка к единице.

Возможность реализации второго условия может быть оценена с помощью анализа вольтамперных характеристик элементов феррорезонансного контура, построенных по действующим значениям. В [8] на основе этого подхода получено следующее выражение, определяющее выполнение этого условия:

$$R_k < \frac{E_A \cdot \omega \cdot C_p - L_2 \cdot \omega \cdot C_p}{\omega \cdot C_p \sqrt{U_0^2 - E_A^2}}, \quad (3)$$

где  $R_k$  - сопротивление контура;  $E_A$  - ЭДС контура;  $U_0$  - напряжение, соответствующее насыщению реактора.

Для оценки возможности реализации третьего условия необходимо решение системы нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. В [8] данное решение выполнено численным методом с достаточно высокой точностью. Однако такой подход затрудняет установить граничные значения начальных условий, соответствующие возникновению феррорезонансных процессов.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ

Несмотря на то, что одной из тенденций в исследовании феррорезонансных процессов является совершенствование математического описания нелинейного индуктивного элемента [9, 10], получение аналитических выражений требует упрощения аппроксимирующего выражения кривой намагничивания. Упрощение может быть выполнено путем перехода к полиному третьей степени, имеющему наибольшую точность описания экспериментальной кривой [11]. Это позволяет привести описание феррорезонансного контура к уравнению Дуффинга, имеющему следующий вид:

$$\frac{d^2\psi}{d\tau^2} + k \frac{d\psi}{d\tau} + a\psi^3 = B \cos \tau, \quad (4)$$

где  $\psi$  - относительное потокосцепление;  $a$  - коэффициенты аппроксимации;  $B$  - относительная ЭДС;  $k$  - коэффициент, определяемый параметрами контура;  $\tau$  - фаза сети.

Такое уравнение может иметь три решения, два из которых соответствуют устойчивым точкам равновесия (резонансные и нерезонансные колебания), а третье – неустойчивому равновесию.

При учете только первой и третьей гармоник в системе фазовых координат решения уравнения имеют вид, представленный на рис. 2. Кривая 1 отражает состояние контура в режиме при отсутствии феррорезонансных колебаний. Неустойчивое равновесие системы характеризуется кривой 2, а кривая 3 соответствует феррорезонансным колебаниям, возникающим в контуре.



Рис. 2. Решения уравнения Дуффинга в фазовых координатах:  
1 - нерезонансные колебания; 2 – неустойчивое равновесие; 3 – феррорезонансные колебания

Fig. 2. Solutions of the Duffing's equation in phase coordinates:  
1 - non-resonant oscillations; 2 - unstable balance; 3 - ferroresonance oscillations

Кривая 2 (рис. 2) представляет собой границы области значений начальных условий, способных привести систему к одному из устойчивых значений. При выходе начальных значений параметров режима за пределы области, ограниченной этой кривой, система переходит в состояние феррорезонанса.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить граничные значения начальных условий переходных процессов в контуре, способных привести к возникновению феррорезонансных процессов.

Условия могут быть получены в виде аналитических выражений, что позволяет в дальнейшем исследовать влияние параметров контура на начальные значения параметров режима судовой электросети, приводящие к феррорезонансу. В качестве начальных условий могут быть выбраны наиболее неблагоприятные значения параметров режима, способные сформироваться в бортовых электросетях. Это, в свою очередь, позволит усовершенствовать устройство заземления нейтрали, выполненное на основе реактора и разделительных конденсаторов. Улучшение свойств устройства может быть достигнуто за счет уменьшения активного сопротивления реактора. Это позволит более эффективно снижать токи ОЗ, тем самым способствуя повышению электропожаробезопасности электроустановки в целом.

В совокупности с остальными условиями, рассмотренными в работе, предложенный подход позволяет дать полную оценку возможности возникновения опасных феррорезонансных колебаний в низковольтных судовых электросистемах.

Исследование феррорезонансных процессов, рассмотренных в данной статье, выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00622.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воробьев, Ю. Л. Системные аварии и катастрофы в техносфере России / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – Москва: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012. – 308 с.
2. Благинин, В. А. Результаты длительных натурных испытаний устройства защитного заземления нейтрали для судовых электросистем / В. А. Благинин [и др.] // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2015. – № 1. – С. 124-129.
3. Благинин, В. А. Профилактика аварийности отечественного рыболовского флота / В. А. Благинин, И. Е. Кажекин // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 3. – С. 40-47.
4. Кажекин, И. Е. Определение требований к защите судовых электроэнергетических систем от однофазных замыканий / И. Е. Кажекин // Электрика. – 2011. – № 3. – С. 35-38.
5. Правила классификации и постройки морских судов. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2016. – Ч. XI. Электрическое оборудование. – 130 с.
6. Никифоровский, Н. Н. Электробезопасность судовых электрических систем / Н. Н. Никифоровский, Я. П. Брунав, Ю. Г. Татьянченко. – Ленинград: Судостроение, 1978. – 120 с.
7. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджибаева. – Санкт-Петербург: Петербургский энергетический институт повышения квалификации Министерства энергетики Российской Федерации, 2001. – 216 с.
8. Кажекин, И. Е. Анализ возможности возникновения феррорезонансных процессов на основной гармонике в низковольтных судовых электросетях / И. Е. Кажекин // Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии: материалы VI международного Балтийского морского форума (3-6 сентября 2018 года). – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018 – Т. 2. – С.210-218.
9. Rezaei-Zare, A. An accurate hysteresis model for ferroresonance analysis of a transformer / A. Rezaei-Zare, M. Sanaye-Pasand, H. Mohseni, Sh. Farhangi // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2008. – № 3. – PP. 1448–1456.
10. Moses, S. Impacts of hysteresis and magnetic couplings on the stability domain of ferroresonance in asymmetric three-phase three-leg transformers / S. Moses, M. Masoum, H. Toliyat // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2011. – Vol. 26, June. – № 2. – PP. 581–592.
11. Благинин, В. А. Описание феррорезонансных процессов при однофазных замыканиях в судовых электроэнергетических системах с компенсированной нейтралью / В. А. Благинин, И. Е. Кажекин // Инновации в науке и образовании – 2011: труды IX Международной научной конференции: в 2 ч. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. – С. 427-430.

REFERENCES

1. Vorob'yov YU. L., Akimov V. A., Sokolov YU. I. *Sistemnye аварии i katastrofy v tekhnosfere Rossii* [Systemic accidents and disasters in the technosphere of Russia]. Moscow, izd-vo FGBU VNII GOCHS (FC), 2012, 308 p.
2. Blaginin V. A., Kazhekin I. E., YUryp V. M., Moskalyuk A. M., Sirenko D. P. Rezul'taty dlitel'nykh naturnykh ispytaniy ustroystva zashchitnogo zazemleniya neytrali dlya sudovykh ehlektrosistem [The results of long-term full-scale tests of the safety grounding device for shipboard electrical systems]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 1, pp. 124-129.
3. Blaginin V. A., Kazhekin I. E. Profilaktika avariynosti otechestvennogo rybopromyslovogo flota [Prevention of accidents of the domestic fishing fleet]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2010, no. 3, pp. 40-47.
4. Kazhekin I. E. Opredelenie trebovaniy k zashchite sudovykh elektroenergeticheskikh sistem ot odnofaznykh zamykaniy [Determination of requirements for the protection of shipboard electric power systems from single-phase short circuits]. *Elektrika*, 2011, no. 3, pp. 35-38.
5. *Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Chast' XI. Elektricheskoe oborudovanie* [Rules for classification and construction of ships. Part XI. Electrical equipment]. Saint-Petersburg, Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2016, 130 p.
6. Nikiforovskiy N. N., Brunav YA. P., Tat'yanchenko YU. G. *Elektrobezopasnost' sudovykh elektricheskikh sistem* [Electrical safety of shipboard electrical systems]. Leningrad, Sudostroenie, 1978, p. 120.
7. *Zashchita setey 6-35 kV ot perenapryazheniy* [Protection of 6-35 kV networks against overvoltage]. Saint-Petersburg, Peterburgskiy energeticheskiy institut povysheniya kvalifikatsii Ministerstva energetiki Rossiyskoy Federatsii, 2001, 216 p.
8. Kazhekin I. E. Analiz vozmozhnosti vozniknoveniya ferrezonansnykh processov na osnovnoy garmonike v nizkovol'tnykh sudovykh elektrosetyakh [Analysis of the possibility of the emergence of ferresonant processes at the fundamental harmonic in low-voltage ship power grids]. *Materialy VI mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma (3-6 sentyabrya 2018 goda). Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoy industrii* [Proceedings of the VI International Baltic Maritime Forum (3-6 September 2018). Marine technology and engineering. Safety of the marine industry" VI Int. scientific conference]. Kaliningrad, 2018, pp. 210-218.
9. Rezaei-Zare A., Sanaye-Pasand M., Mohseni H., Farhangi Sh. An accurate hysteresis model for ferresonance analysis of a transformer. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2008, no. 3, pp. 1448-1456.
10. Moses S., Masoum M., Toliyat H. Impacts of hysteresis and magnetic couplings on the stability domain of ferresonance in asymmetric three-phase three-leg transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2011, vol. 26, June, no. 2, pp. 581-592.
11. Blaginin V. A., Kazhekin I. E. Opisanie ferrezonansnykh processov pri odnofaznykh zamykaniyakh v sudovykh ehlektroenergeticheskikh sistemakh s kompensirovannoy neytral'yu [Description of ferresonant processes with single-phase closures in shipboard electric power systems with resonant earthed neutral]. *Trudy IX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Innovatsii v nauke i obrazovanii-2011"* [Proc.

of the IX International Scientific Conference “Innovations in Science and Education-2011”]. Kaliningrad, 2011, pp. 427-430.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Кажекин Илья Евгеньевич* – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики; E-mail: [kazhekin@mail.ru](mailto:kazhekin@mail.ru)

*Kazhekin Ilya Evgenievich* – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering Sciences; Associate Professor at the Department of Electrical Equipment of Ships and Electric Power Industry; E-mail: [kazhekin@mail.ru](mailto:kazhekin@mail.ru)

УДК 69.04 (07) (624)

## ДЕФОРМАЦИЯ ВАНТ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ НАГРУЖЕНИЯ

Э. Р. Кужахметова

## DEFORMATION OF STAY CABLES WHEN SUBJECTED TO VARIOUS LOADINGS

E. R. Kuzhakhmetova

В статье рассмотрены расчетные схемы вант (гибких нитей) с разными нагрузками (собственный вес, равномерно и неравномерно распределенные, сосредоточенные и др.), а также проведен численный анализ прогибов (деформаций) ванта.

Цель исследования заключается в том, чтобы проанализировать деформационные модели вант с разными схемами нагружения. Повышенная деформативность вант под нагрузкой вызывает существенное изменение их начальной геометрии, что является недостатком вантовой конструкции. Данную проблему можно решить на основании предварительного расчета, результаты которого обеспечат требуемую жесткость самой вантовой системы. Однако особые деформативные свойства вант как гибких нитей, приводящие к сложному перераспределению их внутренних усилий и деформаций, требуют нелинейного анализа. В данном исследовании расчеты выполнены с применением программного комплекса (ПК) FEMAP with NX NASTRAN, обеспечивающего анализ вант и вантовых систем с учетом как геометрической, так и физической нелинейности.

В несущих вантовых конструкциях широко используются современные элементы из высокопрочных материалов с относительно низким модулем продольной упругости, такие как стальные канаты и тросы одинарной или двойной свивки. Для небольших пролетов рационально применять стальные стержни периодического профиля. Сечение вант подбирается по расчету в соответствии с требованиями ГОСТ. Достоинством ванта является использование всей площади сечения стального троса, что в случае расчетного выбора оптимальных характеристик обеспечивает существенную экономию материала конструкции.

В статье сравнивается влияние на деформированное состояние ванта следующих видов внешних нагрузок: от собственного веса, а также равномерно и неравномерно распределенных (постоянных и временных) нагрузок по всему пролету гибкой нити, треугольной и трапецидальной нагрузок по всему пролету, сосредоточенных, в том числе в их сочетании с равномерно распределенной.

*вант, гибкая нить, трос, канат, деформация ванта, перемещение ванта, прогиб ванта, расчетная схема ванта, нагрузки на вант*

The article discusses the design schemes of stay cables (ideal cables) with different loads (own weight, uniformly and non-uniformly distributed, concentrated, etc.),

as well as presents a numerical analysis of the deflections (deformations) of a stay cable.

The purpose of the study is to analyze deformation models of the cables with different loading conditions. The increased deformability of stay cables under load causes a significant change in their initial geometry, which is a drawback of the stay cable structure. This design problem can be solved on the basis of a preliminary calculation, the results of which can provide the required rigidity of the stay cable system itself. However, particular stress-related properties of the stay cables as ideal cables, leading to a complex redistribution of their internal forces and deformations, require nonlinear analysis. In this study, the calculations have been performed using the FEMAP with NX NASTRAN software package (PC), which provides analysis of the stay cables and cable-stayed systems, taking into account both geometric and physical nonlinearity.

Modern high-strength materials with a relatively low modulus of elasticity, such as steel ropes and single or double lay cables, are widely used in supporting cable-stayed structures. For small spans, it is rational to use steel rods of a periodic profile. The stay cable section is selected according to the calculation following the requirements of the National State Standard. An advantage of the stay cable is possibility to use the entire cross-sectional area of the steel cable, which, in the case of the design choice of optimal characteristics, provides significant savings in the construction material.

The article compares the effect of the following types of external loads on the deformed state of the stay cable: the load from its own weight, as well as evenly and unevenly distributed (permanent and temporary) loads throughout the span of an ideal cable, triangular and trapezoidal loads throughout the span, concentrated loads, including in their combination with a uniformly distributed load.

*stay cable, ideal cable, cable, rope, stay cable deformation, stay cable movement, stay cable deflection, stay cable structural design, loads on a stay cable*

## ВВЕДЕНИЕ

Изначально ванты (оттяжки) как конструктивные элементы применяли в корабельном деле для удержания мачт (рис. 1а). Оттяжки – это нити, растянутые только продольной силой  $N$ . Позднее их стали использовать в линиях связи и электропередачи (рис. 1б), контактных сетях трамвайных (рис. 1в) и троллейбусных (рис. 1г) линий, канатных дорогах (рис. 1д), висячих мостах (рис. 1е).

Ванты нашли широкое применение при строительстве зданий и сооружений с висячим покрытием (рис. 2а) и анкерными опорами (рис. 2б), также состоящими из оттяжек и опорных стоек. В отличие от оттяжек, висячие элементы меняют изначально заданные характеристики геометрической формы (пролет между опорами, стрелу провисания, высоту точек опорного закрепления) [1]. Их называют гибкими нитями, поскольку они принимают форму, определяемую действующими на них поперечными (вертикальными) нагрузками.



Рис. 1. Использование вант в виде оттяжек в разных сферах деятельности человека: а) парусное судно; б) высоковольтные линии электропередач; в) тросы контактной сети трамвайных линий; г) тросы контактной сети троллейбусных линий; д) канатная дорога; е) вантовый мост  
Fig. 1. The use of stay cables in the form of guys in different fields of human activity:  
a) sailing ship; b) high-voltage power lines;  
c) cables of a tram line catenary; d) cables of the trolleybus line catenary;  
e) aerial railway; e) cable-stayed bridge

По существу, гибкие нити представляют собой растянутые висячие элементы, изменяющие форму под действием собственного веса, веса плит покрытия, кровли, снеговой, ветровой и других видов нагрузки.

Покрытия большепролетных зданий с разнообразной архитектурной и конструктивной формой, перекрываемые гибкими нитями, принято называть вантовыми (висячими) (рис. 2а).

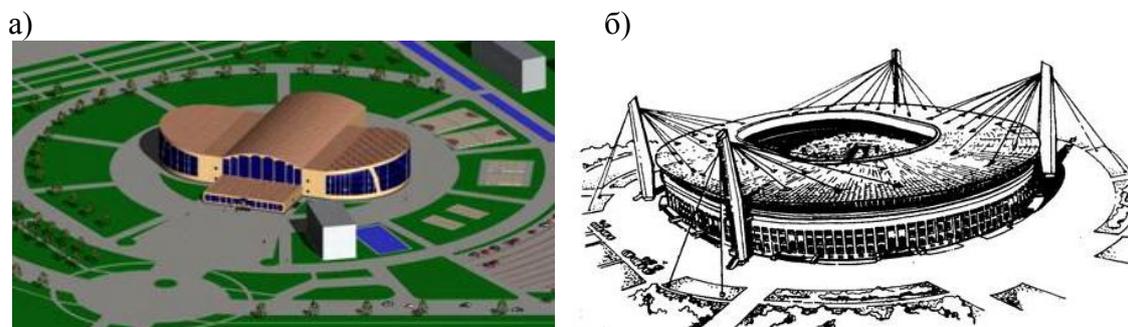


Рис. 2. Ванты в зданиях (сооружениях):

а) здание с цилиндро-плито-вантовым покрытием (безанкерные опоры);

б) покрытие сооружения, удерживаемое анкерными опорами

Fig. 2. Stay cables in buildings (facilities):

a) a building with a cylinder - slab - cable stayed floor (no anchor support);

b) coating structures held by anchor supports

Основными составляющими вантового покрытия являются растянутые элементы – ванты (стальные тросы, канаты и арматурные стержни) и сжато-растянутые конструкции наружных и внутренних опорных контуров разной формы. Широкое распространение в строительстве получили замкнутые и разомкнутые (рис. 2а) опорные контуры. Внешний опорный контур вантового покрытия образован, как правило, прямолинейной и криволинейной замкнутой или разомкнутой балками, работающими преимущественно на изгиб и сжатие. Материал внешнего опорного контура – сталь, бетон, а наиболее экономичный вариант – железобетон. Внутренний опорный контур, работающий преимущественно на растяжение, обычно выполняется из стали [2-5].

В настоящее время разнообразие применяемых вантовых систем не ограничено. В [6-12] подробно представлены примеры зданий и сооружений, выполненных с использованием вант и вантовых систем.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Гибкие нити (стальные тросы, канаты) – это растянутые элементы с большой деформацией, которые могут изменять свою начальную геометрически заданную форму в зависимости от вида внешней поперечной (вертикальной) и продольной (горизонтальной) нагрузок.

Для исследования деформаций (прогибов) от разных видов нагрузок прием гибкую нить (вант) пролетом  $L = 30$ (м) на опорах одинакового уровня, круглого сечения с радиусом  $R = 0,18$ (м) и стрелой провеса  $f = 1,5$  (м). Крепление гиб-

ких нитей – шарнирное. Материал гибкой нити – сталь с модулем упругости  $E = 1,47$  МПа (табл. Г.10 [13]) и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,3$  (табл. Г.10 [13]).

Рассмотрим расчетные схемы вант в виде изогнутой линии с нагрузками разного вида, начиная от линейных и заканчивая сосредоточенными (узловыми) силами. Линейная равномерно распределенная нагрузка: постоянная  $p = 1000$  (Н/м) и временная  $q = 1000$  (Н/м), линейная нагрузка в форме трапеции –  $4000 \dots 1000$  (Н/м), треугольная линейная нагрузка –  $2000 \dots 1000$  (Н/м), сосредоточенная сила  $P = 1000$  (Н). Расчеты выполнены с учетом геометрической нелинейности в программном комплексе (ПК) FEMAP with NX NASTRAN. Результаты расчетов приведены в таблице.

Сечение гибкой нити (ванта) подбирается исходя из силы натяжения  $T$  (Н), которая по правилу параллелограмма разделяется на вертикальную  $V$  (Н) и горизонтальную  $H$  (Н) составляющие. Заранее задается геометрическая форма ванта и рассчитывается нагрузка, действующая на растянутый элемент.

Предварительное напряжение и омоноличивание висячих конструкций покрытия выполняются путем укладывания на ванты железобетонных плит, которые в дальнейшем соединяются между собой и вантами сваркой. Затем на плиты покрытия устанавливают пригруз (балласт), больший по весу, чем проектная (постоянная и временная) нагрузка всего покрытия. Под общей нагрузкой ванты удлиняются и швы между плитами расширяются. После заливки швов цементным раствором и приобретения проектной прочности пригруз (балласт) последовательно снимается. Таким образом, отдельные растянутые элементы (ванты) превращаются в единое комплексное пространственное висячее покрытие, которое в дальнейшем начинает работать как монолитная оболочка. Созданное таким образом висячее монолитное покрытие равномерно распределяет нагрузки на ванты (гибкие нити) и тем самым уменьшает упругие прогибы вант и всего покрытия.

Собственный вес гибкой нити (схема № 1, рис. 3) равномерно распределяется по ее длине. В расчете приняты следующие геометрические параметры ванта: пролет  $L$  (м), стрела провеса  $f$  (м), высота опор  $h$  (м). Прогиб нити напоминает изогнутое очертание, в середине пролета  $\Delta f = -0,0062$  (м), по краям  $\Delta f = 0$ .

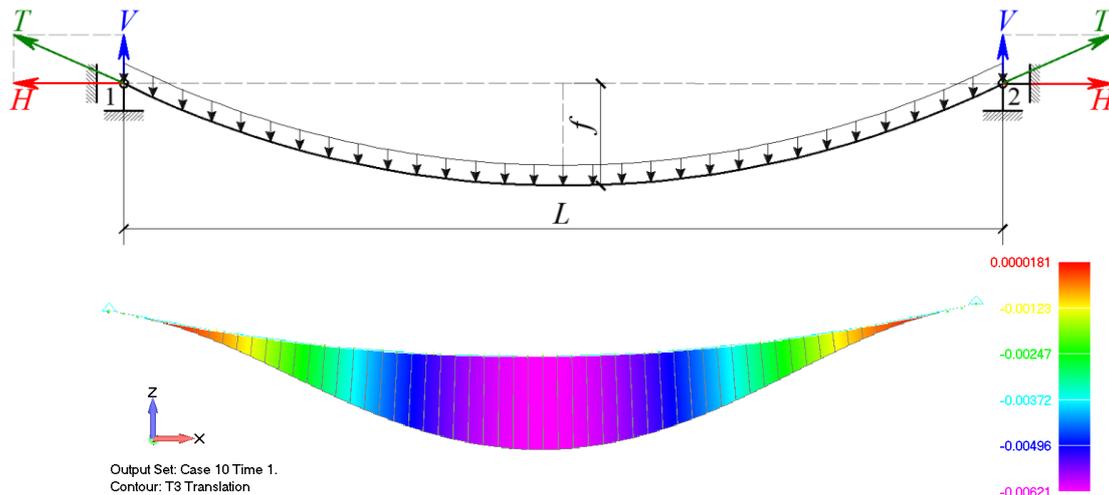


Рис. 3. Схема № 1. Нагрузка от собственного веса гибкой нити  
 Fig. 3. Scheme number 1. Load from an ideal cable weight

Линейная равномерно распределенная нагрузка в вантовой системе или в покрытиях зданий (сооружений) (схема № 2, рис. 4) применяется, как правило, при параллельном расположении вант с равным шагом  $s$  (м). При расчете гибкой нити в вантовом покрытии большепролетного здания (сооружения) данная нагрузка определяется путем умножения поверхностной нагрузки от покрытия на шаг  $s$  (м) гибкой нити (ванта).

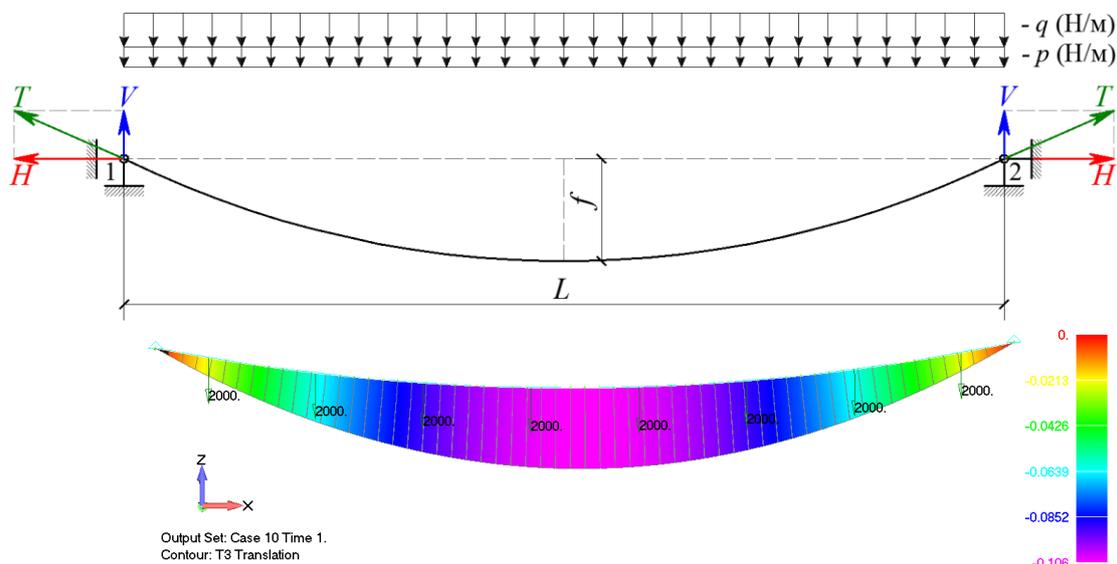


Рис. 4. Схема № 2. Линейная равномерно распределенная нагрузка: постоянная  $p=1000$ (Н/м) и временная  $q=1000$ (Н/м) нагрузки, расположенные по всему пролету гибкой нити

Fig. 4. Scheme № 2. Linear uniformly distributed load: constant  $p = 1000$ (N/m) and temporary  $q = 1000$ (N/m) loads located along the entire span of the ideal cable

Прогиб гибкой нити напоминает квадратную параболу, т. е. в срединной части составляет  $\Delta f = -0,106$ (м), а по краям нити отсутствует. Таким образом, упругое удлинение нити возникает за счет равномерно распределенной нагрузки по всему пролету растянутого элемента.

В схеме № 3 (рис. 5) представлена линейная равномерно распределенная постоянная нагрузка  $p=1000$  (Н/м). Половина пролета ( $1/2L$ ) нити загружена временной нагрузкой  $q=1000$  (Н/м). При объединении двух нагрузок образуется неравномерно распределенная нагрузка, её применяют в вантовых системах или в большепролетных висячих покрытиях с параллельным расположением вант. В качестве временной принимают снеговую нагрузку, а именно снеговые «мешки» от каких-либо возвышенностей (опора, парапет, стена от соседнего здания), уровень которых выше отметки кровли вантового покрытия.

Максимальная величина нагрузки в правой части пролета гибкой нити изгибает ( $\Delta f = -0,175$ м) ее таким образом, что левая часть нити при натяжении приподнимается ( $\Delta f = +0,0859$ м) по сравнению с ее первоначальным изогнутым очертанием.

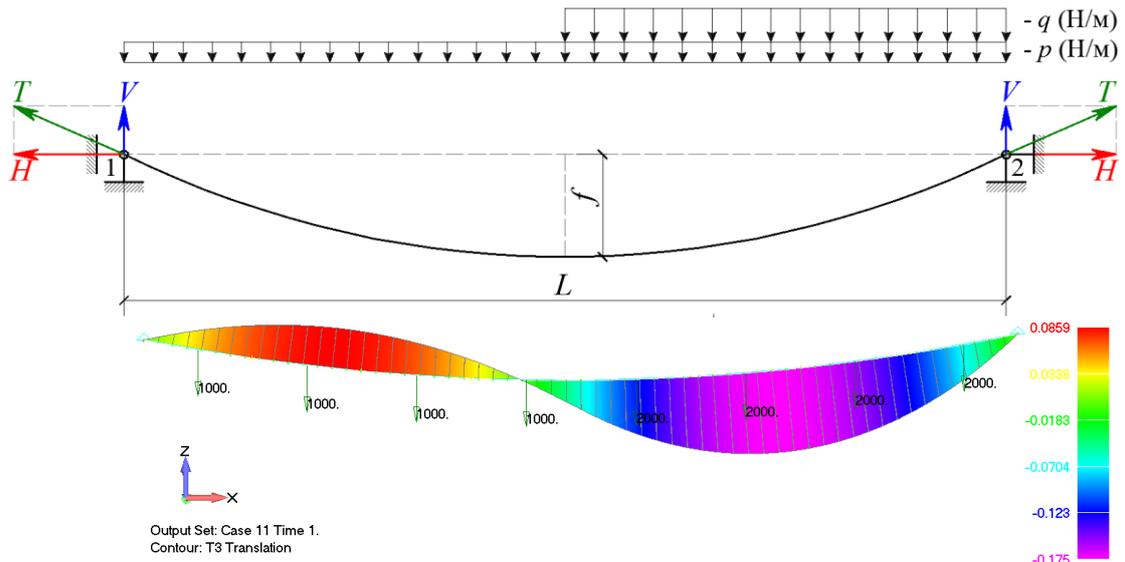


Рис. 5. Схема № 3. Линейная неравномерно распределенная нагрузка: постоянная нагрузка  $p=1000$ (Н/м) приложена по всему пролету гибкой нити и временная  $q=1000$ (Н/м) – на  $(1/2)L$  пролета гибкой нити  
 Fig. 5. Scheme № 3. Linear uneven distributed load: constant load  $p = 1000$  (N/m) is applied along the entire span of the ideal cable and temporary  $q = 1000$  (N/m) - per  $(1/2)L$  span of the ideal cable

В качестве треугольной (схема № 4, рис. 6) принимают снеговую нагрузку, которая представляет собой снеговой «мешок» в срединной части пролета гибкой нити (ванта).

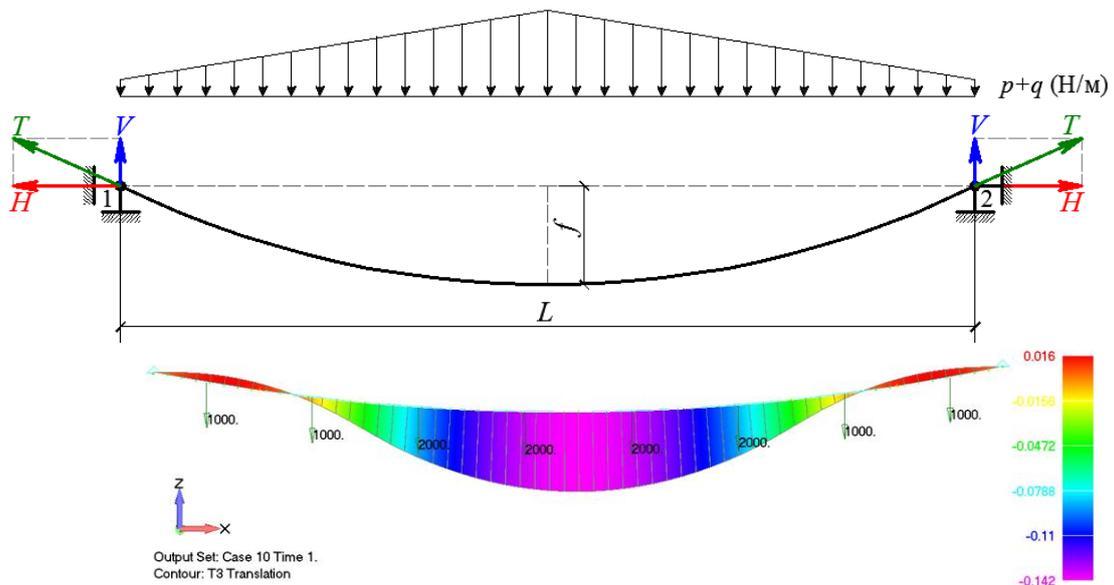


Рис. 6. Схема № 4. Треугольная нагрузка приложена по всему пролету гибкой нити  
 Fig. 6. Scheme № 4. A triangular load is applied along the entire span of the ideal cable

Общее очертание деформации гибкой нити похоже на параболу (см. схему № 1, рис. 3). Однако за счет увеличения нагрузки в середине пролета происходит максимальное удлинение (прогиб) нити  $\Delta f = -0,142$  (м) таким образом, что опорная часть натягивается и немного приподнимается –  $\Delta f = +0,016$  (м).

Линейная нагрузка в виде трапеции (см. схему № 5, рис. 7) наиболее актуальна для вантового покрытия большепролетного здания с радиальным расположением вант. Поверхностная нагрузка  $g$  (Н/м<sup>2</sup>) от плит покрытия ( $g_n$ ) и состава кровли ( $g_{кр}$ ) будет преобразована в линейную  $q$  (Н/м) путем умножения поверхностной нагрузки на промежуточные расстояния  $s_i$  (м) между радиально расположенными в плане вантами (рис. 8).

$$q = [g_n + (g_{кр} + p) \cdot \gamma_f] \cdot s_i \quad (1)$$

где  $g_n$  – поверхностная нагрузка от массы сборных или монолитных железобетонных плит покрытий, Н/м<sup>2</sup>;  $g_{кр}$  – поверхностная нагрузка от массы кровли, Н/м<sup>2</sup>;  $p$  – поверхностная снеговая нагрузка, Н/м<sup>2</sup>;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке (табл. 7.1 [14]);  $s_i$  – шаг вант в покрытии, м (рис.8).

Таким образом, величина линейной нагрузки будет уменьшаться от наружного опорного контура (опора 1) к внутренней опоре (опора 2).

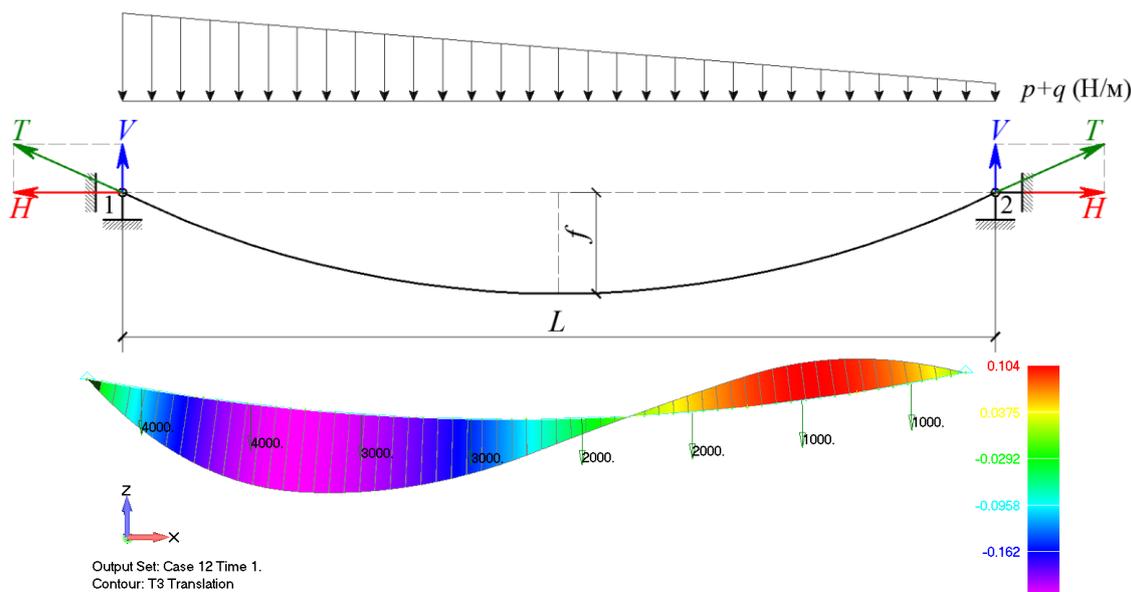


Рис. 7. Схема № 5. Линейная нагрузка в виде трапеции приложена по пролету гибкой нити

Fig. 7. Scheme number 5. Linear load in the form of a trapezoid applied on the span of the ideal cable

Прогибы гибкой нити от линейной нагрузки в виде трапеции (рис. 7) и равномерно распределенной (см. схему № 3, рис. 5) нагрузки похожи, только максимальная нагрузка расположена слева, а минимальная – справа, следовательно, и результаты расчета прогиба аналогичны: слева прогиб  $\Delta f = -0,229$  (м), а справа –  $\Delta f = +0,104$  (м).

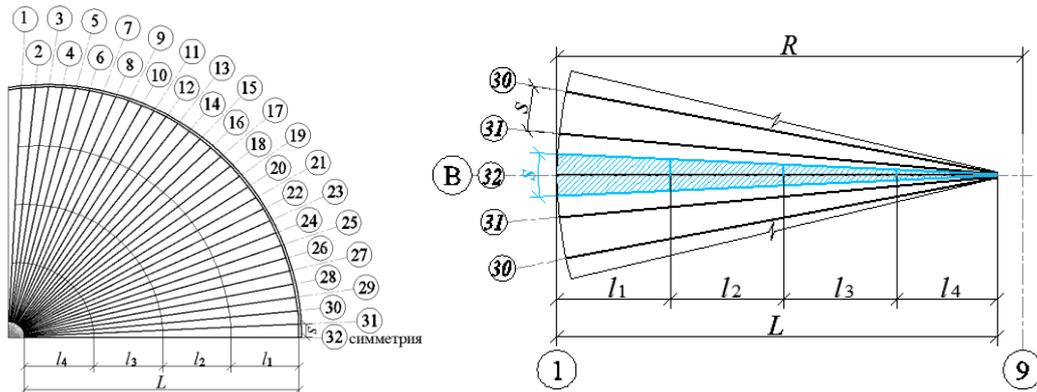


Рис. 8. Схема радиального расположения вант  
 Fig. 8. Scheme of the radial arrangement of the stay cables

В схеме № 6 (рис. 9) в середине пролета вант (гибкой нити) приложена сосредоточенная (узловая) нагрузка  $P=1000$  (Н).

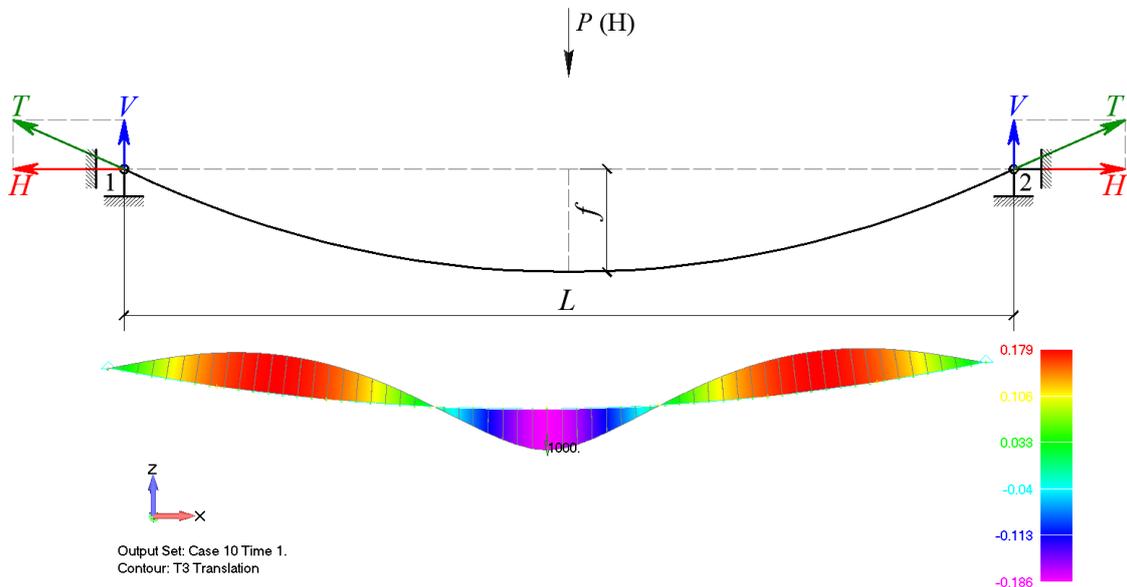


Рис. 9. Схема № 6. Сосредоточенная (узловая) нагрузка  $P=1000$  (Н) приложена в центре пролета гибкой нити

Fig. 9. Scheme № 6. The concentrated (nodal) load  $P = 1000$  (N) is applied in the center of the span of the ideal cable

При действии сосредоточенной (узловой) силы (схема № 6, рис. 9) нить получает значительные отклонения от первоначальной ее изогнутой формы. Величина прогиба в центральной части вант составляет  $\Delta f = -0,186$  (м), а на приопорных участках  $\Delta f = +0,179$  (м), судя по результатам расчета, значения прогибов практически равны.

Если такую же сосредоточенную силу  $P=1000$  (Н) приложить к гибкой нити, предварительно загруженной равномерно распределенной нагрузкой (схема № 7, рис. 10), то отклонение от первоначальной изогнутой формы уменьшится до  $\Delta f = -0,081$  (м), так как нить под действием нагрузки принимает форму веревочной кривой.

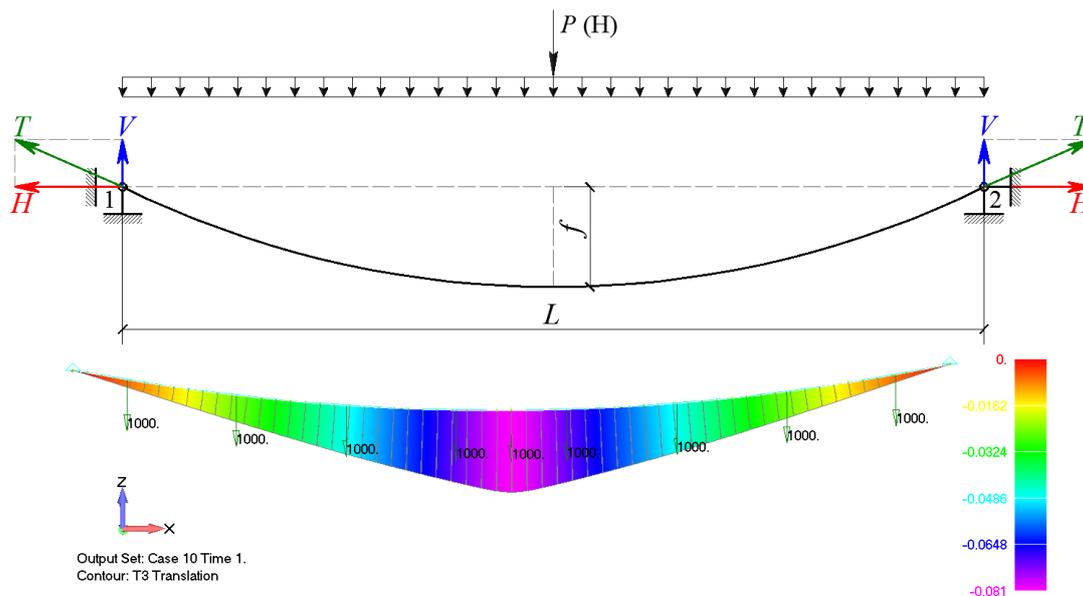


Рис. 10. Схема № 7. Равномерно распределенная нагрузка по всему пролету гибкой нити совместно с сосредоточенной (узловой) силой  $P$  в его центре  
 Fig. 10. Scheme № 7. Uniformly distributed load throughout the span of the ideal cable together with a concentrated (nodal) load  $P$  in the center

Если одна из нагрузок преобладает, то отклонение от первоначальной формы при действии других нагрузок будет незначительным. Таким образом, уменьшить прогиб можно, увеличив постоянную нагрузку, например, собственный вес нити или состав кровли и т.д. Если сместить сосредоточенную (узловую) нагрузку  $P=1000$ (Н), то значения максимальных прогибов составят  $\Delta f=-0,19$  (м) и  $\Delta f=+0,166$  (м) с учетом измененной ее формы.

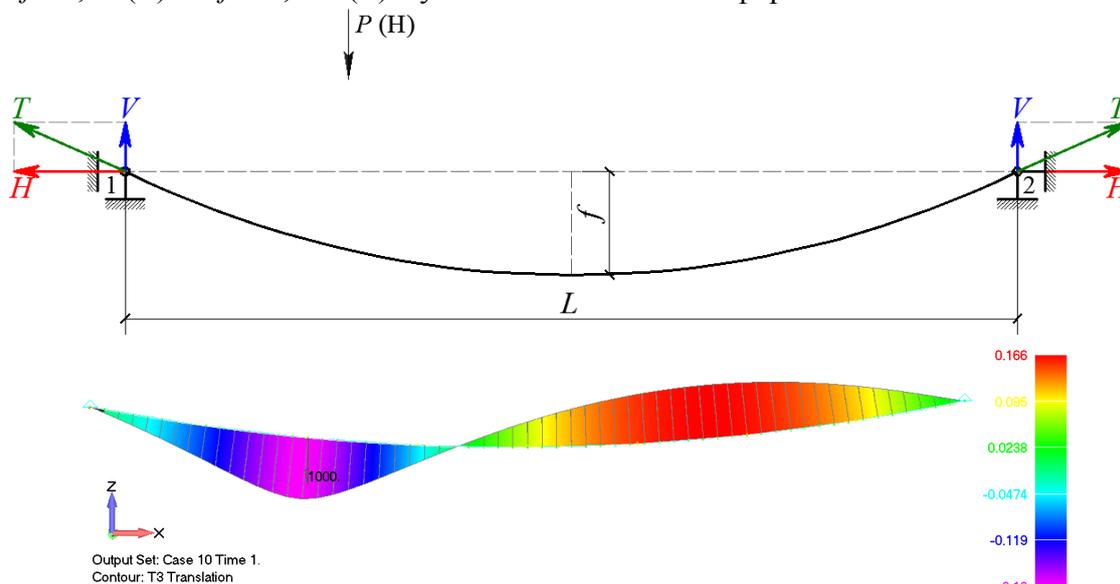


Рис. 11. Схема № 8. Сосредоточенная (узловая) нагрузка  $P=1000$ (Н) приложена к  $1/4 L$  пролета гибкой нити  
 Fig. 11. Scheme № 8. Concentrated (nodal) load  $P = 1000$  (N) applied to  $1/4 L$  span of the ideal cable

На схеме № 9 (рис. 12) показаны расчетная схема гибкой нити и результат расчета прогибов  $\Delta f = -0,0584(\text{м})$  и  $\Delta f = +0,0806(\text{м})$  согласно приложенным нагрузкам с учетом собственного веса.

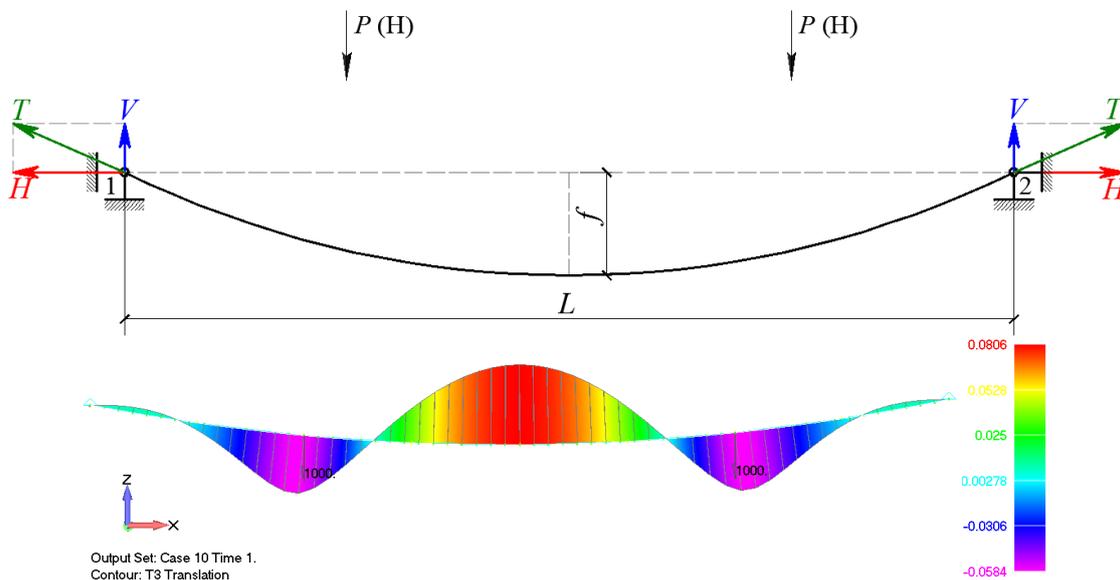


Рис. 12. Схема № 9. Две сосредоточенные (узловые) нагрузки  $P = 1000(\text{Н})$  приложены к  $1/4L$  пролета гибкой нити

Fig. 12. Scheme No. 9. Two lumped (nodal) loads  $P = 1000(\text{N})$  are applied to  $1/4L$  span of the ideal cable

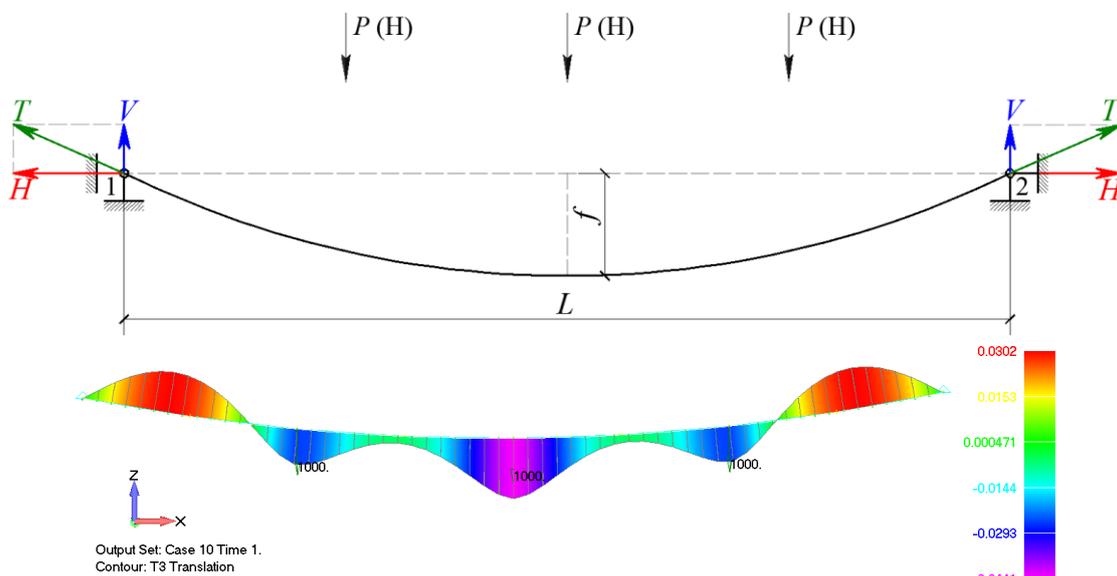


Рис. 13. Схема № 10. Три сосредоточенные (узловые) нагрузки  $P=1000(\text{Н})$  приложены в центре и к пролету гибкой нити

Fig. 13. Scheme № 10. Three concentrated (nodal) loads  $P = 1000(\text{N})$  are applied in the center and the span of the ideal cable

Прогиб от трех одинаковых сосредоточенных нагрузок  $P=1000(\text{Н})$  и собственного веса гибкой нити представляет собой волну. Численные результаты прогибов  $\Delta f=-0,0441$  (м) и  $\Delta f=+0,0302$  (м) различаются ненамного (32 %) и для сравнения приведены в таблице.

Таблица. Численные результаты расчета гибкой нити  
Table. Numerical results of the calculation of an ideal cable

Номер схемы	Наименование схемы	Максимальные прогибы $\Delta f$ (м)	
		срединная часть	опорная часть
1	Нагрузка от собственного веса	-0,0062	+0,0000181
2	Линейная равномерно распределенная нагрузка: постоянная $p=1000$ Н/м и временная $q=1000$ Н/м нагрузки, приложенные по всему пролету гибкой нити	-0,1060	0,0000
3	Линейная неравномерно распределенная нагрузка: постоянная нагрузка $p=1000(\text{Н/м})$ приложена по всему пролету гибкой нити и временная $q=1000(\text{Н/м})$ – на $(1/2)L$ пролета гибкой нити	-0,1750	+0,0859
4	Треугольная нагрузка приложена по всему пролету гибкой нити	-0,1420	+0,0160
5	Линейная нагрузка в виде трапеции приложена по пролету гибкой нити	-0,2290	+0,1040
6	Сосредоточенная (узловая) нагрузка $P=1000(\text{Н})$ приложена в середине пролета гибкой нити	-0,1860	+0,1790
7	Равномерно распределенная нагрузка приложена по всему пролету гибкой нити совместно с сосредоточенной (узловой) силой $P=1000(\text{Н})$ в его центре	-0,0810	0,0000
8	Сосредоточенная (узловая) нагрузка $P=1000(\text{Н})$ приложена к $1/4L$ пролета гибкой нити	-0,1900	+0,1660
9	Две сосредоточенные (узловые) нагрузки $P=1000(\text{Н})$ приложены к $1/4L$ пролета гибкой нити	-0,0584	+0,0806
10	Три сосредоточенные (узловые) нагрузки $P=1000(\text{Н})$ приложены в центре и к пролету гибкой нити	-0,0441	+0,0302

Проанализировав численные результаты расчетов, можно сделать вывод о том, что вант, загруженный равномерно распределенной нагрузкой или нагрузкой, приложенной в середине пролета, имеет меньшее упругое удлинение, чем вант,

загруженный на приопорном участке. Например, сравним идентичные нагрузки, схожие по числовым значениям, но разные по месту приложения к несущему висячему элементу. При линейной неравномерно распределенной приопорной нагрузке (схема № 3, рис. 5) максимальные прогибы составили  $\Delta f = -0,175(\text{м})$  и  $\Delta f = +0,0859(\text{м})$ , а при треугольной нагрузке (схема № 4, рис. 6), приложенной в середине пролета, –  $\Delta f = -0,1420(\text{м})$  и  $\Delta f = +0,0160(\text{м})$ . Для сосредоточенных (узловых) сил аналогично. Это объясняется тем, что стрела провеса и расстояние между опорами определяют длину нити, которая деформируется и удлиняется под нагрузкой. Таким образом, вант свободно принимает любую форму от действующей на него нагрузки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вант (гибкая нить) – это несущий линейный элемент (стальной канат, трос, проволока и стержневая арматура), работающий на растяжение. Ванты нашли широкое применение в технике, в частности в кораблестроении, мостостроении, при создании высоковольтных линий электропередач, а также в покрытиях общественных и производственных большепролетных зданий и сооружений разного назначения с многообразной архитектурной и конструктивной формой. Основным достоинством ванта является эффективное включение в работу всей площади поперечного сечения стального каната и способность сохранять прочность при действии значительных внешних нагрузок. Выбор оптимальных характеристик вант при различных архитектурно-конструктивных решениях зданий обеспечивает существенную экономию материала конструкции. Недостатком ванта является большая деформация и существенное изменение формы от действующей на него нагрузки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кужахметова, Э. Р. Сравнительный анализ работы вант с разной геометрической характеристикой при вертикальном нагружении / Э. Р. Кужахметова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 45. – С. 235–244.
2. Кужахметова, Э. Р. Методика прочностного расчета комбинированной цилиндрично-плиточно-вантовой конструкции покрытия большепролетного здания / Э. Р. Кужахметова // Международная научная конференция профессорско-преподавательского состава АГТУ (57 ППС). – Астрахань, 2013.
3. Кужахметова, Э. Р. Определение прочности, устойчивости и колебаний здания с комплексным цилиндрично-плиточно-вантовым покрытием / Э. Р. Кужахметова // Международная научная конференция научно-педагогических работников АГТУ (58 НПП). – Астрахань, 2014.
4. Кужахметова, Э. Р. Конструирование и расчет цилиндрично-плиточно-вантового покрытия / Э. Р. Кужахметова // Международная научная конференция научно-педагогических работников АГТУ (59 НПП). – Астрахань, 2015.
5. Кужахметова, Э. Р. Особенности напряженно-деформированного состояния здания с цилиндрично-плиточно-вантовым покрытием / Э. Р. Кужахметова // Вест-

ник науки: сборник статей // Актуальные вопросы современной науки: XII Международ. науч.-практ. конф. – Томск, 2018. – С. 93–98.

6. Трущев, А. Г. Пространственные металлические конструкции: учеб. пособие для вузов / А. Г. Трущев. – Москва: Стройиздат, 1982. – 215 с.

7. Кирсанов, Н. М. Висячие и вантовые конструкции: учеб. пособие для вузов / Н. М. Кирсанов. – Москва: Стройиздат, 1981. – 158 с.

8. Дмитриев, Л. Г. Вантовые покрытия. Расчет и конструирование. – Изд. 2-е, перераб. и доп. / Л. Г. Дмитриев, А. В. Касилов. – Киев: Будівельник, 1974. – 272 с.

9. Кривошاپко, С. Н. Висячие тросовые конструкции и покрытия сооружений / С. Н. Кривошاپко // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 7 (34). – С. 51–70.

10. Кужахметова, Э. Р. Архитектурная выразительность и физиологическая целесообразность зданий с криволинейными поверхностями / Э. Р. Кужахметова, А. И. Сапожников // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – №11 (166). – С. 42 – 45.

11. Сапожников, А. И. Жизнь зданий в земной стихии / А. И. Сапожников. – Германия: LAP LAMBER Academic Publishing, 2014. – 60с.

12. Gehan, A. Hamdy, Emad A. El-Dardiry, Mohamed N. Fayed and Mohamed R. Konswoah. Optimum design of wide-span cable-stayed roof structures International journal of scientific & engineering research. 2018, V. 9, no. 5, pp. 1448–1459.

13. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81.

14. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.

## REFERENCES

1. Kuzhakhmetova E. R. Sravnitel'nyy analiz raboty vant s raznoy geometricheskoy kharakteristikoy pri vertikal'nom nagruzhении [Comparative analysis of the work of the stay cables with different geometric characteristics under vertical loading]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 45, pp. 235–244.

2. Kuzhakhmetova E. R. Metodika prochnostnogo rascheta kombinirovannoy tsilindro-plito-vantovoy konstruksii pokrytiya bol'sheproletnogo zdaniya [Methodology of the strength calculation of the combined cylinder-slab-cable structure of the large-span building covering the site]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava AGTU (57 PPS)*, Astrakhan, 2013.

3. Kuzhakhmetova E. R. Opredeleniye prochnosti, ustoychivosti i kolebaniy zdaniya s kompleksnym tsilindro-plito-vantovym pokrytiyem [Determination of strength, stability and vibrations of a building with a complex cylinder-slab-cable-stayed floor]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov AGTU (58 NPR)*, Astrakhan, 2014.

4. Kuzhakhmetova E. R. Konstruirovaniye i raschet tsilindro-plito-vantovogo pokrytiya [Design and calculation of a cylinder-slab-guyed coating]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov AGTU (59 NPR)*, Astrakhan, 2015.

5. Kuzhakhmetova E. R. Osobennosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zdaniya s tsilindro-plito-vantovym pokrytiyem [Features of the stress-strain state of a building with a cylinder-slab-guyed floor]. *Vestnik nauki. Sbornik statey po materialam XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye voprosy sovremennoy nauki»*, Tomsk, 2018, pp. 93-98.

6. Trushchev A. G. *Prostranstvennyye metallicheskiye konstruksii: ucheb. posobiye dlya vuzov* [Spatial metal structures: text book for universities]. Moscow, Stroiizdat, 1982, 215 p.

7. Kirsanov N. M. *Visyachiye i vantovyye konstruksii: ucheb. posobiye dlya vuzov* [Hanging and cable structures: text book for universities]. Moscow, Stroiizdat, 1981, 158 p.

8. Dmitriev L. G., Kasilov A. V. *Vantovyye pokrytiya. Raschet i konstruirovaniye. Izd. 2-ye, pererab. i dopoln.* [Guy covers. Calculation and design. Ed. 2nd, revised and enlarged]. Kiev, Budivel'nik, 1974, 272 p.

9. Krivoshapko S. N. Visyachiye trosovyye konstruksii i pokrytiya sooruzheniy [Hanging cable constructions and coatings of structures]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2015, no. 7 (34), pp. 51–70.

10. Kuzhakhmetova E. R., Sapozhnikov A. I. Arkhitekturnaya vyrazitel'nost' i fiziologicheskaya tselesoobraznost' zdaniy s krivolineynymi poverkhnostyami [Architectural expressiveness and physiological expediency of buildings with curvilinear surfaces]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*, 2012, no. 11 (166), pp. 42 – 45.

11. Sapozhnikov A. I. *Zhizn' zdaniy v zemnoy stikhi*. [The life of buildings in the earth element]. Germany, LAP LAMBER Academic Publishing, 2014, 60 p.

12. Gehan, A. Hamdy, Emad A. El-Dardiry, Mohamed N. Fayed and Mohamed R. Konswoah. Optimum design of wide-span cable-stayed roof structures International journal of scientific & engineering research. 2018, vol. 9, no. 5, pp. 1448–1459.

13. SP 16.13330.2011. Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-23-81 [Steel construction. Updated version of SNIIP II-23-81].

14. SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.01.07-85\* [Loads and impacts. Updated version of SNIIP 2.01.07-85\*].

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Кужахметова Эльвира Рафаэлевна* – Балтийский федеральный университет имени И. Канта; аспирант кафедры машиноведения и технических систем;  
E-mail: [elja\\_09@bk.ru](mailto:elja_09@bk.ru)

*Kuzhakhmetova Elvira Rafaelievna* – Immanuel Kant Baltic Federal University; Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems;  
E-mail: [elja\\_09@bk.ru](mailto:elja_09@bk.ru)

УДК 624.042: 629.5.024

КОНЦЕПЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА  
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОКОВЫМИ  
ОПЕРАЦИЯМИ

В. И. Сутырин

THE CONCEPT OF AN ENGINEERING ANALYSIS SUBSYSTEM  
FOR THE DOCK OPERATIONS MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM

V. I. Sutyurin

В статье рассматриваются базовые принципы построения и алгоритмические особенности информационной подсистемы инженерного анализа, предназначенной для принятия решений при управлении доковыми операциями. Объектом анализа служит механическая система, объединяющая конструкции корпуса судна и дока, взаимодействующие через доковые опорные устройства (ДОУ). С целью моделирования большой системы используется метод конечных элементов. Структуризация задачи выполняется путем построения (генерации) преобразованных расчетных схем (ПРС) взаимодействующих конструкций. При этом матрицы жесткости и нагрузки глобальной модели приводятся к отдельным узлам ее конечно-элементной сетки. Результат указанной операции отображает жесткостные свойства и нагрузки исключаемой части исходной системы большого порядка на сравнительно небольшие сохраняемые ее части, чем обеспечиваются необходимая точность и оперативность определения реакций системы на внешние воздействия.

*система «судно-опорные устройства-док», доковые операции, информационная система, инженерный анализ, управление, метод конечных элементов, метод структуризации*

The article discusses basic principles of construction and algorithmic features of the information subsystem of engineering analysis, designed for decision-making in the dock operations management. The object of the analysis is a mechanical system that combines the structure of the ship hull and the dock, interacting through the dock cribbing (DC). The finite element method is used to model a large system. Partitioning of the problem is performed by constructing (generating) of transformed structural designs (TSD) of the interacting structures. In this case, the stiffness and load matrices of the global model are reduced to individual nodes of its finite element grid. The result of these operations displays stiffness properties and loads of the excluded part of the original system of large order for its relatively small parts, which provides the necessary accuracy and efficiency of determining the reactions of the system to external influences.

*«ship-support devices-dock» system, dock operations, information system, engineering analysis, management, finite element method, partitioning method*

## ВВЕДЕНИЕ

Постановка судна в плавучий док предусматривает выполнение ряда ответственных технологических операций, требующих инженерного анализа и эффективного управления. Программный комплекс, обеспечивающий рекомендации для принятия решений при доковании судов, объединяет набор функциональных модулей (подсистем), интегрированных в бортовую информационную систему (ИС). В целях комплексной информационной поддержки инженерный анализ должен выполняться как на этапе технологической подготовки доковых операций, так и в процессе докования судна для того, чтобы предотвратить возможные опасные состояния взаимодействующих конструкций судна и дока.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Подсистема инженерного анализа включает два программных модуля (рис. 1).

1. *Модуль технологической подготовки* ориентирован на формирование и анализ пространственной (3-D) геометрической и конечно-элементной моделей системы «судно-док». Он позволяет производить необходимые проверочные расчеты и рекомендовать оптимальную схему докования. При помощи указанного модуля вычисляются характеристики плавучести и остойчивости судна, определяются реакции и оценивается прочность опорных устройств, а также прочность и устойчивость корпусных конструкций судна и дока при различных схемах балластировки. При этом учитывается ряд дополнительных условий и требований, связанных, например, с постановкой в док судна предельных размеров (в том числе со свесом оконечностей), одновременно двух судов, с наличием повреждений корпуса, с выполнением в процессе ремонта демонтажа обшивки и несущих связей ремонтируемого судна и др. Важной функцией модуля является предварительная подготовка преобразованных расчетных схем конструкций для их оперативного использования на этапе контроля докования. Преобразования выполняются с применением многопроцессорной вычислительной техники, обеспечивающей требуемую производительность многофакторного расчетного исследования дока, судна и опорных конструкций.

2. *Модуль контроля над выполнением доковых операций* использует результаты работы модуля 1 и преобразует потоки данных, поступающие от датчиков измерительной системы дока. Измеряются угловые и линейные перемещения конструкции дока, реакции в узлах опирания докуемого судна, а также уровни заполнения балластных цистерн, необходимые для определения внешней нагрузки. Результатом преобразований является динамичная картина изменения характеристик плавучести, остойчивости, НДС и коэффициентов запаса прочности (устойчивости) конструкций.

Модуль контроля функционирует непосредственно в составе бортовой ИС. Он используется для предупреждения оператора о возможном наступлении опасного (аварийного) состояния и определения оптимального технологического варианта его предотвращения. Поэтому важнейшие требования к построению и функционированию модуля связываются с адаптивностью, полнотой, достаточной точностью и высокой оперативностью инженерного анализа. Итогом работы по созданию информационной подсистемы должны стать наглядные и максимально

полные компьютерные отображения особенностей поведения и реакций конструкций в реальном режиме времени докования.

Для достижения обозначенной цели показатели эффективности метода конечных элементов (МКЭ), положенного в основу информационной подсистемы, должны быть увеличены на порядки. Получение желаемого результата в рамках традиционной расчетной схемы МКЭ оказывается весьма проблематичным вследствие исключительно большого порядка разрешающей системы уравнений. Для решения задач ИС необходимо максимально мобилизовать резервы эффективности вычислений МКЭ на основе многопроцессорной вычислительной техники. Предлагаемая автором методология построения подсистемы инженерного анализа предусматривает, с одной стороны, распараллеливание алгоритма решения системы разрешающих уравнений, а с другой, - максимально глубокую структуризацию расчетных моделей судна и дока. Достигаемые при этом показатели эффективности расчетного анализа конструкций оказываются достаточными для того, чтобы обеспечить информационные потребности бортовой ИС принятия решений с требуемой полнотой.



Рис. 1. Функциональное назначение модулей подсистемы инженерного анализа  
Fig. 1. Functional area of the engineering analysis subsystem modules

Структуризация задачи выполняется модулем 1 путем построения (генерации) преобразованных расчетных схем (ПРС) взаимодействующих конструкций [1, 2]. Идея заключается в том, чтобы предварительно привести жесткости и нагрузки глобальной модели (рассчитываемой системы «судно-док») к отдельным узлам ее конечно-элементной сетки. Результат указанной операции сводится к отображению жесткостных свойств и нагрузок исключаемой части исходной системы на сохраняемую (сравнительно небольшую) ее часть. Для максимального использования преимуществ подобного отображения предлагаются три подхода к инженерному анализу.

1-й (функциональный подход) состоит в объединении в рамках ПРС узлов приведения (расчетных узлов, далее РУ) определенного функционального назначения (ПРС I и II, таблица). РУ выбираются так, чтобы ввести в расчет равнодействующие гидростатических нагрузок, а также отследить с необходимой точностью реакции корпусов на доковые операции. Отображение жесткости и нагрузок конструкции (исключаемой из рассмотрения области  $\Omega$ ) на ее расчетные узлы (сохраняемой области  $\delta$ ) производится путем выполнения следующих вычислительных операций:

$$\|C_{\delta\delta} \{P_{\delta}\}\| = \|R_{\delta\delta} \{P'_{\delta}\}\| - \|R_{\delta\Omega}\| \|R_{\Omega\Omega}\|^{-1} \|R_{\Omega\delta} \{P_{\Omega}\}\|. \quad (1)$$

Подсистемы РУ выстраиваются в рамках пространственных моделей судна, дока, опорных устройств и стыкуются затем в общую разрешающую систему сравнительно небольшого порядка:

$$\|C_{\delta\delta}\| \{q_{\delta}\} = \{P_{\delta}\}. \quad (2)$$

Ее решение позволяет определить перемещения РУ. Обратное отображение найденных перемещений  $\delta$  на область  $\Omega$  выполняется на основе следующего матрично-векторного равенства:

$$\{q_{\Omega}\} = R_{\Omega\Omega}^{-1} P_{\Omega} - R_{\Omega\Omega}^{-1} R_{\Omega\delta} \{q_{\delta}\}. \quad (3)$$

Равенство (3) используется модулем 2 в случае, когда перемещения РУ определены средствами измерительной системы дока. От узловых перемещений  $\{q_{\delta}\}$  расчетной модели можно перейти к внутренним усилиям (напряжениям  $\{\sigma_{\Omega}\}$ ) в конечных элементах  $\Omega$ . Особенности подобного перехода известны [3].

2-й (объектно-ориентированный) подход обеспечивает сохранение в процессе редукции исходной (глобальной) системы густой конечно-элементной сетки локальных компонентов (конструктивных модулей) корпуса (ПРС III, таблица), что позволяет анализировать их вне (но с учетом влияния) глобальной системы. В этом случае предварительный расчет также выполняется с использованием равенств (1-3) с той лишь разницей, что он распространяется не к области РУ  $\delta$ , а к назначенной группе узлов локальной сетки КЭ (области  $\xi$ ). С ПРС конструкций связываются уточненные граничные условия для локализованных областей, методы их расчетного анализа (прочности, устойчивости, в том числе с учетом нелинейности работы материала), а также возможности параллельного (многопроцессорного) обслуживания запросов 1-го модуля ИС на построение ПРС.

3-й (функционально-объектный) подход к расчетному анализу предусматривает объединение (композицию) 1-го и 2-го подходов (ПРС IV, таблица). При его применении обеспечивается взаимосвязь построенных подструктур с последующим отображением обобщенной деформационной картины поведения взаимодействующих корпусов на локализованные фрагменты и изучение их реакций с необходимой степенью подробности. Подобное исследование может выполняться средствами бортовой вычислительной системы, поскольку оно не связано с необходимостью совокупного анализа исходных моделей взаимодействующих конструкций.

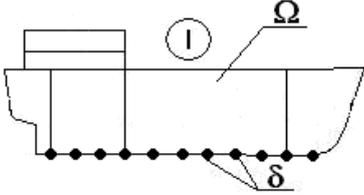
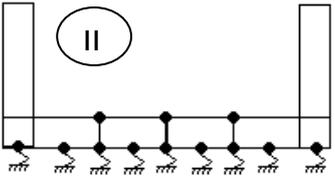
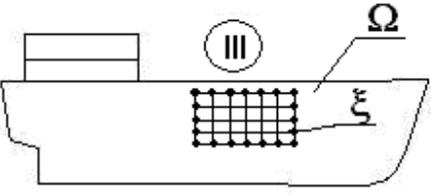
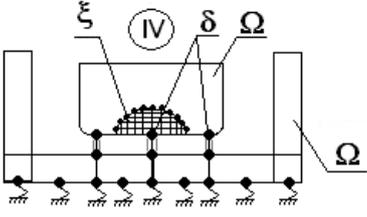
Функционально-объектный подход предусматривает возможность предварительного накопления в базе данных разнообразных подструктур с различными вариантами нагрузки. Формируемые подструктуры отслеживают взаимосвязи конструктивных элементов в системе, причинно-следственные влияния одних элементов (особенностей) на другие. С их помощью обеспечиваются простота описания, комплексность, оперативность и полнота анализа сложного объекта.

Если перемещения РУ кильблоков отслеживаются датчиками измерительной системы дока, то их показания преобразуются ИС сначала в опорные реакции (с этой целью обобщенная матрица жесткости РУ кильблоков умножается на вектор их относительных вертикальных перемещений), а затем, уже с использованием ПРС судна и дока, в требуемые характеристики НДС конструкций.

Таким образом, расчетная информация, вырабатываемая ИС, дополняет информацию, полученную от датчиков измерительной системы, что особенно важно в связи с множественностью вариантов докования и необходимостью прогнозирования последствий выполнения технологических операций.

Таблица. Типовые преобразованные схемы в системе «судно-ДОУ-док»

Table. Typical transformed circuits in the «ship-DC-dock» system

1. Функциональный подход к построению ПРС	
 <p>Подструктура расчетных узлов, назначенных в местах опирания корпуса на кильблоки (в РУ сохранены только вертикальные перемещения)</p>	 <p>Подструктура расчетных узлов конструкции дока, отслеживающая выталкивающие силы и реакции кильблоков (влияние жидкости обобщено в виде эквивалентных сосредоточенных жесткостей (либо сил) на смоченной поверхности корпусной конструкции)</p>
<p>2. Объектно-ориентированный подход к построению ПРС</p>	<p>3. Функционально-объектный подход к построению ПРС</p>
 <p>Подструктура произвольного конструктивного узла корпуса судна (дока) с обобщенными граничными условиями (жесткостями и нагрузками)</p>	 <p>Композиция РУ в системе «судно-ДОУ-док» с густой локальной сеткой для оценки влияния реакций опирания на НДС конструкций</p>

В качестве примера на рис. 2 иллюстрируется каскад ПРС, позволивший осуществить эффективный расчетный контроль состояния корпусных конструкций судна и составного дока в процессе выполнения всего комплекса доковых операций [4, 5].

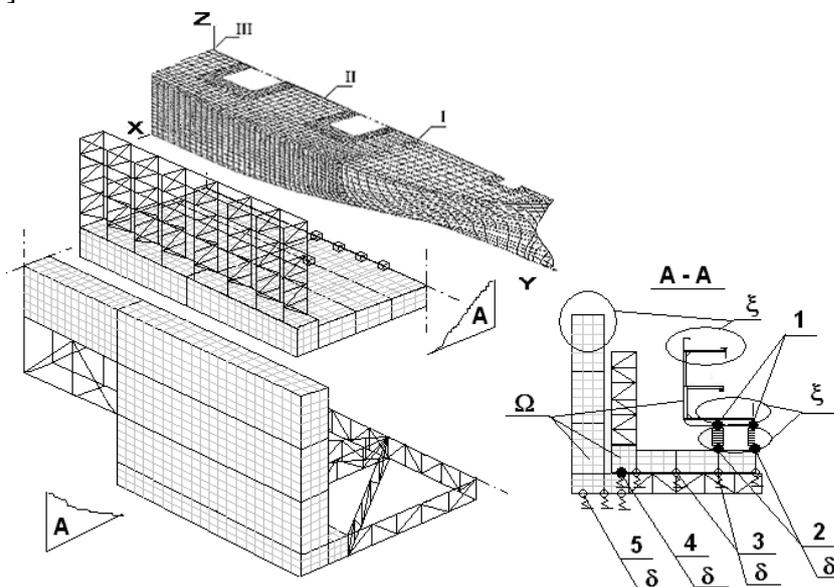


Рис. 2. Каскадное преобразование расчетных схем в системе «судно-ДОУ-док»: 1, 2 - расчетные узлы ДОУ; 3, 5- расчетные узлы, назначенные в местах приложения сил поддержания док-понтон и док-матки; 4 - расчетные узлы в местах контактного взаимодействия дока и док-матки  
 Fig. 2. Cascade conversion of design schemes in the «ship-DC-dock» system: 1, 2 - DC calculated nodes; 3, 5 - calculated nodes assigned in the places of application of forces of maintenance of dock -pontoon and base dock; 4 - calculated nodes at the points of contact between the dock-pontoon and the base dock

Анализ осложнялся коррозионным износом обшивки корпуса дока, предопределившим отказ от симметрии его расчетной модели и более тщательный, чем обычно, контроль напряженно- деформированного состояния. Преобразованные расчетные схемы дока учитывали остаточные толщины конструкции, содержащиеся в актах дефектации, и объединяли для оперативного контроля дополнительные области возможных концентраций напряжений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа показали, что использование целесообразных преобразований расчетных схем расширяет возможности существующих бортовых ИС по контролю и управлению доковыми операциями

Технология докования предполагает соблюдение ряда нормативных требований по плавучести и остойчивости судна. Для выработки решений в процессе докования требуется проведение интерактивного анализа характеристик плавучести и остойчивости как судна, так и всей системы «судно-ДОУ-док». Указанный анализ необходимо осуществлять параллельно и во взаимосвязи с анализом жесткости, прочности и устойчивости конструкций. Необходимость подобного подхода

да наглядно проявляется в случаях износов и повреждений корпуса судна, неблагоприятных погодных условий, а также при доковании транспортных судов без груза, имеющих, как правило, существенный дифферент на корму.

Объединение указанных видов анализа в составе двух функциональных модулей становится возможным на основе пространственного (3-D) моделирования системы. При этом междисциплинарный анализ может выполняться в рамках пошагово-итерационных вычислительных процедур, в которых связующими и взаимозависимыми данными являются жесткость и масса системы, топология (пространственное положение элементов), а также статические и динамические нагрузки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сапожников, А. И. Исходные и преобразованные схемы в практике расчета сложных пространственных конструкций / А. И. Сапожников, С. Ф. Горелов, В. И. Сутырин // Прочность и надежность судов внутреннего и смешанного плавания (шестые «БУБНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ»): науч.-техн. конф.: тез. докл. – Горький, 1982. - С. 29-30.

2. Сутырин, В. И. Методология конечно-элементного расчетного анализа судовых корпусных конструкций при их проектировании / В. И. Сутырин // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2010. - № 2(81). - С. 171-178.

3. Зенкевич, О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. - Москва: Мир, 1975. - 340 с.

4. Сутырин, В. И. Проектирование доковых опорных устройств с применением методов конденсации / В. И. Сутырин // Судостроение. - 1989. - № 10. - С. 40-44.

5. Сутырин, В. И. Возможности повышения эффективности метода конечных элементов при проектировании корпусных конструкций / В. И. Сутырин // Судостроение. - 2003. - № 6. - С. 9-13

#### REFERENCES

1. Sapozhnikov A. I. Gorelov S. F., Sutyurin V. I. *Iskhodnye i preobrazovannyye skhemy v praktike rascheta slozhnykh prostranstvennykh konstruktsiy* [Original and transformed designs in calculating complex spatial structures]. Tez. dokl. k NTK «Prochnost' i nadezhnost' sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya» (shestye «Bubnovskie chteniya») [Abstracts to the Scientific and Technical Conference “Strength and reliability of vessels of internal and mixed navigation” (sixth “Bubnov readings”)]. Gorky, 1982, pp. 29-30.

2. Sutyurin V. I. *Metodologiya konechno-elementnogo raschetnogo analiza sudovykh korpusnykh konstruktsiy pri ikh proektirovani* [Methodology of the finite element analysis of ship hull structures during their design]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R. E. Alekseeva* [Proc. of Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev]. Nizhnyy Novgorod, 2010, no. 2 (81), pp. 171-178.

3. Zenkevich O. K. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [Finite element method in engineering]. Moscow, Mir Publ., 1975, 340 p.

4. Sutyurin V. I. Proektirovanie dokovykh opornykh ustroystv s primeneniem metodov kondensacii [Designing dock cribbing using condensation methods]. *Sudostroenie*, 1989, no. 10, pp. 40-44.

5. Sutyurin V. I. Vozmozhnosti povysheniya effektivnosti metoda konechnykh elementov pri proektirovanii korpusnykh konstrukciy [Possibilities of increasing the efficiency of the finite element method in the design of hull structures]. *Sudostroenie*, 2003, no. 6, pp. 9-13.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*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 Valerii Igorevich* – Emmanuel 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.

УДК 624.042: 629.5.024

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В. И. Сутырин, И. А. Шинкаренко, Э. Р. Кужахметова

A TEST STAND FOR DETERMINING THE DAMPING PROPERTIES  
OF CONSTRUCTION ELEMENTS AND MATERIALS

V. I. Sutyryn, I. A. Shinkarenko, E. R. Kuzhakhmetova

Предлагается конструкция экспериментальной установки для определения коэффициента демпфирования сыпучих материалов и жидкостей. Необходимость в подобных исследованиях возникает, например, в судостроении при проектировании корпусов судов с учетом вибрации, имеющих герметичные отсеки (балластные, грузовые и др., предназначенные для хранения запасов питьевой воды, топлива, смазочных материалов), заполняемые жидкостью. В области строительства зданий и сооружений используются характеристики демпфирования грунта, устанавливаемые только экспериментально. Предложенный способ относится к применяемым в вибрационно-измерительной технике и служит для определения коэффициента демпфирования сыпучих материалов, а также жидкостей, находящихся в замкнутом объеме (емкости). Способ теоретически основан на резонансном методе измерения коэффициента демпфирования, который широко используется для вычисления параметров вибродемпфирующих покрытий.

*вибрация, амортизация, демпфирование колебаний, резонанс, частотный анализ, виброизоляция, судно*

The paper presents of a test stand for determining the damping coefficient of bulk materials and liquid. The need for such studies arises, for example, in shipbuilding when designing ship hulls, with allowances made for vibration, having sealed compartments (ballast, cargo, and others intended for storing supplies of drinking water, fuel, lubricants) filled with liquid. Only those characteristics of soil damping that have been determined experimentally are used in design of buildings and structures. The proposed method relates to vibration-measuring equipment, in particular to methods for determining the damping coefficient of bulk materials, as well as liquids in an enclosed volume (capacity). The method is theoretically based on the resonant method of measuring the damping coefficient, which is widely used to determine the parameters of vibration-damping coatings.

*vibration, absorbtion, vibration damping, resonance, frequency analysis, vibration isolation, vessel*

## ВВЕДЕНИЕ

В области строительного производства актуальной задачей является определение коэффициентов демпфирования различных видов грунтового основания проектируемых зданий, имеющих, например, свайный фундамент и подверженных действию нагрузок, меняющихся во времени (моторная вибрация, сейсмические и ветровые нагрузки). Характеристики демпфирования важны для практики проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений (например, свай, находящихся в грунтовом основании), а также сыпучих грузов и жидкостей в замкнутом объеме (трюмах, отсеках, танках судов различного назначения). Если для применяемых в судостроении вибродемпфирующих материалов методика определения коэффициента демпфирования разработана и реализована на практике, то для сыпучих, которые используются значительно реже, таких методов, технически реализованных, не предложено.

## ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Известно, что диссипативные (демпфирующие) свойства вибрирующих объектов в наиболее явном виде фиксируются на резонансных режимах колебаний, когда искусственно создаются условия, при которых частоты собственных колебаний совпадают с частотами вынуждающих внешних сил (явление резонанса). Соответствующий метод получил название резонансного (далее РМ). Согласно РМ колебания испытуемого объекта возбуждаются гармонической силой (или моментом), например, с помощью вибратора. При этом посредством измерительной системы экспериментально определяются амплитуды колебаний объекта в зависимости от частоты и строятся амплитудно-частотные характеристики (резонансные кривые). Искомые собственные частоты, формы колебаний и коэффициенты демпфирования рассчитываются по резонансным пикам амплитудных характеристик (рис. 1) согласно следующей зависимости:

$$\xi = (\omega_2 - \omega_1) / 2\omega_{\text{рез}}, \quad (1)$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , – частоты колебаний, соответствующие точкам  $a$  и  $b$  пересечения  $i$ -го резонансного пика прямой, проведенной параллельно оси абсцисс на расстоянии, равном высоте пика  $A_i = A_{\text{max}}$ , деленной на  $(2)^{1/2}$ , т. е.  $A_0 = A_{\text{max}} / \sqrt{2}$ ;  $\omega_{\text{рез}}$  – резонансная частота или абсцисса амплитудного пика [1].

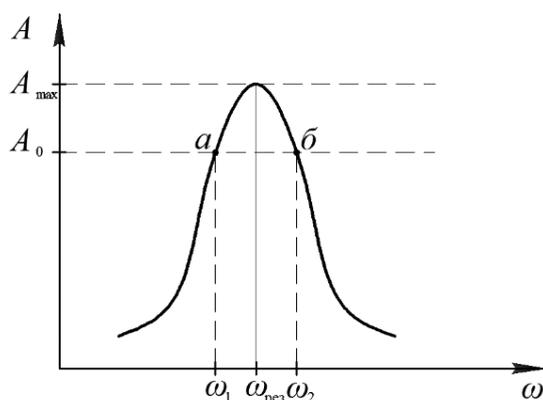


Рис. 3. Определение коэффициента демпфирования по резонансной кривой  
Fig. 1. Determination of damping coefficient by resonance curve

Известны многочисленные способы практической реализации резонансного метода. В качестве примера можно привести способ, согласно которому конструкция сваи, погружаемой в грунт путем забивки и используемой для моделирования условий и определения характеристик демпфирования при колебаниях в грунтовом массиве, снабжается резонатором [2]. В указанном техническом решении коэффициент демпфирования сваи грунтом находят в условиях втягивания модельной сваи в вынужденную резонансную вибрацию через вибрирующий грунт. В результате инструментальной фиксации характеристик вибрации появляется возможность определения зависимости коэффициента демпфирования  $\beta$  сваи от ряда характеристик грунта и воздействия внешней среды. Однако недостаток указанного способа применительно к рассматриваемой задаче заключается в выявлении демпфирующих характеристик грунта в условиях сложного напряженного состояния, что затрудняет их пересчет на реальные натурные условия. Кроме того, указанное техническое решение не может использоваться для определения коэффициента демпфирования жидких сред.

Наиболее близким к предлагаемому является способ, согласно которому, с целью снижения амплитудных значений вынужденных колебаний основания машин и оборудования, в системе их амортизации создаются два каскада амортизаторов. Между ними помещается герметичная емкость, выступающая в качестве амортизирующего объекта вследствие значительных диссипативных и амортизирующих свойств залитой в нее жидкости. Указанный способ обоснован в изобретении [3], однако применяется для снижения уровней вибрации судовых машин, механизмов и оборудования. В этом смысле эффект от использования указанной конструкции прямо противоположен целевым установкам предлагаемого изобретения.

Основной целью предложенного способа является, наоборот, создание резонансных режимов и определение демпфирующих характеристик жидкости и сыпучих материалов, необходимых для выполнения проектных расчетов судовых и строительных конструкций с учетом динамических нагрузок.

Поставленная цель достигается тем, что испытываемое вещество (грунт, жидкость) помещают в герметизированную емкость (например, в металлический ящик), которую затем размещают в составе колебательной амортизирующей системы между первым и вторым рядами амортизаторов, задающих, соответственно, низшую  $\omega_{\min}$  и высшую  $\omega_{\max}$  резонансные частоты диапазона колебаний емкости. Возбуждение колебаний в системе осуществляется линейным гармоническим вибратором, например электродвигателем с эксцентриком. Колебания фиксируются датчиком колебаний (ускорения, амплитуды), смонтированным на крышке емкости.

Для уточненного определения зависимости коэффициента демпфирования от частоты колебаний на емкость устанавливаются (жестко крепятся к ней) боковые ребра-резонаторы с перемещаемыми по ним грузами. Положение груза на резонаторе задает промежуточную резонансную частоту колебаний испытываемого вещества.

Способ определения демпфирующих характеристик жидкостей и сыпучих материалов осуществляют следующим образом (рис. 2 – 4). Металлический ящик (емкость) 1 заполняется испытываемым веществом, герметизируется крышкой 4 и

устанавливается в систему амортизации, опирающуюся на основание (стол) 13 между амортизаторами нижнего ряда 14 и верхнего ряда 15, на которых закрепляется платформа 17 с вибратором 16. Возбуждая гармоническую вибрацию и меняя частоту, строят резонансные кривые ящика 1 с резонансными частотами, определяемыми жесткостями амортизаторов первого 14 и второго 15 каскадов.

Построение указанных кривых позволяет определить коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  в матрице демпфирования вещества  $\|C\|$ . Согласно гипотезе пропорционального демпфирования

$$\|C\| = \alpha \|M\| + \beta \|K\|, \quad (2)$$

где  $\|M\|$  – матрица масс;  $\|K\|$  – матрица жесткости;  $\alpha = 2 \zeta_{\min}/\omega_{\min}$ ;  $\beta = 2 \zeta_{\max}/\omega_{\max}$ ;  $\zeta_{\min}$  – коэффициент демпфирования, определенный на частоте  $\omega_{\min}$ ;  $\zeta_{\max}$  – коэффициент демпфирования, определенный на частоте  $\omega_{\max}$ . Зависимость коэффициента демпфирования от частоты установившихся колебаний можно представить в следующем виде:  $\zeta = \alpha/2\omega + \beta\omega/2$ . Указанные зависимости используются в современных расчетных комплексах инженерного анализа, например, таких как ANSYS и NASTRAN, и др.

Поскольку в ходе измерений определяется зависимость коэффициента демпфирования емкости, содержащей испытуемое вещество, то окончательная зависимость  $\zeta_M(\omega)$  для материала выявляется путем вычитания из полученной зависимости  $\zeta_Y(\omega)$ , найденной для пустого ящика:

$$\zeta_M(\omega) = \zeta(\omega) - \zeta_Y(\omega). \quad (3)$$

Для определения уточненной зависимости коэффициента демпфирования от частоты в заданном диапазоне частот к боковым стенкам 2 металлического ящика 1 с двух сторон симметрично крепятся, например на болтах 7, 8, боковые ребра 9 с перемещающимися по ним грузами 10. В указанной ситуации резонансная частота  $\omega_{\text{рез}}$  изменяется и задается величиной массы груза 10 ( $M$ ) и его состоянием ( $L$ ) от точки закрепления боковых ребер 9. При этом резонансная частота  $\omega_{\text{рез}}$  колебаний груза 10 массой  $M$  на консольном ребре длиной  $L$  приближенно определяется по формуле (4):

$$\omega = \sqrt{\frac{3EI}{ML^3}}. \quad (4)$$

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Предлагаемый способ может быть реализован с помощью металлического ящика с боковыми ребрами-грузами 9, 10 на двухкаскадной амортизации опорных связей 14, 15, элементы которой изображены на рис. 2 – 4.

Симметричная двухкаскадная система амортизаторов и симметричное расположение грузов на ребрах гарантируют вертикальное перемещение ящика, заполненного материалом, поскольку горизонтальные центробежные силы взаимно компенсируются. Вибратор (электродвигатель) с эксцентриком обеспечивает горизонтальные вибрации емкости и, соответственно, возможности определения коэффициента демпфирования материала при горизонтальных колебаниях. В качестве варианта используется линейный одноосный вибратор, установленный непосредственно на боковую поверхность ящика. В указанном

варианте может формироваться двухкаскадная амортизация с амортизаторами, установленными в горизонтальной плоскости.

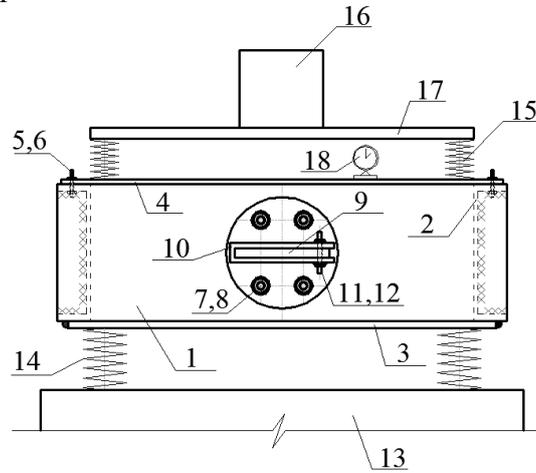


Рис. 2. Стенд для определения коэффициента демпфирования. Общий вид  
Fig. 2. Stand for determining the damping coefficient. General view

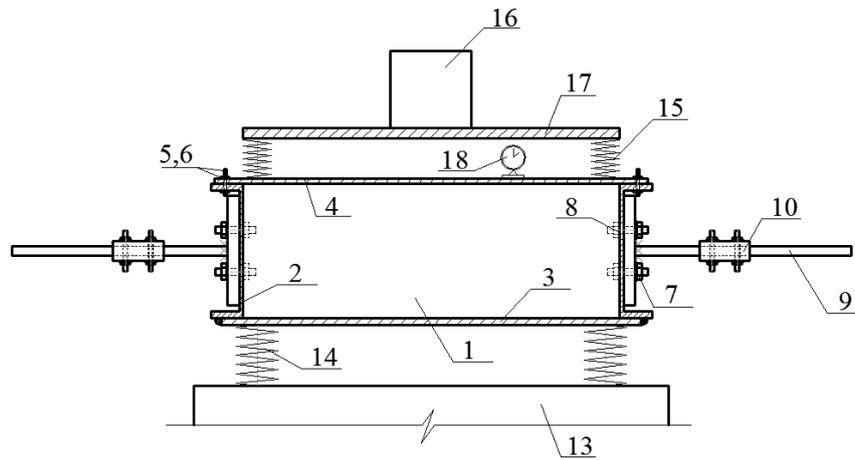


Рис. 3. Стенд для определения коэффициента демпфирования. Вид сбоку  
Fig. 3. Stand for determining the damping coefficient. Side view

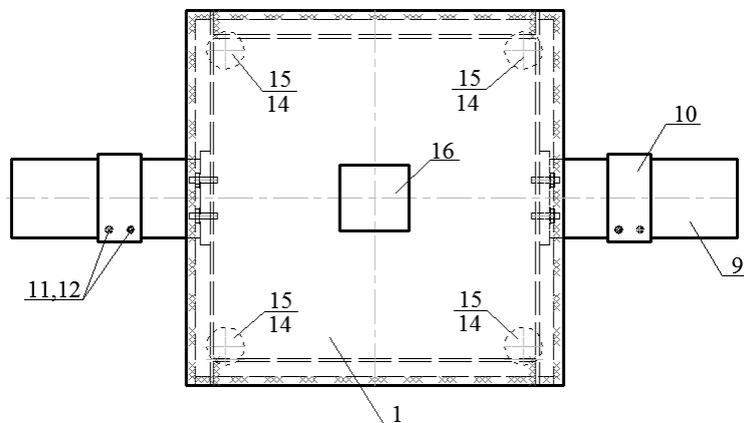


Рис. 4. Стенд для определения коэффициента демпфирования. Вид сверху  
Fig. 4. Stand for determining the damping coefficient. Above view

Изменение массы груза, закрепляемого на ребрах в вертикальном или горизонтальном положениях, позволяет варьировать колебательную нагрузку, действующую на металлический ящик с материалом. Система управления частотой колебаний вибратора и изменение массы его вибрирующего элемента (эксцентрика) обеспечивают проведение испытаний жидких и сыпучих материалов при различных амплитудах и частотах. Способ позволяет определить коэффициент демпфирования материала в одноосных испытаниях, что дает возможность включать его характеристики непосредственно в исходные данные современных вычислительных комплексов, а также пересчитывать модельные результаты на натурные объекты. Согласно теории подобия при моделировании устройства критериями подобия служат следующие зависимости:  $m \omega^2 / k$  (критерий подобия по частоте);  $m k / c^2$  (критерий подобия по сопротивлению), где  $m$  – приведенная масса ящика и грунта (жидкости);  $k$  – приведенная жесткость ящика;  $c$  – коэффициент сопротивления,  $\omega$  – частота колебаний боковых ребер с грузами и ящика.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена конструкция экспериментальной установки для определения коэффициента демпфирования сыпучих материалов и жидкостей, приведено описание резонансного метода. Предлагаемый способ позволяет определить зависимость коэффициента демпфирования сыпучих материалов и жидкостей от частоты внешнего воздействия, амплитуды колебаний, типа, плотности, влажности и температуры грунта. На конструкцию описанного в работе стенда получено положительное решение ФИПС [4]. Результаты работы с данным стендом будут опубликованы в последующих работах авторов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нашиф, А. Демпфирование колебаний / А. Нашиф, Д. Джоунс, Дж. Хендерсон. – Москва: Мир, 1988. – С. 148 –149.
2. Пат. № 2 646 540 РФ, МПК G01M 7/04, G01N 3/32. Экспериментальная установка (стенд) для изучения многофакторной зависимости коэффициента демпфирования сваи при взаимодействии с грунтом / Сутырин В. И., Кужахметова Э. Р.; Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»; № 2017116082/28; заявл. 05.05.2017; опубл. 12.12.2017 г. – 4 с.
3. Пат. № 2 547 946 РФ, МПК F16F 7/10, F16F 9/30. Способ двухкаскадной амортизации опорных конструкций машин / Короткая Е. И., Сутырин В. И., Сапожников А. И.; Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "КГТУ". – № 2013136463/11; заявл. 02.08.2013; опубл. 10.04.2015. – 6с.
4. Пат. на полезную модель № 184 676 РФ, МПК G01N 19/10. Устройство для определения коэффициента демпфирования сыпучих материалов и жидкостей / Сутырин В. И., Кужахметова Э. Р., Шинкаренко И. А.; Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "КГТУ". – № 2018125340; заявл. 10.07.2018; опубл. 02.11.2018. – 7с.

## REFERENCES

1. Nashif A., Dzhouns D., Henderson Dzh. *Dempfirovanie kolebaniy* [Vibration damping]. Moscow, Mir Publ., 1988, pp. 148-149.
2. Patent № 2 646 540 RF, MPK G01M 7/04, G01N 3/32. *Eksperimental'naya ustanovka (stend) dlya izucheniya mnogofaktornoy zavisimosti koefficienta dempfirovaniya svai pri vzaimodeystvii s gruntom* [Test stand for studying the multivariate dependence of the pile damping coefficient when interacting with the ground]. Sutyurin V. I., Kuzhahmetova E. R. Zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO "BFU im. I. Kanta", no. 2017116082/28, 05.05.2017; publ. 12.12.2017, 4 p.
3. Patent № 2 547 946 RF, MPK F16F 7/10, F16F 9/30. *Sposob dvuhkaskadnoy amortizacii opornykh konstrukciy mashin* [Method of two-stage depreciation of machine support structures]. Korotkaya E. I., Sutyurin V. I., Sapozhnikov A. I. Zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO "KGTU", no. 2013136463/11, 02.08.2013; publ. 10.04.2015, 6 p.
4. Patent № 184 676 RF, MPK G01N 19/10. *Ustroystvo dlya opredeleniya koefficienta dempfirovaniya sypuchikh materialov i zhidkostey* [Device for determining the damping coefficient of bulk materials and liquids]. Sutyurin V. I., Kuzhahmetova E. R., Shinkarenko I. A. Zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO "KGTU", no. 2018125340, 10.07.2018; publ. 02.11.2018, 7 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*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* – Emmanuel 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

*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](mailto:van-125@mail.ru)

*Кужахметова Эльвира Рафаэлевна* – Балтийский федеральный университет им. И. Канта; Инженерно-технический институт; аспирант кафедры машиноведения и технических систем; Email: elja\_09@bk.ru

*Kuzhakhmetova Elvira Rafaelievna* – Emmanuel Kant Baltic Federal University; Institute of Engineering and Technology; Post-graduate Student; Department of Machine and Technical Systems; Email: elja\_09@bk.ru

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

### Общие требования

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

### В редакцию журнала авторы представляют:

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

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

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье.

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

### Объем статьи

Объем статьи составляет от пяти до десяти 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 первый 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 C».

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

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

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

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

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

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее 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 ВО «КГТУ», 2013. – 106 с.
2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

#### **Книга**

##### ***Книги одного - трех авторов***

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.
2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

##### ***Книги более трех авторов***

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

##### ***Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)***

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

#### **Статья в журнале**

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14-16.
2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74-80.

### **Статья в электронном журнале**

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](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. науч. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВО «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.ru> и выбрав режим BGN (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

### Образцы оформления ссылок:

#### Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniia ryb Kaspiiskogo moria* [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 rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

#### Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Techno-economic Optimization of the Design of Hydraulic Fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 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 resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

#### Диссертация и автореферат

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

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskii chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

#### Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4<sup>th</sup> ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе (ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы; 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* – ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; доктор технических наук, профессор;  
зав. кафедрой пищевых и холодильных машин;  
E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)32-33-333

*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)32-33-654

*Kuzhleva Elizaveta Petrovna* – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems;  
E-mail: roza@bk.ru

#### Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;

- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:
  - не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;
  - необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

**Таблицу**, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

**Рисунки.** Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

**Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.**

**Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.**

**Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.**

**Формулы.** Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Таб. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10.

Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом ( $m_i$  – масса  $i$ -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом ( $l_p$  – длина разбега;  $V_{\text{пос}}$  посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой:  $e$  не  $\bar{e}$ . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде крестика (×). 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  $\bar{b}^a$  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 ВО «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,  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915  
от 22.12.2011 г.

*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 31.01.2019. Выход в свет 01.02.2019. Формат 60 x 88 (1/8)  
Печ. л. 24,1. Уч.-изд. л. 15,4. Тираж 1000 экз. Заказ № 3.